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

Proceedings of Scientific Conference
Zborník prác z vedeckej konferencie

ISBN 978-80-552-2596-8

doi: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Nitra, April 20, 2023, 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 Gálika, 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

Zborník prác z vedeckej konferencie
Proceedings of Scientific Conference

Nitra, 20. 4. 2023
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

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
Prof. Plamen Kangalov, PhD., „Angel Kanchev" University of Ruse, Bulgaria
Dr. László Kátai, Faculty of Mechanical Engineering, SzIE Gödöllő, Hungary
Assist. Prof. Goran Topisirovic, Ph.D., Beograd, Serbia

Recenzenti - Board of Reviewers:

Ing. Milada Balková, PhD., Ing. Jozef Nosian, PhD. doc. Ing. Jana Lendelová, PhD., Ing. Štefan Boďo, PhD., doc. Ing. Rudolf Abrahám, PhD., doc. Ing. Radoslav Majdan, PhD. Ing. Tomáš Giertl, PhD., prof. Ing. Dušan Hrubý, PhD., Ing. Lukáš Vacho, PhD., doc. Ing. Martin Olejár, PhD.. doc. Mgr. Peter Hlaváč, PhD., Ing. Stanislav Paulovič, PhD., Ing. Ladislav Tóth, PhD., Mgr. Daniela Kunecová, PhD., Ing. Juraj Tulík, PhD., Ing. Juraj Baláži, PhD.. prof. Ing. Juraj Jablonický, PhD., Ing. Matúš Bilčík, PhD., doc. Ing. Ivan Janoško, PhD., Ing. Ivan Kováč, PhD., Ing. Martin Baráth, Ing. Ján Csillág, PhD.

Organizačný výbor - Organizing Committee:

doc. Ing. Ján Kosiba, PhD.
Ing. František Adamovský, PhD.
Ing. Rastislav Kollárik
Ing. Vladimír Madola

Schválila rektorka Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre dňa 6. 4. 2023 ako zborník prác z vedeckej konferencie online.

Approved by the Rector of the Slovak University of Agriculture in Nitra on April 6, 2023 as proceedings from the online 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 978-80-552-2596-8
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

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. František Adamovský, PhD.
Ing. Rastislav Kollárik
Ing. Vladimír Madola

Zborník zostavili a redakčne upravili - Editors: doc. Ing. Ján Kosiba, PhD.
Ing. František Adamovský, PhD.
Ing. Rastislav Kollárik
Ing. Vladimír Madola

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: 2023

Neprešlo redakčnou úpravou vo Vydavateľstve SPU v Nitre.
Not edited at the Publishing House of SUA in Nitra.

ISBN 978-80-552-2596-8
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

OBSAH

ADAMOVÁ B. – CVIKLOVIČ, V.: IDENTIFIKÁCIA DYNAMICKÝCH VLASTNOSTÍ JEDNOSMERNÉHO MOTORA. *IDENTIFICATION DYNAMIC PROPERTIES OF DIRECT CURRENT MOTOR* 1

BAKO, M. – OLEJÁR, M.: VPLYV DĹŽKY ČASU EXPOZÍCIE NA PRESNOSŤ SNÍMANIA VYBRANOU PRIEMYSELNOU KAMEROU S VYUŽITÍM PLC
THE INFLUENCE OF THE LENGHT OF EXPOSURE TIME ON THE ACCURACY OF SENSING BY A SELECTED INDUSTRIAL CAMERA USING PLC 11

BÉGER, Ľ. – CVIKLOVIČ, V.: MERANIE SPOĽAHLIVOSTI ULTRAZVUKOVÉHO SNÍMAČA VZDIALENOSTI
MEASUREMENT OF THE RELIABILITY OF AN ULTRASONIC DISTANCE SENSOR..... 22

DÁVID, P. – CVIKLOVIČ, V.: KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE REGULÁTORA OTÁČOK SPAĽOVACIEHO MOTORA
DESIGN SOLUTION OF THE COMBUSTION ENGINE SPEED REGULATOR 34

DILHOF, M. – PAVELKA, P.: DIDAKTICKÁ POMÔCKA PRE OBLASŤ ELEKTRONIKY A AUTOMATIZÁCIE
TEACHING AID FOR THE FIELD OF ELECTRONICS AND AUTOMATION..... 43

GEMER, D. – TÓTH, L. – VACHO, L.: METÓDY ANALÝZY OBRAZU V NAVIGÁCIÍ MALÉHO KOLESOVÉHO ROBOTA
METHODS OF IMAGE ANALYSIS IN MOBILE ROBOTIC NAVIGATION..... 52

GOMBÁR, T. – ABRAHÁM, R.: NÁVRH MERACIEHO SYSTÉMU PRE TVORBU ŤAHOVÝCH CHARAKTERISTÍK TRAKTORA
DESIGN OF MEASUREMENT SYSTEM FOR CREATING TRACTOR DRAWING CHARACTERISTICS..... 64

HAJDÁKOVÁ, M. – HUJO, Ľ.: SLEDOVANIE PRIETOKU ZUBOVÉHO HYDROGENERÁTORA SIMULÁCIOU PREVÁDZKOVÝCH PODMIENOK
MONITORING OF FLOW RATE OF TOOTHED HYDROGENERATOR BY SIMULATING OPERATING CONDITIONS 78

HALOMI, R. – CVIKLOVIČ, V.: AUTOMATIZÁCIA VYBRANÝCH PROCESOV V BIOPLYNOVEJ STANICI
AUTOMATION OF SELECTED PROCESSES IN A BIOGAS PLANT 88

JELAČIČ, E. – JANOŠKO, I.: IMPLEMENTÁCIA MERANIA EMISIÍ NA EXPERIMENTÁLNE ZARIADENIE MOTOR – MOTOROVÁ BRZDA
IMPLEMENTATION OF EMISSION MEASUREMENT ON THE EXPERIMENTAL DEVICE ENGINE - ENGINE BRAKE 96

KARABA, A. – VITÁZEK, I.: POSÚDENIE STAVU PRACOVNÉHO PROSTREDIA VO VÝROBNÝCH PRIESTOROCH
ASSESSMENT OF THE CONDITION OF THE WORKING ENVIRONMENT IN PRODUCTION PREMISES 106

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

KOVÁČ, P. – LUKÁČ, O.: VPLYV PARAMETROV PID REGULÁTORA NA KVALITU REGULÁCIE
THE INFLUENCE OF PID CONTROLLER PARAMETERS ON THE QUALITY OF REGULATION 116

KRASŇANSKÝ, M. – HLAVÁČ, P.: HODNOTENIE VYBRANÝCH PREVÁDZKOVÝCH KVAPALÍN VO VÝROBNOM ZARIADENÍ PROSTREDNÍCTVOM VYBRATÝCH REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ
EVALUATION OF SELECTED OPERATING FLUIDS IN PRODUCTION EQUIPMENT THROUGH SELECTED RHEOLOGICAL PROPERTIES 133

KUŤKA, T. – KÓSA, P.: ANALÝZA VPLYVU SPÔSOBU VÝPLNE 3D TLAČENÉHO OBJEKTU NA POVRCHOVÚ TVRDOSŤ VÝROBKU
ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF A 3D PRINTED OBJECT FILLING PATTERN ON THE PRODUCT´S SURFACE HARDNESS 143

MACSÁNSZKY, D. – MIKUŠ, R.: LABORATÓRNA ANALÝZA ŽIAROVO STRIEKANÝCH TVRDONÁVAROVÝCH POVLAKOV
LABORATORY ANALYSIS OF THERMAL SPRAYED HARDFACING COATINGS 150

MARKUSEK, M. – TÓTH, L.: MINIATÚRNY AUTONÓMNY ROBOTICKÝ SYSTÉM NA PRECHOD KORIDOROM
MINIATURE AUTONOMOUS ROBOTIC SYSTEM FOR CROSSING A CORRIDOR 160

MELICHER, M. – HLAVÁČ P.: REOLOGICKÉ VLASTNOSTI PREVODOVÝCH OLEJOV ŠIJACÍCH STROJOV
RHEOLOGICAL PROPERTIES OF GEAR OILS FROM SEWING MACHINES 169

OLEXA, M. – VLČÁK, Š.: OMNIWHEEL AUTÍČKO
OMNIWHEEL CAR 179

ORŠULA, J. – CVIKLOVIČ, V.: NÁVRH SNÍMAČA UHLA ZALOMENIA PASÍVNEHO PRÍVESNÉHO VOZÍKA
DESIGN OF PASSIVE TRAILER ROLLER ANGLE SENSOR 186

PODSKALAN, J. – JANOŠKO, I,: CHYBA! NENAŠIEL SA ŽIADEN ZDROJ ODKAZOV.
EVALUATION OF GASOLINE ADDITIVE PARAMETERS PRODUCET FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY 195

RONDA, I. – CVIKLOVIČ, V.: ZARIADENIE NA MERANIE ZVODOVÉHO PRÚDU SUPERKONDENZÁTORA
DEVICE FOR MEASURING LEAKAGE CURRENT OF SUPERCAPACITOR 205

SENEŠI, E.: – KÓSA, P.: ANALÝZA VPLYVU TEPLOTY TLAČOVEJ TRYSKY NA GEOMETRICKÉ ROZMERY 3D TLAČENÉHO VÝROBKU
ANALYSIS OF THE NOZZLE´S TEMPERATURE ON GEOMETRICAL DIMENSIONS OF A 3D PRINTED PART 215

STAŇO, J. – CVIKLOVIČ, V.: VPLYV OBJEKTOV NA DEFORMÁCIU MAGNETICKÉHO POĽA
INFLUENCE OF OBJECTS ON THE DEFORMATION OF THE MAGNETIC FIELD 225

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

SZÁZ, M. – VITÁZEK, I.: MERANIE PARAMETROV VNÚTORNÉHO PROSTREDIA V AUTOMOBILE
MONITORING PARAMETERS OF CAR CABIN 233

ŠULAN, Š.- VITÁZEK, I.: POSÚDENIE AUTOMOBILOV S ALTERNATÍVNYM POHONOM
ASSESSMENT OF AUTOMOBILE WITH ALTERNATIVE POWERTRAIN..... 246

TAKÁČ, D. – CVIKLOVIČ, V.: NÁVRH A REALIZÁCIA RIADENIA ROBOTICKÉHO RAMENA
DESIGN AND IMPLEMENTATION OF ROBOTIC ARM CONTROL..... 256

URBÁNEK, R. – TÓTH, L.: SPRACOVANIE OBRAZU NA PLATFORME ARDUINO
IMAGE PROCESSING ON THE ARDUINO PLATFORM..... 265

VLČÁK, D. – KÓSA, P.: NÁVRH MODELU AUTOMATIZOVANEJ VÝROBNEJ LINKY NA KŔMNE ZMESI
DESIGN OF A MODEL OF AN AUTOMATED PRODUCTION LINE FOR FEED COMPOUNDS 275

ZABKO, R. – OLEJÁR, M.: VPLYV RÝCHLOSTI POHYBU OBJEKTU NA PRESNOSŤ JEHO SNÍMANIA PROSTREDNÍCTVOM PRIEMYSELNEJ KAMERY S VYUŽITÍM PLC
THE EFFECT OF THE SPEED OF THE OBJECT'S MOVEMENT ON THE ACCURACY OF ITS IMAGE CAPTURE USING AN INDUSTRIAL CAMERA AND A PLC..... 283

ZÁHORA, T. – MAJDAN, R.: VPLYV PNEUMATÍK NA HLUČNOSŤ V INTERIÉRI AUTOMOBILU
INFLUENCE OF TIRES ON NOISE IN CAR INTERIOR 292

ZAŤKO, M. – OLEJÁR, M.: APLIKÁCIA NA IDENTIFIKÁCIU DYNAMICKÝCH SYSTÉMOV Z PRECHODOVEJ CHARAKTERISTIKY
APPLICATION FOR THE IDENTIFICATION OF DYNAMIC SYSTEMS FROM TRANSITION CHARACTERISTICS..... 300

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

IDENTIFIKÁCIA DYNAMICKÝCH VLASTNOSTÍ JEDNOSMERNÉHO MOTORA
IDENTIFICATION DYNAMIC PROPERTIES OF DIRECT CURRENT MOTOR

BIANKA ADAMOVÁ[1] – VLADIMÍR CVIKLOVIČ[2]

Abstract

The thesis focuses on the measurement and identification of the dynamic system of a DC motor. The identification consists of measuring the number of revolutions of the DC motor, while changing the size of the motor power, and then performing a transfer function in the MATLAB computer program. The control unit consists of a C8051F342 microcontroller. The results of measuring the number of revolutions are performed by the computer program Terminal v1.9b. The conclusion evaluates the correctness of the measured results and the identified transfer function.

Key words: Identification, Dynamic system, Microcontroller, Transfer function

1 Úvod

Identifikácia dynamických vlastností jednosmerného motora je kľúčovou témou v oblasti strojárstva a to najmä pri návrhu a vývoji riadiacich systémov pre elektromotory. Schopnosť presne určiť dynamické vlastnosti jednosmerných motorov je rozhodujúca pre optimalizáciu výkonu motora a sprostredkovanie jeho bezpečnej a efektívnej prevádzky.

Táto téma má veľký význam v rôznych priemyselných odvetviach vrátane automobilového, leteckého a výrobného priemyslu. V automobilovom priemysle sa jednosmerné motory používajú ako napríklad elektrické posilňovače riadenia. V leteckom priemysle sa využívajú na ovládacie a riadiace systémy. Vo výrobnom priemysle ich môžeme využiť pre rôzne druhy aplikácií, ako sú dopravníkové systémy, robotika a obrábacie stroje. Samotná identifikácia dynamických vlastností je rozhodujúca pri zlepšovaní výkonu týchto systémov.

Pre identifikáciu dynamických vlastností jednosmerného motora sa používa niekoľko metód vrátane analýzy krokovej odozvy, analýzy frekvenčnej odozvy a analýzy impulznej odozvy. V súčasnosti existujú rôzne počítačové simulačné nástroje, ako je MATLAB a Simulink, ktoré sa využívajú práve na modelovanie a analýzu dynamického správania jednosmerných motorov a vytvorenie následného návrhu optimálneho riadiaceho systému.

Naším cieľom je nameranie počtu otáčok pri zvyšovaní výkonu jednosmerného motora a následná identifikácia jeho dynamických vlastností, prostredníctvom počítačového nástroja MATLAB. Taktiež sa pokúsime navrhnúť zo získaných výsledkov vhodné riešenie pre optimalizáciu riadiaceho systému.

Bc. Bianka Adamová, doc. Ing. Vladimír Cviklovič PhD., Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky, Technická fakulta, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovenská republika, e-mail: vladimir.cviklovic@uniag.sk, xgrznarova@uniag.sk
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

2 Materiál a metódy

Pri meraní vlastností jednosmerného motora je prvým krokom dôkladné preštudovanie si danej problematiky a zoznámenie sa s počítačovým nástrojom MATLAB, prostredníctvom ktorého budeme vykonávať samotnú identifikáciu. Na začiatok sa zoznámime s meraným jednosmerným motorom, ktorý je riadený mikrokontrolérom C8051F342. Následne vykonáme meranie otáčok prostredníctvom počítačového programu Terminal. Na základe získaných informácií prejdeme k vytvoreniu grafickej závislosti a k identifikácii.

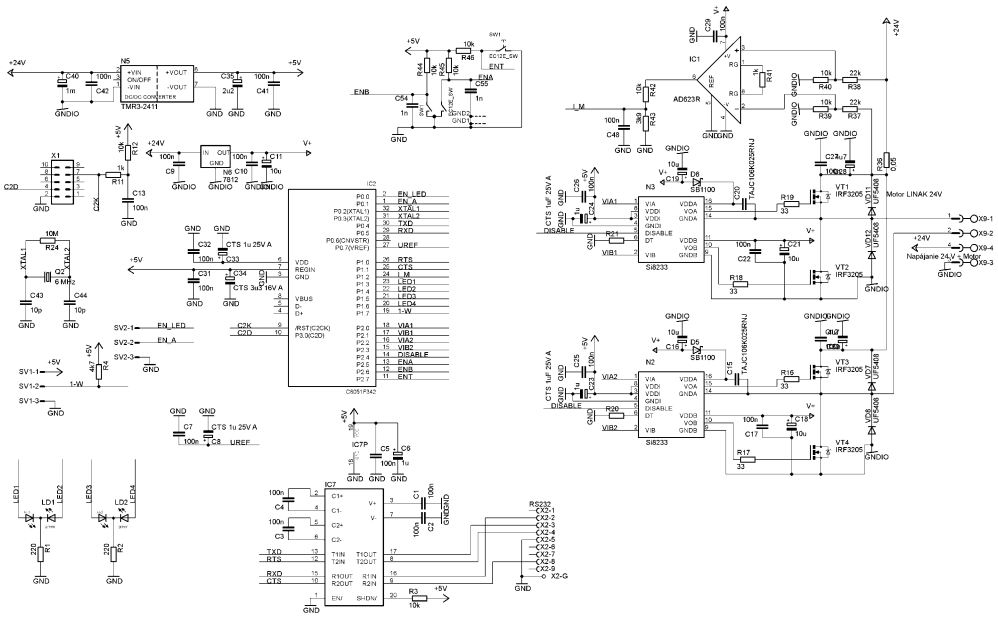
Motor

Ako meraný objekt použijeme motor LINAK, ktorého maximálna veľkosť napájania je 24 V. Výhodou daného motora je, že veľkosť otáčok narastá už pri veľmi nízkych hodnotách výkonu, vďaka čomu môžeme vykonať väčší počet meraní.

Mikrokontrolér

Za hlavný riadiaci prvok môžeme považovať mikrokontrolér od firmy Silicon Laboratories a to C8051F342. Ide o 8-bitový mikrokontrolér s pamäťou flash vo veľkosti 32 kB a s pamäťou RAM vo veľkosti 1 kB. UART modul v mikrokontroléry podporuje asynchrónnu aj synchrónnu sériovú komunikáciu, pričom umožňuje efektívne a spoľahlivo komunikovať s ostatnými zariadeniami. Jeho súčasťou sú aj 32 vstupov a výstupov, analógovo-digitálny prevodník, časovače, SPI, I2C a ďalšie periférie. Frekvencia vnútorného oscilátora má hodnotu 24,5 MHz. Vo všeobecnosti je mikrokontrolér C8051F342 všestranný so širokým spektrom možností, vďaka ktorým je vhodnou voľbou pre rôzne typy aplikácií.

Pre samotné riadenie motora je nevyhnutné vytvoriť riadiaci firmvér. Firmvér naprogramujeme v prostredí Keil uVision5, pričom budeme využívať programovací jazyk C. Vytvorený program následne vložíme do mikrokontroléra a vykonáme potrebné meranie na základe schémy zapojenia jednotlivých komponentov (*Obr. 1*).



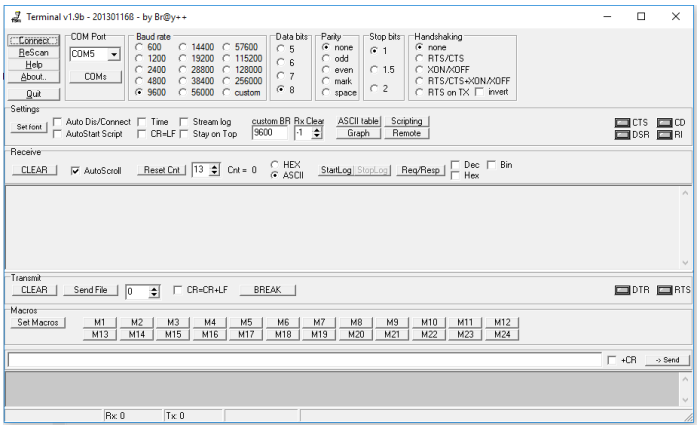
Obr. 7 Schéma zapojenia riadiaceho obvodu
Fig. 7 Control circuit wiring diagram

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Program Terminal v1.9b

Pre nameranie počtu otáčok motora pri postupnom zvyšovaní výkonu budeme používať počítačový program Terminal v1.9b. Ide o softvér, ktorý sa využíva na komunikáciu s mikrokontrolérmi a inými zariadeniami. Poskytuje rozhranie pre odosielanie a prijímanie dát cez sériový komunikačný port. Podporuje rôzne komunikačné protokoly, ako sú UART, SPI a I2C. V Terminali môžeme meniť prenosové rýchlosti, veľkosti dátových bitov, paritu, stop bity a riadenie mikrokontroléra.

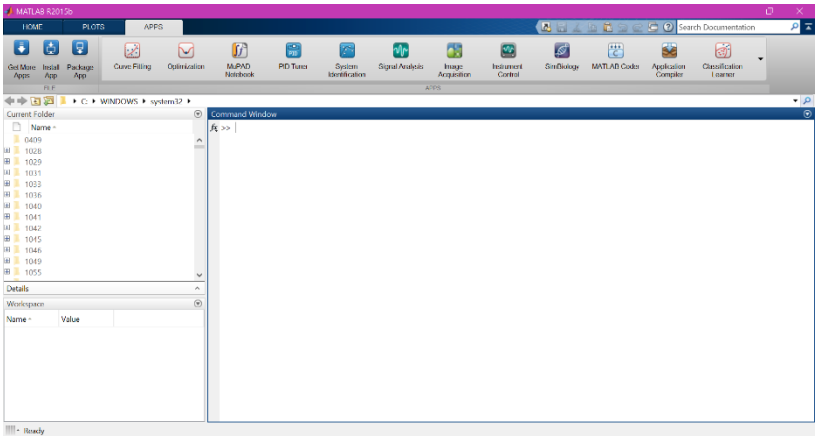
V našom prípade budeme v programe Terminal v1.9b vykonávať samotné meranie počtu otáčok zvyšovaním výkonu, pričom potrebné namerané údaje sa nám zobrazia v danom terminály. Výkon budeme zvyšovať po desiatkach až po maximálnu hodnotu výkonu. Následne namerané údaje zaznamenáme do tabuľky. Prostredie počítačového programu Terminal v1.9b môžeme vidieť na obrázku (*Obr. 2*).



Obr. 8 Prostredie programu Terminal v1.9b
Fig. 8 Terminal v1.9b environment

Program MATLAB

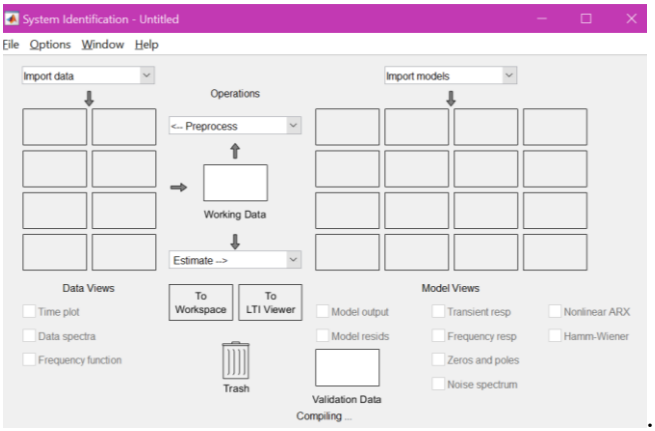
Ako poslednú časť vytvoríme identifikáciu zo získaných nameraných hodnôt v počítačovom programe MATLAB (*Obr. 3*). MATLAB je softvér určený na technické výpočty, analýzu dát a vizualizáciu. Ide o vývojové prostredie, ktoré umožňuje analýzu údajov, tvorbu algoritmov, simuláciu modulu, numerické výpočty a spracovanie signálu. Umožňuje navrhnúť, optimalizovať a zefektívniť riadiace systémy.



Obr. 9 Prostredie programu MATLAB
Fig. 9 MATLAB environment

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

V programe MATLAB z nameraných hodnôt počtu otáčok pri rôznych výkonoch vytvoríme grafickú závislosť. Následne vytvoríme jednotkový skok na vstupe a prejdeme k samotnej identifikácii danej závislosti. Na identifikáciu použijeme aplikáciu v MATLAB programe a to System Identification (*Obr. 4*). Ide o grafické používateľské rozhranie, ktoré poskytuje nástroje na modelovanie a analýzu dynamických systémov na základe vstupných a výstupných údajov. Aplikácia je určená na pomoc pri identifikácii dynamického správania systému, vrátane jeho odozvy na vstup a poruchy a vytvoriť tak model, ktorý presne znázorňuje správanie sa riadiaceho systému. Prostredníctvom tejto aplikácie môžeme zlepšiť a zefektívniť skúmaný riadiaci systém. V System Identification vytvoríme prenosovú funkciu, ktorú identifikujeme a na základe získaných výsledkov vytvoríme vhodné riešenie pre riadenie systému a jeho optimalizáciu



Obr. 10 Aplikácia System Identification
Fig. 10 System Identification application

Identifikácia dynamických systémov

Dynamický systém môžeme identifikovať prenosovou funkciou založenou na experimentálne nameraných výstupných údajoch v závislosti od známeho vstupu. Lineárne usporiadanie dynamického systému opísané prenosovou funkciou s konštantným alebo časovo závislým vstupom nám dáva výstupnú funkciu, ktorej sa snažíme odchýlky od experimentálnych údajov minimalizovať.

Prenosová funkcia sa používa na charakteristiku vstupno-výstupných vzťahov daných komponentov a podsystémov, ktoré možno opísať lineárnou, časovo invariantnou, diferenciálnou rovnicou. Prenosovú funkciu lineárneho, časovo invariantného systému definujeme ako pomer Laplaceovej transformácie výstupu na Laplaceovú transformáciu vstupu so všetkými počiatočnými hodnotami v systéme nastavenými na nulu. Tento pomer vyjadríme prostredníctvom vzťahu:

$$G\,(s) = \frac{Y\,(s)}{U\,(s)} \qquad (1)$$

Vstupno-výstupný popis systému je vo svojej podstate tabuľka všetkých možných vstupno-výstupných párov. Pri lineárnych systémoch môže byť tabuľka charakterizovaná iba jedným vstupným párom, napríklad impulzná odozva alebo kroková odozva. Lineárny vstupno-výstupný systém, kde u je vstup a y je výstup, možno vyjadriť rovnicou:

$$\frac{d^n y}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \cdots + a_n y$$

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

$$= b_0 \frac{d^m u}{dt^m} + b_1 \frac{d^{m-1} u}{dt^{m-1}} + \cdots + b_m u \qquad (2)$$

Neperiodické signály n-tého rádu sú typicky realizované sériovým zapojením vzájomne nezávislých zásobníkov prvého rádu s rôznymi časovými konštantami. Najbežnejšia metóda charakteristiky prenosovej funkcie systému s rádom $n \geq 2$ je prostredníctvom charakteristicky časov T_D a T_S, ktoré možno určiť zostrojením dotyčnice v inflexnom bode. Hodnoty T_D/T_S nezávisia od časovej konštanty, ale iba od rádu n. Platná aproximácia pre $1 \leq n \leq 7$ je vyjadrená rovnicou:

$$n \approx 10 . \frac{T_D}{T_S} + 1 \qquad (3)$$

kde n je rád systému, T_D je doba oneskorenia a T_S je doba ustálenia.

Najčastejší vstupný signál je skoková zmena jednej zo vstupných veličín, zatiaľ čo ostatné vstupné veličiny ostávajú konštantné. Pred skokovou zmenou musí byť daný signál v ustálenom stave. Časová funkcia výstupného vektora je prechodová charakteristika. Túto funkciu je potrebné ešte upraviť. V prvom kroku je prechodová charakteristika posunutá tak, že počiatočná hodnota výstupu je nula. V druhom kroku sa charakteristika normalizuje v závislosti od veľkosti skoku vstupnej veličiny. Keďže systém pri skúmaní môže byť nelineárny, je potrebné vykonať niekoľko zmien rôznych veľkostí a polarít. Používame závislosť:

$$\hat{y}_i = \frac{\sum_{k=1}^{N} \Delta u_k y_{ik}}{\sum_{k=1}^{N} (\Delta u_k)^2} \qquad (4)$$

kde i je bod prechodovej charakteristiky, k je vzorka, Δu_k je skoková zmena vstupu pri k vzorke, y_{ik} je výstupná hodnota pri k vzorke v intervale i, $\hat{y}_i$ je výsledná hodnota prechodovej charakteristiky v čase $i\Delta t$, Δt je vzorkovacia perióda a N je celkový počet vzoriek.

Reálny dynamický systém je opísaný diferenciálnou rovnicou s konštantnými koeficientmi druhého a vyššieho rádu. Pre vyšší rád je charakteristická existencia iflexného bodu v prechodovej charakteristike. Existuje viacero možností vyhodnocovania nameraných údajov v systéme vyššieho rádu. Napríklad Strejcova metóda, Broidova metóda, Hudzovičova metóda, Thal-Larsenova metóda, Iteračná metóda atď. Strejcova metóda, Broidova metóda a Hudzovičova metóda nie sú vhodné pre počítačové spracovanie. Okrem toho Broidova a Hudzovičova metóda predpokladá rôzne časové konštanty, takže je nevyhovujúca pre identifikáciu neznámych dynamických systémov. Thal-Larsenova metóda je obmedzená pre prípad 3. rádu. Pre neznáme prechodové charakteristiky je vhodné použiť odhad kritéria zhody prechodovej charakteristiky modelovaného systému s experimentom. Odhad podľa kritérií zhody sa vykonáva iteračnou metódou. Práve tento typ metódy si zvolíme pri našej práci.

3 Výsledky a diskusia

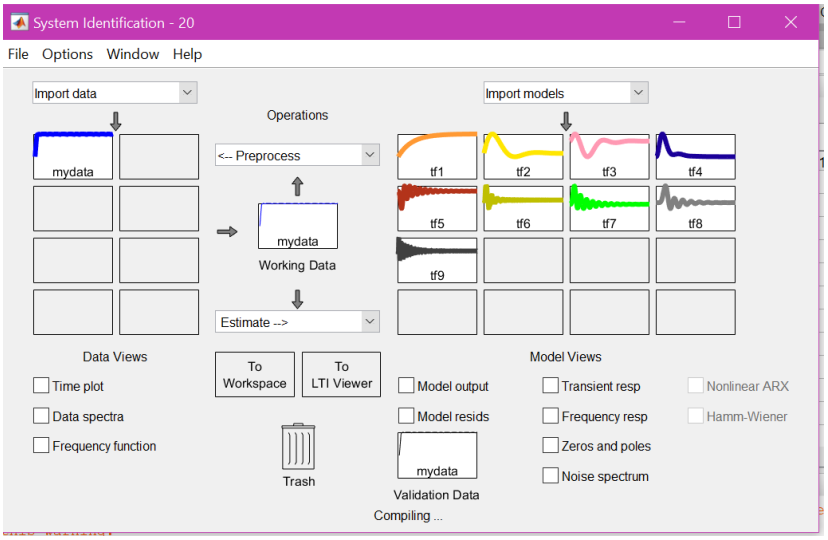
Identifikáciu dynamického systému sme vykonávali nameraním počtu otáčok motora na základe postupného zvyšovania jeho výkonu. Pred meraním sme vytvorili potrebný program na riadenie motora v prostredí Keil uVision5 s využitím programovacieho jazyka C, ktorý sme následne vložili do mikrokontroléra. Meraný motor sme spolu s mikrokontrolérom zapojili prostredníctvom sériového portu do počítača, kde sme v programe Terminal v1.9b začali postupne zvyšovať výkon motora. Napájacie napätie na vstupe sme nastavili na požadovanú hodnotu 24V. Otáčky sa objavili už pri veľmi nízkych výkonoch motora

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

a to konkrétne už pri 7% výkone. Prúd narastal už pri výkone 3%. Meranie sme vykonávali v rozmedzí po desiatkach od veľkosti výkonu 10% až po 100%.

Po odmeraní potrebných parametrov, sme údaje zapísali do tabuľky a následne sme ich mohli spracovať v programe MATLAB. V programe MATLAB sme zo všetkých nameraných výkonov a otáčok vytvorili časové závislosti. Pri hodnotách výkonu vyšších ako 50% sme na vstupe vytvorili jednotkový skok, teda z hodnoty 0 na 1. V opačnom prípade pri hodnotách výkonu nižších ako 50% sme na vstupe vytvorili podiel jednotkového skoku, teda z hodnoty 0 na 0,5. Získané charakteristiky sme spracovali v aplikácií System Identification, kde sme začali vykonávať aj potrebnú identifikáciu na základe vytvorenia prenosovej funkcie.

Model prenosovej funkcie sme vytvorili načítaním nameraných údajov otáčok na výstupe a jednotkového skoku na vstupe. Vzorkovací čas sme nastavili na 0,001 sekundy. Pre zistenie prenosovej funkcie sme použili „Continuous – time“, čo vyjadruje priebežné identifikovanie prenosovej funkcie v určitom časovom intervale. Pri výsledkoch prenosovej funkcie sme sa zamerali na percentuálnu zhodu s odhadovanými údajmi. Pre lepšie vyhodnotenie sme sa zamerali na hodnoty chýb konečnej predikcie (FPE), ktoré vyjadrujú presnosť identifikácie modelu systému. Príklad identifikácie v MATLAB môžeme vidieť na obrázku (Obr. 5).



Obr. 11 Identifikácia prostredníctvom MATLAB

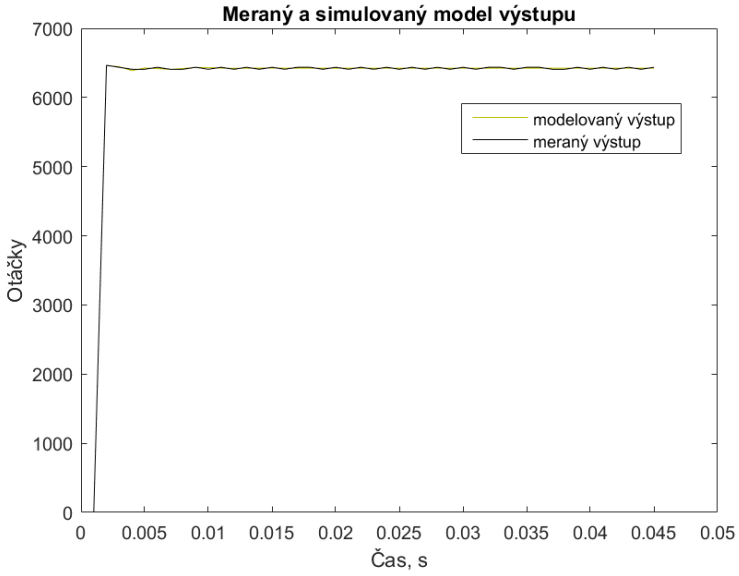
Fig. 11Identification using in MATLAB

Väčšina jednosmerných motorov používaných v praxi má druhý a štvrtý rád odozvy. My sme sa sústredili na druhý až deviaty rád prenosovej funkcie. Najlepšie výsledky identifikácie sme dosiahli pri hodnote výkonu motora na 90% s použitím 6 pólov, 1 nuly a 8 koeficientov. Časový priebeh môžeme vidieť na obrázku (*Obr. 5*). Výsledok vo forme priebežne identifikovanej prenosovej funkcie jednosmerného motora je znázornený v rovnici:

$$G(s) = \frac{1{,}213.10^{21}s + 2{,}118.10^{23}}{s^6 + 6591s^5 + 4{,}199.10^{7}s^4 + 1{,}576.10^{11}s^3 + 1{,}804.10^{14}s^2 + 2{,}249.10^{17}s + 3{,}297.10^{19}} \quad (5)$$

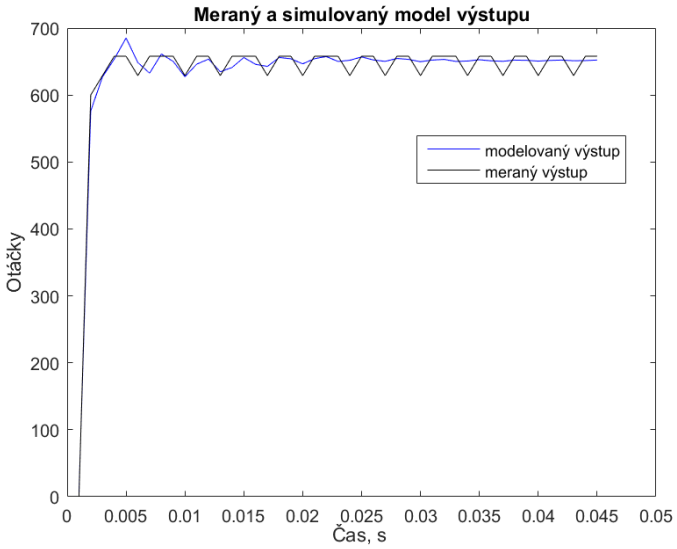
Chyba konečnej predikcie v tomto prípade dosiahla hodnotu 98,49%. Môžeme teda uvažovať, že ide o predpoklad presnej identifikácie prenosovej funkcie.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 12 Meraný a simulovaný model výstupu pre 6 pólov a 1 nulu
Fig. 12 Measured and simulated model output for 6 poles and 1 zero

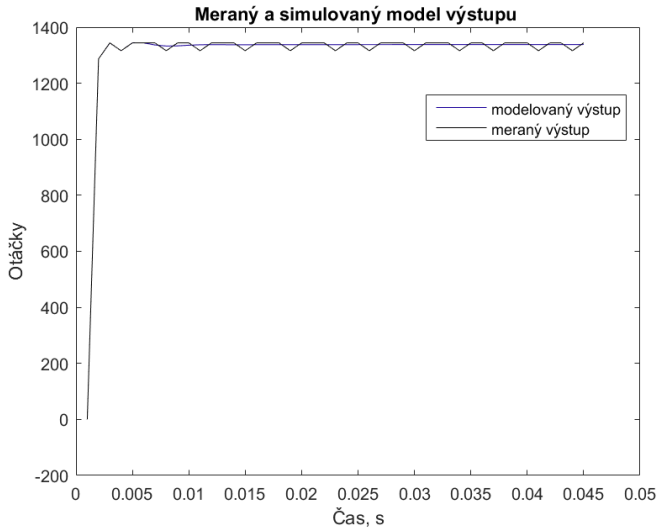
Naopak medzi horšie výsledky identifikácie môžeme považovať pri výkone motora 10%, kedy boli otáčky najmenšie. Pri použití 5 pólov, 1 nuly a 7 koeficientov sa vo výslednej rovnici prenosovej funkcie nachádzali záporné hodnoty koeficientov. Percentuálna zhoda s odhadovými údajmi bola 86,69%. Meraný a simulovaný model výstupu môžeme vidieť na obrázku (*Obr. 6*).



Obr. 7 Meraný a simulovaný model výstupu pre 5 pólov a 1 nulu pri 10% výkonu
Fig. 7 Measured and simulated model of output for 5 poles and 1 zeros with 10% of power

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

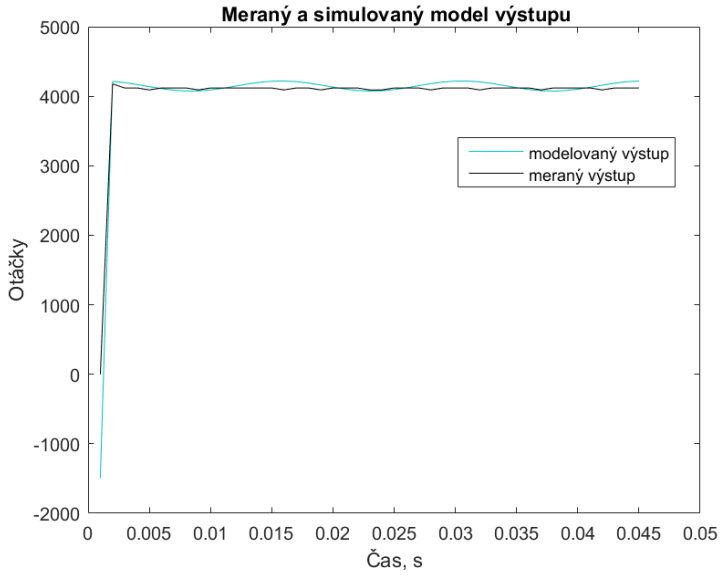
Pri 20% výkone, kde otáčky jemne vzrástli sa percentuálna zhoda dvihla na 94,04%, čo v porovnaní pri 10% výkone je väčší rozdiel. V tomto prípade sme použili 5 pólov, 1 nulu a 7 koeficientov. Celkový konečný simulovaný priebeh výstupu bol v porovnaní s priebehom pri 10% výkonu motora lepší (Obr. 8).



Obr. 1 Meraný a simulovaný model výstupu pre 5 pólov a 1 nulu pri 20% výkonu

Fig. 1 Measured and simulated model of output for 5 poles and 1 zeros with 20% of power

Najhorším výsledkom identifikácie bola konečná prenosová funkcia, kde percentuálna zhoda dosiahla hodnotu iba 61,97%. Išlo o model, kedy bol výkon motora nastavený na 60% a pri jeho identifikácii sme použili 2 póly, 1 nulu a 4 koeficienty. Výstupná charakteristika je zobrazená na obrázku (*Obr. š9*). Z daného priebehu môžeme vidieť, že modelovaný a meraný výstup sa zhodujú len v krátkych oblastiach. Všetky variácie výsledných priebehov a identifikácií prenosových funkcií sa nachádzajú v tabuľke (*Tab. 1*).



Obr. 2 Meraný a simulovaný model výstupu pre 2 póly a 1 nulu pri 60% výkonu

Fig. 2 Measured and simulated model of output for 2 poles and 1 zeros with 60% of power

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Tab. 1 Výsledky identifikácii pre jednotlivé výkony motora
Tab. 1 Final results of identification for every power

Výkon, %	Percentuálna zhoda, %	Póly	Nuly	Počet koeficientov
10	86,69	5	1	7
20	94,04	5	1	7
30	94,52	4	1	6
40	98,35	2	1	4
50	97,27	6	1	8
60	61,97	2	1	4
70	98,07	5	1	7
80	97,77	4	1	6
90	98,49	6	1	8
100	98,39	6	1	8

4 Záver

V súčasnej dobe, kedy sa technológie, automatizácia, priemysel a elektronika neustále rozvíjajú, je potrebné poznať dynamické vlastnosti systémov a vedieť ich správne identifikovať. V našej práci sme sa zoznámili zo základnými znalosťami dynamických systémov a naučili sme sa ich efektívne a optimálne identifikovať, prostredníctvom využitia počítačových technológií.

Z výsledkov, ktoré sme dosiahli môžeme konštatovať, že jednosmerný motor nevie byť správne identifikovaný štandardnými prenosovými funkciami prvého a druhého rádu. Na základe zistených informácií vieme, že na to aby sme daný systém mohli korektne identifikovať potrebujeme použiť v našom prípade prenosovú funkciu šiesteho rádu s jednou nulou. Taktiež sme zistili, že najideálnejšie motor pracuje pri vyššom výkone a vyšších otáčkach. Prejavilo sa to hlavne na veľkosti percentuálnej zhody a konečných charakteristík. Meraný dynamický signál bol ale nestabilný vo viacerých prípadoch. Najväčší problém bol pri výkone 60%, kedy už spomínaná percentuálna zhoda dosiahla najhoršie výsledky. Taktiež koeficienty prenosovej funkcie dosahovali záporné hodnoty, z čoho môžeme konštatovať, že pri nízkych výkonoch a malých otáčkach je systém nestabilný. Prenosová funkcia, ktorá nám vznikla pri výkone väčšom ako 90% sa dá považovať za vhodný spôsob opisu meraného jednosmerného motora. Pri 100% výkone bol počet pól a núl rovnaký ako pri výkone 90%. Rovnako tak aj pri týchto vyšších hodnotách výkonu sme mohli vidieť, že charakteristiky sú ustálené a približne sa zhodujú. Môžeme konštatovať, že jednosmerný motor pracuje korektne a dynamický systém je vhodný pre riadiace systémy.

Približne rovnaké zistenia prejavujú vo svojich prácach viacerí autori. Ide hlavne o výskum teplotných snímačov, kde sa preukázala potreba použiť pre identifikáciu dynamického systému prenosové funkcie rádu vyššieho ako sú štandardné univerzálne prenosové funkcie.

5 Literatúra

CVIKLOVIČ, Vladimír; KIŠEV, Marián; MADOLA, Vladimír; HRUBÝ, Dušan. 2021. Dynamic Properties of Electrochemical Oxygen Gas Sensor and Method to Estimate of New Steady-State. *In IEEE Access*. (Online). vol. 9, no. 1, pp. 1-11. Dostupné na: https://ieeexplore.ieee.org/document/9520425 [cit. 2023-03-28]

KLUEVER, Craig. 2015. *Dynamic Systems*. 1 nezmen. vyd. United States of America: Wiley. 485s. ISBN 978-1-118-28945-7.

ESFANDIARY, Ramin; LU, Bei. 2018. *Modeling and Analysis of Dynamic Systems*. 3 nezmen. vyd. United States of America: CRC Press. 583s. ISBN 978-1-1387-2642-0.

ISERMANN, Rolf; MUNCHHOF, Marco. 2011. *Identification of Dynamic Systems*. 1 nezmen. vyd. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 697s. ISBN 978-3-540-78878-2.

Datasheet *C8051F340/1/2/3/4/5/6/7/8/9/A/B/C/D*. (Online). Dostupné na: https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/C8051F34x.pdf [cit. 2023-03-28].

THE MATHWORKS, Inc. 2023. *What is MATLAB?*. (Online). Aktualizované 2023. Dostupné na: https://www.mathworks.com/discovery/what-is-matlab.html [cit. 2023-03-28].

CORROSIONPEDIA. 2019. *Dynamic System*. (Online). Aktualizované 2019-08-22. Dostupné na: https://www.corrosionpedia.com/definition/424/dynamic-system-material-science [cit. 2023-03-28].

COLLIMATOR. 2022. *Understanding Dynamical Systems in Real-world Situations.* (Online). Aktualizované 2022-10-21. Dostupné na: https://www.collimator.ai/post/what-are-dynamical-systems [cit. 2023-03-28].

Súhrn

Práca sa zameriava na meranie a identifikáciu dynamického systému jednosmerného motora. Identifikácia pozostáva z namerania počtu otáčok jednosmerného motora, pri zmene veľkosti výkonu motora a následne vykonania prenosovej funkcie v počítačovom programe MATLAB. Riadiacu jednotku tvorí mikrokontrolér C8051F342. Výsledky merania počtu otáčok vykonáva počítačový program Terminal v1.9b. Záver vyhodnocuje správnosť nameraných výsledkov a identifikovanej prenosovej funkcie.

Kľúčové slová: Identifikácia, Dynamický systém, Mikrokontrolér, Prenosová funkcia

VPLYV DĹŽKY ČASU EXPOZÍCIE NA PRESNOSŤ SNÍMANIA VYBRANOU PRIEMYSELNOU KAMEROU S VYUŽITÍM PLC
THE INFLUENCE OF THE LENGTH OF EXPOSURE TIME ON THE ACCURACY OF SENSING BY A SELECTED INDUSTRIAL CAMERA USING PLC

MILAN BAKO[1] – MARTIN OLEJÁR

Abstract

The main objective of this work is to investigate how the length of exposure time affects the accuracy of the measurement of a selected object with an industrial camera from B&R. This camera is stored in a darkened box so that the measurement results are not affected by external light and is controlled by a PLC also from B&R. The length of the exposure time is set in the HMI application of the Automation studio software. The result of the measurements are graphs that describe whether the measurement error has decreased or increased when the exposure time is changed.

Keywords: Exposure time, Industrial camera, B&R, PLC, Automation studio

1 Úvod

Spracovanie obrazu je metóda súhrnu určitých operácií s obrazom s cieľom získať vylepšený obraz alebo z neho získať užitočné informácie. Jedná sa o spôsob spracovania signálu, ktorého vstupom je obrázok a výstupom môže byť takisto obrázok alebo charakteristiky/prvky spojené s týmto obrázkom. Tri všeobecné fázy, ktorými musia prejsť všetky typy údajov pri použití digitálnej techniky, sú predbežné spracovanie, vylepšenie a zobrazenie, extrakcia informácií. Segmentácia obrazu je jeden z najzložitejších krokov spracovania obrazu. Tento krok zahŕňa rozdelenie obrazu na rôzne kľúčové podskupiny ktoré nazývame segmenty. To slúži na zjednodušenie alebo zmenenie reprezentácie obrazu na niečo, čo je zmysluplnejšie a ľahšie analyzovateľné. Segmentáciu obrazu môžeme brať ako krok predbežného spracovania na detekciu objektov. Počítač nemusí spracovávať celý obraz ale môže upriamiť svoju pozornosť na dôležitejšie časti obrazu a zvyšok zahodiť (Tóth, 2017). Cieľom príspevku je zistiť, či dĺžka času otvorenia clony má pozitívny alebo negatívny vplyv na presnosť spracovania obrazu. Kamera bude uložená v zatemnenej komore aby jediné svetlo ktoré vplýva na fotku sú segmenty nasvietenia kamery a na základe toho na ako dlho otvoríme clonu si budeme všímať ako presne kamera dokáže odmerať vybraný objekt .

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

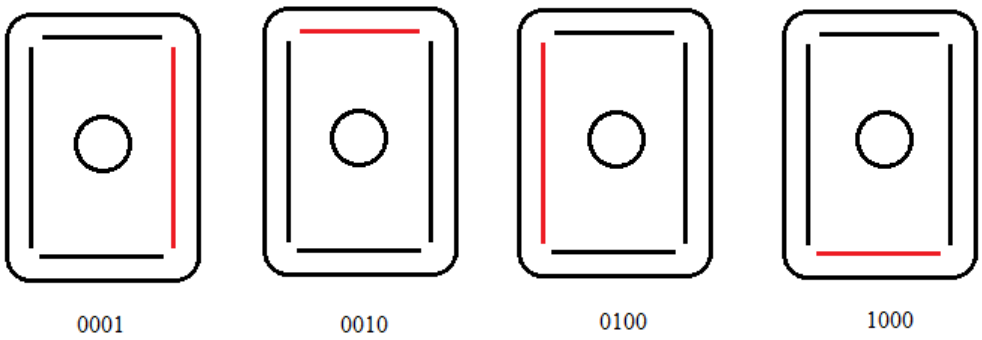
2 Materiál a metódy

Na splnenie cieľa bol použitý Smart Sensor VSS112R22.053P-000, ktorý je navrhnutý tak, aby realizoval jednu funkciu strojového videnia, ako je napríklad čítanie QR kódu alebo detekcia polohy. Na rozdiel od mnohých iných zariadení vo svojej triede nie je nutné inštalovať vyhradený hardvér pre každú funkciu. Namiesto toho používateľ jednoducho nakonfiguruje požadovanú funkciu Smart Sensora vo vývojovom nástroji Automation Studio. Výrobcovia OEM môžu teda skladovať iba jeden typ kamery a napriek tomu sú schopní realizovať širokú škálu aplikácií.



CPU	Dual core Cortex-A9
RAM	1 GB
flash disk	Zabudovaný 2 GB
Predspracovanie obrazu	FPGA
Porty	2x POWERLINK
Snímač	1,3 MP 165 fps
Šošovka	12 mm
LED	16x červená/modrá/biela/IR

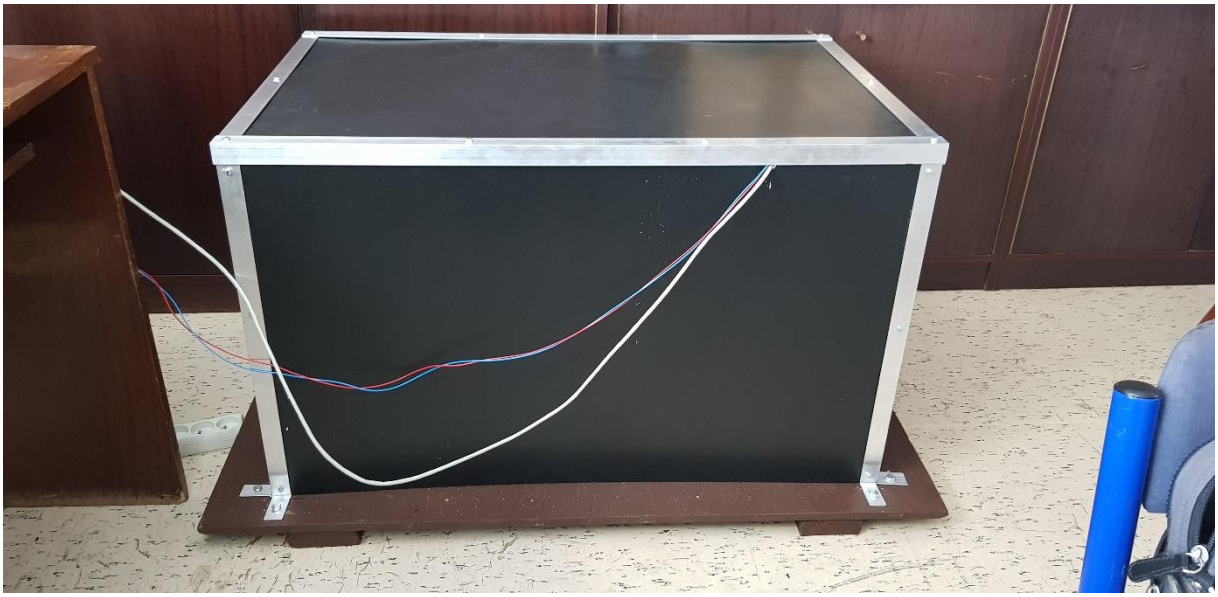
Obr. 1 B&R Smart Sensor
Fig. 1 B&R Smart Sensor



Obr. 2 Označenie segmentov nesvietenia
Fig. 2 Tagging of Flash segments

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Aby výsledky merania neboli ovplyvnené okolitým svetlom, musí byť kamera počas meraní v zatemnenom priestore. Pre tieto potreby sme navrhli zatemnenú komoru s rozmermi 100 x 60 x 60 cm. Do vnútra komory sa musí zmestiť stojan na kameru, samotná kamera a musí tam byť ešte dostatok pracovného priestoru kde sa bude meraný objekt fotiť.



Obr. 3 Zatemnená komora
Fig. 3 Darkened chamber

Ako meraný objekt bol zvolený biely plastový valček s priemerom 3,39 cm.



Obr. 4 Meraný objekt
Fig. 4 Measured object

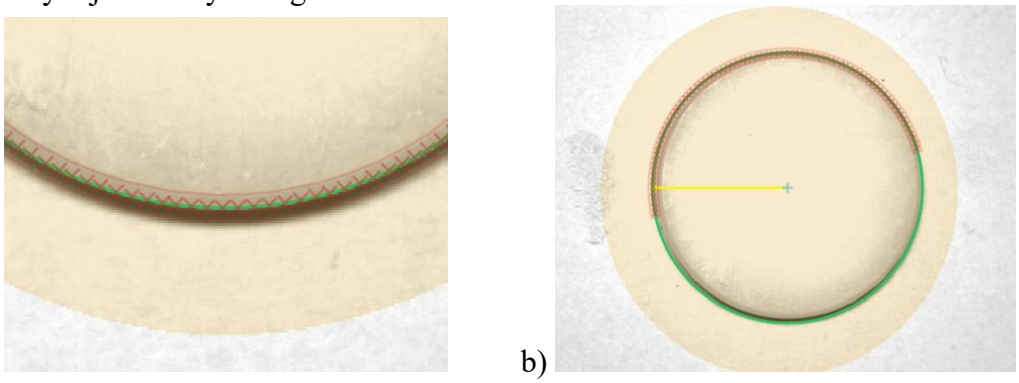
Meranie prebiehalo v HMI webovej aplikácií kde sme pridali dva modely. Jeden s pozitívnym okrajovým prechodom a jeden s negatívnym. Potom sme mohli pridať dve operácie ktorými sme zmerali polomer nájdeného objektu pre oba prechody. Použili sme orthogonale_distace pretože táto operácia zmeria minimálnu vzdialenosť medzi zvolenými referenčnými bodmi. Ako referenčné body sme použili stred kruhu a jeho okraje. Výsledkom merania je rozmer v pixeloch. Túto hodnotu potom prepočítame na centimetre a z polomeru

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

vypočítame priemer. Algoritmus však neodmeria reálnu veľkosť meraného objektu, ale iba spočíta koľko pixelov je stred kruhu od hrany kruhu ktorý našiel na konkrétnej fotke. Pokiaľ kameru uložíme bližšie k objektu, na fotke bude väčší a nameriame preto viac pixelov. Zase naopak pokiaľ uložíme kameru ďalej od meraného objektu, na fotke bude menší a nameriame preto menej pixelov. Preto najskôr budeme musieť vypočítať o koľko je snímok zväčšený oproti realite. To zistíme tak, že kameru budeme postupne posúvať ďalej od meraného objektu až pokiaľ nenameriame jeho skutočnú veľkosť. Túto vzdialenosť od meraného objektu budeme považovať, že je v mierke 1:1. Kameru potom uložíme na statív do komory do výšky 30 cm. Na to aby sme zistili o koľko je snímok zväčšený keď je od meraného objektu vzdialený 30 cm nám stačí hodnotu, ktorú sme určili ako 1:1 vydeliť hodnotou, v ktorej sa kamera bude nachádzať pri meraní. V našom prípade to bude 30. Týmto spôsobom zistíme priblíženie a potom nám už len stačí výsledok merania vydeliť priblížením. Tým pádom dostaneme skutočnú veľkosť v pixeloch a môžeme ju prepočítať na centimetre.

Budeme uskutočňovať dve merania súbežne pre oba modely. Pre modely s pozitívnym prechodom a pre negatívny prechod. Pri negatívnom prechode algoritmus vyberá svetlé pixely, ktoré prekročia hranicu spracovania. Preto keď označuje objekt, označí pixely ktoré susedia s tieňom vytváraným jednotlivými segmentami nasvietenia.

a) b)

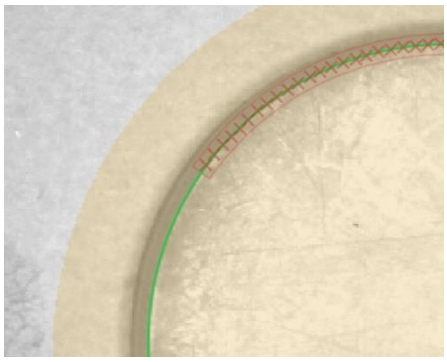
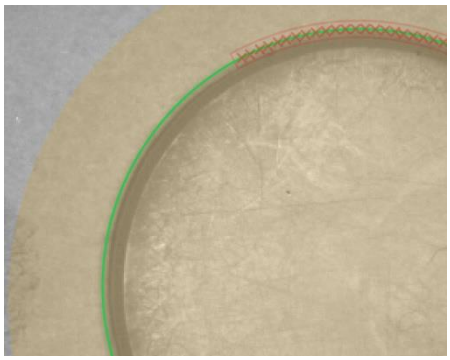


Obr. 5 Zachytenie objektu a) s negatívnym okrajovým prechodom, b) s pozitívnym okrajovým prechodom

Fig. 5 Capturing the object with a) negative edge transition, b) positive edge transition

Pri pozitívnom prechode zachytáva tmavé pixely, ktoré prekročili hranicu spracovania. A preto keď označuje objekt, označí ho aj z tieňom. To spôsobuje odchýlky pri meraní, pretože meraný objekt nebol umiestnený presne v strede fotky. Preto zakaždým pri použití iného segmentu vznikal tieň zdeformovaný pod iným uhlom. Keď boli zapnuté všetky segmenty, žiadny tieň sa na okrajoch nevytvoril a tým pádom nikde na obrázku nebola prekročená hranica spracovania. Preto bolo treba túto hranicu znížiť, aby algoritmus dokázal objekt rozpoznať na základe niečoho iného ako tieňa. Najtmavšie časti na fotke boli okraje zrazenia nášho valca. Preto pri negatívnom prechode algoritmus označil kruh pri nich. Pri pozitívnom prechode algoritmus označil tmavé pixely týchto okrajov, ktoré boli na kraji meraného valca.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

a)  b) 

Obr. 6 Zachytenie objektu a) s pozitývnym okrajovým prechodom b) s negatívnym okrajovým prechodom pri všetkých segmentoch

Fig. 6 Capturing the object a) with positive edge transition b) with negative edge transition for all segments

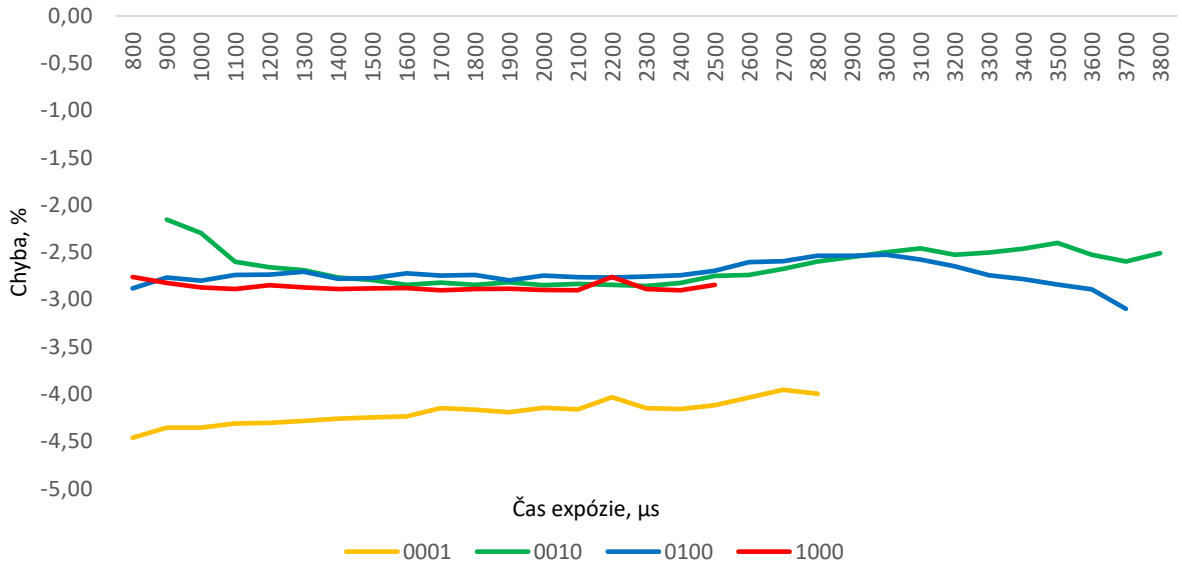
Farbu nasvietenia nastavíme na červenú, zapneme len jeden segment nasvietenia a počas meraní budeme meniť len čas expozície. Keďže nevieme od akej doby expozície bude fotka tak svetlá, že algoritmus dokáže nájsť náš objekt, musíme počiatočnú dobu expozície najskôr nájsť. Čas expozície budeme postupne znižovať, až pokiaľ nám algoritmus nepovie, že objekt na snímke nevie nájsť. Takto nájdeme začiatočnú dobu expozície a zhotovovať 30 meraní a dobu expozície budeme zvyšovať o 1000 µs. Pokiaľ sa stane, že algoritmus nebude vedieť nájsť žiadny kruh na základe zadaných parametrov meranie ukončíme skôr. Potom ako ukončíme merania pre oba modely, zmeníme segment nasvietenia ale zapnutý bude stále iba jeden. Postup merania zopakujeme až pokiaľ nepremeriame všetky segmenty nasvietenia samostatne. Potom zapneme všetky segmenty naraz a postup zopakujeme až na to, že dobu expozície budeme meniť po 100 µs pretože fotky budú omnoho svetlejšie, keďže pri použití všetkých segmentov bude v komore viac svetla. Po dokončení všetkých meraní na červenom nasvietení zmeníme farbu na modrú a celý postup zopakujeme. Po premeraní modrého nasvietenia prepneme na biely a zopakujeme. Získané výsledky dáme do grafov a vyhodnotíme záver.

3 Výsledky a diskusia

Meranie pri nasvietení objektu červenou farbou

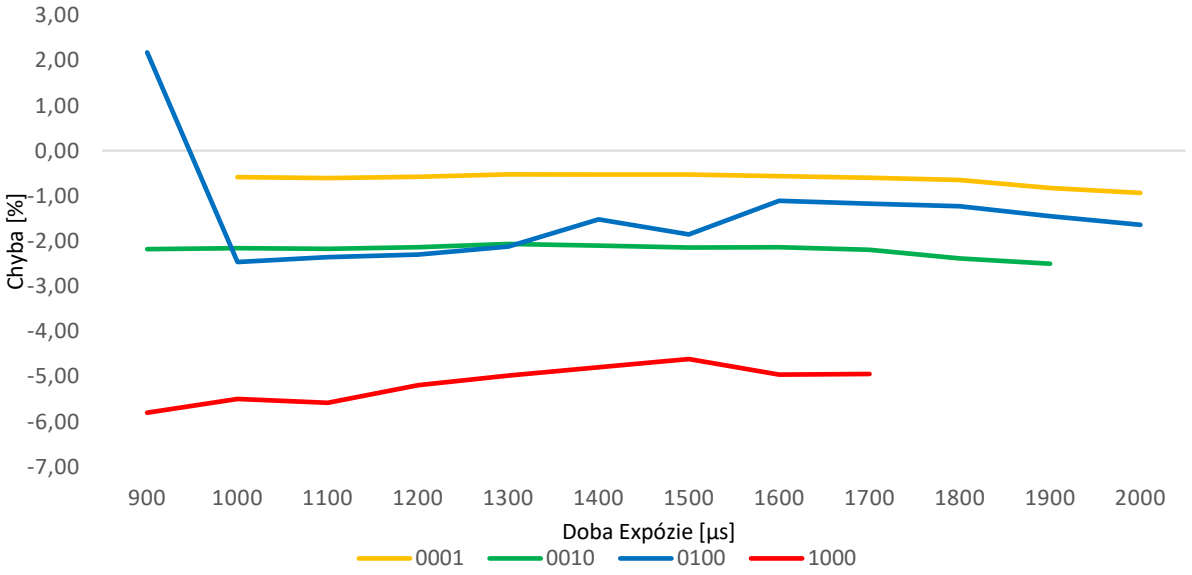
Pri červenej farbe nasvietenia sa chyba merania zvyšovaním doby explózie menila málo. Hodnoty sa pri dobre explózie 1100 µs ustálili na jednej hodnote a na tej sa držali až do konca merania. čím dlhšie bola však clona otvorená, tým sa chyba zmenšovala no dobre explózie 3100 µs chyba začala znovu narastať a pri niektorý segmentoch dokonca algoritmus ani nevedel nájsť objekt.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 7 Priebehy chýb pri červenom nasvietení a negatívnym prechodom
Fig. 7 Error progression for Red Flash and negative transitions

Pri segmente 0001 nastala výraznejšia odchýlka. Priebeh však zostal rovnaký. Pri hodnote 1100 µs sa chyba ustálila a mierne znižovala sa stúpajúcim časom expozície, až na hodnoty -2,46 % pri segmente 0010 alebo na -2,55 % pri segmente 0100. Okolo hodnoty 3000 už začal byť obrázok výrazne svetlý a chyba merania sa začala zase znižovať. Pri segmente 0100 až na hodnotu -3,10 % a pri segmente 0010 na -2,60 %. segment 0001 prestal detegovať objekt pri čase expozície 2800 µs s chybou -4% a segment 1000 prestal detegovať pri čase expozície 2500 µs z chybou -2,84 %



Obr. 8 Priebehy chýb pri červenom nasvietení a pozitívnym prechodom
Fig. 8 Error progression for Red Flash and positive transitions

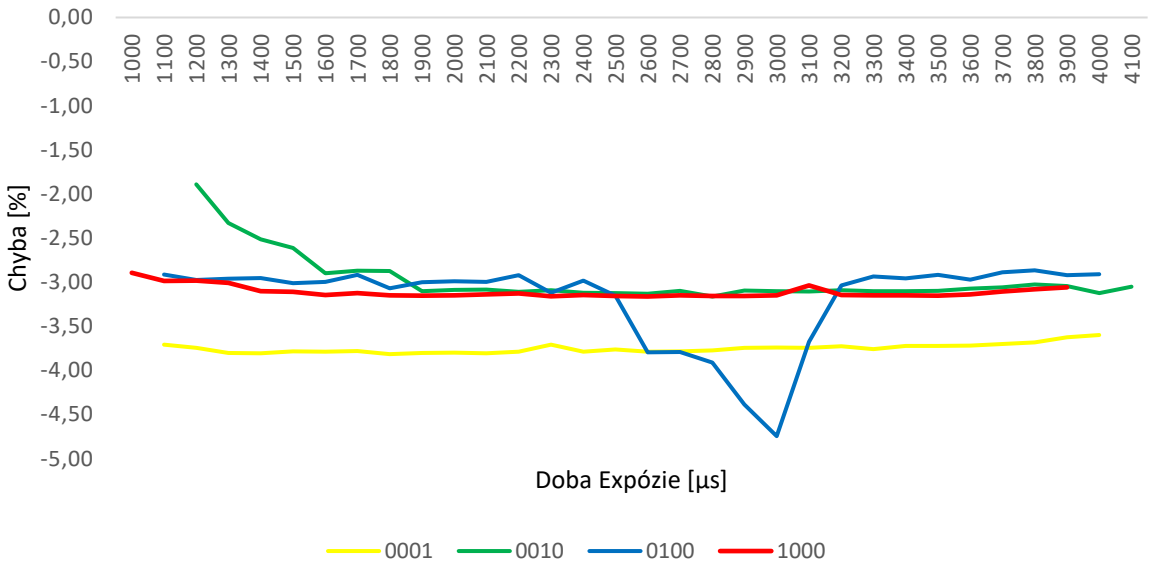
Pri pozitívnom prenose bola chyba približne rovnaká pri segmente 0010 s 0100. V tomto prípade ale vidíme väčšiu odchýlku pri segmente 1000 kde chyba začala pri hodnote -5,58 %

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

a skončila pri -4,91 % pri čase expozície 1700 µs. Môžeme si všimnúť, že algoritmus nerozpoznal objekt pri dlhšom čase expozície. Pri segmente 0001 a 0100 prestal detegovať objekt pri čase expozície 2000 µs s chybami -0,93 % a -1,64 % a pri segmente 0010 prestal detegovať objekt pri čase expozície 1900 µs z chybou -2,50 %.

Meranie pri nasvietení objektu modrou farbou

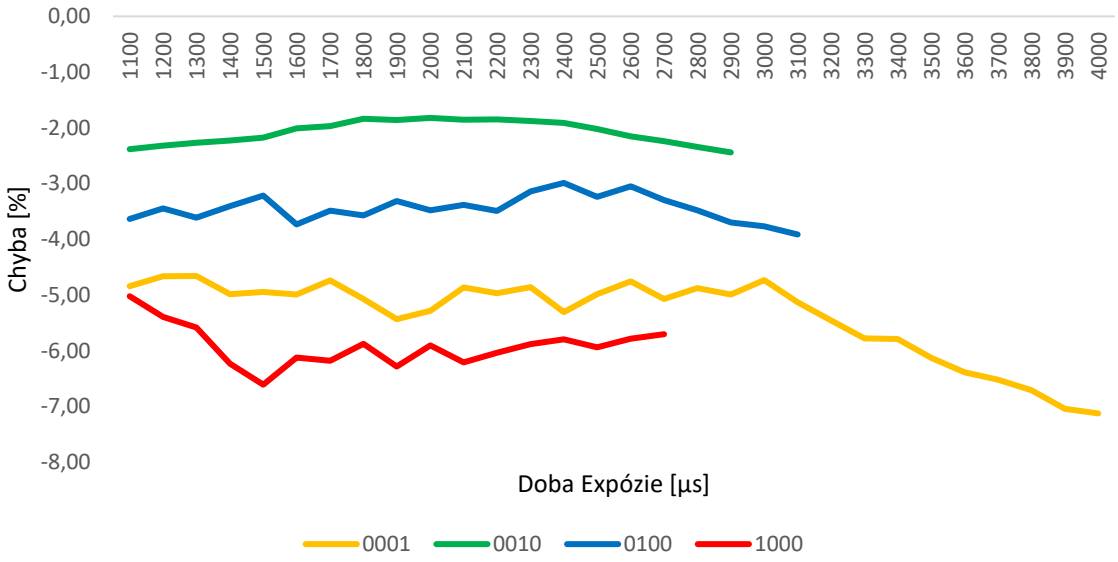
Modré nasvietenie je tmavšie ako červené a preto algoritmus začal detegovať objekt neskôr. Pri negatívnom prenose sa priebeh správal podobne ako pri červenom, ale pri pozitívnom môžeme vidieť väčšie odchýlky a poklesy



Obr. 9 Priebehy chýb pri modrom nasvietení a negatívnym prechodom
Fig. 9 Error progression for blue Flash and negative transitions

Pri negatívnom prechode môžeme vidieť, že segment 0001 má opäť takmer rovnakú odchýlku ako pri červenom, ale chybu sme počas celého merania namerali takmer rovnakú a to od – 3,70 % do -3,80 %. Pri segmente 0010 môžeme vidieť, že od času explózie 1200 µs až po 1900 µs chyba vstúpila z -1,89 % -3,10 % a potom sa už držala len okolo tejto hodnoty až po čas expozície 4100 µs. Segment 0100 a 1000 si držal chybu v okolí 3 %, ale pr segmente 0100 začala od 2500 µs chyba stúpať. V 3000 µs dosiahla hodnotu -4,75 % a potom začala znovu klesať až po 3200 µs kde sa už znova držala v okolí 3 %.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

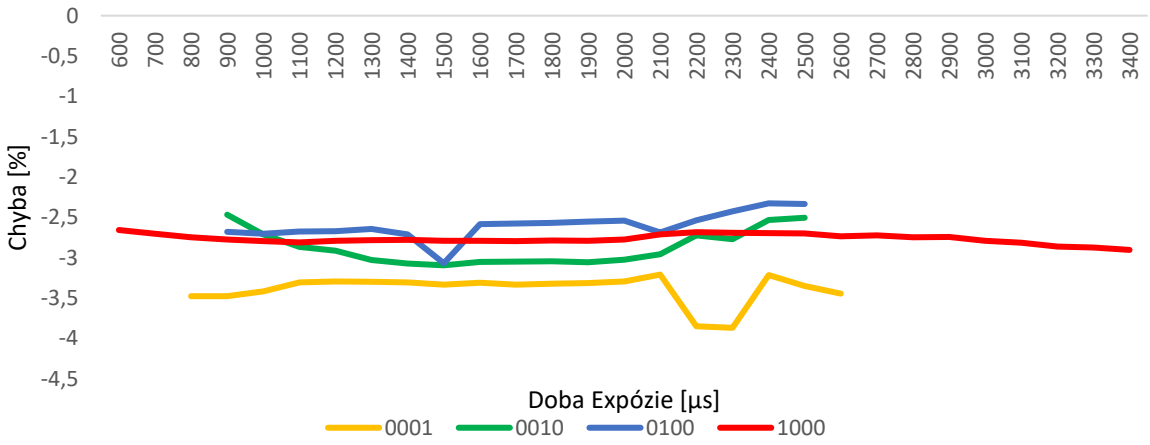


Obr. 10 Priebehy chýb pri modrom nasvietení a pozitívnym prechodom
Fig. 10 Error progression for mlue Flash and positive transitions

Pri pozitívnom prechode mali chyby podobný a stály priebeh, ale pri každom segmente bola chyba v inom rozsahu. Všetky segmenty začali detegovať pri 1100 µs. Pri segmente 0001 chyba začala na hodnote -4,84 % a pohybovala sa v rozmedzí od -4,73 % do -5, 43 % do 3000 µs. odtiaľ začala stúpať až do 4000 µs z hodnotou -7,12 %. Segmente 0010 začal s hodnotou -2,38 % objekt detegoval do 2900 µs s minimálnym rozsahom. Segment 0100 začal na -3,63 % a držal sa v rozsahu od -2,99 % do -3,73 %. Od 2600 µs začala chyba stúpať až do 3100 µs z hodnotou -3,91 %. Pri segmente 1000 bol objekt detegovaný najlepšie. Na začiatku mala chyba hodnotu -5,02 % a objekt bol detegovaný iba po 2700 µs z hodnotou -5,70 % a v tomto rozmedzí sa aj držala.

Meranie pri nasvietení objektu bielou farbou

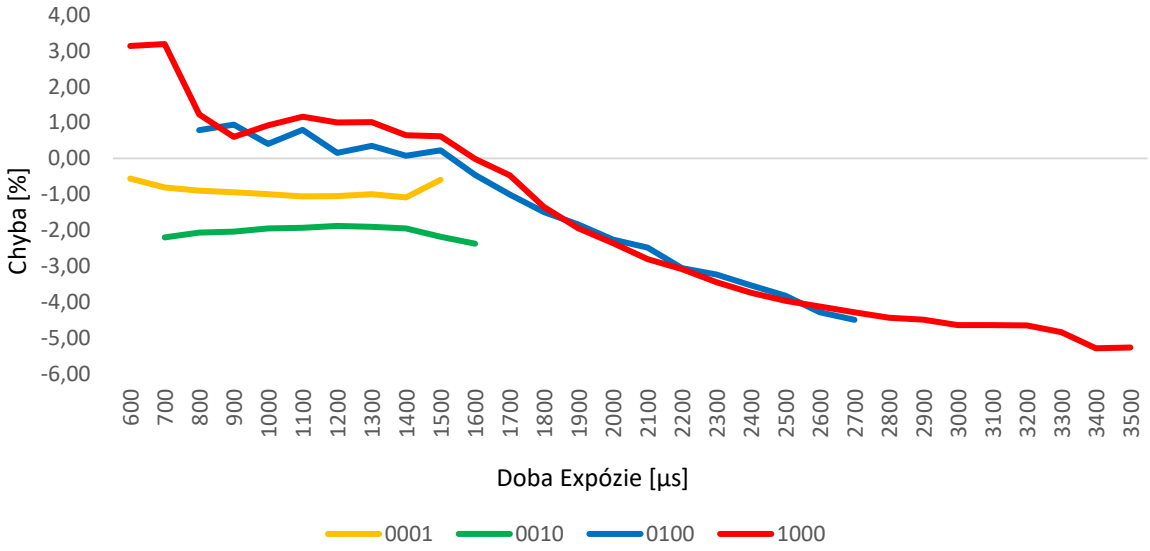
Biele nasvietenie bol zo všetkých najsvetlejšie a preto snímač dokázal zdetegovať objekt aj pri čase expozície 600 µs. Väčšinou ho ale prestal detegovať skôr ako pri predošlých meraniach.



Obr. 11 Priebehy chýb pri bielom nasvietení a negatívnym prechodom
Fig. 11 Error progression for white Flash and negative transitions

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Pri negatívnom prechode a segmente 1000 dokázal objekt zdetegovať už pri 600 µs a podarilo sa mu ho zdetegovať aj pri 3400 µs. Počas toho chyba stúpala z -2,66 % na -2,81 % pri 1100 µs a potom začala znovu klesať. Pri 2200 µs dosiahla chyba hodnotu -2,68 a tam začala znovu stúpoľ. Na konci merania dosiahla hodnotu -2,90 %. Segmenty 0010 a 0100 boli oba zdetegované pri 900 µs s chybami -2,47 % a -2,68 % a prestali detegovať pri 2500 µs s hodnotami -2,50 % a -2,34 %.V segmente 0010 chyba vzrastala až po 1500 µs, kde dosiahla hodnotu -3,33% a potom sa začala postupne znižovať. Pri segmente 0100 sa chyba stále znižovala. Pri 1500 µs sa však odchýlila na -3,07 % a potom sa hneď vrátila naspať. Pri segmente 0001 sa chyba od času 800 µs znižovala z hodnoty -3,48 % až po čas 2100 µs z hodnotou -3,21 %. pri čase 2200 až 2300 µs vstúpila na hodnoty -3,85 až -3,87 % a pri 2400 µs klesla späť na -3,22 %. Detekcia objektu skončila pri čase 2600 µs s hodnotou -3,45 %.



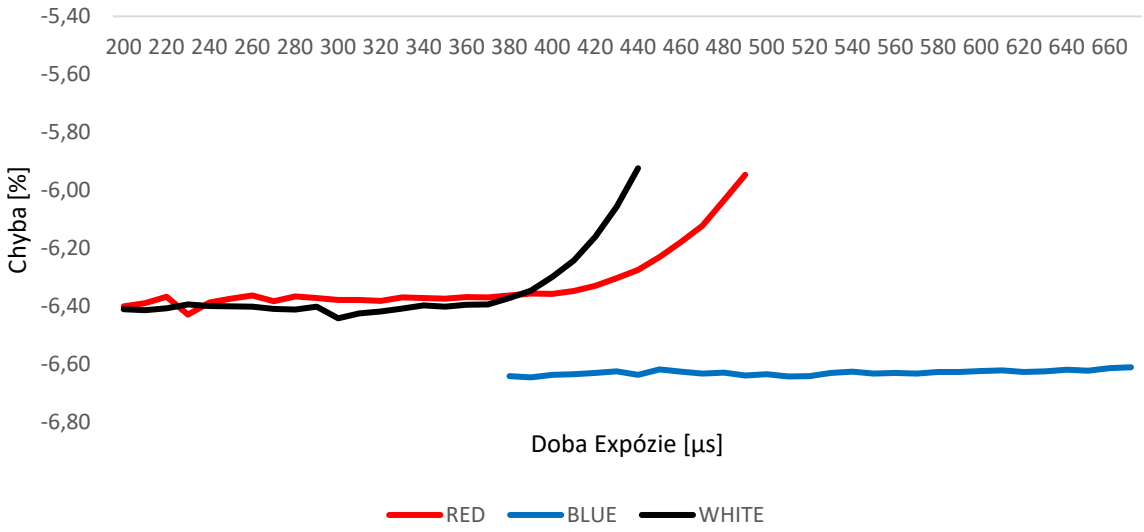
Obr. 12 Priebehy chýb pri bielom nasvietení a pozitívnym prechodom
Fig. 12 Error progression for white Flash and positive transitions

Merania v pozitívnom prechode dopadli rôzne. Pri segmente 0001 a 0010 algoritmus dokázal detegovať objekt len v časoch od 600 µs po 1600 µs. Pri segmente 0001 chyba postupne vystúpila z -0,56 % na -1,09 % pri čase 1500 µs a nakoniec pri čase 1600 µs klesla na -0,60 %. Zase naopak, pri segmente 0010 chyba klesala z -2,21 % pri 700 µs na -1,88 % pri 1200 µs a tam začala znovu stúpať na -2,38 % pri 1600 µs. Pri segmente 0100 dokázal objekt detegovať dlhšiu dobu. Od 800 µs sme namerali chybu 0,78 %. Potom sa nameraný priemer neustále znižoval. Pri 1400 µs dosiahla chyba hodnotu 0,08 % a ďalej chyba skočila do mínusových hodnôt. Pri 2700 µs dosiahla chyba hodnotu -4,50 % a algoritmus už ďalej nevedel zdetegovať objekt. Najdlhšie však dokázal objekt detegovať pri segmente 1000. Od 600 µs sme namerali chybu 3,14 %. Nameraný priemer potom znovu klesal a pri 3500 µs sme namerali chybu -5,27 %. Pri 1600 µs chyba prekročila nulu,

Meranie pri nasvietení objektu všetkými segmentami.

Keď boli zapnuté všetky segmenty, sa chyba zvyšovaním doby expozície pohybovala opačnými smermi pri pozitívnom a pri negatívnom prechode. Ale iba pri červenom a bielom nasvietení. Pri modrom, sa chyba držala v jednom rozsahu s odchýlkami.

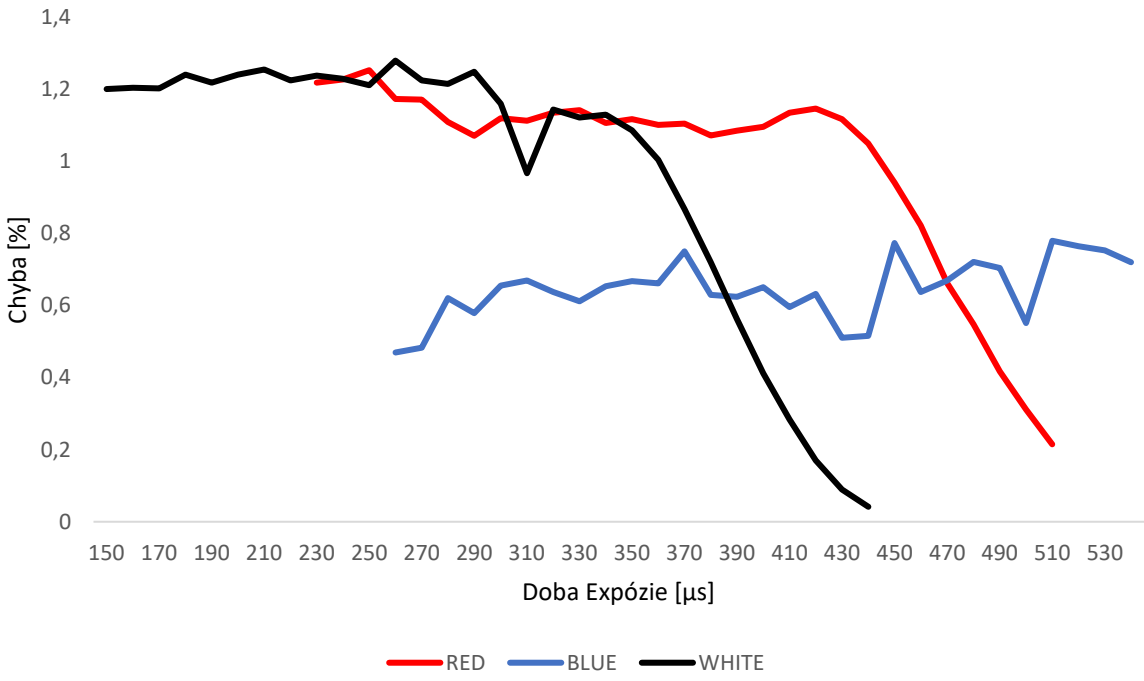
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 13 Priebehy chýb pre všetky segmenty nasvietenia a negatívnym prechodom

Fig. 13 Error progress for all flash segments and the final transition

Pri červenom a bielom nasvietení algoritmus zaznamenal objekt naraz pri 200 µs a s hodnotou 6,40 %. Táto hodnota sa držala na podobnej úrovni. Pri červenom, nasvietení začala chyba klesať od 440 µs. Postupne sa ustálila až pri 530 µs kde dosiahla hodnotu -5,95 %. Pri bielom nasvietení začala klesať pri 370 µs a pri 440 µs algoritmus prestal detegovať objekt s chybou -5,92 %. S modrým nasvietením bol objekt detegovaný pri 380 µs z chybou -6,64 % a na veľmi podobnej hodnote sa držala až po 660 µs.



Obr. 14 Priebehy chýb pre všetky segmenty nasvietenia a pozitívnym prechodom

Fig. 14 Error progress for all flash segments and positive transitions

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Pri pozitívnom prechode sa priebeh správal opačne. S bielym nasvietením bol objekt rozpoznaný pri 150 µs s chybou 1,20 %. Klesať začala 340 µs a o objekt už nebol rozpoznaný pri 440 µs z chybou 0,04 %. S červeným nasvietením bol objekt rozpoznaný pri 23 µs z chybou 1,22 %. Klesať začala pri 420 µs a skončila pri 510 µs s chybou 0,21 %. S modrým nasvietením bo objekt zdetegovaný až pri 260 µs s chybou 0,47 %. Odvtedy sa Chyba držala v rozmedzí s touto hodnotou a 0,78 %. Objekt prestal byť detegovaný pri 540 µs s chybou 0,72 %.

4 Záver

Z meraní sme zistili, že pri negatívnom prechode na presnosť merania nemala vplyv dĺžka času expozície, pretože hodnoty chýb sa pohybovali v malom rozsahu s miernymi odchýlkami. Najväčší vplyv na chyby merania rozmeru objektu malo nasvietenie jednotlivými segmantami, pretože meraný objekt nebol umiestnení presne v strede fotky a nasvietenie vytvorilo iný tieň pri každom segmente. Pri pozitívnom prechode sa hodnoty chýb takisto pohybovali v približne rovnakom rozsahu, ale od určitej dĺžky expozície začali hodnoty rýchlejšie klesať. Pri každej farbe nasvietenia to bolo pri inom čase a nie pri každom segmente bol algoritmus schopný objekt rozpoznať v danom čase. Keď boli zapnuté všetky segmenty naraz, objekt na fotke nemal tieň a preto aj merania dopadli inak. Pri modrom nasvietení doba expozície nemala vplyv na výsledky meraní. Keďže modré nasvietenie nevytvorilo toľko svetla ako červené a biele, začal detegovať objekt až pri dlhšej dobe expozície a chyba sa držala v určitom rozsahu. Pri pozitívnom prechode bol tento rozsah väčší, ako pri negatívnom prechode. Pri červenom a bielom nasvietení sa chyby držali v malom rozsahu, no pri dlhšom čase expozície sa pri negatívnom prechode nemeraný priemer zmenšoval a pri pozitívnom zvyšoval. To znamená, že keď sa algoritmus neriadil tieňom, ale dobre nesvetlenými okrajmi čas expozície mal pozitívny vplyv na presnosť merania. Pri pozitívnom prechode príliš dlhý čas expozície spôsobil, že presnosť sa začala opäť zhoršovať.

5 Literatúra

TÓTH, ladislav – HRUBÝ, dušan – CVIKLOVIČ, vladimír - OLEJÁR, martin. 2017. Algorithms of autonomous mobile robots. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita. 132 s. ISBN 978-80-552-1681-2

VSS112R22.053P-000 Datasheet [online]. Dostupné na: <https://www.br-automation.com/cs/produkty/strojove-videni/smart-kamery/smart-sensor/vss112r22053p-000/>.

Súhrn

Hlavným cieľom tejto práce je preskúmať, ako dĺžka expozičného času ovplyvňuje presnosť merania vybraného objektu pomocou priemyselnej kamery od spoločnosti B&R. Táto kamera je uložená v zatemnenom boxe, aby výsledky merania neboli ovplyvnené vonkajším svetlom, a je riadená PLC tiež od spoločnosti B&R. Dĺžka expozičného času sa nastavuje v aplikácii HMI softvéru Automation studio. Výsledkom meraní sú grafy, ktoré popisujú, či sa chyba merania zmenšila alebo zväčšila pri zmene času expozície.

Kľúčové slová: Čas expozície, Priemyselná kamera, B&R, Automation studio

Implementácia technológií Priemyslu 4.0 do výučby inžinierskeho študijného programu "Riadiace systémy vo výrobnej technike", KEGA 006SPU-4/2021.

MERANIE SPOĽAHLIVOSTI ULTRAZVUKOVÉHO SNÍMAČA VZDIALENOSTI
MEASUREMENT OF THE RELIABILITY OF AN ULTRASONIC DISTANCE SENSOR

ĽUBOMÍR BÉGER[1] – VLADIMÍR CVIKLOVIČ[2]

Abstract

This work focuses on the measurement of objects with various dimensions, shapes, and materials in order to verify the reliability of their detection. The goal of the work is to create a protocol that provides information on the measurement and detection of objects with different parameters and serves as a guide for use in autonomous mobile robotics and various applications. In addition, this work focuses on comparing the outputs of existing reversing ultrasonic distance sensors in cars with the results of measurements from this protocol and identifying situations where other detection methods are needed. As part of the work, we developed an automated measuring system consisting of several components, including a stepper motor and microcontroller Arduino, which partially automated the entire measurement process. This system allowed us to obtain reliable and accurate measurement results and helped us better understand the reliability of existing reversing sensors in cars.

Key words: Ultrasonic distance sensor, Microcontroller, Measurements

1 Úvod

Táto práca sa zameriava na problematiku merania objektov rôznych rozmerov, tvarov a materiálov s cieľom overenia spoľahlivosti ich detekcie. Cieľom tejto práce je vyhotovenie protokolu, ktorý bude obsahovať informácie o meraní a detekcii objektov s rôznymi parametrami. Protokol bude slúžiť ako podklad použitia snímačov v autonómnej mobilnej robotike a bude definovať rozsah použitia v rôznych aplikáciách. Práca sa zameriava aj na porovnanie výstupov existujúcich cúvacích snímačov v automobiloch s výsledkami meraní z tohto protokolu. Výsledky tejto práce pomôžu pochopiť, v akých prípadoch sa nie je možné spoľahnúť na výstupy existujúcich cúvacích snímačov v automobiloch a kedy je potrebné použiť iné metódy detekcie.

V rámci tejto práce sme tiež vyvinuli automatizovaný merací systém, ktorý nám výrazne uľahčil a spresnil testovanie snímača. Tento merací systém sa skladal z niekoľkých komponentov. Použili sme krokový motor, ktorý zabezpečoval presné pohyby snímača a umožňoval presné a opakovateľné zmeny uhlov snímania. Všetky merania a riadenie krokového motora a snímača sme realizovali pomocou platformy Arduino, čo umožnilo čiastočne automatizovať celý proces merania. Tento automatizovaný merací systém nám umožnil získať spoľahlivé a presné výsledky meraní, ktoré sme následne použili na zistenie spoľahlivosti snímača.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

2 Materiál a metódy

Prvým krokom pri zhotovovaní protokolu o meraní bude naštudovanie spôsobu fungovania ultrazvukového snímača na meranie vzdialenosti. Nasledovalo vyčlenenie meraných predmetov, aby sme pokryli čo najviac možných predmetov vyskytujúcich sa v premávke. Ďalším krokom k zhotoveniu protokolu o meraní a detekcií objektov bolo navrhnutie automatizovaného meracieho systému ktorý nám spresní a zjednoduší následné merania a umožní nám ich jednoduchú reprodukovateľnosť. Posledným krokom je zbieranie údajov a ich následné spracovanie.

Ultrazvukový senzor HC-SR04

HC-SR04 ultrazvukový senzor používa sonar na určenie vzdialenosti objektu rovnako ako netopiere. Ponúka vynikajúcu bezkontaktnú detekciu vzdialenosti s vysokou presnosťou do 0,3 cm a so schopnosťou merať na vzdialenosť od 2 cm do 400 cm. Meranie nie je ovplyvnené slnečným žiarením alebo čiernym materiálom, hoci môže byť ťažké zistiť mäkké materiály, ako je látka. Je vybavený vysielacím a aj prijímacím modulom. Ultrazvukový snímač používa odraz zvuku pri ktorom získa čas medzi vyslanou a prijatou vlnou. Získaný čas sa vynásobí rýchlosťou zvuku vo vzduchu, a to nám určí vzdialenosť medzi snímačom a prekážkou (Mutinda, 2020).

Tab. 1 Charakteristiky ultrazvukového senzora HC-SR04 (HC-SR04, 2014)
Tab. 1 Characteristics of the Arduino SMD programming board (HC-SR04, 2014)

Operačné napätie	3,8 – 5,5 V
Frekvencia ultrazvuku	40 kHz
Maximálna vzdialenosť	400 cm
Minimálna vzdialenosť	2 cm
Spúšťací impulz	10 µs
Uhol detekcie	15°



Obr. 1 Ultrazvukový senzor HC-SR04 (HC-SR04, 2014)
Fig. 1 Ultrasonic Sensor HC-SR04 (HC-SR04, 2014)

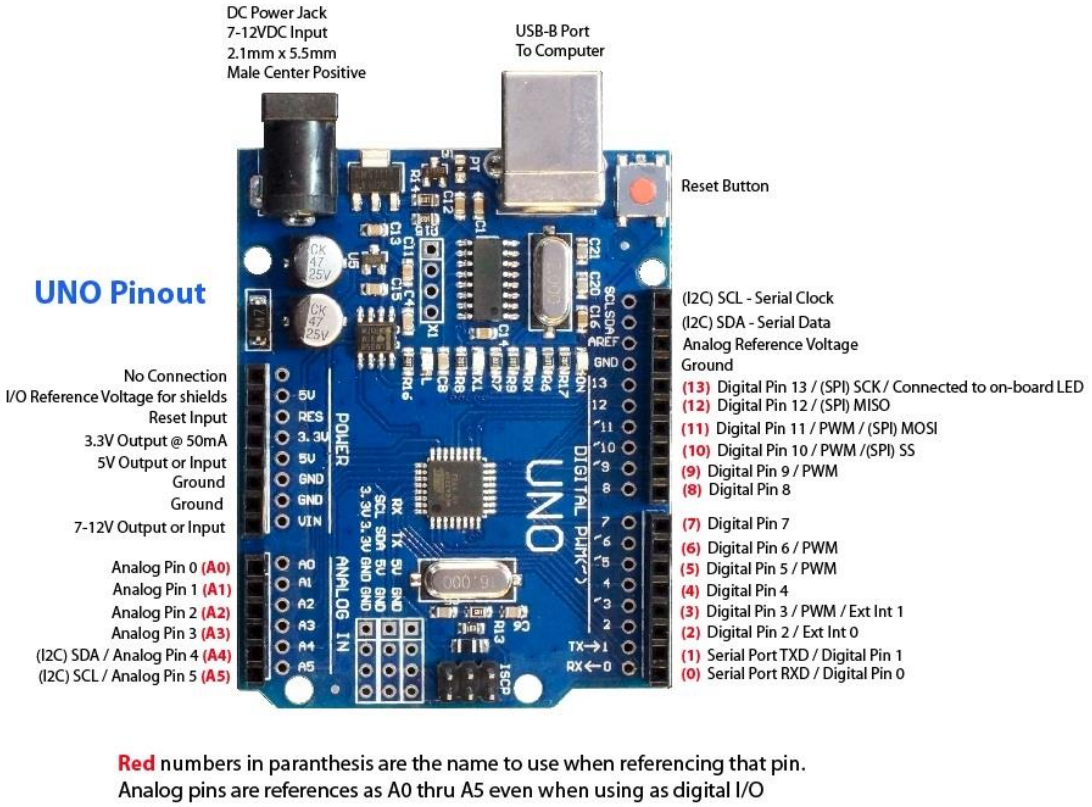
Mikrokontrolér

Arduino SMD doska je elektronická platforma, ktorá obsahuje mikrokontrolér a množstvo vstupov a výstupov, ktoré umožňujú pripojenie a ovládanie rôznych periférií. Jedná sa o malú, ale veľmi výkonnú a flexibilnú dosku, ktorú možno využiť v mnohých oblastiach. V našom prípade sa Arduino SMD doska použije na riadenie automatizovaného meracieho systému a posielania údajov do počítača.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Tab. 2 Charakteristiky programovacej dosky Arduino SMD
Tab. 2 Characteristics of the Arduino SMD programming board

Maximálne napätia na vstupno/výstupných pinoch	5 V
Napájanie dosky	7 – 12 V
Napájanie dosky cez USB	5 V
Digitálne vstupno/výstupné piny	14
Analógové piny	6
DC prúd na vstupno/výstupných pinoch	20 mA
DC prúd z 3,3 V pinu	50 mA
Frekvencia mikroprocesora	16 MHz
Mikrokontrolér	ATmega328
Prevodník	CH340G



Obr. 2 Programovacia doska Arduino SMD
Fig. 2 Arduino SMD programming board

Budič krokového motora

Integrovaný obvod A4988 je integrovaný obvod určený na pohyb krokových motorov, ktorý umožňuje presné a rýchle riadenie polohy motorov. A4988 dokáže pracovať s mikrokrokovým režimom, ktorý umožňuje motorom plynulejší pohyb a zlepšuje ich presnosť. Tento budič tiež umožňuje nastavenie maximálnej prúdovej hranice pre krokové motory, čo zvyšuje ich životnosť a chráni ich pred poškodením. Tiež má možnosť zapnutia a vypnutia motora pomocou logického signálu čo zjednodušuje jeho ovládanie.

V našom prípade sme použili budič v mikrokrokovom režime, ktorý nám dokáže jeden krok motora rozdeliť na 16 mikrokrokov. Tým docielime väčšiu plynulosť a väčšiu presnosť nastavenia uhla.

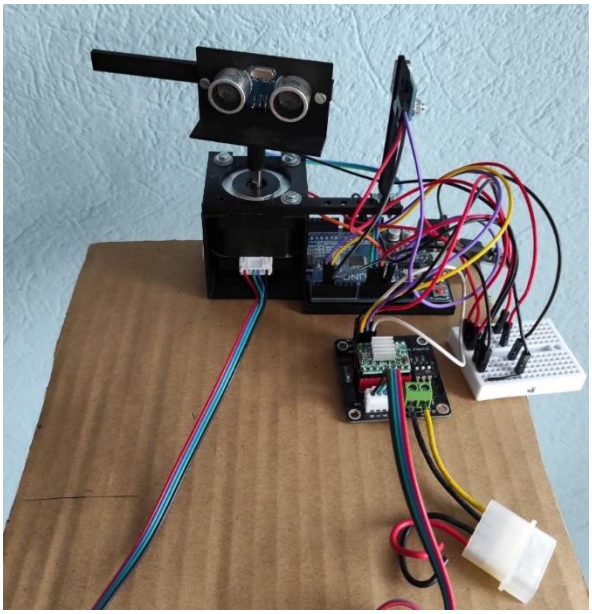
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Krokový motor

NEMA17 17HS3401 je jeden z modelov krokových motorov NEMA 17, ktorý sa používa v mnohých aplikáciách vrátane 3D tlačiarní, CNC strojov a robotických systémov. Je to unipolárny motor s 4 fázami a 1,8 stupňovým krokom. Maximálny prúd vinutia je 1,33 A.

Metodika

Meranie bude zhotovované pomocou experimentálnej platformy, ktorá bude zhotovená na meranie pomocou jedného ultrazvukového snímača. Ako môžeme vidieť na obrázku 3**,** platforma sa skladá zo 4 hlavných komponentov: ultrazvukového snímača, krokového motora, ovládacej jednotky a počítača. Ovládacou jednotkou je Arduino UNO, ktoré vysiela sériu impulzov do snímača a následným zachytávaním spätných signálov dokáže vypočítať výslednú vzdialenosť. Krokový motor bude slúžiť na zmenu uhla snímača voči prekážke. Komunikácia medzi PC a Arduinom bude prebiehať prostredníctvom USB. Na spracovanie údajov budeme používať aplikáciu MS Excel.



Obr. 3 Meracia platforma
Fig. 3 Measuring platform

Meraním sa budeme snažiť pochopiť presnosť zachytenia pre rôzne objekty, ktoré sa môžu vyskytnúť v premávke. Pri meraní budú zohľadnené štyri charakteristiky objektov vrátane tvaru, materiálu povrchu, vzdialenosti a uhla objektu voči stredovej osi snímača. Vzdialenosť objektu od snímača sa bude pohybovať od 0,1 m do 2,5 m v intervale 0,1 m a vystredenie snímača od +15,3° do -15,3° v intervale 0,9°. V pod každým uhlom sa vykoná 10 meraní, z ktorých sa následne vytvorí priemer. Získané hodnoty porovnáme s reálnymi. Zasadíme ich do grafu, z ktorého budeme vedieť vyčítať presnosť, prípadne schopnosť detekcie objektu snímačom v rôznych polohách. Z toho budeme vedieť vyvodiť výsledky či by sme odporúčali používať vybraný snímač v autonómnej mobilnej robotike alebo nie. Z hľadiska prostredia sme zvolili učebňu s dostatočným priestorom, aby nám okolité objekty neovplyvnili meranie. So stálou teplotou a bez hluku. V meraní sme sa rozhodli nezohľadniť teplotu okolia a tlak, keďže nám ide v meraní o presnosť samotného snímača.

Účastníci cestnej premávky a objekty vyskytujúce sa v nej, budú rozdelené do skupín podľa ich tvaru a vlastností povrchového materiálu. K tenkej paličke by sme mohli zaradiť napríklad pletivo, prípadne značky. K valcu napríklad človeka alebo strom a k plochému povrchu auto. A tak isto by sme vedeli rozdeliť aj materiál ktorým boli jednotlivé predmety

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

obalené na látku, kov a plast. Týchto 9 objektov (3 tvary, 3 povrchové materiály) boli merané tým istých ultrazvukovým snímačom, vždy v rovnakých vzdialenostiach aj pod rovnakým uhlom. Touto kategorizáciou môžeme predpokladať pokrytie väčšiny účastníkov cestnej premávky a tak isto aj objektov, ktoré by sa mohli v nej vyskytnúť.



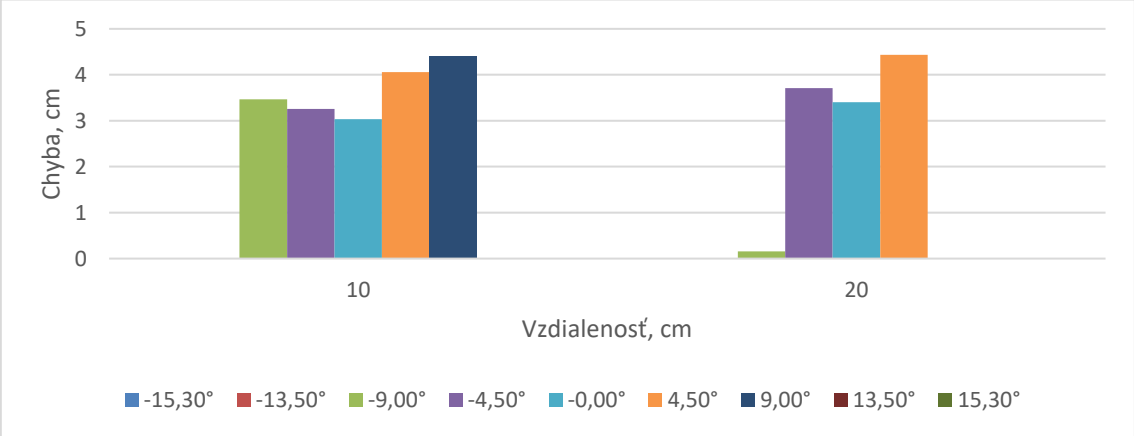
Obr. 4 Testované objekty
Fig. 4 Tested objects

3 Výsledky

Zistili sme že schopnosť senzora čo i len detegovať predmet je dosť závislá od jeho rozmerov a taktiež materiálu z ktorého je vyrobený.

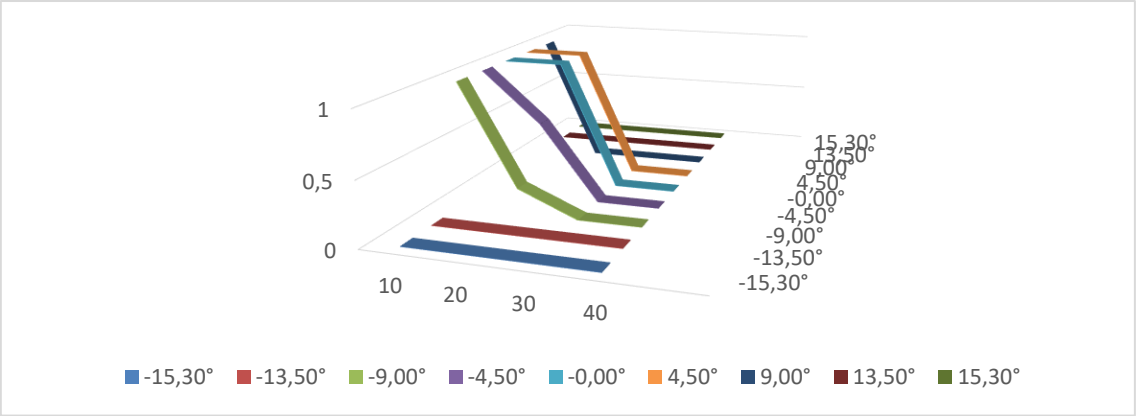
Kovová palička

Kovovú paličku sa nám podarilo namerať pri maximálnej vzdialenosti 20 cm v rozsahu -9° až 9°. Najväčšia odchýlka počas merania dosiahla takmer 4,5cm.



Obr. 5 Kovová palička, odchýlka
Fig. 5 Metal stick, deviation

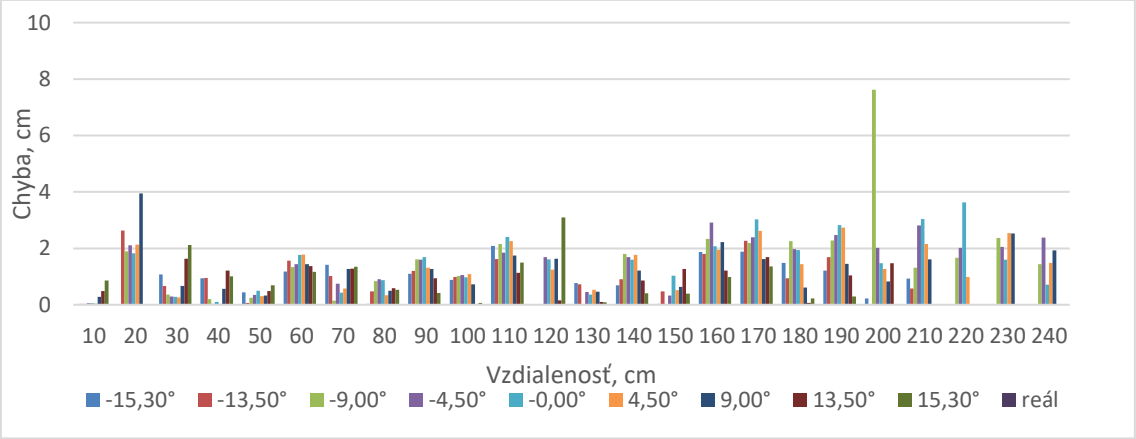
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



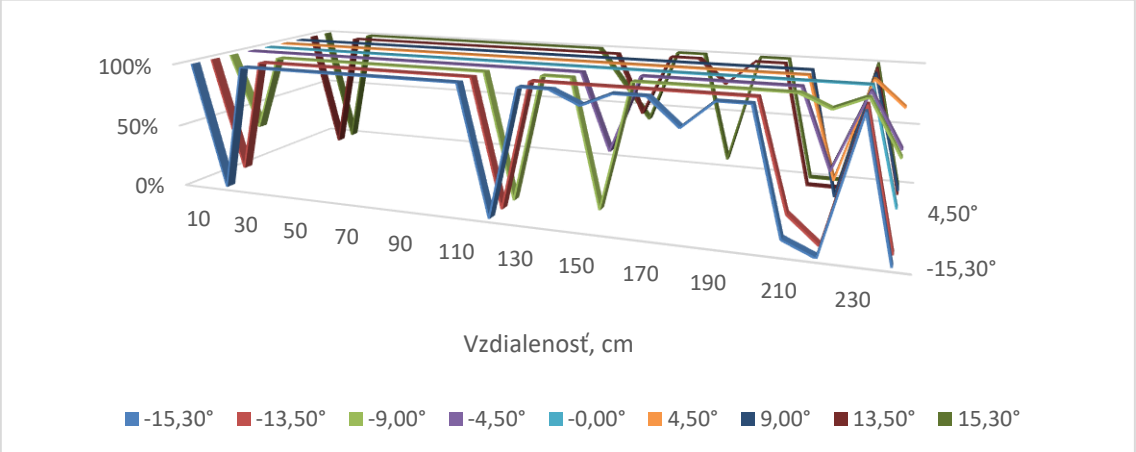
Obr. 6 Kovová palička, pravdepodobnosť detekcie
Fig. 6 Metal stick, probability of detection

Kovová trubka

Kovovú trubku snímač dokázal detegovať, aj napriek obmedzenejšiemu rozsahu uhlov, až do samotného konca merania. Odchýlky pri meraní dosahovali hodnotu maximálne 4 cm okrem jedného výraznejšieho výkyvu až 7,5 cm. Prvé problémy začal mať už pri vzdialenosti 20 cm.



Obr. 7 Kovová trubka, odchýlka
Fig. 7 Metal thick rod, deviation

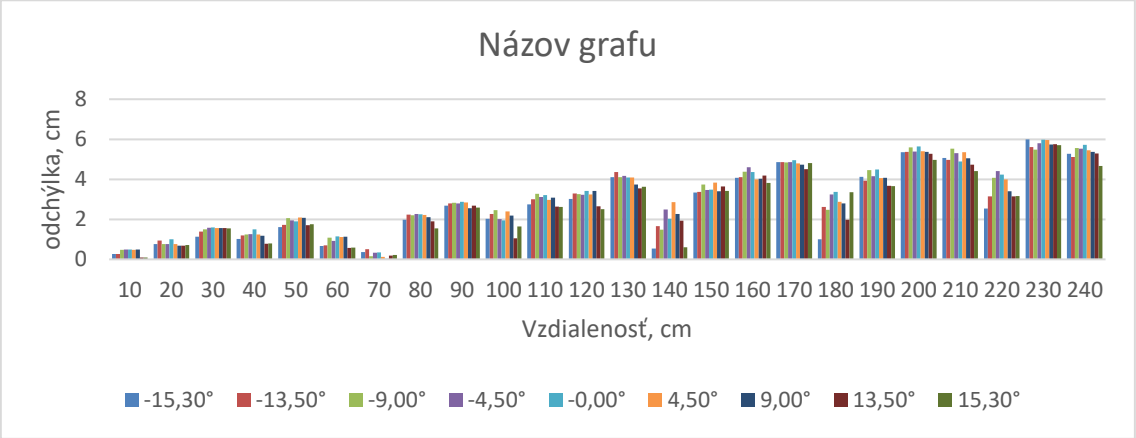


Obr. 8 Kovová trubka, pravdepodobnosť detekcie
Fig. 8 Metal thick rod, probability of detection

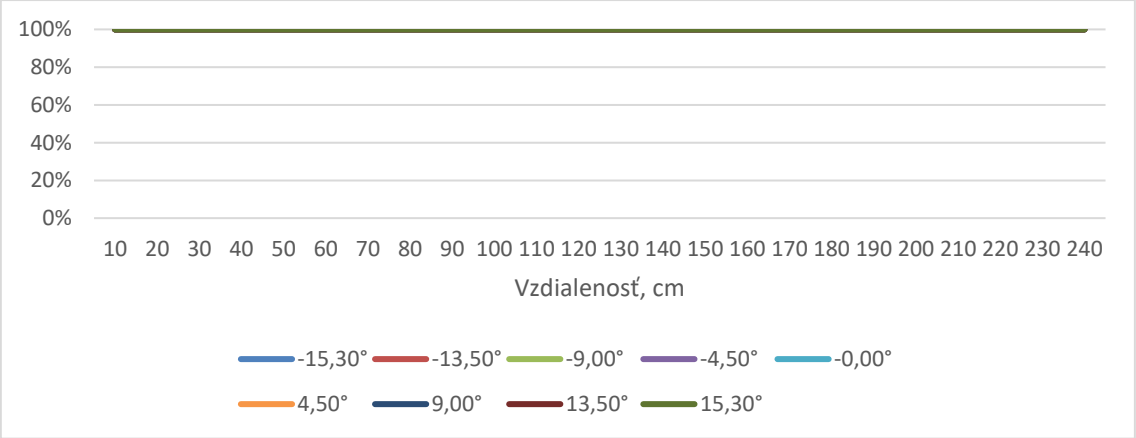
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Kovová doska

Ako môžeme v grafoch vidieť, na kovovú dosku snímač reagoval veľmi presne. Počas celého merania ju vždy detegoval. Najväčšia odchýlka od reálnej hodnoty bola až 6 cm čo sa vymyká výrobcom stanovenej presnosti 3 mm.



Obr. 9 Kovová doska, odchýlka
Fig. 9 Metal flat surface, deviation



Obr. 10 Kovová doska, pravdepodobnosť detekcie
Fig. 10 Metal flat surface, probability of detection

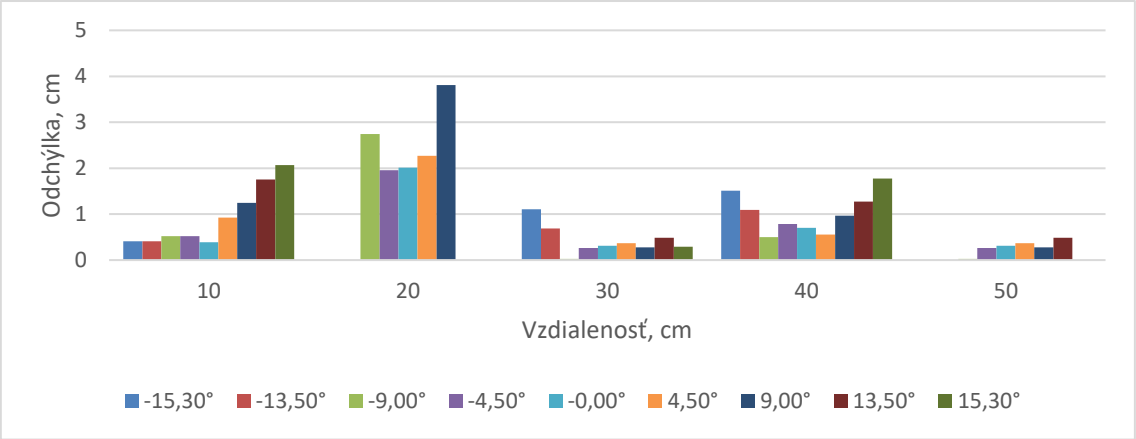
Látková Palička

Látkovú paličku senzor nebol vôbec schopný detegovať. Z toho dôvodu sme neuviedli ani graf.

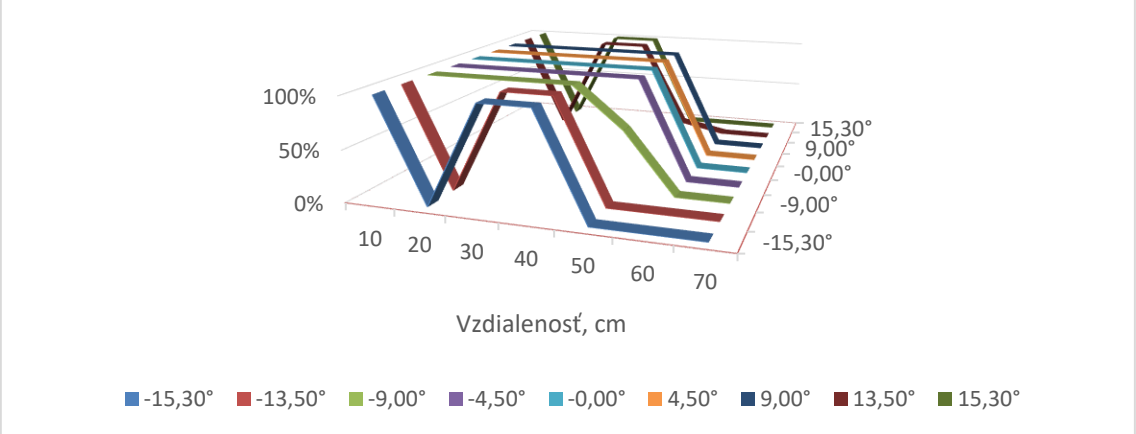
Látková trubka

Ako môžeme vidieť látková trubka už bola o niečo úspešnejšia a podarilo sa nám ju detegovať až do vzdialenosti 50 cm. Čo je samozrejme dosť málo oproti výrobcom uvedeným 500 cm. Ale ako môžeme vidieť na grafe, ani pri 50 cm nebol snímač dostatočne spoľahlivý a schopnosť detegovať predmet niekedy klesla na 10 %. Odchýlku pri meraní sme mohli pozorovať okolo 4 cm.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



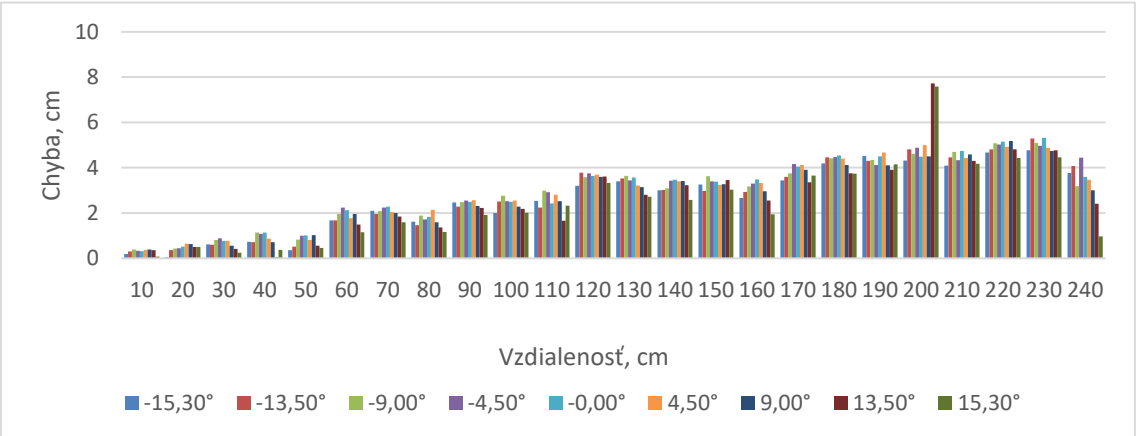
Obr. 11 Látková trubka, odchýlka
Fig. 11 Cloth thick rod, deviation



Obr. 12 Látková trubka, pravdepodobnosť detekcie
Fig. 12 Cloth thick rod, probability of detection

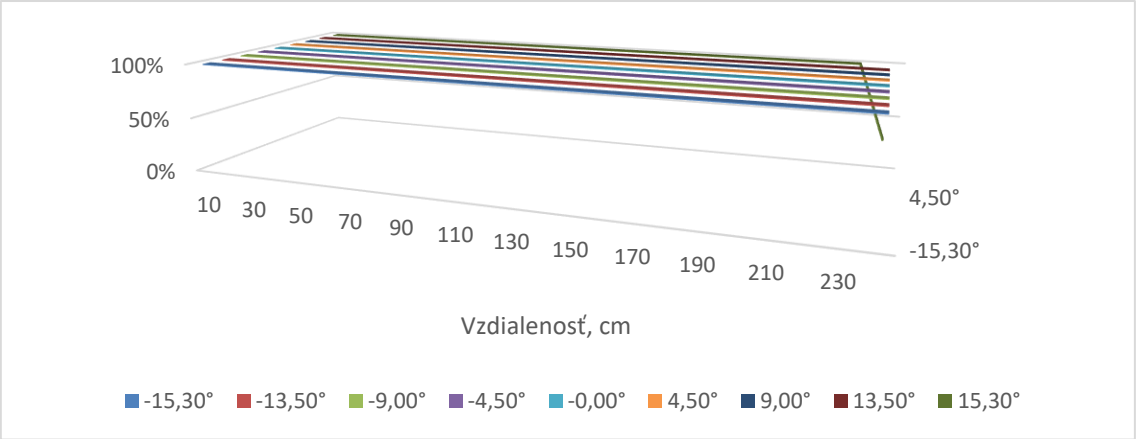
Látková doska

Môžeme si všimnúť, že nám látkovú dosku senzor takmer vždy detegoval. Počas celého merania nám pravdepodobnosť detekcie klesla iba raz na 30 % počas merania pod uhlom 15,3 % vo vzdialenosti 240 cm. Čo sa týka samotnej presnosti merania, opäť sme mohli pozorovať výkyvy merania až do hodnoty takmer 8 cm.



Obr. 13 Látková doska, odchýlka
Fig. 13 Cloth flat surface, deviation

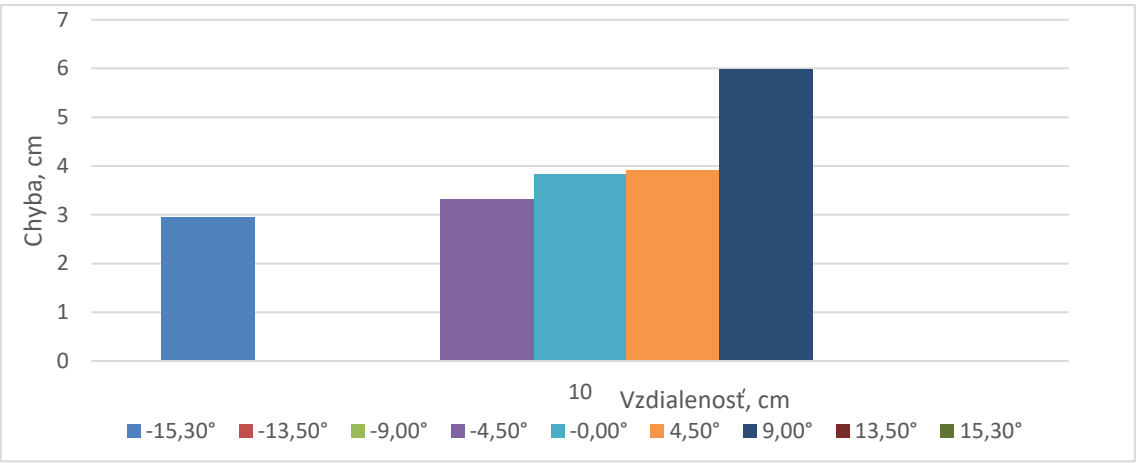
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



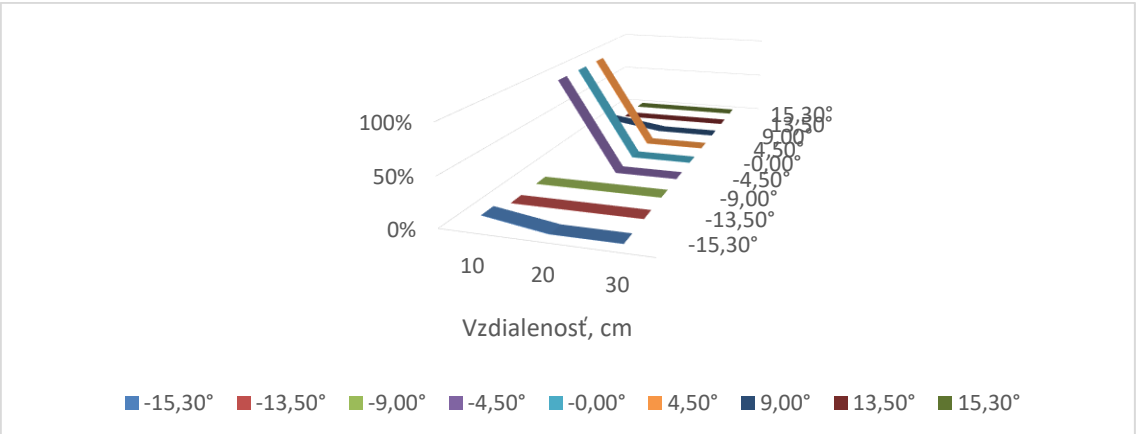
Obr. 14 Látková doska, pravdepodobnosť detekcie
Fig. 14 Cloth flat surface, probability of detection

Plastová palička

Plastovú paličku sa nám podarilo namerať do vzdialenosti 10 cm. Napriek tomu, že prebehlo len jedno meranie, chybu nám vykázalo až 6 cm.



Obr. 15 Plastová palička, odchýlka
Fig. 15 Plastic stick, deviation

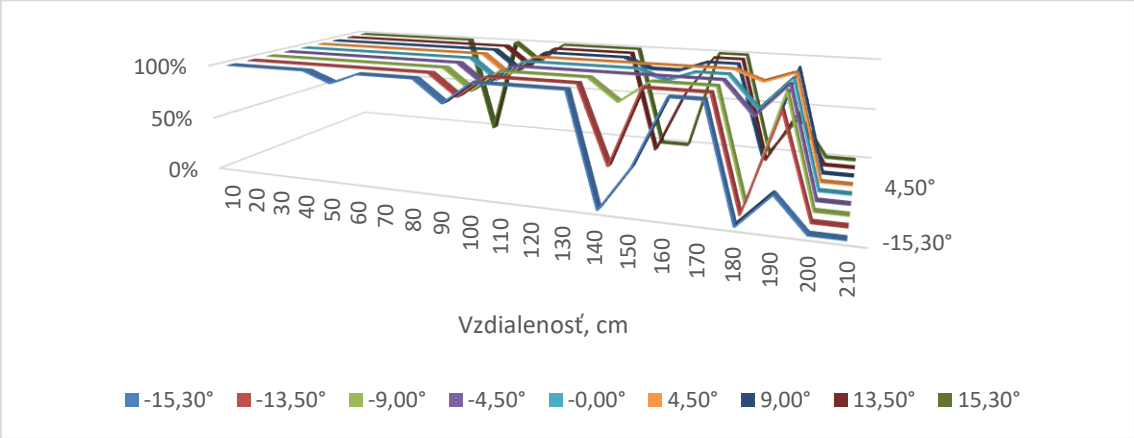


Obr. 16 Plastová palička, pravdepodobnosť detekcie
Fig. 16 Plastic stick, probability of detection

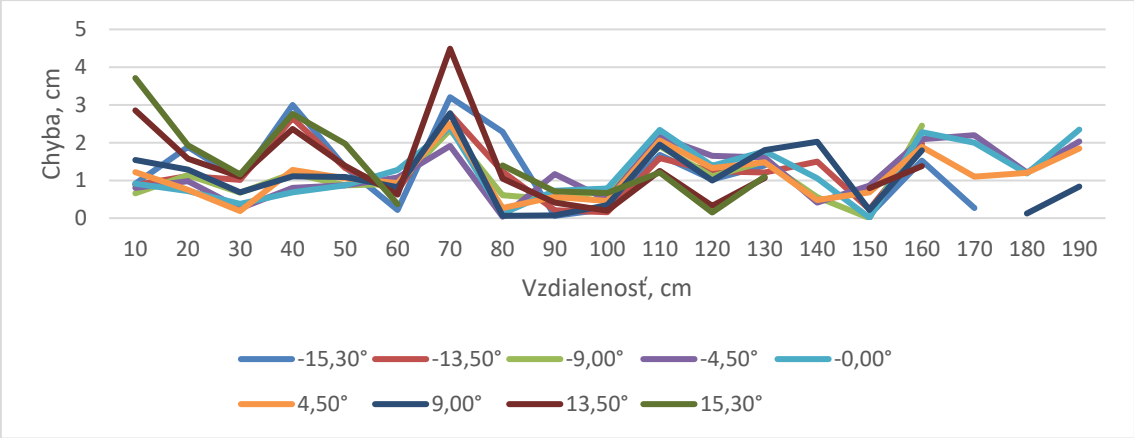
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Plastová trubka

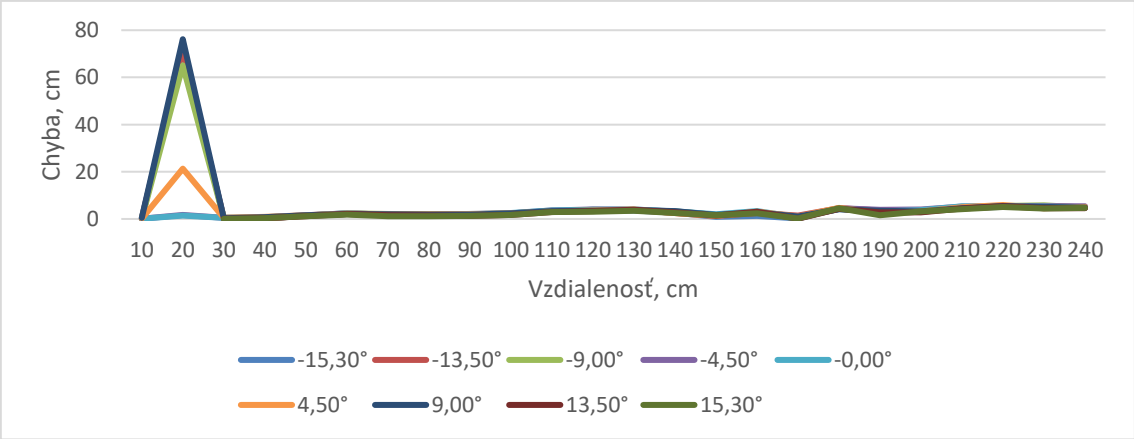
Plastovú trubku sa nám nepodarilo detegovať pri vzdialenosti 200 cm. Prvý výraznejší problém s detekciou sme zaznamenali pri 70 cm pod uhlom 15,3°. Čo sa týka odchýlok merania, najväčšia bola 4,5 cm.



Obr. 17 Plastová trubka, odchýlka
Fig. 17 Plastic thick rod, deviation



Obr. 18 Plastová trubka, pravdepodobnosť detekcie
Fig. 18 Plastic thick rod, chance of detection

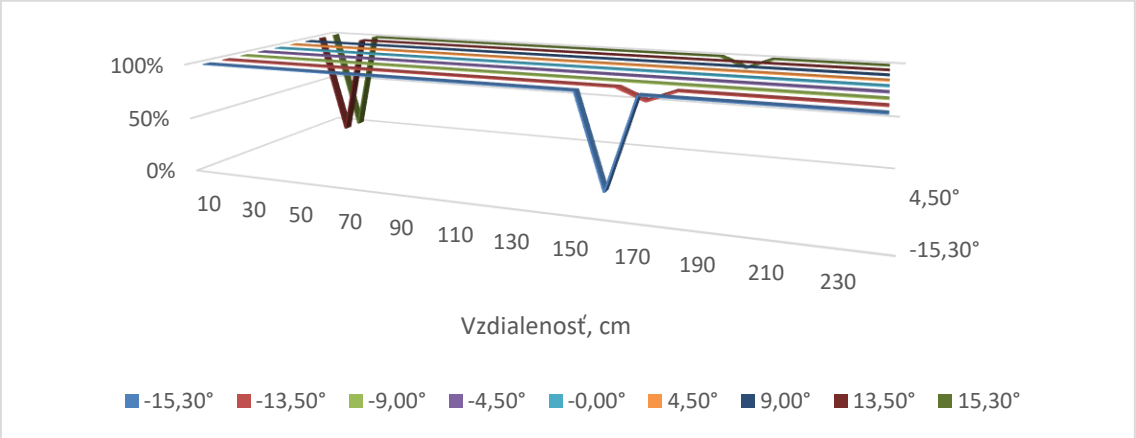


Obr. 19 Plastová doska, odchýlka
Fig. 19 Plastic flat surface, deviation

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Plastová doska

Pri plastovej doske sa nám v 20 cm stalo, že nám pri niektorých uhloch snímač odmeral vzdialenosť až 90 cm. Okrem tejto extrémnej hodnoty mal snímač problém detegovať objekt ešte jeden krát, a to vo vzdialenosti 160 cm pod uhlom 15,3°. Vtedy sa nám podarilo objekt namerať iba v 20 % prípadov. V ostatných meraniach snímač dosku detegoval. Čo sa týka presnosti, odhliadnuc od excesu v 20 cm, tak nám snímač meral s maximálne 6 cm odchýlkou. Nezhodovalo sa to však presnosťou, ktorú udával výrobca.



Obr. 20 Plastová doska, pravdepodobnosť detekcie
Fig. 20 Plastic flat surface, probability of detection

Týmto meraním sme dokázali nepresnosť snímačov ultrazvuku. Aj napriek tomu, že pri plochých predmetoch snímač nemá problém s detekciou. V prípadoch, ak sa jedná o predmety, ktoré sú menšie, prípadne sú vyrobené z materiálov, ktoré pohlcujú vlnenie tak nám snímač prestáva reagovať. Neodporúčam použitie v autonómnej robotike z dôvodu nespoľahlivosti zachytávať predmety vyrobené z látky a predmety s menšími rozmermi. V nevyhnutnom prípade by som snímač odporučil doplniť o iný spôsob detekcie. Ako orientačný parkovací snímač pre vozidlo s ľudskou posádkou by sa použiť dal za predpokladu, že vodič bude mať celú dobu pod kontrolou a v prípade nečakanej situácie by mohol zasiahnuť.

Čo sa týka presnosti snímača, v každom meraní presiahla úroveň stanovenú výrobcom. Tieto nedokonalosti v meraní by sa možno dali čiastočne vyriešiť doplnením snímača tlaku a teploty vzduchu. Následne by sa dalo ešte zasiahnuť softvérovo a pridať napríklad Kalmanov filter.

4 Záver

V závere práce by som uviedol, že výsledky meraní pomocou navrhnutého zariadenia boli úspešné a poskytli spoľahlivé informácie o detekcii objektov rôznych geometrických parametrov a materiálov. Tento príspevok môže byť použitý ako podklad pre použitie v autonómnej mobilnej robotike a v iných aplikáciách. Okrem toho sme porovnali výstupy existujúcich cúvacích snímačov v automobiloch s výsledkami meraní z tohto protokolu a identifikovali situácie, kedy je potrebné použiť iné metódy detekcie. Automatizovaný merací systém, ktorý sme vyvinuli umožnil čiastočne automatizovať celý proces merania a poskytol spoľahlivé a presné výsledky meraní. Celkovo sme lepšie pochopili spoľahlivosť existujúcich cúvacích snímačov v automobiloch a navrhli novú metódu na meranie a detekciu objektov rôznych parametrov a materiálov.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

5 Literatúra

MUTINDA, Mutava. Gabriel. 2020. Arduino Uno, Ultrasonic Sensor HC-SR04 Motion Detector with Display of Distance in the LCD. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) [online], vol 9, no. 5, s. 936-942. [cit. 2022-07-24]. ISSN: 2278-0181. Dostupné na: <https://pdfs.semanticscholar.org/ed65/f45794d2223e83cf0037a807c6f0756ff373.pdf>.

HC-SR04 Datasheet [online]. [cit. 2023-03-30]. Dostupné na: <https://datasheetspdf.com/pdf/1380136/ETC/HC-SR04/1>.

Súhrn

Táto práca sa zameriava na meranie objektov rôznych rozmerov, tvarov a materiálov s cieľom overenia spoľahlivosti ich detekcie. Cieľom práce je vytvoriť zariadenie, ktoré poskytne informácie o meraní a detekcii objektov s rôznymi parametrami a bude slúžiť ako podklad pre použitie v autonómnej mobilnej robotike a v rôznych aplikáciách. Okrem toho, táto práca sa zameriava na porovnanie výstupov existujúcich cúvacích ultrazvukových snímačov v automobiloch s výsledkami meraní a identifikáciu situácií, kedy treba použiť iné metódy detekcie. V rámci práce sme vyvinuli automatizovaný merací systém, ktorý sa skladal z niekoľkých komponentov vrátane krokového motora a mikrokontroléra Arduino. Toto umožnilo čiastočne automatizovať celý proces merania. Prostredníctvom navrhnutého systému sme získali spoľahlivé a presné výsledky meraní, ktoré pomáhajú lepšie pochopiť spoľahlivosť existujúcich cúvacích snímačov v automobiloch.

Kľúčové slová: Ultrazvukový snímač vzdialenosti, mikrokontrolér, meranie

KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE REGULÁTORA OTÁČOK SPAĽOVACIEHO MOTORA
DESIGN SOLUTION OF THE COMBUSTION ENGINE SPEED REGULATOR

PETER DÁVID[1] - VLADIMÍR CVIKLOVIČ[2]

Abstract

Currently, automation affects every branch of industry and enables the sensing and management of key parameters of equipment, such as combustion engines. Since the task of the internal combustion engine is to supply energy in the form of torque, it is important that the engine operates at the correct speed. As the internal combustion engine cannot generate the maximum torque at lower speeds and in the case of greater load, the speed drops, it is necessary to regulate the engine speed.
The goal of our work is to create and simulate the design of the device, and then using 3D printing technology to create a prototype of the speed regulator of the Honda combustion engine type GX390. The thesis also contains technical drawings for individual parts and a plan for the assembly of the device.

Key words: Automation, regulator, revolutions, engine, Honda, GX390

1 Úvod

V súčasnosti sa automatizácia vyskytuje v rôznych aplikáciách v priemysle, poľnohospodárstve, stavebníctve a domácnostiach. Úlohou automatizácie je nahradenie ľudskej činnosti zariadením. Naša práca sa zaoberá problematikou regulácie otáčok spaľovacieho motora, používaného v malej poľnohospodárskej technike.
Spaľovací motor je tepelný stroj, ktorý spaľovaním paliva získava tepelnú energiu a využitím vhodného plynného média ju prevádza na mechanickú prácu. Energia plynného média je využívaná ako potenciálna energia (tlak spalín) u piestových spaľovacích motorov, energia sa prenáša na piest kľukového alebo obdobného mechanizmu. (Hromadko,2011)
Pri spaľovacom motore, ktorý je použitý ako zdroj energie pre iné zariadenie s premenlivým zaťažením, je dôležité regulovať otáčky motora. V prípade, že motor nedokáže vytvoriť dostatočný krútiaci moment, otáčky začnú klesať. Keďže takýto motor by pre správny chod vyžadoval obsluhu, je žiadúca automatizácia riadenia otáčok. Cieľom našej práce je vytvoriť konštrukčné riešenie regulátora otáčok, teda automatizovať daný proces, nakoľko v súčasnosti na trhu takéto zariadenie nie je dostupné. Akčnými členmi budú servo pohony, ktoré budú plniť úlohu pohybu klapkami karburátora spaľovacieho motora.
Elektrický servo pohon je elektromechanický systém, ktorý premieňa elektrickú energiu na mechanický pohyb. So servo pohonmi sa stretneme v rôznych oblastiach života, od domácich spotrebičov - napríklad práčok, cez obrábacie stroje, dopravné prostriedky, až po robotiku.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Mnohé aplikácie kladú na servo pohony vysoké nároky z hľadiska dynamiky, presnosti regulácie rýchlosti a polohovania, regulačného rozsahu, stability krútiaceho momentu a preťažiteľnosti. (Bélai, 2017)
Úlohu riadenia bude plniť mikroprocesor od spoločnosti SiliconLabs, ktorý je dostupný ako samotný čip alebo kompletný mikrokontrolér. Použitie samotného čipu od spoločnosti SiliconLabs umožňuje vývoj vlastného mikrokontroléra. Výsledkom našej práce teda bude prototyp zariadenia, využívajúceho spomenuté komponenty, a technická dokumentácia k danému zariadeniu.

2 Materiál a metódy

Pre dosiahnutie cieľa práce, a to vytvorenie konštrukčného riešenia regulátora otáčok spaľovacieho motora budeme postupovať podľa nasledovnej metodiky práce.

2.1 Charakteristika použitého materiálu

Ako akčné členy regulátora použijeme dva servopohony LD- 3015MG , ktoré disponujú rozsahom 270° , pričom jeden bude ovládať klapku akcelerátora a druhý klapku sýtiča. Riadenie akčných členov bude zabezpečovať mikroprocesor typu C8051f330 od výrobcu SiliconLabs, ktorý bude použitý na vlastnej základnej doske alebo ako kompletný mikrokontrolér od daného výrobcu.
Pri tlači navrhnutých dielov regulátora použijeme materiál PLA s priemerom 1,75 mm od výrobcu Verbatim. Technické parametre použitého materiálu sú uvedené v *tabuľke č.1* .

Tab. 1 Technická špecifikácia materiálu PLA od výrobcu Verbatim
Tab. 1 Technical specification of Verbatim PLA material

Vlastnosť	Hodnota stanovená výrobcom
Priemer materiálu	1,75 ± 0,3 mm
Hustota materiálu	1.24 g/cm3
Procesná teplota	200-220 °C
Teplota topenia	168 °C
Teplota extrúzie	210±10 °C
Teplota tlačovej podložky	60 °C
Pevnosť v ťahu	63 MPa
Rýchlosť tlače	30 mm/s

2.2 Charakteristika použitých prístrojov

Návrh zariadenia a jeho 3D model budeme realizovať na zariadení Lenovo Legion 15ACH6H s procesorom AMD Ryzen 5 5600H, operačnou pamäťou 16GB, grafickou kartou NVIDIA GeForce RTX3060 a operačným systémom Windows 11 v programe Autodesk Fusion360 a softvérom na tvorbu G-kódu pre 3D tlačiareň Ultimaker Cura. Na 3D tlač navrhnutého modelu zariadenia použijeme tlačiareň Creality Ender 5-Pro.

2.3 Charakteristika pracovných postupov

Na vytvorenie konštrukčného návrhu zariadenia bude potrebné si osvojiť znalosti z oboru technickej mechaniky, navrhovania a výpočtu prevodov. Následne prejdeme k tvorbe konceptu riadenia, pričom budeme brať do úvahy funkciu zariadenia, rozmerové, tvarové požiadavky, požiadavky na akčné členy a ich riadenie. Odmeriame kľúčové rozmery dielov motora, s ktorými budeme pracovať pri tvorbe modelov jednotlivých dielov regulátora.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Navrhneme prevod, s ktorým bude zariadenie pracovať podľa vzorca:

$$p_{prev} = \frac{\alpha_{vst}}{\alpha_{výst}} \quad (1)$$

Kde : p_{prev} – prevodový pomer
α_{vst} – vstupný rozsah pootočenia
$\alpha_{výst}$ – výstupný rozsah pootočenia

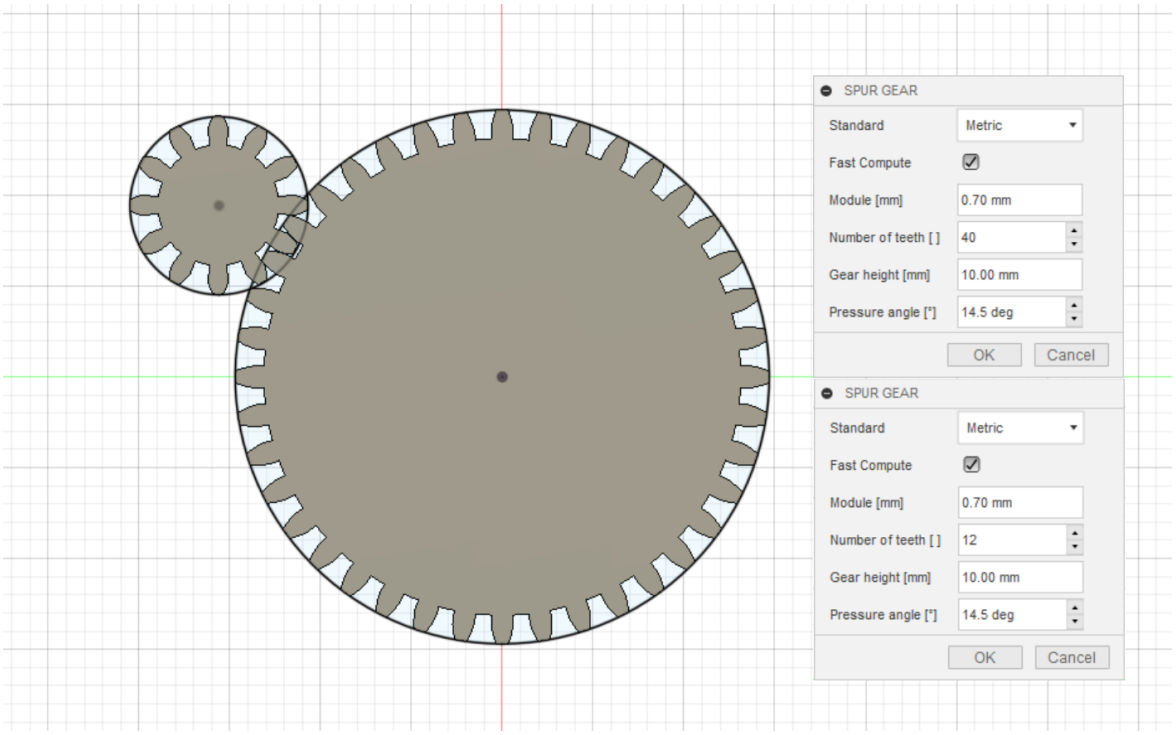
Where: p_{prev} – gear ratio
α_{vst} – input rotation range
$\alpha_{výst}$ – output rotation range

Ďalej sa budeme musieť oboznámiť s programom Autodesk Fusion360 a potrebnými funkciami modelovania, zostavovania a simulácie funkčnosti zostavy ako celku. Po oboznámení sa s daným programom navrhneme súčasti podľa konceptu a vytvoríme z nich funkčný celok. Keďže program Fusion360 umožňuje aj simuláciu zostavy, otestujeme funkčnosť navrhnutého zariadenia, prípadne vykonáme potrebné konštrukčné zmeny v návrhu. Po vytvorení finálneho návrhu zvážime možnosti výberu technológie 3D tlače a materiálu pre výrobu prototypu zariadenia. Následne prejdeme k práci v softvéri Ultimaker Cura, kde podľa navrhnutej technológie a materiálu vytvoríme G-kódy pre tlač jednotlivých dielov, pričom budeme brať do úvahy vlastnosti tlačiarne, tvarové vlastnosti výrobkov a odporúčané nastavenia výrobcu materiálu. Následne prejdeme k 3D tlači výrobkov podľa G-kódov, vytvorených v programe Ultimaker Cura. Po vytlačení všetkých výrobkov odstránime zvyškový materiál ktorý vznikol pri návrhu G-kódu a tlači. Takýmto materiálom môžu byť oporné štruktúry alebo extrudovaný zvyškový materiál počas nepracovného pohybu tlačovej hlavy. Po opracovaní jednotlivých dielov po 3D tlači prejdeme ku kompletizácii a skúške prototypu zariadenia. V prípade potrebných zmien, zistených skúškou prototypu zariadenia , vykonáme zmeny potrebných modelov a dané súčasti vyrobíme. Následne vytvoríme technickú dokumentáciu podľa finálneho prototypu zariadenia.

3 Výsledky a diskusia

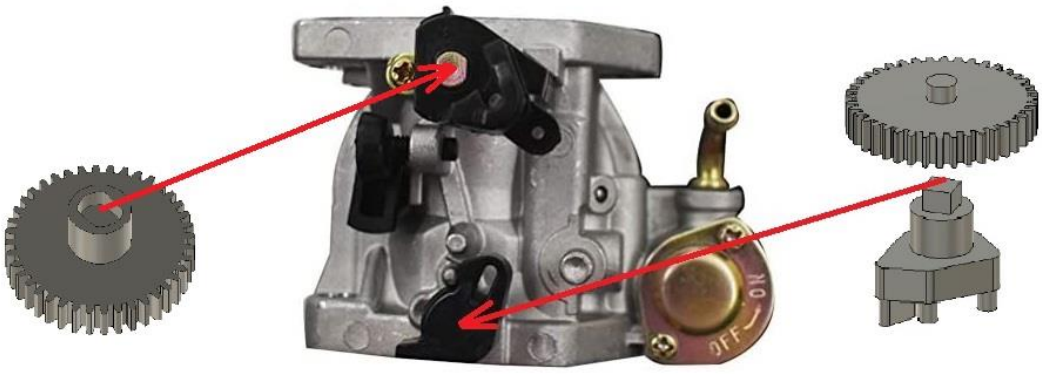
Náplňou našej práce bolo vytvoriť prototyp zariadenia na reguláciu otáčok spaľovacieho motora s výkonom 13 HP, používaného v malej poľnohospodárskej technike. Konkrétne sa jednalo o motor Honda GX390, pričom sme sa pokúsili prispôsobiť tak, aby vyžadovalo minimálne zmeny pôvodných komponentov motora, pri čo najjednoduchšej montáži.
Ako akčné členy sme zvolili dva servo pohony typu LD – 3015, pričom jeden plní úlohu regulácie akcelerátoru a druhý ovláda klapku obohacovania zmesi pri štarte motora. Z hľadiska kompaktnosti a presnosti riadenia sme sa rozhodli akčné členy umiestniť čo najbližšie ku karburátoru. Preto sme akčné členy umiestnili priamo nad karburátor na držiak, ktorý je upevnený priamo na karburátor a teda sme zamedzili možnosti nepresnosti riadenia z dôvodu vibrácií motora voči akčným členom.
Keďže pracovný rozsah servo pohonu typu LD – 3015 je 0 - 270° a klapka akcelerátora aj sýtiča pracujú v rozsahu 0 - 80° , sme sa z dôvodu zamedzenia možnosti poškodenia akčných členov ako aj komponentov motora rozhodli redukovať pracovný rozsah akčných členov priamym prevodom. Prevodový pomer priameho prevodu sme vypočítali podľa vzorca (1), uvedeného v metodike.
Výsledný prevodový pomer, vypočítaný podľa vzorca bol 3:1. Z daného prevodového pomeru, normalizovaných rozmerov ozubení a rozmerových možností nami navrhovaného riešenia sme zvolili pomer zubov 40:12 s modulom ozubenia 0,7 mm, čo pripadá prevodovému pomeru 3,33:1. Pri návrhu prevodu sme využili funkciu GF Gear Generator, ktorou disponuje softvér Fusion360.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 1 Návrh prevodu pomocou funkcie GF Gear Generator
Fig. 1 Gear design using the GF Gear Generator function

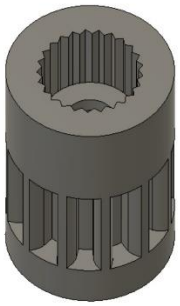
Z navrhnutého prevodu, konkrétne 40 zubového kolesa, sme vytvorili komponent pre ovládanie akcelerátora, ktorý je umiestnený priamo na hriadeľ klapky akcelerátora a nahrádza pôvodné tiahlo mechanickej regulácie akcelerácie.
Pre klapku sýtiča sme použili rovnaký prevod, avšak mechanické tiahlo sýtiča nebolo možné demontovať. Preto sme vytvorili diel, ktorý opisuje tvar tiahla a zakladá sa priamo na tiahlo sýtiča bez akejkoľvek potrebnej modifikácie. Aby sme zaručili bezproblémovú montáž, demontáž a výmenu jednotlivých dielov v prípade poruchy, tiahlo sýtiča sa skladá z dvoch dielov, pričom prenos sily medzi nimi zabezpečuje štvorhranný hriadeľ.



Obr. 2 Časti prevodu a ich umiestnenie na karburátor
Fig. 2 Gear parts and their location on the carburetor

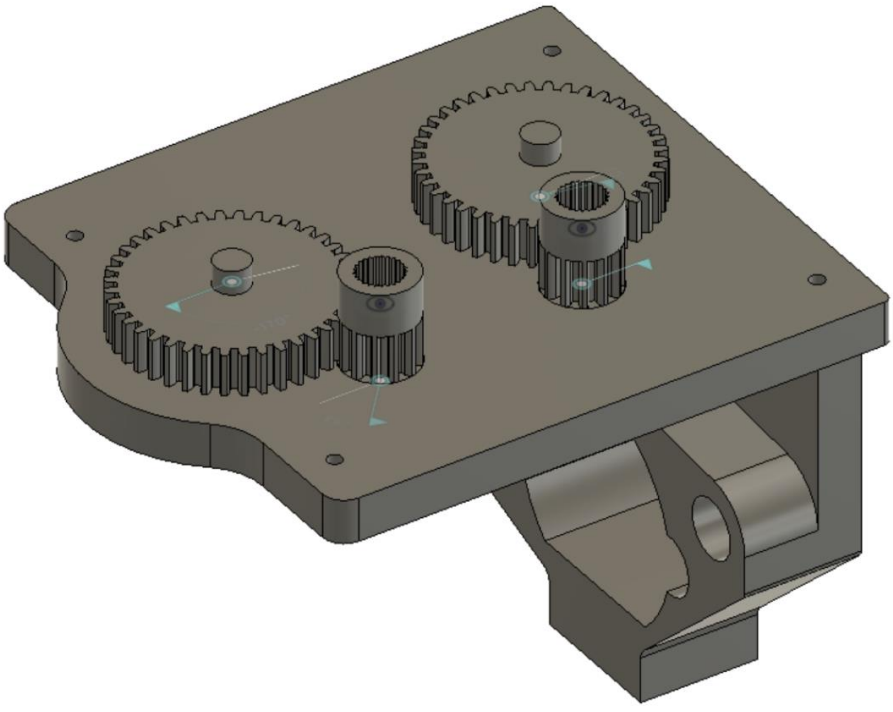
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Hnacie ozubené koleso je pre ovládanie akcelerátora aj sýtiča identické s 12 zubami a modulom ozubenia 0,7mm. Dané ozubené koleso je už priamo spojené s hriadeľom servo pohonu LD – 3015, pričom je s ním spojené skrutkou M3 a prenos sily zabezpečuje 25-zubový hriadeľ typu Spline.



Obr. 3 Hnacie ozubené koleso prevodu
Fig. 3 Drive gear

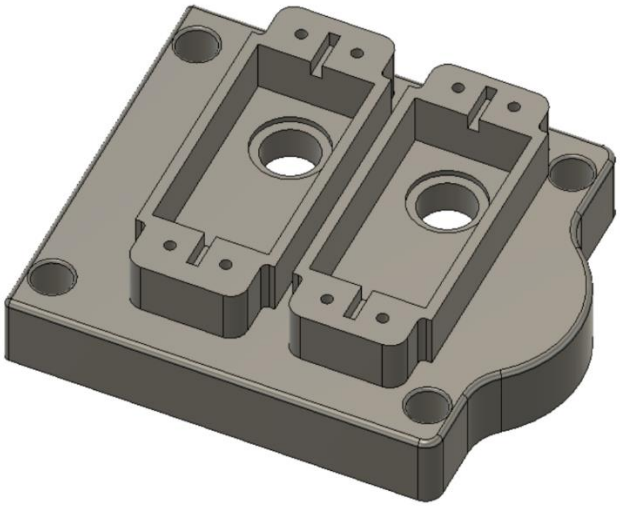
Po vytvorení všetkých častí prevodu sme prešli k vytvoreniu softvérovej zostavy z jednotlivých dielov. Vytvorili sme zostavu prevodu s presne danými pozíciami dielov prevodu a každému dynamickému dielu sme zadefinovali potrebné stupne voľnosti. Na *obrázku č.4* je zobrazená zostava prevodu, pričom modré vlajky znázorňujú stupeň voľnosti v osi Z, ktorý umožňuje rotáciu súčastí prevodu.



Obr. 4 Zostava prevodu s vyznačenými väzbami dielov
Fig. 4 Assembly of the transmission with the connections of the parts marked

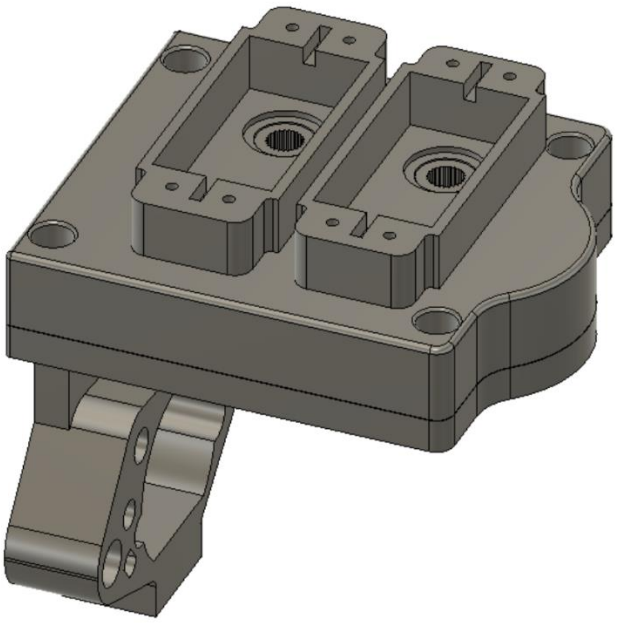
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Po odsimulovaní správania prevodu a overení možných presahov sme navrhli kryt prevodu. Kryt tvarovo opisuje konzolu a tak ako aj konzola má kruhové sedlá pre uloženie jednotlivých dielov prevodu. Taktiež je tvarovo prispôsobený priamemu pripevneniu servo pohonov LD – 3015 štyrmi skrutkami M2.5, ktoré sú štandardne dodávané k pohonom. Kryt sa pripevňuje ku konzole štyrmi skrutkami M2.5.



Obr. 5 Kryt prevodu s uložením servo pohonov
Fig. 5 Transmission cover

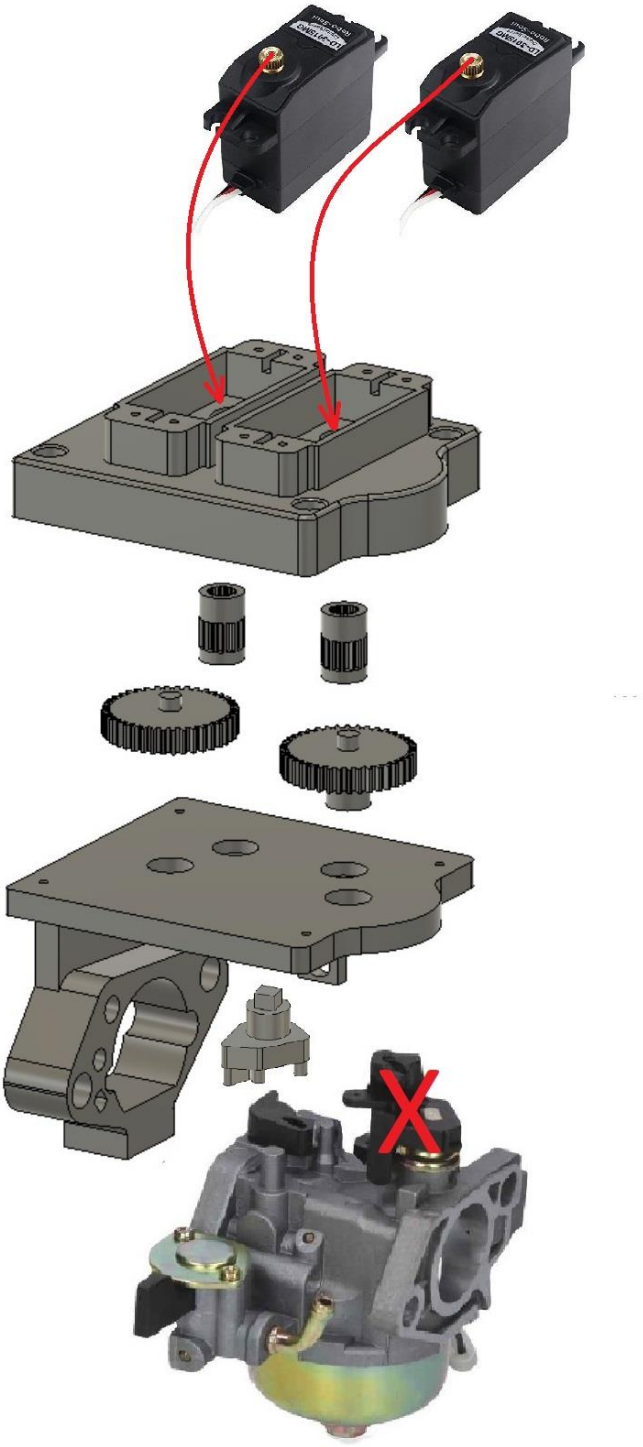
Následne sme kryt pripojili k zostave a ešte raz sme odsimulovali kompatibilitu a zistili prípadné nežiadúce presahy dielov. Po skontrolovaní všetkých dielov sme prešli k tlači prototypu podľa navrhnutých a odsimulovaných modelov dielov.



Obr. 6 Finálny prototyp uchytenia akčných členov regulátora
Fig. 6 Final prototype of the regulator actuators attachment

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Po vytlačení všetkých dielov sme demontovali z karburátora pôvodné mechanické tiahlo akcelerátora, konzolu sme upevnili na karburátor a na konzolu sme pripevnili prevod s krytom podľa zjednodušenej príučky na *obrázku č.7*. Následne sme do krytu vložili servo pohony, ktoré sme pripojili k mikrokontroléru a nasimulovali pohyb klapiek karburátora.



Obr. 7 Zjednodušená dielenská príučka k regulátoru
Fig. 7 Simplified workshop manual for the regulator

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

4 Záver

Cieľom tejto práce bolo vytvoriť konštrukčné riešenie regulátora otáčok spaľovacieho motora Honda typu GX390. Na dosiahnutie cieľa práce sme museli regulátor prispôsobiť už existujúcim súčastiam motora s dôrazom na bezpečnosť a jednoduchosť riešenia konštrukcie. Zmerali sme potrebné časti motora a zvážili požiadavky na bezpečnú prevádzku zariadenia. Z dôvodu možnej poruchovej situácie sme sa rozhodli zredukovať rozsah pohybu servo pohonov na rozsah čo najbližší k pracovnému rozsahu klapiek použitím prevodu. Vypočítali a navrhli sme výsledný prevod, ktorý sme softvérovo odsimulovali.
Podľa vzoru častí prevodu sme následne navrhli jednotlivé súčasti regulátora, z ktorých sme vytvorili zostavu. Následne sme kompletnú zostavu simulovali a zisťovali možné presahy, kolízne stavy alebo potrebné úpravy. Finálne verzie jednotlivých dielov zostavy sme vytlačili pomocou FDM 3D tlače z materiálu PLA. Následne sme z vytlačených dielov poskladali prototyp regulátora a overili funkčnosť a potrebné úpravy.
Nakoľko technológia FDM tlače neumožňuje tlač materiálu, ktorý dokáže dlhodobo odolávať výparom z benzínu a vysokej teplote, jedná sa iba o prototyp a časti finálneho zariadenia by bolo vhodné vyrobiť inou technológiou a z iného materiálu, napríklad odlievaním a dodatočným opracovaním zliatiny na báze hliníka.
Navrhnuté riadenie mikročipom SiliconLabs typu C8051f330 umožňuje návrh vlastnej základnej dosky ako aj použitie kompletnej základnej dosky od daného výrobcu. Riadenie taktiež umožňuje rozšírenie regulátora o ďalšie akčné členy a snímače. Nakoľko navrhnutý čip disponuje vyšším počtom vstupov a výstupov, je možné zariadenie rozšíriť o ďalšie funkcie ako snímanie hladiny paliva, snímanie pracovnej teploty motora alebo signalizáciu chybových stavov zariadenia.
Ďalší vývoj regulátora taktiež umožňuje minimalizáciu rozmerov, čo ale vyžaduje integráciu technológie servo pohonu LD- 3015 priamo do konštrukcie zariadenia, prípadne návrh vlastného servo pohonu. Toto riešenie by ale znemožnilo jednoduchú výmenu pohonu v prípade poruchy a zvýšilo by zložitosť zariadenia, čo by znemožnilo riešenie prípadných problémov užívateľom.
Z našej práce vyplýva, že ďalší vývoj a následná výroba regulátora otáčok spaľovacieho motora je žiadúca, nakoľko regulácia otáčok umožňuje použitie motora v aplikáciách, kde sa mení pracovné zaťaženie motora a nie je možná manuálna regulácia otáčok obsluhou.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

5 Literatúra

BÉLAI, Igor. 2017. *Servopohony*, [on-line]. aktualizované 2017, [cit. 2023-03-30]. Dostupné na: <http://uamt.fei.stuba.sk/kega/data/0_Servopohony-MA_V1.pdf?fbclid=IwAR0zoyZjjXurvZJJfxlUXTAJlCB7oYHF0YbyTh0GtHeEAAwvOD2Q8VTUu5Y>.

HROMADKO, Ján – HROMADKO, Jiří. 2011. *Spalovací motory*. Praha : Grada, s. 11. ISBN 978-80-247-7478-7.

Súhrn

V súčasnosti automatizácia zasahuje do každého odvetvia priemyslu a umožňuje snímať a riadiť kľúčové parametre zariadení, akými môžu byť napríklad aj spaľovacie motory. Keďže úlohou spaľovacieho motora je dodávať energiu v podobe krútiaceho momentu, je dôležité aby motor pracoval pri správnych otáčkach. Nakoľko spaľovací motor nedokáže vytvoriť maximálny krútiaci moment pri nižších otáčkach a v prípade väčšieho zaťaženia dochádza k poklesu otáčok, je potrebné otáčky motora regulovať. Cieľom našej práce je vytvoriť a odsimulovať návrh zariadenia a následne pomocou technológie 3D tlače vytvoriť prototyp regulátora otáčok spaľovacieho motora Honda typu GX390 . Práca tiež obsahuje technické výkresy k jednotlivým dielom a plán zostavy zariadenia.

Kľúčové slová: Automatizácia, regulátor, otáčky, motor, Honda, GX390

DIDAKTICKÁ POMÔCKA PRE OBLASŤ ELEKTRONIKY A AUTOMATIZÁCIE
TEACHING AID FOR THE FIELD OF ELECTRONICS AND AUTOMATION

MARTIN DILHOF[1] - PATRIK PAVELKA[2]

Abstract

The goal of this article was to create a didactic aid with the help of the right methods, on which it would be possible to acquire basic knowledge and deepen experience in the field of electrical engineering.

This didactic aid is intended not only for high school and university students, but for anyone who wants to better understand the principle and deepen their knowledge in the field of electrical engineering. It helps a better understanding of delta and star connection, it also contributes to the development of cognitive knowledge about terminal blocks, circuit breakers, electrical sources... It brings useful knowledge about Zelio PLC. Clarifies the issue of relays and overcurrent relays.

The construction itself gave the pupils the development of experience in the field of assembly, wiring, reading electrical diagrams and basic electrical components. It explains the principle of correct connection of the plug.

Key words: contactor, Zelio, didactic aid, electrical engineering

1 Úvod

Učebné pomôcky možno definovať ako didaktické nástroje riadenia vyučovacieho procesu a samozrejme regulácie učenia sa. Ich význam spočíva v podpore rozvoja logického myslenia, kreativity a formujú osobnosť študenta. Didaktická technika a učebné pomôcky patria k materiálnym didaktickým prostriedkom. Slúžia pre dokonalejšie a rýchlejšie pochopenie učiva.

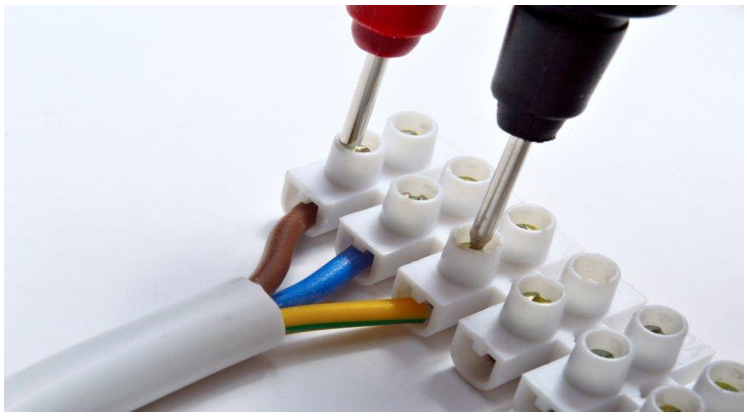
Majú informatívnu funkciu – informujú o vzťahoch, súvislostiach, spresňujú predstavy a vedomosti. Ďalšie funkcie učebných pomôcok sú inštrumentálna, formatívna, systematizujúca, názorná, racionálna, ekonomická funkcia. Nemožno vynechať ani fakt, že podporujú samoštúdium a uľahčujú prechod teórie k praxi.

Táto didaktická pomôcka je prínosom pre odbory silnoprúdovej techniky, taktiež je prínosom aj pre študenta slaboprúdovej techniky, no je nápomocná aj pre odbory automatizácie, keďže podáva poznatky aj o PLC, elektrotechnológie, mechatroniky....

2 Materiál a metódy

Pojem **svorkovnica** značí nástroj, ktorým sa spájajú, alebo zakončujú minimálne dva elektrické vodiče dokopy.
Vo svojej najzakladanejšej podobe sú to len dlhé pásy, obklopené izolovaným rámom.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 1 Svorkovnica
Fig. 1 Block Diagram of the Time Recorder



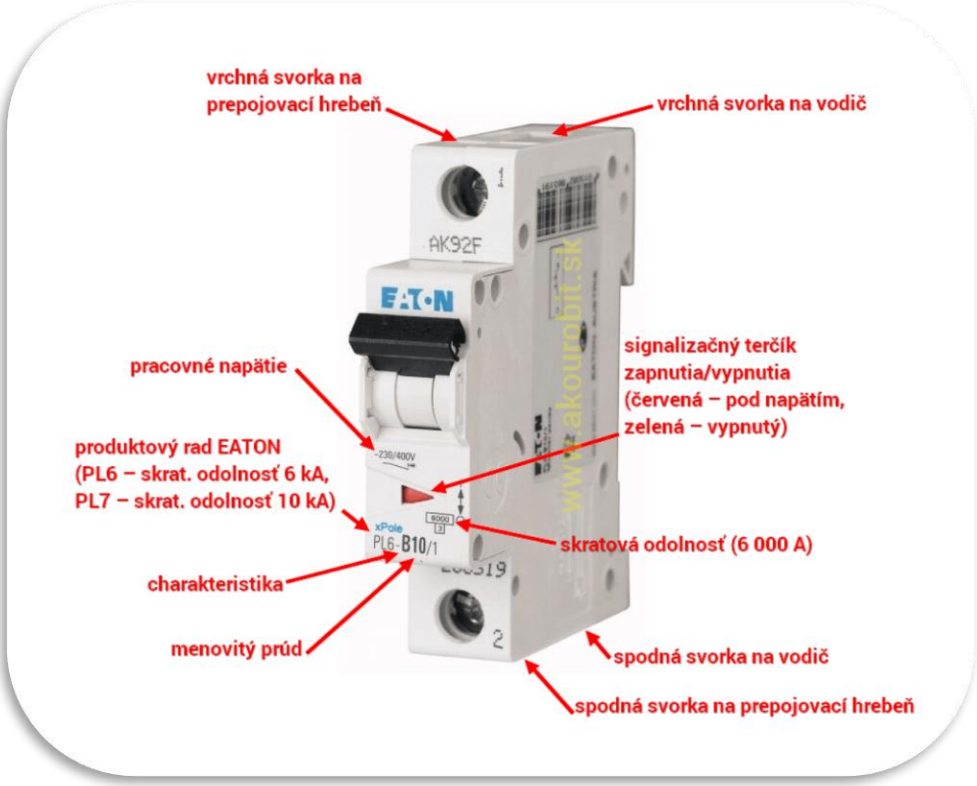
Obr. 2 Svorkovnica – Mostík PE 12 zelený
Fig. 2 Block Diagram of the Time Recorder



Obr. 3 Svorkovnica – Mostík N 15 modrý
Fig. 3 Terminal block - Bridge N 15 blue

Ističe sú vratné prvky nadprúdovej ochrany. To znamená, že ak istič preruší elektrickýobvod v dôsledku poruchy, môžete ho znova manuálne zapnúť.
Mechanizmus ističa obsahuje tzv. zapínací zámok, ktorý zabezpečuje, že po automatickom vypnutí ho nemôžete znova zapnúť, pokiaľ by príčina vypnutia stále trvala (obvodom by tiekol nadprúd). Vypnutiu ističa nemôžete zabrániť ani tým, že budete jeho zapínaciu páčku pridŕžať rukou v zapnutej polohe.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



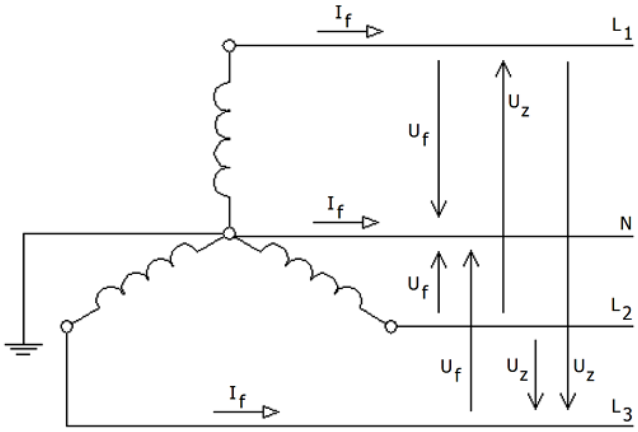
Pri ističoch si všímajte nielen hodnotu menovitého prúdu, ale aj charakteristiku, ističe B sa hodia pre bežné svetelné a zásuvkové obvody,
pre elektromotory, el. náradie, zváračky či silné spínané zdroje alebo svetelné obvody s veľkým počtom žiariviek sú vhodné ističe charakteristiky C či D,
C a D ističe sa používajú najmä v domácich dielňach, garážach, záhradách, pre vonkajšie zásuvky a tiež v priemysle,voľba vhodného ističa nezávisí iba od prierezu vodiča, preto ju prenechajte kvalifikovanému projektantovi alebo elektrikárovi.



Obr. 4 Trojpólový istič B20 - 415V ktorý je aktuálne použitý v našom zapojení.
Fig. 4 Three-pole circuit breaker B20 - 415V which is currently used in our circuit.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Hviezda

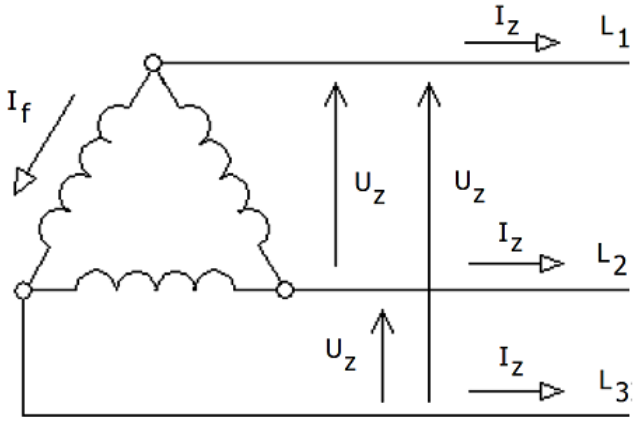


Obr. 5 Zapojenie do hviezdy
Fig. 5 Wiring to the Star

Značenie vodičov: L_1, L_2, L_3 - fázové vodiče, N - tzv. nulák.
Značenie napätí: U_f - fázové napätie, U_z - združené napätie.
Medzi fázami a nulákom je fázové napätie U_f.
Medzi fázami je združené napätie U_z.
Fázami tečie fázový prúd I_f.

Vzorec : $U_z = \sqrt{(3)} \times U_f = 1{,}73 \times U_f$

Trojuholník



Obr. 6 Zapojenie do trojuholníka
Fig. 6 Wiring to the triangle

Na fázach je iba združené napätie - U_z.
Vodičmi tečie združený prúd I_z.
Vzorec: $I_z = \sqrt{(3)} \times I_f = 1{,}73 \times I_f$

Prúdové chrániče za svojich viac ako 60 rokov existencie preukázali, že ich použitie v inštaláciách nízkeho napätia dramaticky znižuje riziko smrteľného úrazu elektrickým prúdom.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Z tohto dôvodu hrajú prúdové chrániče zásadnú úlohu vo všetkých moderných nízkonapäťových inštaláciách, pričom nimi poskytnutá úroveň ochrany nemôže byť nikdy rovnaká, ako ochrana samotnými ističmi alebo poistkami.

Zároveň sa použitie prúdových chráničov osvedčilo aj na ochranu pred požiarom spôsobeným zemnými poruchami.

Elektrický zdroj je súhrnný názov pre elektrické zariadenia, medzi ktorých dvoma rozličnými časťami (pólmi) je aj po pripojení elektrického obvodu (tzv. záťaže) udržovaný rozdiel elektrických potenciálov alebo napätia, pričom dodávajú do obvodu elektrických prúd.

Ide tým vlastne o zdroj elektrickej energie.

Zelio PLC je veľmi zaujímavé riadiace zariadenie od spoločnosti Schneider a tak ľahko použiteľné a užitočné, ak nemáte čas alebo znalosti s mikrokontrolérom, ale je to trochu drahé v porovnaní s Micro Controller.

Tu je veľa typov Zelio PLC v závislosti od počtu vstupov a výstupov, najmenší z nich je znázornený na obrázku nižšie.

obsahuje:

4 digitálne vstupy (I1, I2, I3, I4).

4 analógový vstup z 0-10 voltov (IB, IC, ID, IE) .

4 výstupy (Q1, Q2, Q3, Q4).

dostupný zdroj energie vstupu (12,24 V DC) a výstupy (100-240 V AC) závisí to od vašich požiadaviek.

Relé a staré nadprúdové relé

Relé je spínacia súčiastka, ktorá na základe prijímaného signálu vytvára podmienky pre spojenie elektrického obvodu.

Relé za využíva pre spínanie vetvených elektrických obvodov podľa toho, ktorú časť je aktuálne potrebné využívať.

Druhy relé súčiastok

1. spínacie – opatrené spínacím kontaktom, ktorý slúži k uzatvoreniu obvodu v konkrétnej vetvi
2. rozpínacie – opatrené rozpínacím kontaktom, ktorý slúži k prerušeniu toku prúdu v danej vetvi
3. prepínacie relé – vybavené spínačom s prepínacím kontaktom, ktorý súži k podmienenému zapojeniu konkrétnej vetvi elektrického obvodu



Obr. 7 Spínacie relé
Fig. 7 Switching relays

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 8 Rozpínacie relé
Fig. 8 Stretchable relay

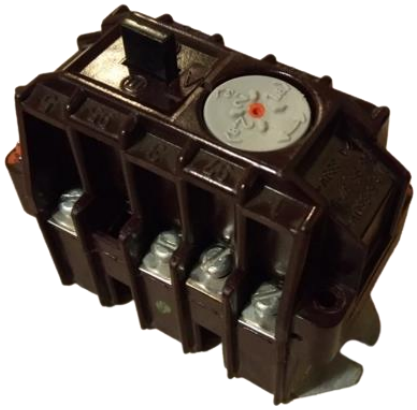


Obr. 9 Prepínacie relé
Fig. 9 Switching relay

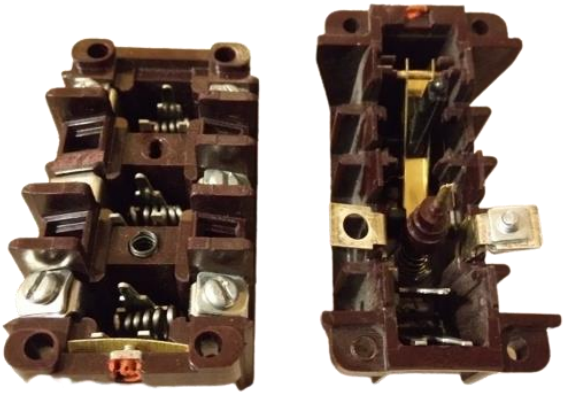


Obr. 10 Aktuálne je toto nadprúdové relé, použité v našom zapojení.
Fig. 10 Currently, this is the overcurrent relay used in our circuit.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

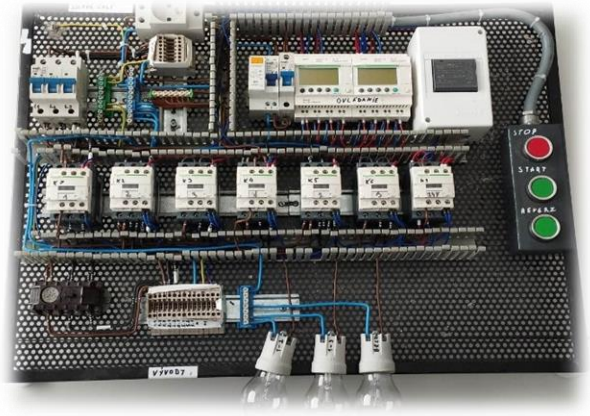


Obr. 11 Nadprúdové relé R100 - vyskočené tlačidlo indikuje vypnutý stav.
Fig. 11 Overcurrent relay R100 - popped button indicates off state.



Obr. 12 Vnútorné usporiadanie relé - viditeľné bimetalové plechy.
Fig. 12 Internal relay arrangement - visible bimetallic plates

3 Výsledky a diskusia



Obr. 13 Bloková schéma záznamníka času
Fig. 13 Block Diagram of the Time Recorder

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Časti:

Silová časť – skladá sa z hlavného ističa s troma svokrami (zem, nula, fáza) plus DIN-lištová zásuvka. Na zemniacu svorku uzemňujeme panel.

Stýkače – na pomocných kontaktoch sú pripojené žiarovky, ktoré označujú, či je zapnutá brzda, reverzácia, alebo hviezda – trojuholník.

Ovládanie – patrí sem prúdový chránič, istič, dva PLC Zelio moduly a zdroj 24V.

Vývody – k vývodovým častiam patrí tepelné relé, svorky s vývodami pre stýkače plus brzdenie.

4 Záver

Táto didaktická pomôcka prináša potrebné teoretické a praktické znalosti elektrotechnikom. Rozširuje ich praktické zručnosti, podnecuje ich ku kreativite. Prostredníctvom nej možno pochopiť zapojenie do hviezdy, trojuholníka, reverzu a následne porozumieť ovládaniu stýkačov. Taktiež pomáha nácviku práce s PLC a jeho programovania.

Študent, ktorý uplatní znalosti získané počas práce na tomto plate bude vedieť správne zapojiť spomínané náležitosti a taktiež správne zapojiť a nastaviť PLC značky Schneider a jednoznačne pochopí a nastaví brzdenie 24V.

5 Literatúra

Redakcia Electrend. 2021. In Electrend [cit. 2023-03-24]. Dostupné na: <https://www.legrand.sk/electrend/elektroinstalacie/b-c-d-co-znamenaju-tieto-pismena-na-isticoch/>

Redakcia Nextech. 2020.B,C,D- čo znamenajú tieto písmená na ističoch. In Electrend [cit. 2023-03-25]. Dostupné na: <https://www.nextech.sk/a/Svorkovnica--efektivny-nastroj-v-elektrotechnike>

Svorkovnica: efektívny nástroj v elektrotechnike. In Nextech

TKOTZ, Klaus et. al. 2012. Příručka pro elektrotechnika.Praha:Európa Sobotáles.648s. ISBN-9783808530344

Typy zapojenia v trojfázovej sústave hviezda, trojuholník. 2020. In Encyklopédia poznania. [cit. 2016-03-22]. Dostupné na: <https://encyklopediapoznania.sk/clanok/9237/typy-zapojeni-v-trojfazovej-sustave-hviezda-trojuholnik>

Vyskočil, Michal. 2020. Čo je relé a k čomu sa používa. In Magazine [cit. 2023-03-24]. Dostupné na: <https://saz.sk/co-je-rele-a-k-comu-sa-pouziva/>

Súhrn

Cieľom tohto článku bolo za pomoci správnych metód vytvoriť didaktickú pomôcku na ktorej by bolo možné si osvojiť základné vedomosti a prehĺbiť skúsenosti v oblasti elektrotechniky.

Táto didaktická pomôcka je určená nielen pre žiakov stredných a vysokých škôl, ale každého, kto chce lepšie pochopiť princíp, prehĺbiť svoje poznatky v oblasti elektrotechniky. Pomáha lepšiemu porozumeniu zapojenia do trojuholníka a hviezdy, taktiež prispieva k rozvoju kognitívnych vedomostí o svorkovniciach, prúdových chráničoch, elektrických zdrojoch... Prináša užitočné poznatky o Zelio PLC. Objasňuje problematiku relé a nadprúdového relé.

Samotná konštrukcia priniesla žiakom rozvoj skúseností v oblasti montáže, zapájania, čítania elektrických schém a základných elektrických komponentov. Vysvetľuje princíp správneho zapojenia zástrčky.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Kľúčové slová: stýkač, Zélio, didaktická pomôcka, elektrotechnika

Poďakovanie patrí majstrovi Féderovi a pani učiteľke Hudecovej za odborné rady a pripomienky v priebehu výskumu.

Grant (Grant), z ktorého bola práca financovaná, okrem čísla grantu sa uvádza i názov grantovej agentúry alebo inštitúcie.

METÓDY ANALÝZY OBRAZU V NAVIGÁCII MALÉHO KOLESOVÉHO ROBOTA
METHODS OF IMAGE ANALYSIS IN MOBILE ROBOTIC NAVIGATION

DANIEL GEMER[1] - LADISLAV TÓTH[2] - LUKÁŠ VACHO[3]

Abstract

The aim of this work is the analysis of image processing techniques for the navigation of a small wheeled robot. To achieve the mentioned goal, the two-stage object detector method using the Yolov5 neural network model was chosen. The work also includes an analysis of the architecture and algorithms used in the model. Data processing methods when using the model in ONNX format with the ML.Net C# library are also presented. The mentioned model was trained with a database of vineyards and analysed with machine learning metrics. Based on the output of the model, the method of navigation of the robotic device in the vineyards was determined.

Key words: object detection, Yolov5, vineyard, neural networks, navigation

1 Úvod

Autonómne robotické zariadenie v dnešnej dobe nachádzajú uplatnenia v rôznych odvetviach. Vďaka svojim schopnostiam navigácie v nepriaznivých terénoch a zberu dát v reálnom čase sa stávajú neoddeliteľnou súčasťou oblastiach ako je poľnohospodárstvo, výroba a zdravotníctvo. Účinnosť autonómnych zariadení v značnej miere závisí od ich schopnosti zberu a spracovania dát zo snímačov akými sú LIDAR, radar, ultrazvukové senzory alebo kamerové systémy. Kombináciou informácií z viacerých senzorov môžu autonómne vozidlá vytvoriť komplexnejšie pochopenie svojho prostredia, čo im umožní bezpečne a efektívne navigovať sa (Donthi S. R a spol., 2022).

Získanie obrazu je prvým z procesov pri analýze obrazu, zvyčajne snímacím prvkom ako skener, kamera alebo optický senzor. Pri procese sa mení svetlo dopadajúce na snímače na digitálny signál, s ktorým sú schopné procesory manipulovať. V digitálnych kamerách scenéria je zaznamenaná sériou fotosenzitívnych snímačov typu CCD alebo CMOS (Kuroda T., 2015).

Obraz získaný z kamery je často poškodený alebo detaily nie sú jasne viditeľné. Z toho dôvodu je potrebné upraviť vlastnosti obrazu, ako sú jas, ostrosť alebo farba aby detaily obrazu boli výraznejšie (Gonzalez R. C, 2008).

Príznaky sú časti alebo vzory v obrázku na základe ktorých je možné jasne identifikovať obraz alebo objekty v obraze. Medzi príznaky môžu patriť rohy, okraje, regióny alebo farby. Príznaky zaraďujeme do dvoch kategórií na základe či opisujú iba časť obrazu alebo celý obraz, na lokálne a globálne príznaky (Grauman K. a Leibe, B., 2011).

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Extrahovanie príznakov zanecháva mnoho vlastností obrazového prvku, no nie všetky opisujú objekty záujmu používateľa. Preto je potrebné aplikovať algoritmy ktoré na základe štatistických princípov určia príslušnosť príznakov k objektom záujmu. Používané štatistické metódy môžu využívať už vopred určenú skupinu vlastností objektov záujmu, ktoré využíva pri rozhodovaní. Takéto algoritmy sú schopné aj modifikovať svoju skupinu vlastností za účelom presnejšieho rozhodovania (Suthaharan S., 2016).

Kamery dokážu efektívne mapovať okolie, sú však obmedzené svetelnými podmienkami a môžu byť ovplyvnené počasím. Preto je nutné zlúčiť údaje z viacerých senzorov za účelom väčšej presnosti a spoľahlivosti systému. Zlučovanie sa uskutočňuje fúziou údajov, kde sa využívajú princípy Kalmanovej filtrácie, fuzzy logiky alebo neurónových sietí (Lewis F.L. a Ge S.S., 2006).

2 Materiál a metódy

Zoznam použitých prístrojov :

- Senzor kamerového systému Kinect v2 (RGB; 1920 x 1080; 30 fps; 20 ms)
- Notebook (AMD Ryzen 5 5600H; Nvidia RTX 3060 6GB; 16 GB RAM)
- Virtuálne zariadenie na serveri Google Colab (Nvidia Tesla T4 16 GB; 12.7 GB RAM)

Softvérové vybavenie:

- Kinect SDK v2
- Roboflow API
- Ultralytics Yolov5 Pythorch
- Visual Studio 2022
- Ml.Net 1.7.1
- EmguCV
- ONNX runtime 1.1.0
- ONNX runtime GPU 1.14.1

Databáza s natrénovanými a označenými obrázkami je dostupná na serveri Roboflow na adrese *https://universe.roboflow.com/objectdetection-1qr9x/vineyards-uhs3r/model/2*. Databáza obsahuje 3213 obrázkov vinohradu s pod rôznymi uhlami pohľadu a šumom 5% z pixelov. Dáta sú rozdelené na trénovanie 87% a testovanie 5% a validáciu 8%. Databázu je možné exportovať do formátu *Yolov5 Pythorch* kde sa k obrázkom pridá súbor *data.yalm* v ktorom sú uložené informácie o databáze ako počte tried, názvy tried a cesty k obrázkom.

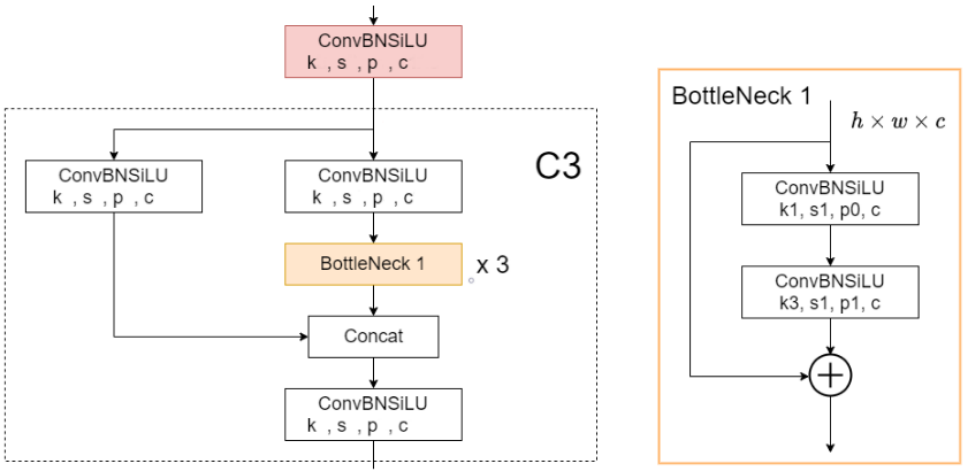
Pre trénovanie algoritmu bude použité pracovné prostredie Google Colab, ktoré ponúka používateľom vytvorenie virtuálneho rozhrania na serveroch s prístupmi k výkonným grafickým procesorom bezplatne. Po pripojení sa na runtime prostredie, prebehne inštalácia knižníc Roboflow a Ultralytics Yolov5. Pomocou knižnice Roboflow sa stiahne databáza na virtuálne zariadenie. Ultralytics Yolov5 obsahuje preddefinované skripty pre prácu s konvolučnou neurónovou sieťou Yolov5, ako aj váhy natrénované databázou COCO.

Jednou z úloh, ktoré sa riešia pri autonómnom riadení je detekcia objektov. Pomocou detekcie vieme určiť, aké objekty sa vyskytujú v prostredí a kde sa nachádzajú. V dnešnej dobe existuje mnoho algoritmov detekcie objektov, no trendom sa stávajú dvojstupňové detektory. Vďaka schopnosťou rýchlo extrahovať bohaté obrazové príznaky v úzkych časových intervaloch na viacerých škálach sú výberovým algoritmom pre autonómne aplikácie.

Architektúra dvojstupňového detektora pozostáva z troch častí. Chrbtica modelu je už vopred natrénovaná neurónová sieť, úlohou ktorej je extrahovať bohatú reprezentáciu príznakov z obrazu. Yolov5 využíva architektúru CSPDarknet53, kde CSP znamená

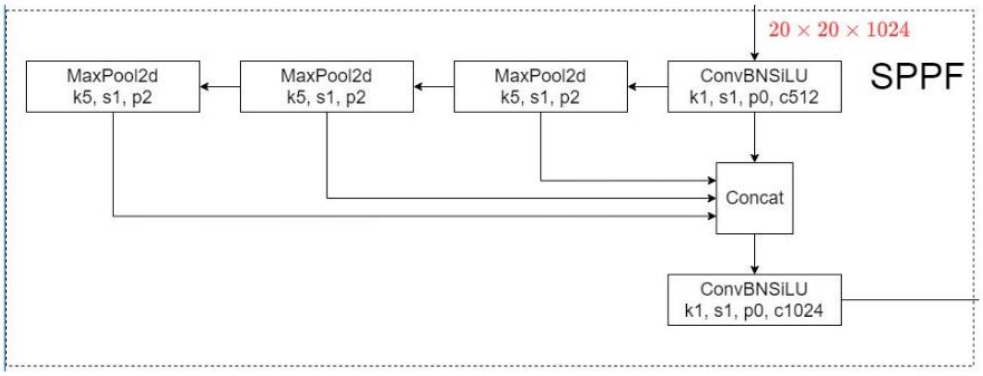
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Medzistupňová čiastočná sieť, kde sa mapa príznakov rozdeľuje pred vstupom do hlbokej vrstvy a následne spája na výstupe. Tým umožňuje zredukovať problém miznúceho gradientu, čo spôsobuje nesprávne určenie lokálneho minima Gradientného zostupu, znížiť počet parametrov a pomáha znižovať množstvo výpočtov (menej FLOPS), čo vedie k zvýšeniu rýchlosti výpočtov.



Obr. 1 Blokový diagram časti CSP siete
Fig. 1 Part of the CSP network block digram
(zdroj: Yolov5 github repozitár)

Krk modelu pozostáva z techniky Združovania priestorových pyramíd, ktorá umožňuje neurónovým sieťam spracovávať obraz rôznych veľkostí a pomerov strán. Princíp spočíva v rozdelení obrazu do regiónov. Následne sa pre každú oblasť použije operácia združovania, aby sa vygeneroval výstup s pevnou veľkosťou. Tieto výstupy sú následne zreťazené do jedného znakového vektora, ktorý je možné vložiť do plne prepojenej vrstvy na klasifikáciu.



Obr. 2 Blokový diagram časti SPP siete
Fig. 2 Part of the SPP network block diagram
(zdroj: Yolov5 github repozitár)

Operáciu združovanie môžeme vyjadriť nasledovne:

$$MaxPooling(X)_{i,j,k} = max_{m,n}(X_{i \cdot s_x + m, j \cdot s_y + n, k}) \quad (1)$$

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

kde X je vstupný mapa príznakov v bode (i, j), -
k je index kanála, -
s_x, s_y sú hodnoty krokov masky v horizontálnom a vertikálnom smere respektívne. -
where X is the input feature map in point (i, j), -
k is the channel index, -
s_x, s_y are step values of mask in horizontal and vertical direction respectively. -

Reťazenie (Concatanation) je operácia kombinovania viacerých máp príznakov alebo vektorov po určitej dimenzii. Pri dvoch mapách A a B, veľkostí $(m \times n)$ a $(m \times p)$ zreťazenú mapu alebo vektor C určíme :

$$C = [A, B] \tag{2}$$

Hlava modelu je zložená z 3 konvolučných vrstiev, výstup ktorých sú parametre ohraničujúcich rámcov (x, y, šírka, výška), pravdepodobnosť výskytu a pravdepodobnosti jednotlivých tried.

$$b_x = (2\,\sigma(t_x)\, - 0.5) + c_x$$
$$b_y = \left(2\,\sigma\left(t_y\right)\, - 0.5\right) + c_y$$
$$b_w = p_w(2\sigma(t_w))^2$$
$$b_h = p_h(2\sigma(t_h))^2$$

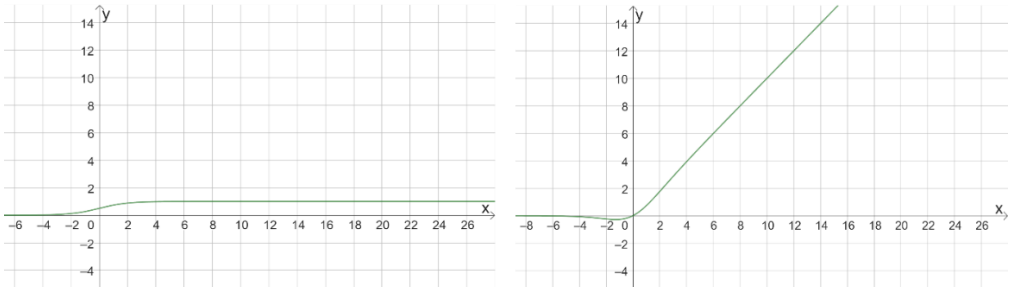
kde b_x, b_y, b_w, b_h sú pozície ohraničujúceho rámu, -
σ je sigmoidná aktivačná funkcia, -
t_x, t_y, t_w, t_h sú predikcie ofsetov modelu, -
c_x, c_y je posun v mriežke buniek vzhľadom na ľavý horný roh obrázku, -
p_w, p_h sú rozmery priori boxu. -
where b_x, b_y, b_w, b_h are the positions of bounding boxes, -
σ is the sigmoid activation fucntion, -
t_x, t_y, t_w, t_h are ofset predictions of model, -
c_x, c_y shift in the matrix of cells with respect to the upper left corner of the image, -
p_w, p_h are dimensions of the priori box. -

Základom neurónu v konvulučných neurónových sieťach sú aktivačné funkcie, ktoré majú za úlohu aktivovať neurón v prípad,e ak príznaky spĺňajú požadovanú úroveň vychýlenia (angl. bias). Pri modeli Yolov5 autori využili SiLU aktivačnú funkciu v hlbokých vrstvách a sigmoidnú funkciu s konvolučnými operáciami na výstupe. Jedným z benefitov SiLU funkcie je že je plynulá a nemonotónna, čo znamená, že dokáže zachytiť zložitejšie vzory vo vstupných dátach. Aktiváciu funkcie $SiLU(x)$ získame vynásobením vstupu funkcie s výstup sigmoidnej funkcie.

$$SiLU(x) = x * \sigma(x) = x * \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

Kde x je vstupný vektor, -
σ je sigmoidná aktivačná funkcia. -
Where x is the input vector, -
σ is the sigmoid activation function, -

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 3 Graf SiLU aktivačnej funkcie napravo, sigmoidnej funkcie naľavo
Fig. 3 Graph of SiLU activation on the right and sigmoid activation on the left

Umelé neurónové siete sa v procese trénovania učia pomocou korekčných spätnoväzbových slučiek na zlepšenie ich prediktívnej analýzy. Yolov5 model využíva stochastický zostup gradientu na aktualizovanie parametrov modelu medzi chybovosťou predikcie a skutočnosti. Proces trénovania je nasledovný: algoritmus spracuje vstup a vyhodnotí chybovosť. Následne sa chyba šíri späť cez sieť, aby sa vypočítal gradient stratovej funkcie vzhľadom na váhy siete. Pokračujúc nastáva úprava váh a algoritmus sa opakuje kým nebude chybovosť na požadovanej úrovni.

Pre učenie chybovosti model Yolov5 využíva binárnu krížovú entropiu, ktorá meria rozdiel medzi predpovedaným rozdelením pravdepodobnosti a skutočným rozdelením pravdepodobnosti cieľových tried.

$$L_{BCE} = -\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i * \log \hat{Y}_i + (1 - Y_i) * \log(1 - \hat{Y}_i)\right) \quad (3)$$

Kde Y je skutočný trieda i-tej vzorky, -
$\hat{Y}$ je predikovaná pravdepodobnosť patričnosti i-tej vzorky do pozitívnej triedy, -
N je celkový počet vzoriek. -
Where Y is the real class of i-th sample, -
$\hat{Y}$ is the probability of i-th sample belonging to the positive class, -
N is the sample count. -

Strata krížovej entropie penalizuje model viac, keď je predpokladaná pravdepodobnosť skutočnej triedy nízka. To znamená, že model sa odporúča priradiť vyššie pravdepodobnosti správnej triede a nižšie pravdepodobnosti nesprávnym triedam.

Deriváciu krížovej entropie vzhľadom na predpokladanú pravdepodobnosť $\hat{Y}$ je možné využiť na aktualizáciu parametrov v procese trénovania:

$$\frac{dL_{BCE}}{d\hat{Y}_i} = \frac{Y_i}{\hat{Y}_i} + \frac{(1-Y_i)}{(1-\hat{Y}_i)} \quad (4)$$

Počas detekcie objektu môže algoritmus generovať viaceré ohraničujúce rámčeky okolo toho istého objektu, čo môže viesť k nadbytočným detekciám. Algoritmus nemaximálneho potlačenia (NMS) sa používa na odstránenie týchto nadbytočných ohraničujúcich políčok a ponechanie len tých najpresnejších podľa koeficientu prelínania. Ak je pravdepodobnosť rámca pod úrovňou prahu alebo má vysokú hodnotu prelínania s iným, rámec je odstránený.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

$$IoU(A,B) = \frac{Plocha\ priesečníku\ rámcov}{Plocha\ zjednotenia\ rámcov} \quad (5)$$

Kde A a B sú rámce ohraničujúce objekt. -
Where A a B are bounding boxes of object. -

3 Výsledky a diskusia

Výsledky trénovania modelu sme zhrnuli metrikami strojového učenia. Matica zámen je tabuľka určujúca vyhodnotenie výkonu klasifikačného modelu porovnaním predpovedaných označení tried so skutočnými označeniami tried sady testovacích údajov.

Tab. 1 Matica zámen modelu Yolov5 pre 40-tu iteráciu
Tab. 1 Confusion matrix of Yolov5 model for 40-th iteration

Predikcia	Vinič	0.78	0	0	0	0.07
	Človek	0	0.74	0.05	0	0.07
	Traktor	0	0.01	0.89	0	0.01
	Stonka	0	0	0	0.64	0.84
	Pozadie	0.22	0.24	0.05	0.36	0
		Vinič	Človek	Traktor	Stonka	Pozadie
	Skutočnosť					

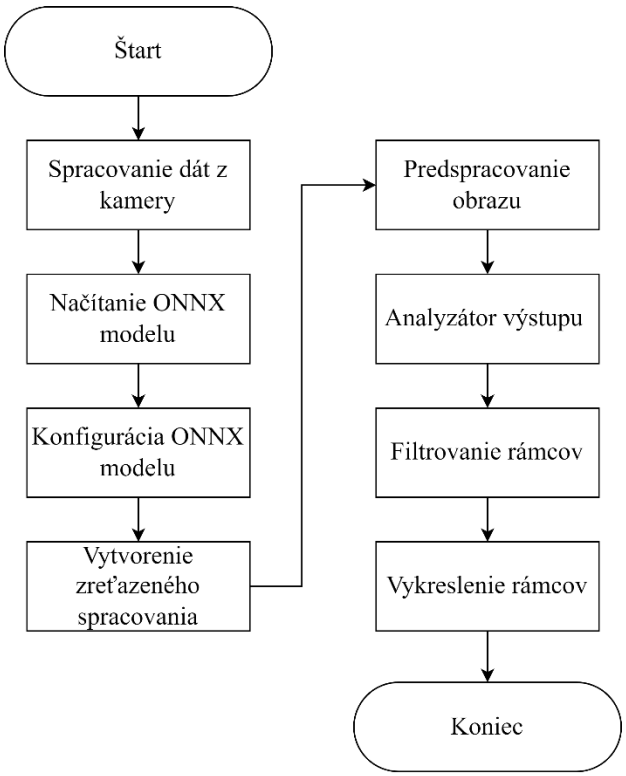
Vývojový diagram navrhnutého algoritmu je znázornený na *obr.4*. Pre prácu s natrénovaným modelom je potrebné konvertovať výsledný súbor Yolov5 pythorch na formát ONNX. Knižnica Ultralytics Yolov5 umožňuje export modelov rôznych typov medzi nimi aj formát ONNX. Knižnica C# *Onnx.Runtime* vo verzii 1.1.0 nepodporuje verzie ONNX modelov vyššie ako 16, preto je nutné vytvoriť Python skript s knižnicou *Onnx.VersionConverter*. Pre použitie modelu v programovacom jazyku C# sme využili knižnicu ML.Net. Knižnica umožňuje vytvorenie takzvaného zreťazeného spracovania, kde sú obrazové dáta formátu *Bitmap* veľkosti 640 x 640 x 3 (šírka, výška, kanál) prevedené na sériový tok údajov až do modelu. Model vracia pole typu *float* veľkosti 226800. Táto hodnota zodpovedá 25200 predikcií rámcov kde každý rámec má veľkosť 9 predstavujúci štruktúru (x, y, šírka rámca, výška rámca, istota, pravdepodobnosť triedy 1, ..., pravdepodobnosť triedy 4). Analyzátor konvertuje údaje na štruktúru *BoundingBox* pre ľahšiu prácu s výsledkami. Pokračujúc nastáva filtrovanie rámcov s nízkou istotou a zredukovanie rámcov s vysokým koeficientom prekrývania sa (IoU). Nakoniec sú rámce vykreslené do Bitmapy.

Pomocou Ultralytics Yolov5 knižnice sme využili dve testovacie obrázky z náhodných zdrojov obsahujúcich objekty záujmu a čas detekcie sme otestovali skriptom *detect.py* s konfidenčím koeficientom 0.4. Čas predspracovania obrazu, predikcie a filtrovania rámcov sú uvedené v *tab.2*. S rovnakými obrazmi a koeficientom sme vykonali detekciu na CPU a GPU notebooku pomocou ML.Net knižnice a *OnnxRuntine* a *OnnxRuntine.Gpu*.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Tab. 2 Časy spracovania obrazu natrénovaným modelom
Tab. 2 Image processing times with trained model

	Číslo testu	Čas predspracovania (ms)	Čas predikcie (ms)	Čas filtrácie (ms)	Parametre obrazu
Tesla T4 (GPU)	1.	0.4	21.5	1.4	sRGB 800 x 410
	2.	0.4	21.5	1.7	sRGB 317 x 159
AMD Ryzen 5 5600 H (CPU)	1.	163		8	sRGB 800 x 410
	2.	143		2	sRGB 317 x 159
RTX 3060 (GPU)	1.	73		2	sRGB 800 x 410
	2.	31		1	sRGB 317 x 159

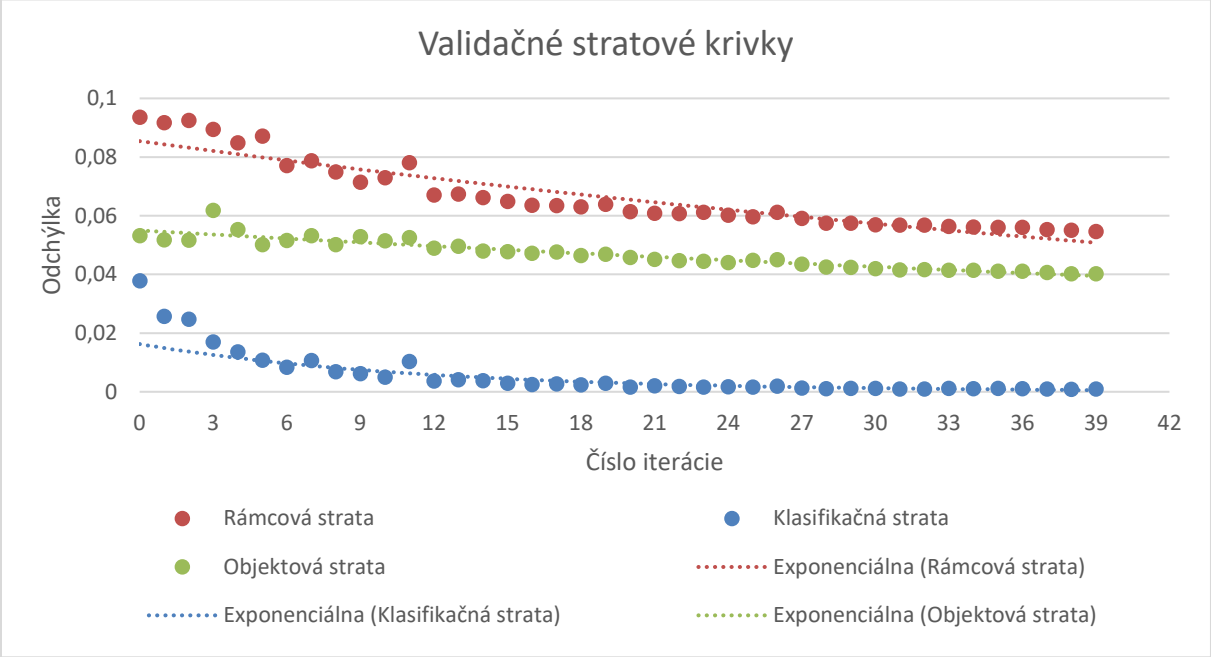


Obr. 4 Vývojový diagram procesu detekcie objektov
Fig. 4 Flowchart of object detection process

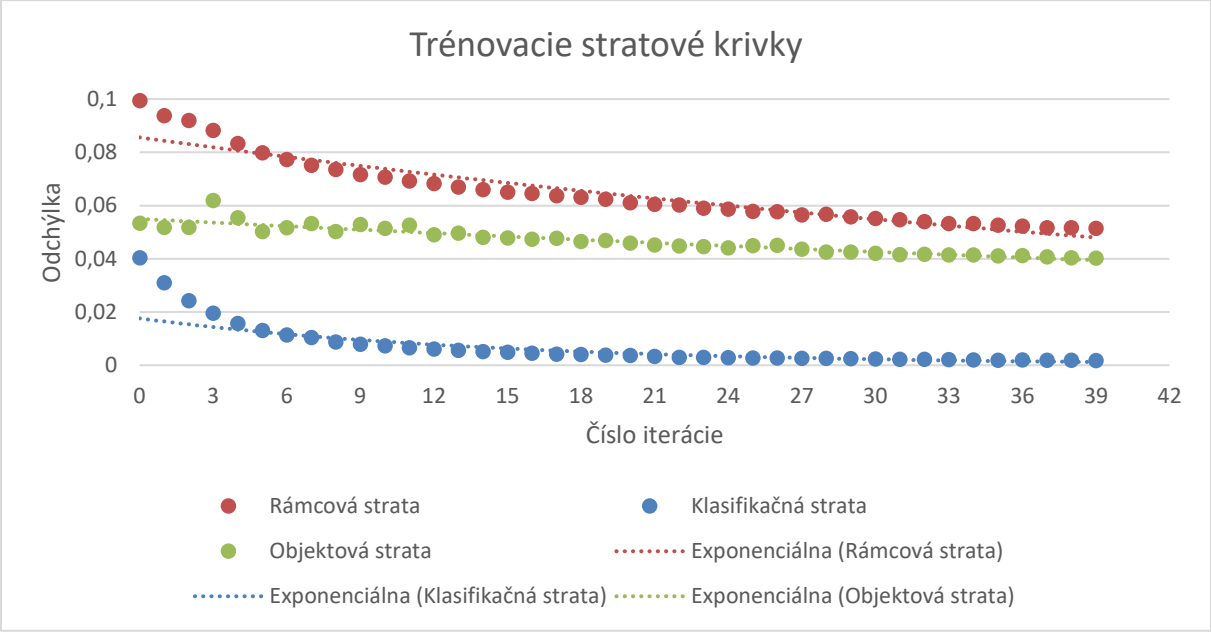
Výsledok modelu udáva 3 typy strát, ktoré môžu vyskytnúť pri trénovaní a validácií modelu. Rámcová strata udáva mieru predikcie súradníc rámca a skutočného ohraničujúceho rámca. Túto stratu predikcie v modeli Yolov5 určíme jemnou L1 stratovou fukciou, alebo tiež nazývanou stredná absolútna chyba. Klasifikačná strata udáva odchýlku predpovedanej triedy

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

a skutočnej triedy a určuje sa binárnou krížovou entropiou. Objektová strata udáva mieru pravdepodobnosti, že objekt existuje v navrhovanej oblasti záujmu.



Obr. 5 Graf validačných strát modelu
Fig. 5 Model validation loss graph



Obr. 6 Graf trénovacích strát modelu
Fig. 6 Model train loss graph

Na základe matice sme schopný určiť presnosť algorimov vytvorením metrík ako presnosť, precíznosť, opakovateľnosť. Jednotlivé metriky sa určujú pre každú iteráciu. Presnosť je udávaná ako pomer korekčných klasifikácií ku celkovému počtu vzoriek:

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

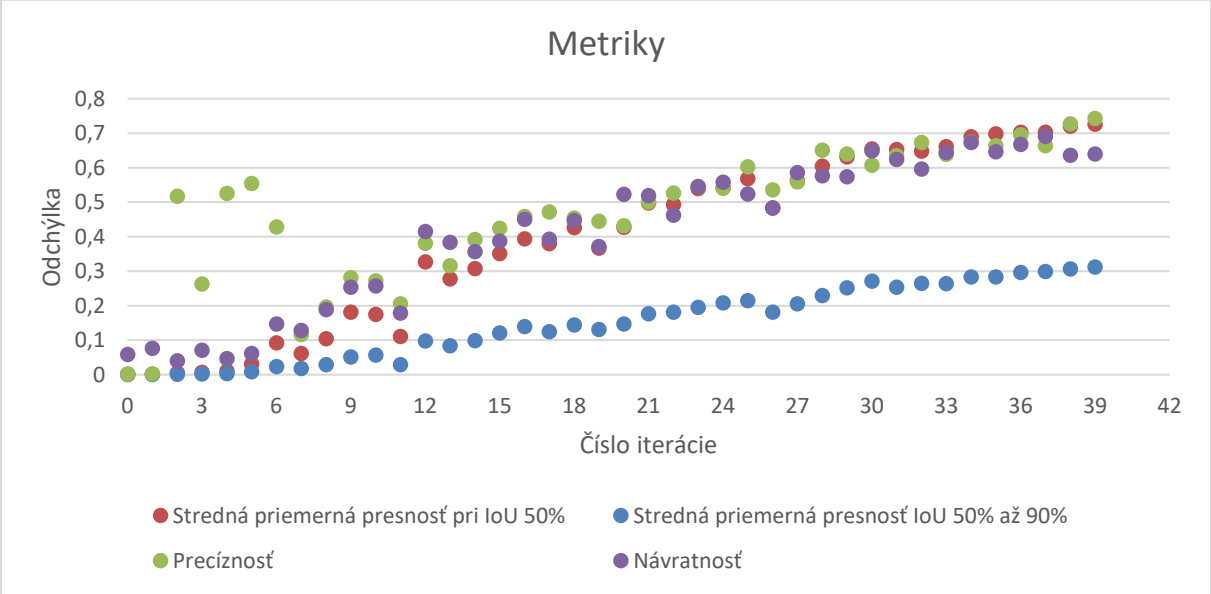
$$Presnosť = \frac{počet\ korektných\ klasifikácií}{celkový\ počet\ vzoriek} \quad (6)$$

Precíznosť určíme pomerom koľko z skutočných klasifikovaných obrázkov je reálne správnych :

$$Precíznosť = \frac{počet\ správnych\ pozitívnych}{počet\ správnych\ pozitívnych + počet\ nesprávnych\ pozitívnych} \quad (7)$$

Návratnosť sme shopný vypočítať koľko reálne správnych klasifikácií uskutočnil model:

$$Návratnosť = \frac{počet\ správnych\ pozitívnych}{počet\ správnych\ pozitívnych + počet\ falošných\ negatívnych} \quad (8)$$



Obr. 7 Graf metrík stredná priemerná precíznosť, precíznosti a návratnosti pre jednotlivé iterácie

Fig. 7 Graph of metrics mean average precision, precision and recall for individual iterations

Rohy rámcov slúžia ako referenčné body pre krivky, pomocou ktorých by bolo možné navigovať robotické zariadenie. Umiestnením robotického zariadenia a vytvorením rovnej čiary od kolies je možné nakalibrovať kameru a získať perspektívnu maticu. Následne je možné vykresliť na snímky cestu kolies robota a vypočítať body kde sa bude koleso nachádzať v rôznych časových okamihoch. Tieto body sa transformujú inverznou perspektívnou maticou do 3D priestoru. Ak body pohybu budú ležať mimo referenčných kriviek vykoná sa korekcia.

$$\Theta(k) = \frac{V_P(k) - V_L(k)}{L} T + (k-1) \quad (9)$$

$$x(k) = \frac{V_P(k) + V_L(k)}{2} \cos[\Theta(k)]\, T + x(k-1) \quad (10)$$

$$y(k) = \frac{V_P(k) + V_L(k)}{2} \sin[\Theta(k)]\, T + x(k-1) \quad (11)$$

Kde V_p je rýchlosť pravého kolesa v čase k, m.s^{-1}
V_L je rýchlosť ľavého kolesa v čase k, m.s^{-1}
Θ je uhol natočenia v čase k, °

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

L je vzdialenosť medzi kolesami, m
x a y sú súradnice bodov v časovom okamihu k, m
T je perióda. s

Where V_p is the velocity of right wheel in time interval k, m.s^{-1}
V_L is the velocity of left wheel in time interval k, m.s^{-1}
Θ is the angle of rotation in time interval k, °
L is the wheel length, m
x and y are coordinates of wheels in time interval k, m
T is the period. s

Ak x-ová súradnica ľavého kolesa v bode (x, y) bude menšia ako x-ová súradnica referenčnej krivky s rovnakou hodnotou y, zvýši sa rýchlosť ľavého kolesa, kým súradnice pohybu nebudú medzi referenčnými krivkami. Ak x-ová súradnica pravého kolesa v bode (x, y) bude väčšia ako x-ová súradnice pohybu referenčnej krivky s rovnakou hodnotou y zvýšia sa pravého kolesa, kým súradnice pohybu nebudú medzi referenčnými krivkami.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

4 Záver

Cieľom tejto práce bolo skúmanie metód analýzy obrazu, ktoré môže byť aplikované pre navigáciu malého kolesového robota. V našej práci sme sa zamerali na konvolučné neurónové siete, konkrétne model Yolov5. V procese sme analyzovali model konvolučnej neurónovej siete a algoritmy integrované do modelu. Následne sme model natrénovali databázou vinohradov na detekciu stonky, porastu viniča, osôb a pracovných zariadení.

Autori Badeka, E. a spol. vo svojej práci uvádzajú dve rôzne metódy detekcie stonky viniča, jednu na báze neurónovej siete Faster R-CNN a druhú na báze detektora Yolov3 a Yolov5. Autori využili predpripravenú databázu 899 obrázkov, pomocou ktorých vytrénovali 3 algoritmy. V práci uvádzajú strednú priemernú presnosť 72.3% s časom spracovania 29.6 ms. V našich merania s modelom Yolov5 a uvedenou databázou sme dosiahli pri prelínaní 50% maximálnu strednú priemernú presnosť 72.54 % pri 21.5 ms, zanedbajúc čas predspracovania a čas filtrovania boxov. Časy predspracovania a filtrovania sú silno závislé na rozmeroch obrazu a počte objektov na obraze, z toho dôvodu nie je možné ich zahrnúť do výsledku. Pri použití modelu ONNX v programe C# sa čas zvýšil na 163 ms pre jeden snímok na CPU a 73 ms pre GPU, kde čas zahŕňa aj predspracovanie. Detekciou s knižnicou *Onnx.Runtime.Gpu* bolo zaznamenané vysoké využitie operačnej pamäte až 6 GB, oproti CPU 2 GB. Pri pozorovaní grafov validačných a trénovacích strát je možné si všimnúť, že klesajú exponenciálne zvyšujúcimi iteráciami, čo naznačuje vysokú efektívnosť trénovania algoritmu. Klasifikačné straty sú nižšie ako 0.1 % čo naznačuje vysokú presnosť učenia tried. Zvýšenie iterácií by nemalo veľký vplyv na klasifikáciu keďže hodnota konverguje k nule, avšak zvýšilo by presnosť predikcie polohy objektu v obraze. Z grafu metrík je možné určiť lineárnu tendenciu nárastu presnosti, návratnosti a precíznosti postupom iterácií.

5 Literatúra

Donthi S. R., Sandeep V., Reddy M. G., Bhatt M., Kumar H. S., a Jayanth D. 2022. Self-Driving Car Using Image Processing and Deep Learning. In IJRESM, roč. 5, č. 1, s. 270–277.

Kuroda, T. 2015. Essential Principles of Image Sensors (1st ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/b17411

Gonzalez R. C., Woods R. E. 2008. Digital image processing. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall. ISBN: 9780131687288 013168728X 9780135052679 013505267X

Grauman K. a Leibe, B. 2011. Visual Object Recognition , Morgan & Claypool Publishers

Suthaharan S. 2016. Machine Learning Models and Algorithms for Big Data Classification. NY : Springer New York. 359 s. ISBN 978-1-4899-7640-6

Lewis F.L. a Ge S.S. 2006. Autonomous Mobile Robots: Sensing, Control, Decision Making and Applications (1st ed.). CRC Press. Dostupné na: https://doi.org/10.1201/9781315221229

Eftichia Badeka a spol. 2021. Real-time vineyard trunk detection for a grapes harvesting robot via deep learning, Proc. SPIE 11605, Thirteenth International Conference on Machine Vision, 116051D. DOI : https://doi.org/10.1117/12.2586794

Súhrn

Cieľom tejto práce je analýza techník spracovania obrazu pre navigáciu malého kolesového robota. K dosiahnutiu uvedeného cieľa sa vybrala metóda dvojstupňového detektora objektov s využitím modelu neurónovej siete Yolov5. Súčasťou práce je aj analýza architektúry a algoritmov použitých v modely. Rovnako sú uvedené metódy spracovania údajov pri použití modelu vo formáte ONNX s knižnicou ML.Net C#. Uvedený model bol natrénovaný databázou vinohradov, a analyzovaný metrikami strojového učenia. Na základe výstupu modelu bol určený spôsob navigácie robotického zariadenia vo vinohradníckych sadoch.

Kľúčové slová: detekcia objektov, Yolov5, vinohrad, neurónové site, navigácia

Touto cestou by som chcel vysloviť poďakovanie Ing. Ladislavovi Tóthovi, PhD. a Ing. Lukášovi Vachovi PhD. za pomoc, odborné vedenie, cenné rady a pripomienky pri vypracovaní mojej práce.

Implementácia technológií Priemyslu 4.0 do výučby inžinierskeho študijného programu "Riadiace systémy vo výrobnej technike", KEGA 006SPU-4/2021.

NÁVRH MERACIEHO SYSTÉMU PRE TVORBU ŤAHOVÝCH CHARAKTERISTÍK TRAKTORA
DESIGN OF MEASUREMENT SYSTEM FOR CREATING TRACTOR DRAWING CHARACTERISTICS

TOMÁŠ GOMBÁR[1] – RUDOLF ABRAHÁM[2]

Abstract

The work is devoted to the design of the measuring chain in order to evaluate the compare of the power transmission of the tractor Tomo Vinkovic 731 4K4 with an engine power of 22.5 kW, weight 936 kg in the version of three different versions of the drive wheels on the front drive axle. In addition to the design of the measuring chain for measuring the traction force of the tractor, the thesis also proposes the measurement of fuel consumption with a digital flow meter at different engine speed modes of the tractor and the subsequent evaluation of the specific traction fuel consumption. From the point of view of the creation of drawbar characteristics, it is necessary to propose a methodology for measuring, recording and evaluating slippage with increasing drawbar pull. The output of the proposed measurement chain methodology will be the creation of a traction characteristic with increasing load and a characteristic of the specific traction fuel consumption at a constant load and with three different driving wheels.

Key words: drawbar characteristics, tractor, specific traction consumption, wheels

1 Úvod

Testovanie traktorov používaných v poľnohospodárstve neustále narastá, pretože tieto stroje priamo ovplyvňujú výsledky poľnohospodárskej výroby. Poľnohospodárske traktory strácajú veľa energie preklzávaním hnacích kolies. Aby sa znížilo preklzávanie pneumatík, traktory sú zaťažené veľkou hmotnosťou, ktorá zvyšuje ťah oja, ale nadmerne zvyšuje zhutňovanie pôdy a opotrebovanie pneumatík na tvrdom povrchu (Semetko a kol., 2004). Motorová nafta a ropné produkty patria v súčasnosti k najpoužívanejším palivám. Žiaľ, fosílne palivá sú neobnoviteľné a vyčerpateľné zdroje energie (Müllerová a kol., 2012). Zvýšenie ťahu ťahača traktora ovplyvňuje spotrebu paliva a emisie výfukových plynov. Spotreba paliva traktora je značne ovplyvňovaná použitím prevodového systému a druhu pohonu traktora pri doprave aj práci na poli. V neposlednom rade sa znižovanie spotreby realizuje novými koncepciami riadenia spaľovania v motoroch. Spotreba paliva traktorov pri vysokom preklze motora oveľa viac zaťažuje životné prostredie ako pri nízkom preklze (Molari a kol., 2015), (Abrahám a kol., 2018). Práca sa venuje návrhu meracieho reťazca na stanovenie rozdielu ťahových vlastností jednotlivých hrotových a bezhrotových hnacích kolies namontovaných na prednej hnacej náprave malotraktora Tomo Vinkovič 731 za účelom ich porovnania.

2 Materiál a metódy

Experimentálny traktor Tomo Vinkovič 731 (ďalej TV 731)

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Traktor použitý na experimentálne meranie sme zvolili s kategórie kĺbových malotraktorov. Za účelom splnenia požiadavky témy diplomovej práce pre výkon traktora medzi 20 a 25kW sme zvolili malotraktor 4K4 od srbského výrobcu AGT pod firemným označením Tomo Vinkovič 731. Traktor sa vyrábal v 80 rokoch 20 storočia a v súčasnosti srbský výrobca označuje traktory značkou AGT. Parametre traktora sú uvedené v Tab. 1 a na Obr. 1 je náš experimentálny traktor TV 731. Traktor disponuje maximálnym výkonom 22,5 kW, čo spĺňa požiadavku názvu diplomovej práce. Traktor je klasickej kĺbovej konštrukcie a je vhodný pre obhospodarovanie malovýmerových a taktiež pre jeho kĺbový spôsob riadenia aj pre pozemky s obmedzeným priestorom, taktiež pre sady a vinohrady. Traktor disponuje mechanickým riadením, trojbodovým hydraulickým zariadením kategórie A a umožňuje poháňať pracovné náradie dvoma rozsahmi otáčok 540 a 1000 min^{-1}. Motor je naftový, dvojvalcový s priamym vstrekom paliva so vzduchovým chladením pod označením Lombardini LDA 672.



Obr. 1 Experimentálny traktor TV 731 so špeciálnymi hnacími kolesami
Fig. 1 Experimental tractor TV 731 with special driving wheels

Tab. 1 Základné technické parametre experimentálneho traktora TV 731
Tab. 1 Fundamental technical parameters experimental tractor TV 731

Typ motora	4 - taktný, 2 – valcový, vznetový, vzduchom chladený motor	**Rozmery traktora - dĺžka x šírka, mm**	2740 x 1200
Maximálne otáčky, min^{-1}	3000 ot/min	**Max. ťahová sila na asfalde bez závažia, N**	9025
Menovitý výkon, kW	22,5	**Max. ťahová sila na asfalde so závažím, N**	10300
Pracovný objem, cm^3	1346	**Rázvor, mm**	1185
Max. krútiaci moment, Nm	67,6 pri 2000 ot/min	**Pohotovostná hmotnosť so závažím/bez závažia, kg**	1206/1030

Brzdiaci traktor Zetor 6321

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Brzdiace vozidlo bolo zvolené z nášho interného pracoviska Autoškola Akadémia, pričom zvolený traktor Zetor 6321 (*Obr. 2*) sa používa pri jazdách na výcvikových kurzoch uchádzačov o vodičské oprávnenie skupiny T. Traktor bol zvolený aj s ohľadom na jeho hmotnostné parametre, ktoré ovplyvňujú jeho brzdiace parametre, pričom traktor disponuje približne trojnásobne väčšou pohotovostnou hmotnosťou ako experimentálny traktor TV 731. Z vyššie uvedeného vyplýva jeho dostatočná brzdiaca schopnosť a vhodnosť použitia v našom meracom reťazci ťahovej sily experimentálneho traktor TV 731, pričom jeho brzdový systém z hľadiska jeho každodenného využívania musí byť na plne funkčnej úrovni. Vybrané technické parametre sú uvedené v *Tab. 2*.



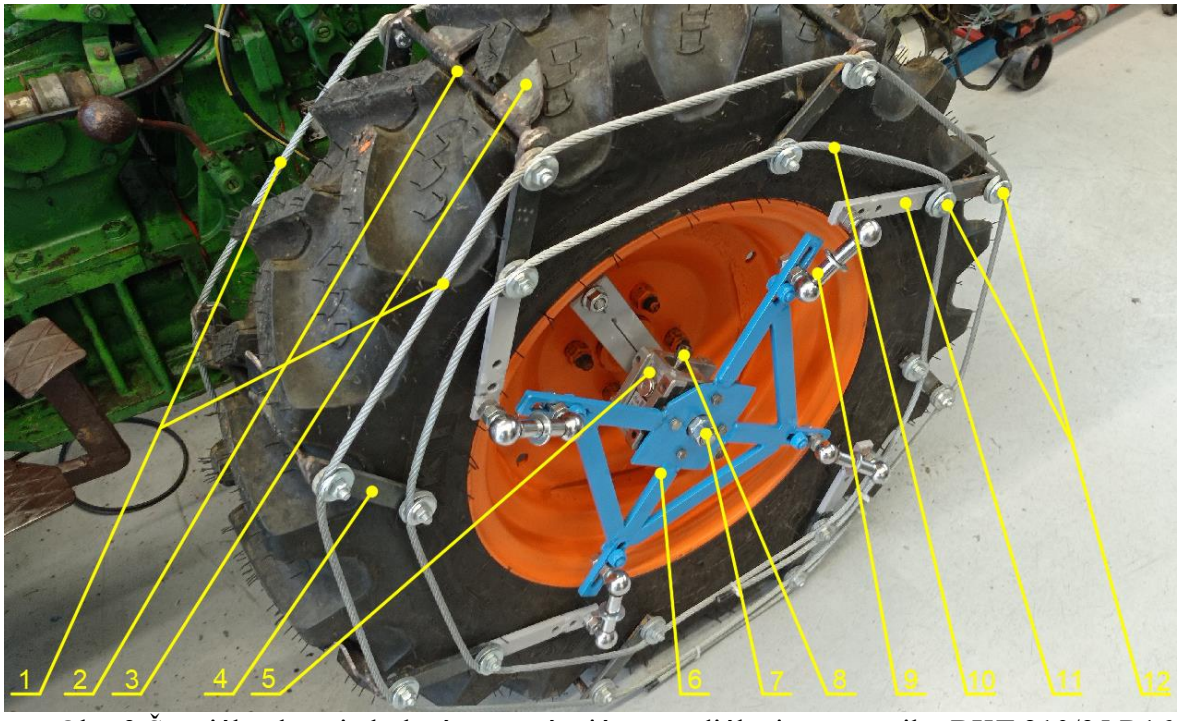
Obr. 2 Brzdiaci traktor Zetor 6321
Fig. 2 Braking tractor Zetor 6321

Tab. 2 Základné technické parametre brzdiaceho traktora Zetor 6321
Tab. 2 Fundamental technical parameters tractor Zetor 6321

Typ motora	4 taktný, 4 valcový, vznetový, vodou chladený motor	**Rozmery traktora - dĺžka x výška, mm**	3820 x 2650
Maximálne otáčky, min^{-1}	2450 ot/min	**Max. hmotnosť prívesu, kg**	8500
Menovitý výkon, kW	54 pri 2200 ot.min^{-1}	**Rozsah rýchlosti, km.$^{h-1}$**	2,0-30
Pracovný objem motora, cm^3	3922	**Rázvor, mm**	2260
Max. krútiaci moment, Nm	247 pri 1500 ot.min^{-1}	**Pohotovostná hmotnosť, kg**	3200

Špeciálne hnacie kolesá

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 3 Špeciálne hnacie kolesá pozostávajúce z radiálnej pneumatiky BKT 210/95 R16 a hrotového zariadenia: 1 – nosné lano, 2 – vodorovné rameno, 3 – hrot, 4 – zvislé rameno krátke, 5 - závitovková samosvorná prevodovka , 6 – unášač ovládania, 7 – zaisťovacia matica M14, 8 – šesťhran M8, 9 – kĺbové tiahlo, 10 – ovládacie lano, 11 – zvislé rameno dlhé 12 – otočné čapy

Fig. 3 Special driving wheels consist of radials tyre BKT 210/95 R16 and spikes device: 1 – carrying wire rope, 2 – cross-beam, 3 – spike, 4 - vertical arm short, 5 – worm self-locking gearbox, 6 – operating carrier, 7 – blocked screw M14, 8 – hexagonal head M8, 9 – joint coupling, 10 – control wire rope, 11 – vertical arm long, 12 – pivoted pins

Špeciálne hnacie kolesá (*Obr. 3*) pozostávajú z ôsmych vodorovných ramien (2) umiestnených v telese pneumatiky, pričom každé z nich je vybavené dvoma hrotmi a zvislým krátkym vodiacim ramenom (4). Takto tvorené hrotové segmenty sú prostredníctvom otočných čapov (12) zverne upevnené k nosnému lanu (1) a ovládaciemu lanu (10). Otočné čapy (12) pevne zvierajú obe laná pričom sa môže otáčať okolo vlastnej osi. Nosné lano (1) umiestnené na oboch stranách pneumatiky slúži na rovnomerné rozloženie síl, vznikajúcich pri vysunutom hrotovom zariadení, do celého zariadenia. Ovládacie lano (10) zabezpečuje vysunutie všetkých hrotov z pneumatiky a taktiež umožňuje jednotlivým hrotovým segmentom vzájomne držať svoju polohu. Zvislé ovládacie ramená (11) slúžia na zmenu polohy hrotového zariadenia, nakoľko cez kĺbové tiahla ovládania (9) prenášajú pohyb z unášača (6). Tento pohyb potrebný pre zmenu polohy hrotového zariadenia je vyvodený vďaka závitovkovej samosvornej prevodovky (5), ktorej polohu je možné zmeniť prostredníctvom šesťhranu na ovládanie (8) prostredníctvom akumulátorovej uťahovačky. Unášač (5) s závitovkovou prevodovkou je ku stredovému hriadeľu zaistený pomocou zaisťovacej matice M14 (7).

Pri prejazde po spevnenej vozovke nie je potrebná demontáž hrotového zariadenia nakoľko je možné zasunutie hrotov. Poloha výsuvných hrotov (3) je menená prostredníctvom ovládania závitovkovej samosvornej prevodovky (8) prostredníctvom akumulátorovej uťahovačky. V prípade zasunutého hrotového zariadenia nedochádza k ovplyvneniu prenosu síl medzi pneumatikou a podložkou.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Použité meracie zariadenia - prietokomer paliva



Obr.4 Prietokomer paliva FCH m-POM-LC
Fig.4 Flow Meter of fuel FCH m-POM-LC

Tab.3 Tabuľka parametrov prietokomera paliva
Tab. 3 Table of parameters flow meter of fuel

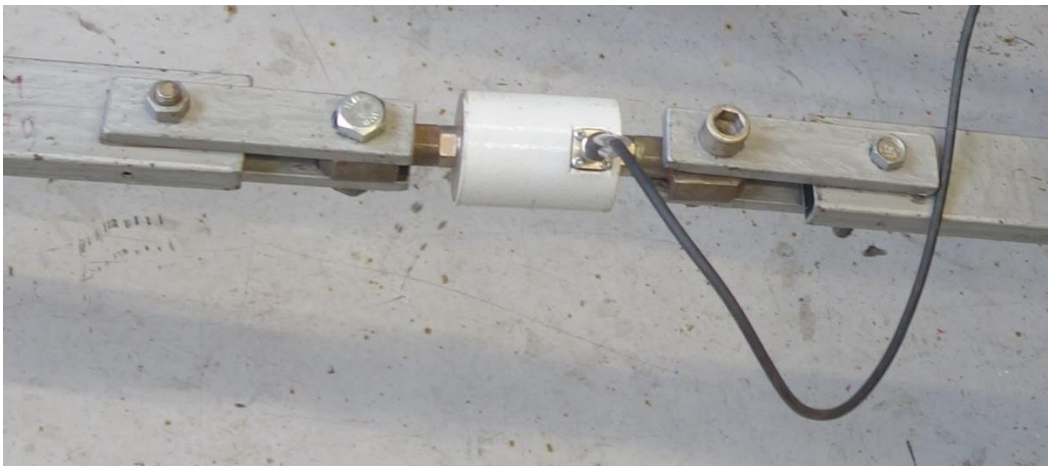
Druh senzora	senzor prietoku
Napájacie napätie	24V
Prevádzkový tlak maximálny	4 bar
Merací rozsah	0,01-3,.5 $l.min^{-1}$
Princíp merania	turbína
Systém snímania	na základe Hallovho efektu
Presnosť merania	± 2%

Prietokomer na *Obr. 4* slúži na meranie najmenších množstiev prietoku vody, benzínu, nafty alebo vykurovacieho oleja. Využíva sa hlavne na meranie spotreby tekutého paliva vo vozidlách so spaľovacím motorom. Všetky časti, ktoré prichádzajú do styku s palivom sú chránené odolným plastom. V prietokomeri je integrovaný senzor, ktorý produkuje počas merania presný obdĺžnikový signál. V *Tab. 3* sú uvedené základné parametre prietokomera.

Použité meracie zariadenia – tenzometrický snímač EMS 150E

Tenzometrický snímač sily EMS 150E (*Obr. 5*) je typ snímača, určený pre ťažké prevádzkové podmienky pre meranie tlaku a ťahu do hodnoty 20kN. Snímač je možné používať v smere jeho osi v ťahu a tlaku s odchýlkou 3 stupne. Snímač má plný tenzometrický mostík so zabudovaným elektronickým prevodníkom. Prepojenie sa uskutočňuje pomocou kábla alebo konektora. Je nutné uviesť smer záťaže, či sa jedná o tlak alebo ťah kvôli polarite vstupného signálu.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 5 Tenzometrický snímač EMS 150E
Fig. 5 Strain gauge force sensor EMS 150E

Použité meracie zariadenia – napájací akumulátor, meracia a záznamová jednotka Hydac

Napájací akumulátory Panasonic LC-R127R2P (*Obr. 6*) slúžia na 12V napájanie sústavy snímačov na meranie preklzu a na napájanie 24V v sériovom zapojení pre napájanie prietokomera paliva z obr. 4. Batéria je oloveného typu s gélovým elektrolytom s nasledovnými parametrami: Napätie - 12V, kapacita – 7,2 Ah, hmotnosť – 2,47 kg, rozmery – 151x64,5x94mm. Meracia a záznamová jednotka Hydac 3010 (*Obr. 7*) slúži na napájanie tenzometrického snímača sily a na meranie a zaznamenanie ťahovej sily a otáčok hnacieho, resp. piateho kolesa, z ktorých sa následne podľa nižšie uvedených vzťahov vypočíta preklz hnacích kolies vztiahnutý ku konkrétnej hodnote ťahovej sily v reálnom čase.



Obr. 6 Napájacie akumulátory LC-R127R2P
Fig. 6 Feeding accumulators LC-R127R2P



Obr. 7 Záznamová jednotka Hydac 3010
Fig. 7 Recording unit Hydac 3010

1. Výpočet prejdenej dráhy l_P piateho kolesa:

$$l_P = \frac{O_P . i_P}{n_o}, m \qquad (1)$$

Kde: O_P – dynamický obvod piateho kolesa, m
i_P – počet impulzov snímača piateho kolesa

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

n_o – počet snímacích bodov na piatom kolese (n_o = 18)
Where: O_P – dynamic circuit of the fifth wheel, m
i_P – number of pulses of the fifth wheel sensor
n_o – number of sensing points on the fifth wheel (n_o = 18)

2. Výpočet dynamického obvodu piateho kolesa O_P:

$$O_P = \frac{l_P}{n_p}, m \quad (2)$$

Kde: l_P – prejdená dráha pri stanovenom počte otáčok piateho kolesa, m
n_p – stanovený počet otáčok piateho kolesa (n_p = 20)
Where: l_P – distance travelled at the specified number of revolutions fifth wheel, m
n_p – specified number of revolutions of the fifth wheel (n_p = 20)

3. Výpočet prejdenej dráhy l_h hnacieho kolesa:

$$l_h = \frac{O_H . i_H}{n_o}, m \quad (3)$$

Kde: O_H – dynamický obvod hnacieho kolesa, m
i_H – počet impulzov snímača hnacieho kolesa
n_o – počet otvorov na kotúči snímača hnacieho kolesa (n_o = 20)
Where: O_H – dynamic circuit of the drive wheel, m
i_H – number of pulses of the drive wheel sensor
n_o – number of holes on the drive wheel sensor disc (n_o = 20)

4. Výpočet dynamického obvodu hnacieho kolesa O_H:

$$O_H = \frac{l_H}{n_H}, m \quad (4)$$

Kde: l_H – prejdená dráha pri stanovenom počte otáčok hnacieho kolesa, m
n_H – stanovený počet otáčok hnacieho kolesa (n_z = 20)
Where: l_H – distance travelled at a specified number of revolutions of the drive wheel, m
n_H – set number of revolutions of the drive wheel (n_z = 20)

5. Výpočet preklzu δ hnacích kolies v čase 0,5s:

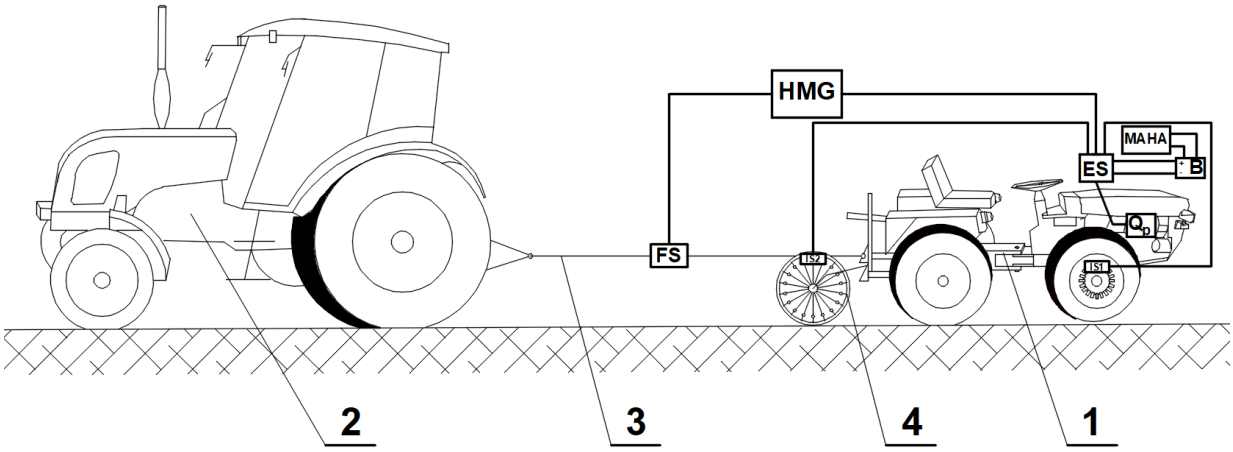
$$\delta = \frac{l_{H_{0,5}} - l_{H_0} - \left(l_{P_{0,5}} - l_{P_0}\right)}{l_{H_{0,5}} - l_{H_0}} . 100, \ \% \quad (5)$$

Kde: $l_{H_{0,5}}$ – prejdená dráha hnacieho kolesa v čase 0,5s, m
l_{H_0} – prejdená dráha hnacieho kolesa v čase 0s, m
$l_{P_{0,5}}$ – prejdená dráha piateho kolesa v čase 0,5s, m
l_{P_0} – prejdená dráha piateho kolesa v čase 0s, m
Where: $l_{H_{0,5}}$ – distance travelled by the drive wheel in time 0,5s, m
l_{H_0} – distance travelled by the drive wheel in time 0s, m
$l_{P_{0,5}}$ – travelled path of the fifth wheel in time 0,5s, m
l_{P_0} – travelled path of the fifth wheel in time 0s, m

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

3 Výsledky a diskusia

Kompletná schéma meracieho reťazca



Obr. 8 Schéma meracieho reťazca:1 – experimentálny traktor TV 731, 2 – brzdiaci traktor Zetor 6321, 3 – spojovacia reťaz, 4 – piate koleso, IS1 - snímač otáčok hnacieho kolesa, IS2 – snímač otáčok piateho kolesa, FS – snímač sily, HMG – záznamová jednotka Hydac 3010, B – akumulátor, ES – elektronický systém na spracovanie signálu z indukčných snímačov otáčok a z prietokomera, MAHA – meranie otáčok motora, Q_p – prietokomer
Fig. 8 Design measuring chain: 1 – experimental tractor TV 731, 2 – braking tractor Zetor 6321, 3 – connecting chain, 4 – fifth wheel, IS1 – drive wheel speed sensor, IS2 – fifth wheel speed sensor, FS – force sensor, HMG – recording unit Hydac 3010, B – battery, ES – electronic system for signal processing from inductive speed sensors and from the flow meter, MAHA – measurement of engine speed, Q_p – flow meter

Meranie spotreby paliva

Spotreba paliva je meraná z hľadiska podrobnejšieho porovnania rôznych typoch hnacích kolies z hľadiska mernej ťahovej spotreby paliva. Meracia zostava pozostáva z piatich základných komponentov a to: prietokomera, dvoch 12V gélových akumulátorov zapojených do série, elektronického systému napájania a zobrazovacieho displeja. Systém pracuje kontinuálne a zobrazovací displej má nasledovné funkcie: nulovanie, nastavenie parametrov prietoku pri nízky alebo vysoký prietok, zastavenie a uloženie hodnoty prietoku paliva. Z nižšie uvedeného grafu na *Obr.* 9 merania spotreby treba poznamenať, že prietokomer sme pred meraním kalibrovali podľa spotrebovania 100 ml paliva, pričom displej prietokomera po spotrebovaní paliva takmer identicky ukázal hodnotu 2000. V *Tab.3* sú uvedené hodnoty v jednotkách prietokomera a v *Tab.4* sú uvedené už prepočítané hodnoty spotrebovaného paliva v $l.hod^{-1}$. Prepočítavací koeficient z jednotiek na displeji prietokomera na litre za hodinu je 33,33, pričom hodnota z displeja prietokomera sa podelí touto konštantou. Na Obr. 9 sme simulovali dve záťaže. Prvá záťaž bola simulovaná ťahaním vozidla Škoda Octavia na prvom prevodovom stupni a vysoká záťaž bola simulovaná ťahaním vozidla Škoda Octavia na druhom prevodovom stupni. Bez záťaže experimentálny traktor neťahal nič a prekonával len valivé odpory pojazdových kolies a valivých ložísk hriadeľov prevodového a pojazdového ústrojenstva na prvom a druhom prevodovom stupni.

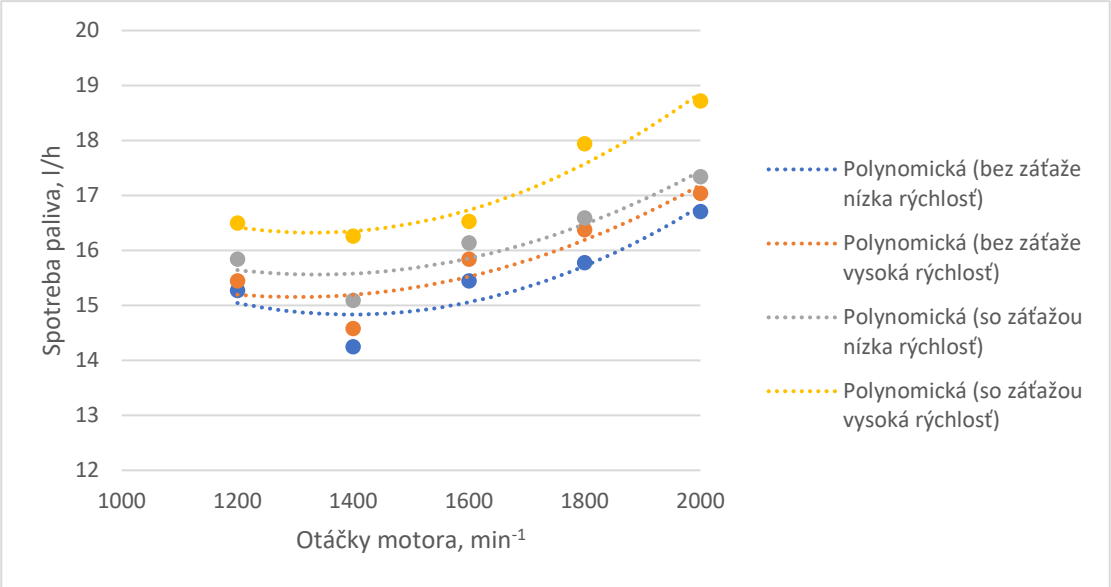
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Tab.4 Spotreba paliva podľa údajov z displeja prietokomera
Tab.4 Fuel consumption according to data from the flow meter display

Spotreba paliva v jednotkách displeja prietokomera					
otáčky motora, min-1	1200	1400	1600	1800	2000
bez záťaže nízka rýchlosť	509	475	515	526	557
bez záťaže vysoká rýchlosť	515	486	528	546	568
so záťažou nízka rýchlosť	528	503	538	553	578
so záťažou vysoká rýchlosť	550	542	551	598	624

Tab.5 Spotreba paliva prepočítaná na l/hod
Tab.5 Fuel consumption converted to litre per hour

Spotreba paliva v l/hod					
otáčky motora, min^{-1}	1200	1400	1600	1800	2000
bez záťaže nízka rýchlosť	1,527	1,425	1,545	1,578	1,671
bez záťaže vysoká rýchlosť	1,545	1,458	1,584	1,638	1,704
so záťažou nízka rýchlosť	1,584	1,509	1,614	1,659	1,734
so záťažou vysoká rýchlosť	1,65	1,626	1,653	1,794	1,872



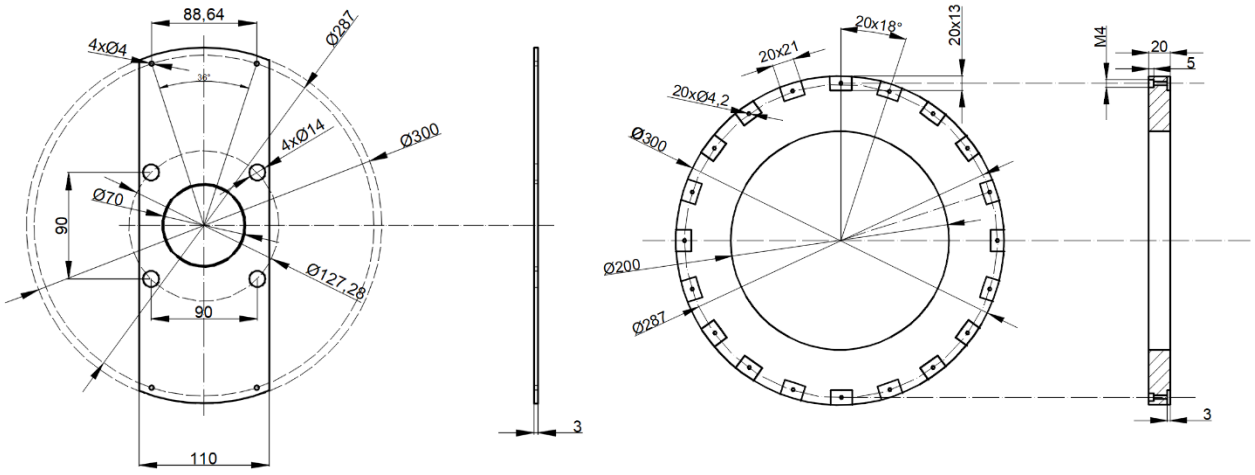
Obr.9 Priebeh spotreby paliva experimentálneho traktora TV 731 pri rôznych otáčkach motora, záťažiach a pojazdovej rýchlosti
Fig.9 Course of fuel consumption of experimental tractor TV 731 at different engine speeds, loads and driving speed

Meranie preklzu a ťahovej sily

Z hľadiska merania preklzu sme museli experimentálny traktor dovybaviť snímačmi na hnacích kolesách vybavených hrotovým zariadením a piatym kolesom, ktoré zaznamenáva skutočnú prejdenú dráhu traktora počas zaťažovania a merania ťahových síl. Na *obr. 10a* je rozmerová schéma upevňovacej platne pomocou ktorej je preklzový kotúč v súosovej polohe s hnacím kolesom pripevnený k štvorskrutkovému náboju kolesa. Na *obr. 10b* je znázornená rozmerová schéma plastového preklzového kotúča, na ktorý sa pripevňujú senzorivé kovové

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

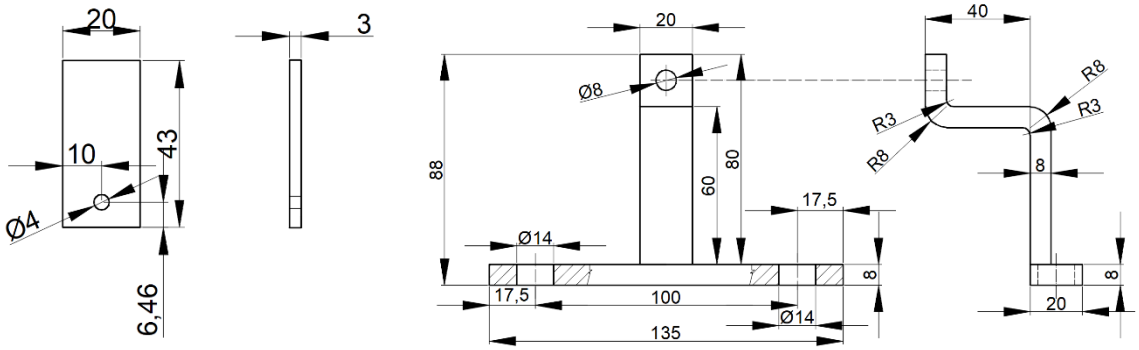
plechy znázornené na *obr 11a*. Preklzový kotúč je vyrobený s pluretánového vlákna na 3D tlačiarni. Na *obr. 11b* znázornená rozmerová schéma držiaka snímača montovaného na prednú ľavú polos experimentálneho traktora TV 731.



a) **b)**

Obr.10 Rozmerová schéma: a) upevňovacia platňa k náboju kolesa, b) plastový preklzový kotúč

Fig.10 Dimensional diagram: a) fastening plate to the wheel hub, b) sliding disc



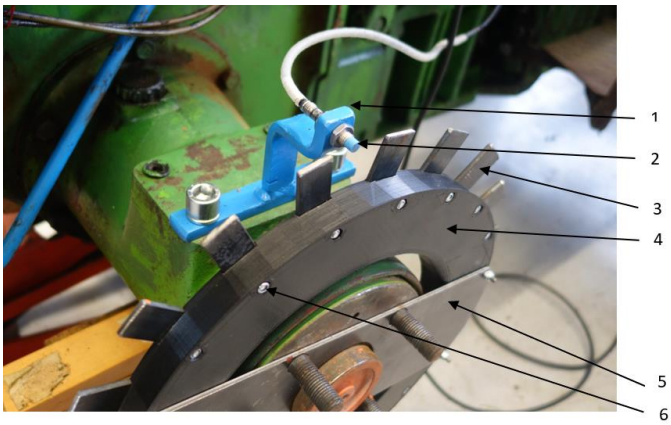
a) **b)**

Obr.11 Rozmerová schéma a) snímačového plechu, b) držiaka snímača

Fig.11 Dimensional diagram a) sensor plate, b) sensor holder

Na *Obr. 12* je znázornené umiestnenie preklzových komponentov na experimentálnom traktore TV 731 bez namontovaného hnacieho kolesa, pričom vzdialenosť medzi inkementálnym snímačom a snímačovým plechom musí byť max 7mm aby snímač správne pracoval. Podobne musí byť nastavená aj vzdialenosť snímača od snímačových skrutiek na obr. 13. Piate koleso zobrazené na *Obr. 13* musí byť pripevnené k experimentálnemu taraktoru pomocou kardanového kĺbu ktorý zabezpečuje stály kontakt pneumatiky piateho kolesa s akýmkoľvek stavom podložky, čo sa týka jej rovinatosti a nehomogénneho povrchu. Celá zostava piateho kolesa pozostáv z prednej vidlice s kolesom z bicykla. Za účelom spätného chodu experimentálneho traktora zavesenie kolesa musí umožňovať jeho nadvihnutie a zaistenie nad úroveň povrchu aspoň do výšky 20 cm na podložku. Zaistenie je zabezpečené prostredníctvom upraveného drôtu s priemerom 3mm, ktorého jeden koniec je otočne uchytený hákovým spôsobom na experimentálnom traktore a druhým koncom je taktiež hákovým spôsobom držané piate koleso v požadovanej nadvihnutej polohe.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr.12 Zobrazenie umiestnenia základných komponentov merania otáčok hnacích kolies za účelom stanovenia preklzu: 1 – držiak snímača otáčok, 2 – inkrementálny snímač, 3 – dvadsať snímačových plechov, 4 – preklzový plastový kotúč vyrobený na 3D tlačiarni, 5 – upevňovacia platňa, 6 – zapustené skrutky M4x25

Fig.12 Showing the location of the basic components for measuring the speed of the driving wheels for the purpose of determining the slip: 1 - the holder of the speed sensor, 2 - the incremental sensor, 3 - twenty sensor plates, 4 - the slip plastic disc made on a 3D printer, 5 - the fixing plate, 6 - countersunk screws M4x25



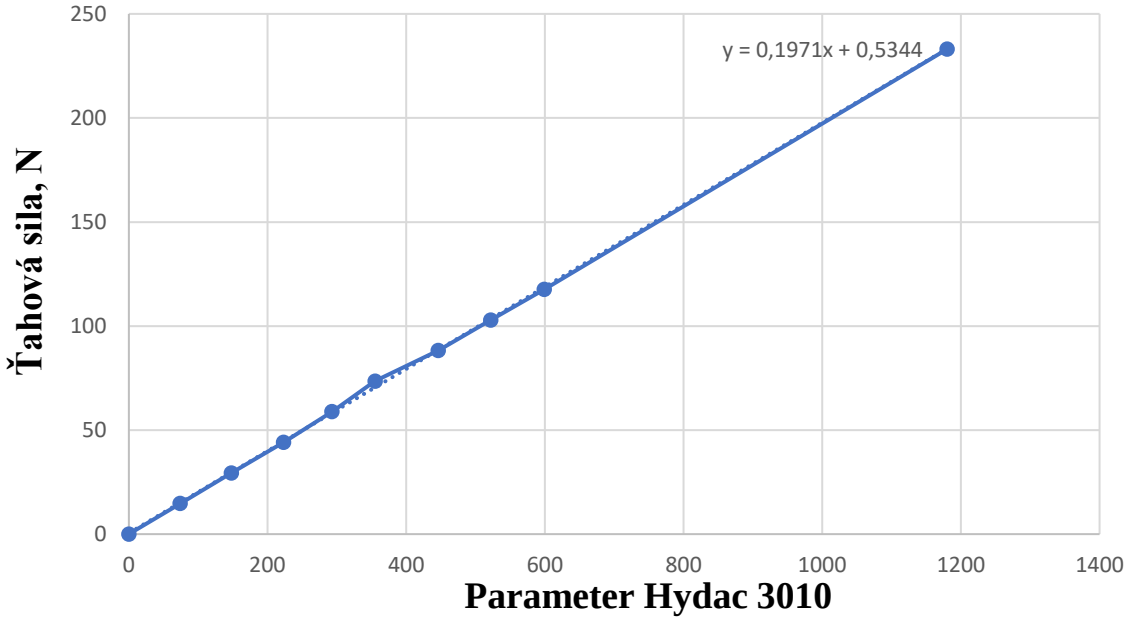
Obr. 13 Piate koleso 1 – držiak kolesa, 2 – kĺbové spojenie, 3 – pneumatika 26x1,25, 4 – snímačové skrutky M8x15, 5 – inkrementálny snímač otáčok

Fig.13 Fifth wheel 1 – wheel holder, 2 – joint, 3 – tire 26x1.25, 4 – sensor screws M8x15, 5 – incremental speed sensor

Pre meranie ťahovej sily je potrebné okrem samotného zaznamenávania ťahovej sily zaznamenávať v konkrétnom čase aj otáčky predného hnacieho a zadného piateho kolesa. Z hľadiska presnosti merania je potrebné tenzometrický snímač sily nakalibrovať, aby sme jednotkám sily zaznamenávanej jednotkou Hydac 3010 vedeli priradiť hodnotu ťahovej sily. Kalibrovaním sme dostali lineárnu regresnú rovnicu závislosti ťahovej sily a zobrazovacích jednotiek Hydac 3010 podľa grafu na *Obr.14*.

Z hľadiska dosiahnutia preklzu traktora od 0 do 100% bude experimentálny traktor TV 731 postupne pribrzďovaný brzdiacim traktorom Zetor 6321 až do úplného zastavenia, pričom postupné spomaľovanie brzdiaceho traktora Zetor sa realizuje jeho postupným znižovaním otáčok spaľovacieho motora. Na *Obr. 15* je znázornená meracia zostava pre meranie ťahovej sily a preklzu s hlavnými komponentami.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr.14 Kalibračná krivka s regresnou rovnicou
Fig. 14 Calibration curve with the regression equation



Obr.15 Meracia zostava merania preklzu a ťahovej sily: 1 – Meracia a záznamová jednotka Hydac 3010, 2 – napájací gélový akumulátor 12V, 3 – tenzometrický snímač sily EMS 150, 4 – spojovacia reťaz, 5 - elektronický systém na spracovanie signálu z indukčných snímačov otáčok pre záznamovú jednotku Hydac 3010
Fig. 15 Measuring assembly for measuring slippage and drawbar pull: 1 – Hydac 3010 measurement and recording unit, 2 – 12V power gel battery, 3 – EMS 150 strain gauge force sensor, 4 – connecting chain, 5 – electronic system for signal processing from inductive speed sensors for recording Hydac 3010 unit

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

4 Záver

Na záver konštatujeme, že navrhnutý merací reťazec je pripravený na experimentálne merania s overenou funkciou spolupráce všetkých meracích zariadení. Pri meraniach spotreby paliva experimentálneho traktora navrhujeme vytýčiť úsek aspoň 50m, na ktorom sa bude okrem merania spotreby paliva a ťahovej sily merať aj čas prejazdu pri troch rôznych stupňoch záťaže brzdiacim traktorom Zetor, pričom každé ďalšie meranie bude prebiehať v nových jazdných stopách. Pri spätnej jazde na začiatok vytýčeného úseku sa bude merať valivý odpor experimentálneho traktora, o ktorý bude znižovaná hodnota nameranej ťahovej sily. Merania ťahových síl navrhujeme realizovať na rovinatom nevytýčenom trávnatom úseku postupným znižovaním rýchlosti brzdiaceho traktora Zetor znižovaním otáčok jeho spaľovacieho motora. Stopercentný preklz sa bude realizovať úplným zastavením brzdiaceho traktora a celého meracieho reťazca.

Literatúra

ABRAHÁM, Rudolf – MAJDAN, Radoslav – DRLIČKA, Róbert. 2018.Comparison of consumption of tractor at three different driving wheels on grass surface .In: Agronomy Research. -- ISSN 1406-894X. -- Vol. 16, no. 3, s. 621-633.

BATTIATO, Andrew and DISEREN, Elan. 2013. Influence of Tyre Inflation Pressure and Wheel Load on the Traction Performance of a 65 kW MFWD Tractor on a Cohesive Soil. Journal of Agricultural Science., 5(8): 197–215.

MOLARI, Giovanni – MATTETTI, Michele – WALKER, Matthew. 2015. Field Performance of an Agricultural Tractor Fitted with Rubber Tracks on a Low Trafficable Soil. Journal of Agricultural Engineering. Pages 57–63.

MÜLLEROVÁ, Daniela - JABLONICKÝ, Juraj - HUJO, Ľubomír - TKÁČ, Zdenko - KUČERA, Marián - KOSIBA, Ján. 2012. Measurement of operating parameters and emissions of tractor with diesel ol and biofuel. In TEAM. Osijek-Baranja : University Josip Juraj Strossmayer, vol. 4, no. 1, p. 299-302.

SEMETKO, Jozef - BAUER, František - ČERNÝ, Jan - ŽIKLA, Anton. 1985. Mobilné energetické prostriedky : mechanizmy vozidiel. 2. 1. vyd. Bratislava : Príroda, 368 s., 373 obr. ISBN

SEMETKO, Jozef - JANOŠKO, Ivan - PERNIS, Peter. 2004. Určovanie výkonu vozidla s pohonom viac náprav. In *Acta technologica agriculturae*. ISSN 1335-2555, roč. 7, č. 1, s. 20-23.

Súhrn

Práca sa venuje návrhu meracieho reťazca za účelom porovnania efektivity prenosu výkonu traktora Tomo Vinkovič 731 4K4 s výkonom motora 22,5 kW, hmotnosťou 936 kg vo verzii troch rôznych verzií hnacích kolies na prednej hnacej náprave. Okrem návrhu meracieho reťazca pre meranie ťahovej sily traktora práca navrhuje aj meranie spotreby paliva digitálnym prietokomerom pri rôznych režimoch otáčok motora traktora a následné vyhodnotenie mernej ťahovej spotreby paliva. Z hľadiska tvorby ťahových charakteristík je potrebné navrhnúť metodiku merania, zaznamenávania a vyhodnotenia preklzu pri narastajúcej ťahovej sile. Výstupom navrhovanej metodiky meracieho reťazca bude tvorba ťahovej charakteristiky so zvyšujúcou sa záťažou a charakteristiky mernej ťahovej spotreby paliva pri konštantnej záťaži a pri troch rôznych pojazdových kolesách.

Kľúčové slová: ťahová charakteristika, traktor, merná ťahová spotreba, kolesá

Príspevok vznikol s podporov projektu VEGA 1/0724/19 pod názvom: Výskum, návrh a aplikácia špeciálnych hnacích kolies na zlepšenie ťahových vlastností a elimináciu poškodenia pôdy počas prevádzky vozidiel a traktorov.

SLEDOVANIE PRIETOKU ZUBOVÉHO HYDROGENERÁTORA SIMULÁCIOU PREVÁDZKOVÝCH PODMIENOK
MONITORING OF FLOW RATE OF TOOTHED HYDROGENERATOR BY SIMULATING OPERATING CONDITIONS

MONIKA HAJDÁKOVÁ[1] – ĽUBOMÍR HUJO[2]

Abstract

In this thesis we focus on flow changes of a toothed hydrogenerator by simulating operating conditions in laboratory conditions. The simulation of operating conditions was carried out on a specialized testing device, where by repeatedly changed pressure in the hydraulic circuit we loaded the hydrogenerator through the proportional pressure valve in specified range of pressure and temperature of working fluid. To achieve the goal we set, a methodology was designed for measuring the cyclic loading of the hydrogenerator, where after every 25 worked hours, which means after 60 000 cycles, we did a measurement of the flow rate of hydrogenerator using a combined sensor and recording device Hydac HMG 3010 according to the conditions determined by the SAE J745 standard. The result of this work is monitoring changes in the flow rate and flow efficiency of the toothed hydrogenerator depending on worked hours and on the load of hydrogenerator. The recorded drop in the flow rate of the toothed hydrogenerator at individual pressure loads did not exceed the limit values set by the SAE J745 standard, from which it can be concluded that the hydrogenerator after simulating the operational load after finishing 200 h is satisfactory.

Key words: toothed hydrogenerator, operating conditions, simulation, flow rate

1 Úvod

Tekutinové mechanizmy sú v dnešnej dobe neoddeliteľnou súčasťou života človeka v rôznych sférach – v automobilovom priemysle, strojárstve, poľnohospodárstve, lesníctve, stavebníctve, medicíne či v zábavnom priemysle. Vďaka ich širokému využitiu a množstvu svojich výhod sa implementovali nie len do profesijného, ale aj do bežného života človeka.

Hydrostatické mechanizmy patria do tekutinových mechanizmov, ktoré využívajú ako pracovnú náplň hydraulickú kvapalinu – najčastejšie hydraulický olej kvôli jeho najlepším vlastnostiam v porovnaní s inými kvapalinami. (Baroška, 2012).

Veľkú skupinu týchto mechanizmov tvoria hydrostatické prevodníky, ktoré uplatňujú základný zákon hydrostatiky, tzv. Pascalov zákon, ktorý popisuje šírenie tlaku v kvapaline a na prenos energie najčastejšie využívajú tlakovú energiu kvapaliny. Pri hydrostatických prevodníkoch dochádza k prevodu energie buď z pevných častí na stĺpec kvapaliny u hydrogenerátorov, alebo u hydromotorov opačne. Princíp práce hydrostatických prevodníkov je objemový a je založený na periodickej zmene veľkosti alebo periodickom premiestnení jedného alebo viacerých pracovných priestorov, v dôsledku čoho sa kvapalina dopravuje zo vstupného do výstupného kanála (Hujo et al., 2017). Medzi tieto prevodníky sa radia

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

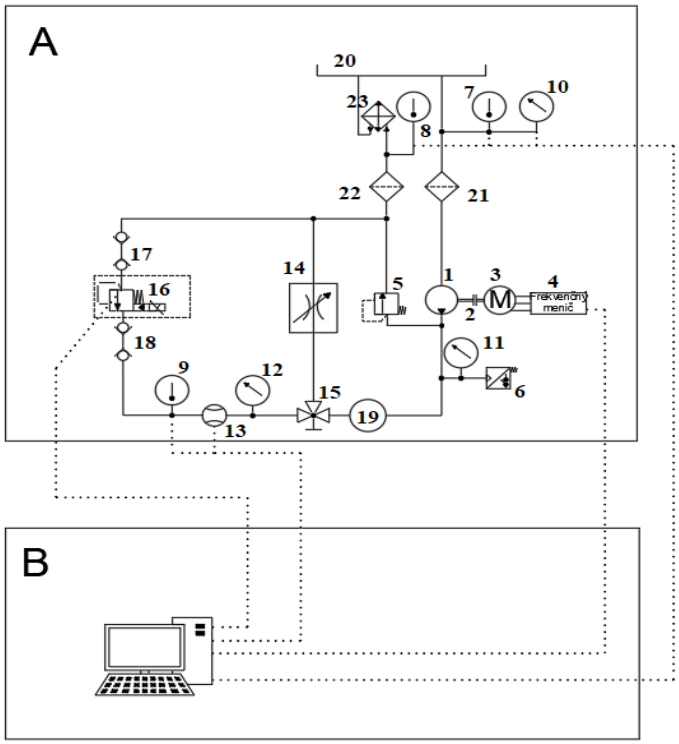
hydrogenerátory, hydromotory a akumulátory. Určujúcimi vlastnosťami hydrogenerátorov je prietok, otáčky, geometrický objem, tlak a príkon hydrogenerátora (Baroška, 2012).

Cieľom práce je sledovať zmeny prietokových charakteristík zubového hydrogenerátora simuláciou prevádzkových podmienok v laboratórnych podmienkach na špecializovanom skúšobnom zariadení. V práci sa popisujú zmeny prietoku zubového hydrogenerátora a prietokovej účinnosti v závislosti od počtu odpracovaných hodín a v závislosti od tlakového zaťaženia hydraulickej sústavy, kde v presne stanovených intervaloch boli realizované merania prietoku hydrogenerátora.

2 Materiál a metódy

Simuláciu prevádzkových podmienok zaťažovania zubového hydrogenerátora uskutočníme na laboratórnom skúšobnom zariadení pri testovaní hraničných prevádzkových hodnôt tlaku a teploty pracovnej kvapaliny pomocou skúšobnej metódy SAE J745, pričom zohľadňujeme reálne podmienky, pri ktorých pracuje hydraulický systém poľnohospodárskeho traktora.

Simulácia prevádzkového zaťaženia zubového hydrogenerátora a meranie prietokov zubového hydrogenerátora boli realizované na skúšobnom zariadení, ktoré sa nachádza v Laboratóriu hydraulických mechanizmov na Katedre dopravy a manipulácie, TF SPU v Nitre (*obrázok 2*). Toto zariadenie je určené na skúšky hydrostatických prevodníkov a na testovanie hydraulických kvapalín. Pozostáva z dvoch hydraulických obvodov, ktoré umožňujú súbežne testovať dve rozdielne kvapaliny, hydrostatické prevodníky a prvky hydraulického obvodu (Hujo, 2017). V prípade nášho merania bol využitý iba jeden hydraulický obvod, a to primárny hydraulický obvod. Na *obrázku 1* sa nachádza hydraulická schéma primárneho hydraulického obvodu skúšobného zariadenia, ktorá funkčne znázorňuje jednotlivé prvky obvodu nevyhnutné pre jeho správnu činnosť a pre účely merania.



Obr. 1 Hydraulická schéma primárneho obvodu
Zdroj: Hujo et al., 2017

A – hydraulický okruh, B – riadiaci a vyhodnocovací okruh, 1 – hydrogenerátor, 2 – spojka, 3 – elektromotor, 4 – frekvenčný menič, 5 – tlakový ventil, 6 – tlakový snímač TSI, 7 – teplomer 1, 8 – teplomer 2, 9 – teplomer 3, 10 – tlakomer 1, 11 – tlakomer 2, 12 – tlakomer 3, 13 – prietokomer, 14 – škrtiaci ventil so stabilizáciou, 15 – trojcestný ventil, 16 – elektrohydraulický proporcionálny ventil, 17 – rýchlospojka 1, 18 – rýchlospojka 2, 19 – meracie body hodnotenia ukazovateľov kvapalín, 20 – nádrž, 21 – filter 1, 22 – filter 2, 23 – chladič

V skúšobnom zariadení bol zapojený pravotočivý zubový hydrogenerátor s vonkajším ozubením, ktorého zmeny prietokových charakteristík boli predmetom skúmania tejto práce. Hydrogenerátor je produktom od spoločnosti Jihostroj a. s. a je označený ako GHD1-17R-S2D1-SG05G04-N. V *tabuľke 1* sú uvedené technické parametre uvedeného hydrogenerátora.

Tab. 1 Technické parametre zubového hydrogenerátora GHD1-17R-S2D1-SG05G04-N
Tab. 1 Technical parameters of toothed hydrogenerator GHD1-17R-S2D1-SG05G04-N

Parameter		Hodnota	Jednotka
Geometrický objem - V_G		$17{,}39.10^{-3}$	[dm^3]
Otáčky	nominálne - n_n	1 500	[min^{-1}]
	minimálne - n_{min}	400	[min^{-1}]
	maximálne - n_{max}	3 200	[min^{-1}]
Maximálny tlak na vstupe - p_1		0,05	[MPa]
Maximálny tlak na výstupe - p_2		30	[MPa]
Maximálny prietok pri n_{max} - Q_{max}		54,5	[$dm^3.min^{-1}$]
Maximálny príkon pri n_{max} - P_{max}		33,60	[kW]
Zmysel otáčania		Pravotočivý	[-]

Zdroj: Jihostroj a. s., Velešín, 2022

Na meranie požadovaných parametrov je v hydraulickom obvode zapojená meracia technika pozostávajúca z nasledovných snímačov, ktorých parametre sú uvedené v *tabuľke 2*:

snímač teploty pracovnej kvapaliny,
snímač prietoku pracovnej kvapaliny,
snímač tlaku pracovnej kvapaliny.

Tab. 2 Technické parametre snímačov
Tab. 2 Technical parameters of sensors

Snímač teploty pracovnej kvapaliny ETS-4148-H-006-000		
Parameter	Jednotky	Hodnota
Tepelný rozsah	ºC	–25 až 100
Pracovný prúd	mA	4 až 20
Pracovné napätie,	V	8 až 32
Doba odozvy	s^{-1}	4
Presnosť merania	%	±0,8
Snímač prietoku pracovnej kvapaliny EVS-3108-H-0060-000		
Napájanie	V	12 – 30
Signál	mA	4 – 20
Teplota kvapaliny	ºC	–20 ÷ 90
Teplota okolia	ºC	–20 ÷ 70
Meraný prietok	$dm^3.min^{-1}$	6 ÷ 60
Pracovný tlak maximálny	MPa	40
Presnosť merania	%	< 2 od skutočnej hodnoty
Snímač tlaku pracovnej kvapaliny HDA-4748-H-0400-000		
Parameter	Jednotky	Hodnota
Napájanie	V	12 – 28
Napájací prúd maximálny	mA	100

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Meraný tlak maximálny	MPa	40
Presnosť merania	%	≤ ± 0,25
Bezpečnostný typ podľa DIN 40050, IP		65

Zdroj: www.hydac.com

V hydraulickom obvode sme uskutočnili meranie veličín pomocou združených snímačov (*obrázok 3*), ktoré umožňujú súčasne merať a zaznamenávať hodnoty prietoku, tlaku a teploty. Vyššie uvedené snímače boli pripojené k záznamovej jednotke Hydac HMG 3010, ktorá umožňuje meranie prietoku v rozsahu 6 až 60 $dm^3.min^{-1}$, dokáže snímať tlaky v rozmedzí 0 až 40 MPa a teplotu pracovnej kvapaliny do 95 °C.



Obr. 2 Pohľad na laboratórne skúšobné zariadenie
Fig. 2 View of the laboratory testing device

Zdroj: vlastné spracovanie



Obr. 3 Pohľad na zapojenie meracích snímačov
Fig. 3 View of the wiring measuring sensors

Zdroj: vlastné spracovanie

Počas simulácie bola použitá ekologická prevodovo-hydraulická kvapalina s označením Shell Naturelle Fluid HF-E 46. Je to syntetická biologicky odbúrateľná kvapalina s nízkou ekotoxicitu, preto je vhodná na použitie v prostredí citlivom na ekologické znečistenie. Základový olej na báze syntetických esterov spolu so špeciálnymi aditívami zaručujú dobré mazacie vlastnosti kvapaliny a vyznačuje sa dobrou stabilitou a dlhou životnosťou (Shell, 2022).

Pracovný cyklus a meranie prietoku hydrogenerátora prebehlo za podmienok, ktoré určuje norma SAE J745. Metóda merania prietoku hydrogenerátora bola vybraná vzhľadom k možnosti simulácie vyššej prevádzkovej teploty pracovnej kvapaliny a tlakového zaťaženia hydraulického obvodu poľnohospodárskeho traktora, ktoré sú dosahované v prevádzkových režimoch prevodovo-hydraulického obvodu traktorov. Cyklické zaťažovanie zubového hydrogenerátora bolo realizované počas 200 hodín a meranie prietoku sa uskutočňovalo po dopracovaní 25 hodín, počas merania prietoku bola teplota pracovnej kvapaliny 50 °C, otáčky hydrogenerátora 1 500 min^{-1} a pri tlakovom zaťažení 5, 10, 15 a 20 MPa. Pri zaznamenávaní nameraných hodnôt záznamovým zariadením Hydac HMG 3010 bola vzorkovacia frekvencia nastavená na hodnotu 0,02 s. Podľa normy SAE J745 by nemal prietok skúšaného hydrogenerátora poklesnúť o viac ako 0,9 $dm^3.min^{-1}$ a tlak o viac ako 0,04 MPa. Hodnota poklesu prietokovej účinnosti nesmie presiahnuť pokles o 20%. Interval medzi jednotlivými tlakovými záťažami bol 0,5 s a tlakové zaťaženie sa cyklicky menilo v hodnotách 22,5 MPa,

čo predstavuje 90% maximálneho tlaku, 18,5 MPa, čo predstavuje zaťaženie na 60% maximálneho tlaku a 0 MPa, čo zodpovedalo odľahčeniu. Počas simulácie pracoval použitý zubový hydrogenerátor s otáčkami 1 600 min^{-1} a teplota prevodovo-hydraulického oleja mala hodnotu v rozmedzí 90 – 95 °C.

Počas simulácie zaťažovania zubového hydrogenerátora v rozsahu prevádzkových podmienok bolo získané dostatočné množstvo údajov, ktoré boli štatisticky spracované a graficky zobrazené. Z dôvodu veľkého rozsahu nameraných hodnôt prietoku hydrogenerátora boli použité pre štatistické spracovanie iba hodnoty namerané po dobu jednej sekundy z každého opakovania merania, čo predstavuje dostatočne veľký štatistický súbor na presné vyhodnotenie. Pri každom meraní po odpracovaní 25 hodín bolo teda nameraných 51 hodnôt prietoku hydrogenerátora pri zaťažujúcom tlaku 5, 10, 15 a 20 MPa. Hodnota vzorkovacej frekvencie bola zvolená na 0,02 s, teplota prevodovo-hydraulickej kvapaliny mala podľa SAE J745 hodnotu 50 °C a otáčky skúšaného hydrogenerátora dosahovali predpísanú hodnotu 1 500 min^{-1}. Takto získané hodnoty prietokov boli štatisticky spracované a boli určené aritmetické priemery prietokov z jednotlivých opakovaní meraní pri jednotlivých tlakových zaťaženiach. Z týchto spracovaných údajov boli následne určené aj prietokové účinnosti hydrogenerátora. Pre výpočet prietokovej účinnosti použitého hydrogenerátora sme vypočítali hodnotu teoretického prietoku:

$$Q_{Gt} = V_G . n_G = 17{,}39 . 10^{-3}\ dm^3 . 1\,500\ min^{-1} = 26{,}085\ dm^3 . min^{-1} \quad (1)$$

Kde: V_G – geometrický objem hydrogenerátora, dm^3
n_G – otáčky hydrogenerátora, min^{-1}
Where: V_G – geometric volume of hydrogenerator, dm^3
n_G – hydrogenerator speed, min^{-1}

Následne sme vypočítali hodnoty prietokovej účinnosti podľa vzťahu:

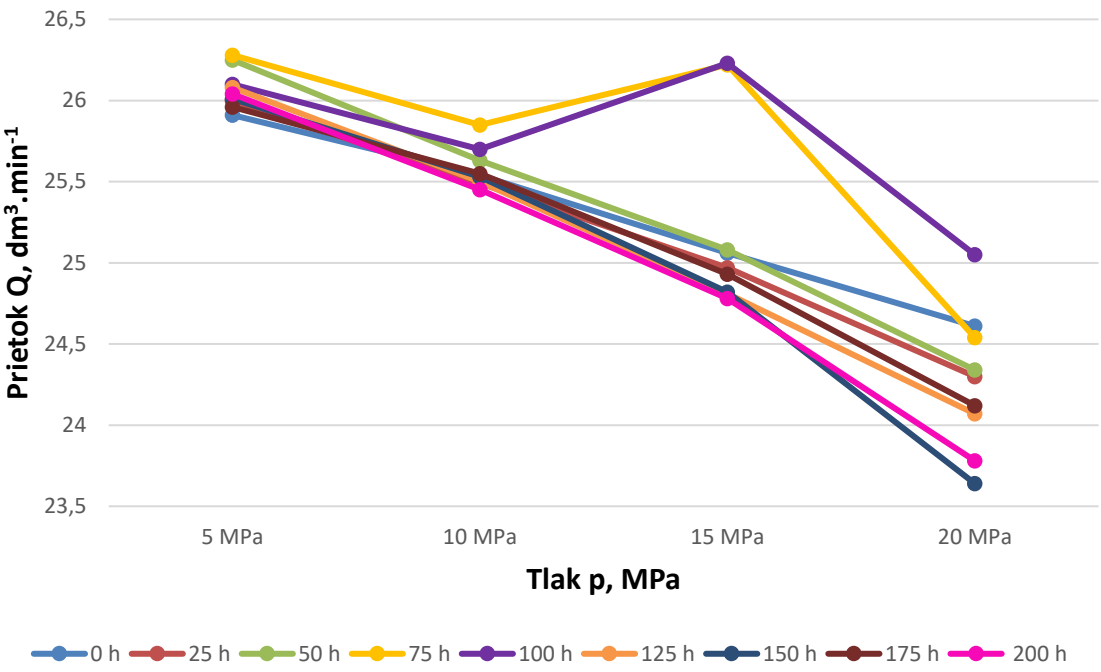
$$\eta_{pr} = \frac{Q_G}{V_G . n_G} = \frac{Q_G}{Q_{Gt}}\ [-] \text{ (Baroška, 2012).} \quad (2)$$

Kde: η_{pr} – prietoková účinnosť, -
Q_G – skutočný prietok hydrogenerátora, $dm^3.min^{-1}$
Q_{Gt} – teoretický prietok hydrogenerátora, $dm^3.min^{-1}$
Where: η_{pr} – flow efficiency, -
Q_G – actual flow rate of hydrogenerator, $dm^3.min^{-1}$
Q_{Gt} – theoretical flow rate of hydrogenerator, $dm^3.min^{-1}$

3 Výsledky a diskusia

Počas simulácie zaťažovania zubového hydrogenerátora v rozsahu prevádzkových podmienok bolo získané dostatočné množstvo údajov, ktoré boli štatisticky spracované a graficky zobrazené. Na *obrázku 4* sú spracované výsledky nameraných prietokov hydrogenerátora GHD1-17R-S2D1-SG05G04-N v závislosti od aktuálneho tlakového zaťaženia. Každá krivka predstavuje jedno opakovanie merania prietoku vykonané po každých 25 odpracovaných hodinách, pričom prvé meranie prebehlo pri novom hydrogenerátore, ktorý ešte neodpracoval žiadne hodiny. Túto krivku môžeme považovať za referenčnú, s ktorou budeme následne porovnávať ďalšie získané hodnoty prietoku. Z obrázku možno vyčítať, že pri každom opakovaní merania hodnota prietoku postupne klesala s narastajúcim tlakovým zaťažením, okrem prípadu meraní vykonaných po odpracovaní 75 a 100 hodín, kedy v intervale tlakovej záťaže 10 až 15 MPa došlo dokonca k miernemu nárastu prietoku.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 4 Graf prietokov zubového hydrogenerátora
Fig. 4 Grapf of flow rate of toothed hydrogenerator

Zdroj: vlastné spracovanie

V *tabuľke 3* je zaznamenaný celkový priebeh prietoku skúšaného hydrogenerátora GHD1-17R-S2D1-SG05G04-N po odpracovaní simulovaného cyklu trvajúceho 200 hodín pri jednotlivých tlakových záťažiach. Pre dosiahnutie hodnôt zmeny prietoku sme porovnali namerané hodnoty prietokov pri jednotlivých tlakových zaťaženiach na začiatku a na konci celého pracovného cyklu, teda na začiatku merania pri novom zubovom hydrogenerátore a po odpracovaní 200 hodinového cyklu. Z tabuľky možno vyčítať, že pri zaťažení tlakom 5 MPa prietok testovaného hydrogenerátora neklesol, ale naopak došlo k jeho miernemu nárastu. Pri ďalšom zaťažovaní už prietok postupne klesal a s narastajúcou hodnotou záťaže sa hodnota rozdielu zväčšovala.

Tab. 3 Pokles prietoku zubového hydrogenerátora
Tab. 3 Flow rate drop of toothed hydrogenerator

Tlak p [MPa]	5	10	15	20
Pokles prietoku ΔQ_G [$dm^3.min^{-1}$]	+ 0,13	- 0,09	- 0,28	- 0,83

Zdroj: vlastné spracovanie

Počas merania boli matematicky vyhodnotené podľa vzťahu (2) aj prietokové účinnosti skúšaného hydrogenerátora, ktoré sú zobrazené v *tabuľke 4*. Pre lepšiu prehľadnosť sú hodnoty prietokových účinností vyjadrené v percentách. Pri spracovávaní údajov bola zohľadnená aj chyba merania snímača, ktorá sa pohybovala na úrovni ± 2%. Túto hodnotu odchýlky určil výrobca snímača prietoku EVS-3108-H-0060-000, teda spoločnosť Hydac. Z tabuľky možno vyčítať, že hodnoty sa s narastajúcim počtom odpracovaných hodín postupne znižovali s výnimkou pri tlakovom zaťažení 5 MPa, kde po odpracovaní 200 hodinového cyklu došlo k miernemu nárastu prietokovej účinnosti.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Tab. 4 Prietoková účinnosť hydrogenerátora vyjadrená v %
Tab. 4 Flow efficiency expressed as a percentage

Percentuálne vyjadrenie prietokovej účinnosti η_{pr}	Tlak 5 MPa	Tlak 10 MPa	Tlak 15 MPa	Tlak 20 MPa
$\eta_{pr\ 0\ h}$	99,3 %	97,9 %	96,1 %	94,4 %
$\eta_{pr\ 25\ h}$	99,7 %	97,7 %	95,7 %	93,1 %
$\eta_{pr\ 50\ h}$	98,6 %	96,2 %	94,1 %	91,4 %
$\eta_{pr\ 75\ h}$	98,7 %	97,1 %	98,5 %	92,1 %
$\eta_{pr\ 100\ h}$	98,1 %	96,5 %	98,6 %	94,0 %
$\eta_{pr\ 125\ h}$	99,9 %	97,7 %	95,1 %	92,3 %
$\eta_{pr\ 150\ h}$	99,7 %	97,9 %	95,2 %	90,6 %
$\eta_{pr\ 175\ h}$	99,5 %	98,0 %	95,6 %	92,5 %
$\eta_{pr\ 200\ h}$	99,8 %	97,6 %	95,0 %	91,2 %

Zdroj: vlastné spracovanie

Podľa Lana et al. (2006) je jednou z hlavných príčin poklesu prietoku hydrogenerátora opotrebovanie vnútorných komponentov. Na základe analýz dospeli k záveru, že najviac sa opotrebováva kryt zubového hydrogenerátora, axiálne vyrovnávacie platne a ozubené kolesá. Ako ďalšiu možnú príčinu poklesu prietoku uvádzajú teplotu. Energia, ktorá je dodaná do hydrogenerátora, sa okrem užitočnej energie premieňa aj na teplo, ktoré sa buď prenáša do okolia alebo zvyšuje teplotu pracovnej hydraulickej kvapaliny. Takéto straty súvisiace s trením a vnútornými netesnosťami určujú prietokovú účinnosť hydrogenerátora. Je známe, že zvýšením zaťažujúceho pracovného tlaku dochádza k zníženiu objemovej účinnosti hydrogenerátora z dôvodu zvýšenia vnútorných únikov, čo preukázali aj výsledky našich meraní.

Tkáč et al. (2014) v práci skúšali syntetickú prevodovo-hydraulickú kvapalinu Mol Farm UTTO na špecializovanom laboratórnom skúšobnom zariadení spolu so zubovým hydrogenerátorom UD 25 od spoločnosti Jihostroj a. s., Velešín. Túto kvapalinu cyklicky zaťažovali podľa podmienok stanovených normou STN 11 9287. Počas laboratórneho merania autori zistili, že pokles prietokovej účinnosti nastal po odpracovaní 750 000 cyklov o 0,3% a po odpracovaní 10^6 cyklov sa znížila o 1,3%. Podľa normy by nemalo dôjsť k prekročeniu poklesu prietokovej účinnosti o 20%. Pri meraní autori zistili, že najprv došlo k miernemu nárastu prietokovej účinnosti a až následne k jej poklesu. Zaznamenali nárast o 4,8% po odpracovaní 250 000 cyklov a taktiež nárast o 2,2% po 500 000 cykloch. Toto vysvetľujú tvrdením, že dochádzalo k zábehu nového hydrogenerátora. V prípade našich meraní pri uskutočnenom meraní prietoku hydrogenerátora po odpracovaní 100 h došlo k nárastu prietoku, ktorý následne klesal v závislosti od počtu odpracovaných hodín a zvyšujúcim sa tlakovým zaťažením.

Priebehy prietoku a prietokových účinností hydrostatického prevodníka korešpondujú s výsledkami merania autorov Yoshida a Inaguma (2014), ktorí rovnako konštatovali, že na daný priebeh prietokovej účinnosti má vplyv množstvo zostatkovej kvapaliny v zubových medzerách, pričom so zvyšujúcimi sa otáčkami sa zväčšuje odstredivá sila, ktorá pôsobí na kvapalinu. Následne sa znižujú straty vplyvom zostávania kvapaliny v zubových medzerách, a tým sa zvyšuje samotná prietoková účinnosť. Vplyv odstredivej sily na kvapalinu podľa uvedených autorov je najväčší po hodnotu otáčok cca. 1500 min^{-1}, po dosiahnutí týchto otáčok má vplyv odstredivej sily na kvapalinu len mierne zvyšujúcu sa charakteristiku. Následne na zvýšenie prietokovej účinnosti má vplyv aj dynamická viskozita kvapaliny, ktorú už pri vysokých otáčkach nedokáže prekonať ani odstredivá sila.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Na základe vyššie uvedenej diskusie autorov v porovnaní s realizovaným meraním je možné konštatovať, že počas zábehu nového hydrogenerátora dochádza k miernemu nárastu hodnôt prietoku, a až po ukončení zábehu prietok postupne klesá so zvyšujúcim sa opotrebením. Takýto záver sme vyvodili aj počas nášho laboratórneho merania, kde dochádzalo k nárastu prietoku hydrogenerátora počas odpracovania prvých 100 hodín, teda počas zábehu nového čerpadla, a až následne dochádzalo k jeho poklesu.

4 Záver

Sledovanie prietoku zubového hydrogenerátora simuláciou prevádzkových podmienok bolo realizované na laboratórnom skúšobnom zariadení, ktoré umožňovalo nasimulovať variabilné podmienky testovania tak, aby sa približovali v čo možno najväčšej miere prevádzkovým podmienkam. Potreba testovania nosičov energie a prevodníkov používaných v hydraulických mechanizmoch narastá v dôsledku environmentálnych požiadaviek (Hujo, 2022). V predloženej práci sme skúmali zmenu prietoku a prietokových charakteristík zubového hydrogenerátora simuláciou prevádzkových podmienok. Tieto prevádzkové podmienky boli simulované cyklickým zaťažovaním zubového hydrogenerátora pomocou elektro-hydraulického proporcionálneho tlakového ventilu. Pri simulácii prevádzkových podmienok bol použitý zubový hydrogenerátor s vonkajším ozubením s označením GHD1-17R-S2D1-SG05G04-N, ako pracovná kvapalina bola použitá syntetická biologicky odbúrateľnú prevodovo-hydraulickú kvapalinu s označením Shell Naturelle Fluid HF-E 46. Z výsledkov získaných počas merania možno konštatovať, že prietok skúšaného zubového hydrogenerátora postupne klesal s narastajúcim tlakovým zaťažením tak, ako sa predpokladalo. Výnimka nastala iba pri meraniach vykonaných po odpracovaní 75 a 100 hodín v intervale zaťaženia 10 až 15 MPa, kedy došlo dokonca k nárastu veľkosti prietoku. Taktiež sa potvrdil predpoklad, že so zvyšujúcim sa počtom odpracovaných hodín veľkosť prietoku postupne klesala, ale až po odpracovaní 100 hodín, čomu zodpovedá odpracovanie 240 000 cyklov. Počas prvých 100 hodín simulácie dochádzalo pri každom opakovaní merania k nárastu prietoku hydrogenerátora, čo je možné vysvetliť zábehom nového hydrogenerátora.

Pri meraní prietoku zubového hydrogenerátora počas tlakového zaťaženia 20 MPa bol zaznamenaný mierny nárast prietoku v intervale do odpracovania 100 hodín a následne sa už prietok zmenšoval, ako sme predpokladali. Zo získaných výsledkov môžeme konštatovať, že pokles prietoku skúšaného hydrogenerátora pri jednotlivých tlakových zaťaženiach nepresiahol maximálnu dovolenú hodnotu poklesu prietoku, ktorú určuje norma SAE J745 na hodnotu 0,9 $dm^3.min^{-1}$. Najvyššia zistená hodnota poklesu prietoku bola pri tlaku 20 MPa, a to s hodnotou 0,83 $dm^3.min^{-1}$.

Z výsledkov vykonaných laboratórnych meraní vyplýva, že prietok hydrogenerátora po jeho zabehnutí postupne klesal s narastajúcim počtom odpracovaných hodín, a takisto aj s narastajúcim zaťažujúcim tlakom. Zaznamenaný pokles hodnoty prietoku pri jednotlivých tlakových zaťaženiach neprekročil limitné hodnoty stanovené normou SAE J745, z čoho možno vyvodiť záver, že daný hydrogenerátor je vyhovujúci pre použitie v prevádzke, ktorá dosahuje aj hraničné hodnoty tlakového zaťažovania.

Testovanie hydraulických systémov je dôležité pre návrh nových typov zariadení, výskum biologických vlastností hydraulických kvapalín a ich dopadov na technické parametre hydraulických prvkov (Hujo, 2017, Zastempowski, 2013).

Znečistenie pracovnej kvapaliny spôsobuje rad nežiaducich účinkov ako je zrýchlené opotrebenie, korózia oceľových povrchov, oxidácia oleja a zmena jeho fyzikálnych a chemických vlastností. Znečistenie pôsobí veľmi škodlivo najmä na ekologické kvapaliny, pretože urýchľuje degradačné procesy (Majdan, 2018). Hodnoteniu hydraulickej kvapaliny počas prevádzkovej skúšky s následnou analýzou znečisťujúcich prvkov sa venuje vo svojich

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

prácach viacero autorov (Kučera, 2016, Halenár, 2018). Ako uvádza (Tkáč, 2017), stroje pracujúce v poľnohospodárstve sa vyznačujú náročnou prevádzkou, pracujú často v prašnom a vlhkom prostredí, ktoré negatívne vplýva na znečisťovanie olejových náplní. Preto je potrebné skúmať faktory ovplyvňujúce aplikáciu ekologických olejov na spoľahlivú prevádzku traktorov.

5 Literatúra

BAROŠKA, Ján. 2012. Hydrostatické mechanizmy. Žilina: Hydropneutech, s. r. o. 388 s. ISBN 978-80-970 897-2-6.

DALLA LANA, Eduardo – DE NEGRI, Victor. 2006. A New Evaluation Method for Hydraulic Gear Pump Efficiency through Temperature Measurements. In *SAE 2006 Commercial Vehicle Engineering Congress & Exhibition* [online]. USA: SAE International, [cit. 2022-03-15]. ISSN 0148-7191. Dostupné na: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2006-01-3503/>.

Electronic flow rate transmitter with HSI sensor recognition EVS-3108-H-0060-000 [online]. 2020 [cit. 12-02-2023]. Dostupné na: < https://www.hydac.com.au/pub/media/productattach/e/_/e.18.334-2-11-13_evs3100.pdf>.

Electronic pressure transmitter with HSI sensor recognition HDA-4748-H-0400-000 [online]. 2020 [cit. 12-02-2023]. Dostupné na: <https://www.hydac.com.au/pub/media/productattach/e/_/e.18.332.2.11.13.pdf>.

Electronic temperature transmitter ETS-4148-H-006-000 [online]. 2020 [cit. 12-02-2023]. Dostupné na: < https://www.hydac.com.au/pub/media/productattach/e/_/e.18.302.2.03.11.pdf>.

HALENÁR, Marek – NOSIAN, Jozef – KUCHAR, Peter – TULÍK, Juraj – FURSTENZELLER, Adam. 2018. Evaluation of hydraulic fluid during of the operating test. In Acta Facultatis Technicae. ISSN 1336-4472, 2018, vol. 23, no. 2, s. 73-80.

HUJO, Ľ., NOSIAN, J., BOROWSKI, S., MARKIEWICZ-PATALON, M., TOMIĆ, M., KOŽUCH, P. Design of a Laboratory test Equipment for measuring and testing mobile energy means with simulation of operating conditions, In Processes 2022, vol. 10 (8), ISSN 2227-9717.

HUJO, Ľubomír – JABLONICKÝ, Juraj – TKÁČ, Zdenko. 2017. Návrh inovatívneho laboratórneho simulačného zariadenia na skúšanie hydrostatických prevodníkov a hydraulických kvapalín. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita. 140 s. ISBN 978-80-552-1645-4.

HUJO, Ľubomír – Tkáč, Zdenko – JABLONICKÝ, Juraj – UHRINOVÁ, Daniela. – HALENÁR, Marek. 2017. The action of force measurement for the three-point hitch of a tractor. In: Agronomy Research 15 (1): 162 – 169.

KUČERA, Marián – ALEŠ, Zdeňek – PEXA, Marek. 2016. Detection and characterization of wear particles of universal tractor oil using of particles size analyser. In Agronomy Research 14(4), 1351-1360 ISSN 1406-894X.

MAJDAN, R., KUREKOVÁ, M., NOSIAN, J., PAULENKA, R.: Znečistenie univerzálnych olejov v traktoroch a návrh druhého stupňa filtrácie. In Spravodaj ATD SR, 2018, roč. 15, č. 2, s. 22-28, ISSN 1337-8552.

Pumps for Automatic Transmissions. In. JTEKT Engineering Journal. no. 1011E. [online].

SAE J745. 2019. Hydraulic Power Pump Test Procedure.

Shell Naturelle HF-E 46. Technical data sheet [online]. 2017 [cit 13-02-2023]. Dostupné na: <https://shop.sclubricants.com/pub/media/pds/shell/Shell-Naturelle-Fluid-HF-E-46-datasheet.pdf>.

YOSHIDA, N., INAGUMA, Y. (2014). Mathematical Analysis of Efficiencies in Hydraulic

ZASTEMPOWSKI, Marcin. 2013. Test stands with energy recovery systém for machines and hydraulic transmissions, In Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 58(2), 188-191 ISSN 1642-686X.

Zubová hydraulická čerpadla: GHD1 [online]. 2023 [cit. 18-02-2023]. Dostupné na: <https://www.jihostroj.com/hydraulika/vyrobni-program/zubova-hydraulicka-cerpadla/ghd1.html>.

Súhrn

V práci sa zameriavame na zmeny prietoku zubového hydrogenerátora simuláciou prevádzkových podmienok v laboratórnych podmienkach. Simulácia prevádzkových podmienok bola realizovaná na špecializovanom skúšobnom zariadení, kde sme pomocou opakovanej zmeny tlaku v hydraulickom obvode zaťažovali hydrogenerátor cez proporcionálny tlakový ventil v stanovenom rozsahu tlaku a teploty pracovnej kvapaliny. Na dosiahnutie cieľa, ktorý sme si stanovili, bola navrhnutá metodika merania cyklického zaťažovania zubového hydrogenerátora, kde po každých 25 odpracovaných hodinách, teda po 60 000 cykloch, sme vykonali meranie prietoku hydrogenerátora pomocou združeného snímača teploty, tlaku a prietoku a záznamového zariadenia Hydac HMG 3010, podľa podmienok určených normou SAE J745. Výsledkom práce je sledovanie zmien prietoku a prietokovej účinnosti zubového hydrogenerátora v závislosti od počtu odpracovaných hodín a tlakového zaťaženia hydrogenerátora. Zaznamenaný pokles hodnoty prietoku zubového hydrogenerátora pri jednotlivých tlakových zaťaženiach neprekročil limitné hodnoty stanovené normou SAE J745, z čoho možno vyvodiť záver, že uvedený hydrogenerátor po simulácii prevádzkového zaťaženia po odpracovaní 200 h je vyhovujúci.

Kľúčové slová: zubový hydrogenerátor, prevádzkové podmienky, simulácia, prietok

Poďakovanie patrí predovšetkým spoločnosti Jihostroj a. s., Velešín, od ktorej bol zabezpečený hydrogenerátor a taktiež spoločnosti Hydac, od ktorej bola použitá meracia technika.

Grant VEGA 1/0155/18 "Aplikovaný výskum využívania ekologických nositeľov energie v poľnohospodárskej, lesníckej a dopravnej technike."

AUTOMATIZÁCIA VYBRANÝCH PROCESOV V BIOPLYNOVEJ STANICI
AUTOMATION OF SELECTED PROCESSES IN A BIOGAS PLANT

ROMAN HALOMI[1] - VLADIMÍR CVIKLOVIČ[2]

Abstract

The thesis deals with a measurement system for measuring pulses from the TG05 flowmeter and an application for processing these pulses. The microcontroller C8051F410 was used in the measurement system, this microcontroller was programmed in Keil uVision5 in C language. The computer application was programmed in Visual Studio 2022 in C# language.

Key words: c8051F410, microcontroller, C#, measurement

1 Úvod

Cieľom práce bolo navrhnúť merací systém na zaznamenávanie impulzov z prietokomera TG05 a počítačovú aplikáciu na následné spracovanie nameraných údajov. Navrhnutá aplikácia dokáže zobrazovať jednotlivé merania z jednotlivých meracích prístrojov v reálnom čase, zaznamenáva dátum a čas zápisu merania, dĺžku merania, kumulatívnu produkciu [dm^3], prietok [dm^3], produkciu za 24h [dm^3].

2 Materiál a metódy

Prietokomer TG 05 obsahuje generátor impulzov V3.2, má 200 impulzov na jednu otáčku, ktorá je 0,5 litra. Generátor impulzov je umiestnený v puzdre počítacieho mechanizmu prietokomera a pozostáva z nasledujúcich komponentov: optický kódovací filmový disk nts, doska s integrovaným infračerveným fotosenzorom a kruhovým LED indikátorom prevádzky, 5-pinový vstupný konektor 180°, DIN 41524. Merací bubon je spojený jedna k jednej so štrbinovým kotúčom prostredníctvom magnetickej spojky. Štrbiny alebo štrbinový kotúč sa otáčajú cez fotosenzor v tvare U, čím sa prerušuje svetelný lúč fotodiódy. Takto sa premieňajú otáčky z prietokomera na elektrický signál, na sekvenciu impulzov. Počet impulzov predstavuje objem plynu, ktorý prešiel prietokomerom. Frekvencia sekvencie impulzov je miera rýchlosti otáčania bubna a tým určuje aj rýchlosť prietoku. Na prevádzku fotosenzora je potrebné externé napájanie v rozsahu 5-24 V. (RITTER, 2011).

Budeme vytvárať merací systém, ktorý bude obsahovať mikrokontrolér C8051F410. C8051F410 má 8-bitové jadro, maximálnu hodinovú frekvenciu 50 MHz, flash pamäť s veľkosťou 32 kB, SRAM 2,25 kB. Na doske sa bude nachádzať 32,768 kHz kryštál. Integrovaný obvod MAX3222CAP bude umožňovať komunikáciu mikrokontroléra s počítačom prostredníctvom RS-232. Na stabilizáciu napájacieho napätia použijeme integrovaný regulátor napätia 7805T. Ďalej vytvorený merací systém bude obsahovať 5 vstupov na snímanie impulzov, debug konektor, konektor na batériu a signalizačnú LED.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 1 Prietokomer TG 05 (Vlastná tvorba)
Fig. 1 Flow meter TG 05 (Own design)

Softvér Microsoft Visual Studio je vývojové prostredie určené na vývoj konzolových aplikácií a aplikácií s grafickým rozhraním Windows Form. My budeme vytvárať Windows Form aplikáciu. Do nášho projektu bolo potrebné doinštalovať niekoľko knižníc, a to SQLite, Stub.System.Data.SQLite.Core. NetFramework, ZedGraph a Google.Apis.Sheets.v4.

Keil uVision je vývojárske prostredie používané na programovanie mikrokontrolérov v jazyku C. Keil umožňuje používateľom úplne simulovať vstupy a výstupy mikrokontroléra C8051F410. V režime simulácie je možné odskúšať funkčnosť firmvéru pred tým, ako dôjde k jeho spusteniu na skutočnom mikrokontroléri.

Config Wizzard 2 umožňuje užívateľom vytvárať, konfigurovať a testovať zariadenia založené na čipoch Silicon Labs. Taktiež umožňuje konfigurovať periférie vybraných mikrokontrolérov.

EAGLE (skratka pre Easily Applicable Graphical Layout Editor) je softvér na návrh obvodových dosiek (PCB) a schematických diagramov. Použitie EAGLE spočíva v návrhu obvodových dosiek, vytváraní a editovaní schématických diagramov.

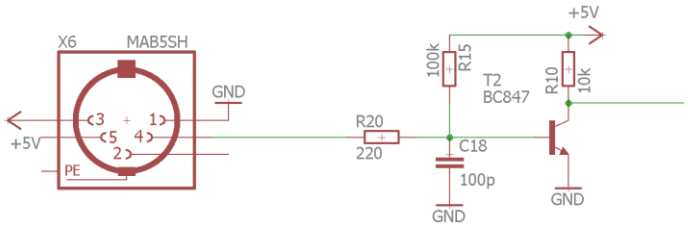
Prevodník RS232-USB je zariadenie, ktoré slúži na konverziu sériovej komunikácie z rozhrania RS232 na rozhranie USB. Tento prevodník umožňuje pripojenie zariadenia so sériovým portom RS232 k počítaču, ktorý má len USB port.

3 Výsledky a diskusia

Na začiatku práce bolo treba navrhnúť merací systém, ktorý bude snímať impulzy z prietokomerov TG05. Návrh meracieho systému sme spravili v softvéri EAGLE. Následne na to sme dosku vyrobili a osadili súčiastkami. Doska bola oživená, naprogramovaná a pripojená k počítaču. Programovanie mikrokontroléra prebiehalo v Keil uVision v jazyku C a programovanie aplikácii na spracovanie a zobrazovanie nameraných údajov sme robili vo Visual Studio v jazyku C#.

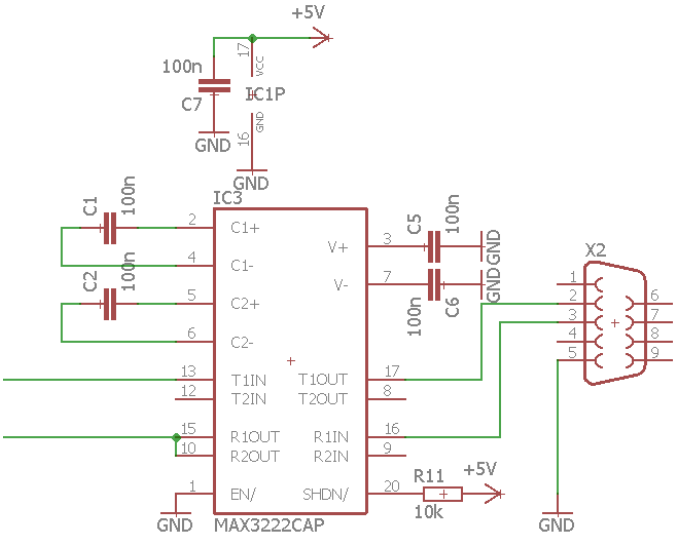
Na začiatku sme museli navrhnúť merací systém, ktorý by spĺňal nami požadované vlastnosti. Od dosky sme požadovali, aby dokázala komunikovať s počítačom a zaznamenávať vstupný signál. Ako čip sme si zvolili C8051F410, ktorý je hlavná riadiaca jednotka. Taktiež obsahuje integrovaný obvod MAX3222CAP, ktorý slúži na napäťové prispôsobenie UART na RS-232. Vstupný konektor prepája snímač s doskou (obrázok 2). Týchto konektorov doska obsahuje 5 a každý z nich je pripojený na jeden vstup na čipe.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



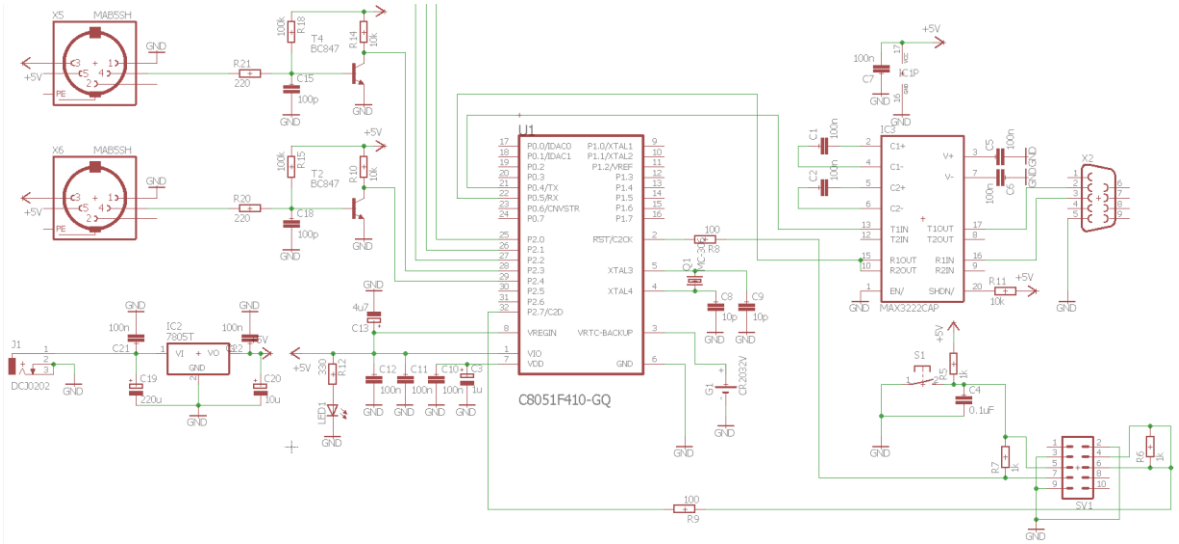
Obr. 2 Zapojenie konektora na doske (Vlastná tvorba)
Fig. 2 Connecting the connector on the board (Own creation)

Integrovaný obvod MAX3222CAP, na ktorý je pripojený RS 232 konektor a zabezpečuje prevod komunikácie medzi počítačom a čipom (*obrázok 3*).



Obr. 3 Integrovaný obvod MAX3222 (Vlastná tvorba)
Fig. 3 Integrated circuit MAX3222 (Own creation)

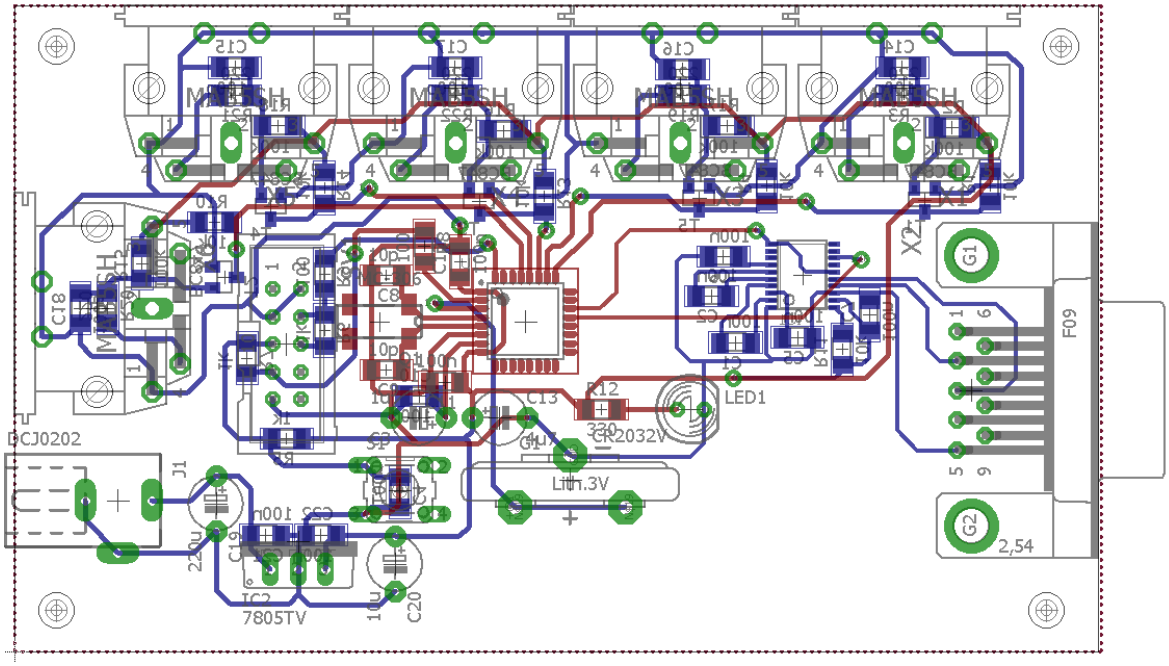
Na napájanie bol pridaný integrovaný regulátor napätia, ktorý ma zabezpečiť konštantné napätie 5 V na vstupe (*obrázok 4*). Na základe schémy bola navrhnutá doska plošných spojov, ktorej návrh je uvedený na *obrázku 5*.



Obr. 4 Schéma navrhnutého meracieho systému (Vlastná tvorba)
Fig. 4 Scheme of the designed measuring system (Own creation)

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

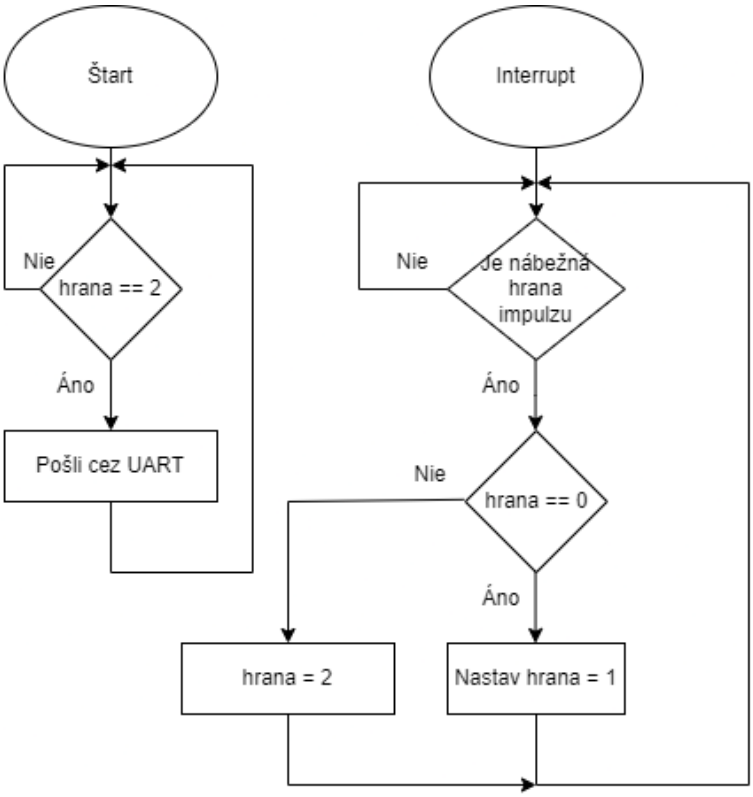
Zoznam súčiastok, ktoré obsahuje doska: čip c8051F410, Integrovaný obvod MAX3222CAP, regulátor napätia 7805, kryštál, tranzistory, kondenzátory, odpory, LED, napájací konektor DCJ0202.



Obr. 5 Doska meracieho systému (Vlastná tvorba)
Fig. 5 Measuring system board (Own creation)

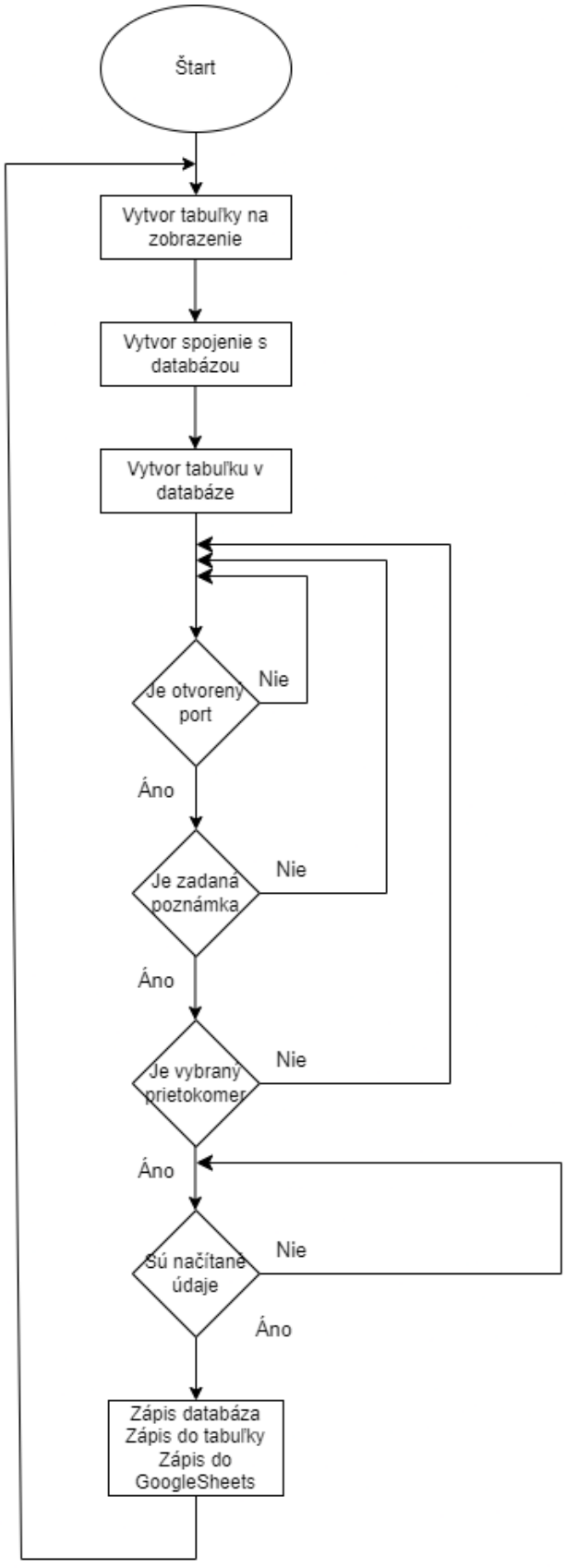
Algoritmus, ktorý sme navrhli funguje na princípe detegovania nábežnej hrany impulzu. Po zachytení ďalšej hrany dochádza k nastaveniu premennej „hrana“ na hodnotu dva. Následne na to je splnená podmienka, v ktorej dochádza k odoslaniu týchto údajov prostredníctvom UARTu. Cez UART sa posielajú údaje ako je označenie, o ktorý prietokomer sa jedná.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



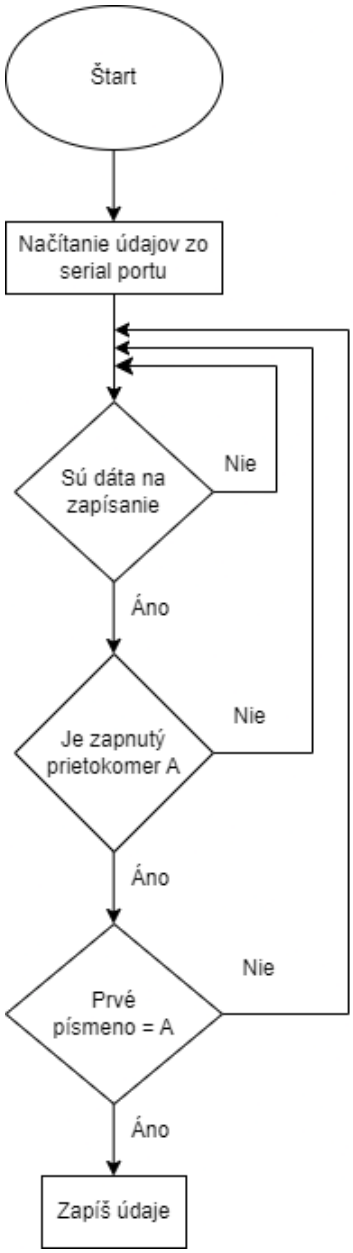
Obr. 6 Vývojový diagram firnvéru mikrokontroléra (Vlastná tvorba)
Fig. 6 Development diagram of microcontroller firmware (Own creation)

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 7 Logaritmický diagram C# aplikácie (Vlastná tvorba)
Fig. 7 Logarithmic diagram of C# application (Own creation)

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 8 Logaritmický diagram načítavania dát z USB portu (Vlastná tvorba)
Fig. 8 Logarithmic diagram of loading data from the USB port (Own creation)

Na zobrazovanie nameraných údajov, sme vytvorili aplikáciu v jazyku C#. Táto počítačová aplikácia umožňuje zobrazovať merania, ukladá ich do databázy, z ktorej ich ide vyexportovať do formátu xlsx aplikácie MS Excel. Pre začatie merania údajov treba otvoriť sériový port, vybrať prietokomer, ktorý chceme merať a zadať k nemu poznámku. Na začiatku spustenia aplikácie sa vytvára spojenie s databázou, vytvára tabuľka v databáze ak ešte neexistuje. A následne na to sa spustia dve asynchrónne metódy, ktoré bežia paralelne s ostatnými procesmi. Prvá metóda je „Aktualizuj()“, ktorá ma na starosti zmenu grafických signalizačných prvkov a taktiež zmenu o aktuálnom stave meranej veličiny prietokomerov. Druhá metóda má na starosti triedenie prijímaných údajov.

Počítačová aplikácia načítava údaje z USB portu. Tieto zapisuje do premennej reťazca dátového typu „Queue“. Údaje sú posielané ako reťazec vo formáte "A%f\n". Prvé písmeno na začiatku označuje, o ktorý prietokomer sa jedná. Načítavajú sa iba impulzy, ktoré treba následne prepočítať na objem. Načítavanie prebieha po riadkoch, to znamená, že oddeľovacím

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

znakom pre rozoznanie nového zápisu je znak nového riadku „\n“. Triedenie prebieha v metóde, ktorá beží asynchrónne vo while slučke a vždy, keď v zásobníku sú údaje, tak ich roztriedi k príslušnému prietokomeru.

4 Záver

Výsledkom práce je plne funkčný merací systém na meranie impulzov z prietokomerov značky Ritter typu TG 05. Merací systém obsahuje mikrokontrolér Silabs, typ C8051F410. Programovanie mikrokontroléra prebiehalo v aplikácii Keil uVision5. Počítačová aplikácia bola programovaná v jazyku C# vo Visual Studio 2022 Community. Počítačová aplikácia slúži na spracovávanie nameraných impulzov, ich zobrazovanie, ukladanie do databázy, ukladanie na internet do GoogleSheets, spätné zobrazovanie z databázy a exportovanie týchto meraní do súboru typu „.xls“.

Po oživení meracieho systému prebehlo odskúšanie správnej činnosti pripojením prietokomera TG05 ku všetkým vstupom. Meranie prebiehalo pri prietoku 5 $dm^3 . min^{-1}$ na každý vstup. Výsledný stav prietokomera na mechanickom ukazovateli bol totožný ako s ukazovateľom prietoku v našej aplikácii, z toho môžeme vyvodiť že náš merací systém pracuje správne.

5 Literatúra

Sprievodný list RITTER. 2011. Prietokomer TG 05.

C8051F410 Datasheets [Online].[cit. 4.42023] https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/201064/SILABS/C8051F410.html

MAX3222 CAP [Online].[cit.4.42023] https://cdn.sos.sk/productdata/27/34/2e6d718b/max-3232-cse-t-1.pdf

Súhrn

Práca sa zaoberá meracím systémom na meranie impulzov z prietokomera TG05 a aplikáciou na spracovávanie týchto impulzov. Do meracieho systému bol použitý mikrokontrolér C8051F410, tento mikrokontrolér bol programovaný v Keil uVision5 v jazyku C. Počítačová aplikácia bola programovaná vo Visual Studio 2022 v jazyku C#. Počítačová aplikácia slúži na spracovávanie nameraných impulzov, ich zobrazovanie a ukladanie dát do databázy, z databázy ide tieto údaje exportovať do formátu xlsx aplikácie MS Excel.

Klúčové slová: c8051F410, mikrokontroléry, C#, meranie

IMPLEMENTÁCIA MERANIA EMISIÍ NA EXPERIMENTÁLNE ZARIADENIE MOTOR – MOTOROVÁ BRZDA

IMPLEMENTATION OF EMISSION MEASUREMENT ON THE EXPERIMENTAL DEVICE ENGINE - ENGINE BRAKE

ERIK JELAČIČ – IVAN JANOŠKO

Abstract

The thesis deals with the modernization of the experimental device motor - motor brake. The modernization consisted in the reconstruction of the old parts of the experimental equipment and the implementation of the MAHA MGT 5 exhaust gas emission analyser. Measurements were carried out on the equipment using OMV 95 gasoline fuel and the same fuel using VIF brand super gasoline additive. These measurements were used to determine the effectiveness of the additives in terms of engine performance and emission characteristics.

Key words: experimental equipment, exhaust gas analyzer, gasoline, additives

1 Úvod

Testovanie spaľovacích motorov a monitorovanie emisií, ktoré tieto motory produkujú, je kľúčovým prvkom pri vývoji a výrobe motorov v automobilovom priemysle. Pri spaľovaní paliva vznikajú rôzne emisie, ktoré môžu byť škodlivé pre zdravie ľudí a pre životné prostredie. Niektoré z týchto emisií obsahujú toxické látky, ako napríklad oxid uhličitý, oxidy dusíka, kyselinu sírovú a pevné častice a preto je dôležité vynakladať úsilie na zníženie týchto emisií a minimalizovať negatívny vplyv spaľovacích motorov na životné prostredie. V súčasnosti je Európska únia v popredí úsilia na monitorovanie a reguláciu emisií spaľovacích motorov. (Turner, 2009; Jablonický et all, 2019)

Testovanie spaľovacích motorov na testovacích zariadeniach a meranie emisií je nevyhnutnou súčasťou vývoja nových motorov a overovania ich výkonnosti a spoľahlivosti. (Synák F., 2020; 2022) Rôzne testovacie zariadenia umožňujú testovanie motorov v rôznych režimoch prevádzky, ako sú napríklad zrýchľovacie a brzdové testy, testy za rôznych teplotných podmienok a podobne. Testovanie motorov na týchto zariadeniach sa vykonáva aj s cieľom zlepšiť ich efektivitu a znížiť emisie. (Tomazis et all., 2014; Willard, 2015)

Práca sa zaoberá zisťovaním výkonnostných a emisných parametrov motora počas spaľovania bežného benzínového paliva a paliva s pridanými aditívami.

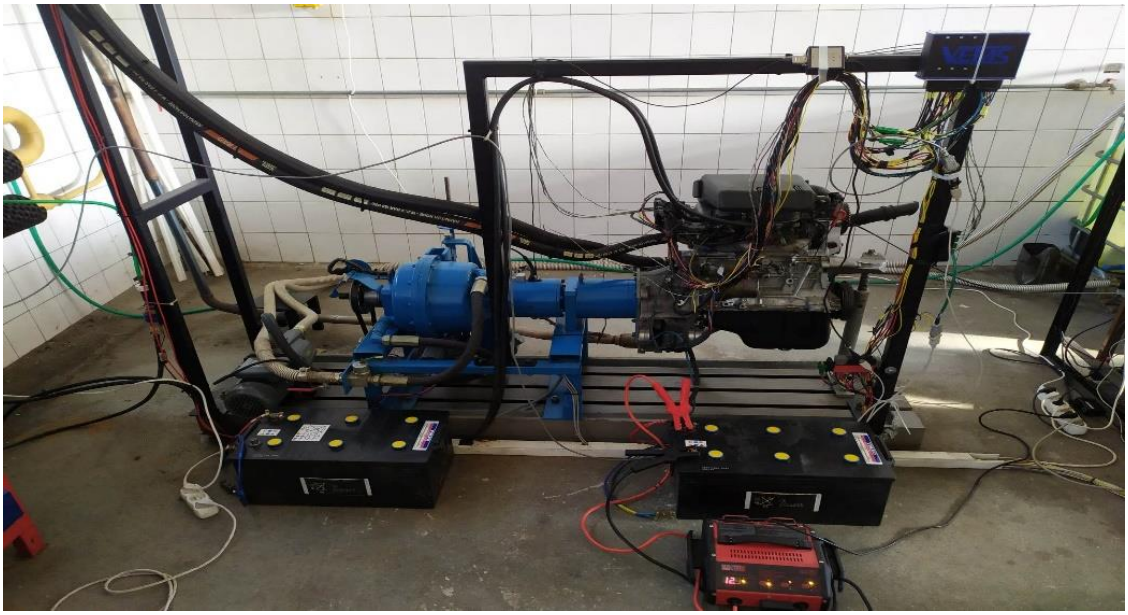
2 Materiál a metódy

Experimentálne zariadenie motor – motorová brzda je zložené z motoru Fiat 1.2 a hydrodynamickej brzdy (*obrázok č. 1*). *Tabuľka č. 1* nám uvádza parametre spaľovacieho motora pripojeného k hydrodynamickej brzde. Motor je ovládaný cez riadiacu a monitorovaciu

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

časť (*obrázok č. 2*). Zariadenie disponuje radou snímačov pre monitorovanie vnútorných parametrov a okolia.

2.1 Charakteristika použitých prístrojov a materiálu



Obr. 1 Experimentálne zariadenie motor - motorová brzda (zdroj: autor)
Fig. 1 Experimental device motor - motor brake (source: author)

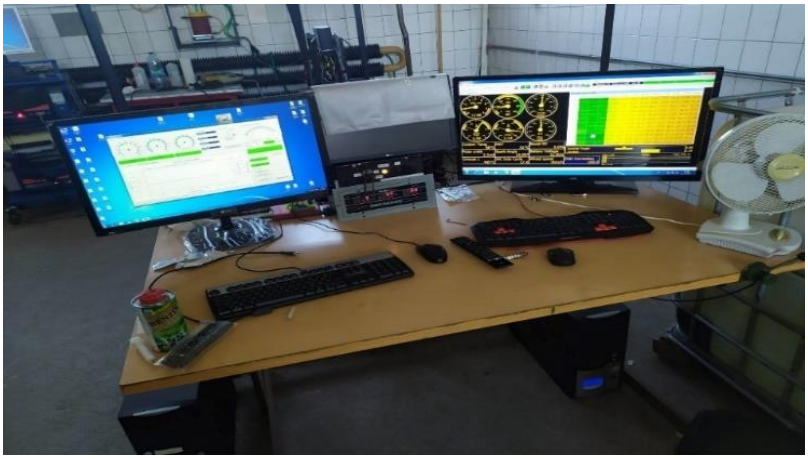
Tab. 1 Parametre motora Fiat 1.2 (zdroj: autor)
Tab. 1 Fiat 1.2 engine parameters (source: author)

Objem	1242 cm^3
Počet valcov	4
Typ rozvodov	OHC
počet ventilov na valec	2
Maximálny výkon	44 kW
Kompresný pomer	9,6:1
Maximálny krútiaci moment	98 Nm
Otáčky pri maximálnom výkone	5500 min^{-1}
otáčky pri maximálnom krútiacom momente	3000 min^{-1}
Palivový systém	Jednobodové vstrekovanie
Vŕtanie x zdvih	70,8 x 78,9 mm
Turbo	nie

Riadiaca a monitorovacia časť sa skladá z dvoch počítačov, ovládania štartovania a plynového akcelerátora (*obrázok č. 2*). Prvý počítač (vľavo) disponuje programom Texo (*obrázok 5*) a pomocou neho vieme ovládať motorovú brzdu a simulovať rôzne zaťaženia motora. Taktiež nám tento program udáva číselné a grafické hodnoty parametrov motora počas jednotlivých meraní ako sú výkon, otáčky, krútiaci moment, spotreba paliva, teplota okolia, teplota v jednotlivých valcoch motora, hodnotu zaťaženia a tlak v okolí. Druhý počítač (vpravo)

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

disponuje programom Vems tune (*obrázok 6*) pomocou ktorého vieme cez riadiacu jednotku Vems, ktorá je napojená na motor, sledovať a ovládať vybrané parametre motora.



Obr. 2 Riadiaca a monitorovacia časť
Fig. 2 Control and monitoring part

Ako prísadu pre aditivovanie paliva sme zvolili aditíva značky VIF – super benzin aditiv (*obrázok č. 2*).



Obr. 3 Aditívum využité pri meraniach (zdroj: autor)
Fig. 3 Additive used in the measurements (source: author)

2.2 Charakteristika použitých prístrojov

Pre meranie emisií výfukových plynov sme využili zariadenie MAHA MGT 5. Maha MGT 5 je analyzátor výfukových plynov pre zážihové, a plynové motory. Tento nízko prúdový tester emisií slúži pre analýzu HC, CO, CO2, O2 a NO vo výfukových plynoch. Analyzátor je prepojený s monitorom na ktorom sa zaznamenávajú všetky namerané hodnoty z výfukových plynov. Zariadenie je vybavené aktívnym odlučovačom kondenzovanej vody pomocou membránového čerpadla. Ďalej obsahuje meraciu jednotku s 2-bodovou kalibráciou a automatické čistenie hadice. (Automechanika, 2020)

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Na *obrázku č. 1* je vidieť konkrétny analyzátor MAHA MGT 5, ktorý bol implementovaný na testovacie zariadenie motor – motorová brzda. Technické parametre daného prístroja sú zobrazené v *tabuľke č. 2. Obrázok 7* ukatuje prostredie programu Maha.



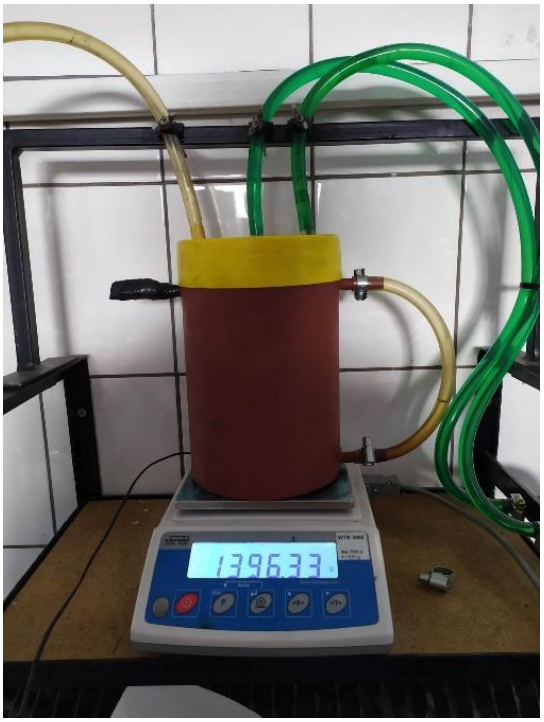
Obr. 4 Analyzátor výfukových plynov Maha MGT 5 (zdroj: autor)
Fig. 4 Maha MGT 5 exhaust gas analyser (source: author)

Tab. 2 Parametre prístroja Maha MGT 5 (Automechanika, 2020)
Tab. 2 Parameters of the Maha MGT 5 (Automechanika, 2020)

Merateľné plyny	HC, CO, CO2, O2, NO (voliteľné)
Merací princíp infračervenej spektrometrie	HC, CO, CO2
Merací princíp elektrochemickej detekcie	O2, NO
Doba zahrievania	600 s
Prietok	5 l/min
Pracovný tlak	0,75 bar - 1,1 bar
Napätie	V / V
Celkové rozmery	240 mm x 560 mm x 300 mm
Hmotnosť	10 kg
CO - rozsah merania / rozlíšenie meranej hodnoty (max)	15 % Vol. / 0,01
CO2 - rozsah merania / rozlíšenie meranej hodnoty (max)	20 % Vol. / 0,01
HC - rozsah merania / rozlíšenie meranej hodnoty (max)	20 000 ppm / 1 (Hexan) 0 - 40 000 ppm / 1 (Propán)
O2 - rozsah merania / rozlíšenie meranej hodnoty (max)	25 % Vol. / 0,01
Lambda	0,5 - 9,99 / 0,01
NO - rozsah merania / rozlíšenie meranej hodnoty (max)	5000 ppm / 1

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Váha Radwag WTB 3000 je prístroj, ktorý slúži na presné váženie objektov. Jeho maximálna nosnosť je 3000 gramov a presnosť váženia je 0,01 gramov. Váhový prístroj Radwag WTB 3000 je vybavený digitálnym displejom, na ktorom je možné sledovať hmotnosť objektu. Tento váhový prístroj má rozmer 220 x 290 x 85 mm a hmotnosť približne 1,8 kg. Tento typ váhy sa používa v laboratóriách, vo výrobných zariadeniach a aj pri kontrole kvality v rôznych priemyselných odvetviach.



Obr. 5 Váha Radwag WTB 3000 (zdroj: autor)
Fig. 5 Weight Radwag WTB 3000 (source: author)

2.3 Charakteristika pracovných postupov

Prvá časť práce sa zaoberá rekonštrukciou experimentálneho zariadenia. V prvom rade je potrebné zabezpečiť úpravu technických chýb, medzi ktoré spadá predĺženie koncovky výfukového potrubia, ktoré odvádza výfukové plyny von z priestorov laboratória a úpravy palivového čerpadla ako je výmena vypínača ktorý spúšťa čerpadlo a utesnenie čerpadla z dôvodu unikania paliva cez závit.

Ďalšou časťou je zapojenie a nastavenie emisného analyzátora. Je potrebné pripojenie snímaču počtu otáčok a snímaču teploty oleja. Následne vykonanie kalibrácie emisnej sondy a jej vloženie do výfukového potrubia a otestovanie funkčnosti samotného zariadenia.

Poslednou časťou je vykonanie meraní parametrov a vypúšťaných emisií zo zážihového motoru. Prvé meranie sa uskutoční za použitia klasického benzínového paliva 95 značky OMV bez pridaných aditív a následne s časovým rozstupom bude vykonané meranie za použitia toho istého paliva ale s pridanými aditívami.

Pri každom druhu paliva sa uskutočnilo 6 meraní po 15 sekúnd (± 2 sekundy). Pri týchto meraniach išlo primárne o to zistiť aké emisie vyprodukuje naše testovacie zariadenie s bežným palivom a palivom s pridanými aditívami od značky VIF – super benzin aditiv.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Najskôr sa pomocou E - pedála nastavila poloha akcelerátora na zvolenú hodnotu 28 % čím sa docielila požadovaná hodnota otáčok 1830 min^{-1}. Následne sa pomocou programu Texo na motorovej brzde nastavila záťaž na 40 %. Program Texo nám zaznamenával následné hodnoty potrebné pre naše merania: výkon, otáčky, spotrebu paliva, krútiaci moment, ale aj teploty vo valcoch, a teplotu okolia. Po spustení merania nám súčasne program Maha zaznamenával údaje o emisiách.

Prvé merania (merania bez aditíva) boli uskutočnené pri klasickom benzíne 95, aby sa zistili základné parametre motora. Druhé merania (merania s aditívom 2) sa uskutočnili za tých istých podmienok ale do benzínového paliva sa pridalo zvolené aditívum. Tieto merania preukázali pri rovnakom nastavení páky plynového lanka vyššie otáčky a to o priemerne 60 min^{-1}. Zvýšenie otáčok malo za následok vyššiu spotrebu paliva a tým aj vyššie hodnoty emisií. Pre spresnenie údajov sa preto uskutočnilo aj tretie meranie (merania s aditívom 3) s aditivovaným palivom, pri ktorom sa dohliadalo na to, aby boli otáčky rovnaké, ako pri prvom meraní, takže sa nastavovala poloha akcelerátora na 27 % .

Merania budú spracované v samostatných tabuľkách.

3 Výsledky a diskusia

V *tabuľkách 3,4,5* sú znázornené maximálne, minimálne a priemerné hodnoty výkonu a krútiaceho momentu, otáčky, spotreba paliva a emisie výfukových plynov. Pre celkové porovnanie meraní sú výsledky priemerných hodnôt spracované v *tabuľke č. 6*, pričom prvé neaditivované meranie a druhé meranie s pridanými aditívami (meranie 3) sú v tabuľke zoradené vedľa seba pre vzájomné a zrozumiteľné porovnanie. Prvé meranie s pridanými aditívami (meranie 2) je priložené k týmto dvom meraniam, aby bolo vidieť aké sú rozdiely v meraných parametroch.

Tab. 3 Meranie 1 bez aditív (zdroj: autor)
Tab. 3 Measurement 1 without additives (source: author)

Meranie bez aditíva						
Meranie	1	2	3	4	5	6
Výkon (kW)						
max	14,60	14,61	14,76	14,89	14,72	14,46
min	14,11	14,01	14,45	14,49	14,32	14,05
priemer	14,30	14,23	14,60	14,68	14,54	14,21
Krútiaci moment (Nm)						
max	77,51	77,53	76,63	77,33	76,45	76,75
min	74,87	74,37	75,02	75,25	74,35	74,55
priemer	75,92	75,51	75,79	76,20	75,50	75,42
Otáčky (min^{-1})	1830	1830	1840	1840	1840	1830
Spotreba (g/15s)	17,89	12,55	15,36	15,80	12,57	17,33
Emisie						
CO (%)	4,75	4,62	4,47	4,23	4,17	4,23
CO2 (%)	11,10	11,20	11,30	11,40	11,50	11,30
HC (ppm)	155,00	150,00	151,00	148,00	145,00	146,00
O2 (%)	0,82	0,82	0,79	0,86	0,77	0,85
NOx (ppm)	719,00	773,00	770,00	849,00	869,00	850,00
Lambda	0,89	0,90	0,90	0,91	0,91	0,91

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Tab. 4 Meranie 2 s aditívami 1 (zdroj: autor)
Tab. 4 Measurement 2 with additives 1 (source: author)

Meranie s aditívom 2						
Meranie	1	2	3	4	5	6
Výkon (kW)						
max	14,94	15,22	15,21	15,36	14,77	14,70
min	14,41	14,77	14,74	14,81	14,31	14,26
priemer	14,65	14,95	14,99	15,09	14,53	14,49
Krútiaci moment (Nm)						
max	79,31	79,04	78,96	79,31	77,56	77,18
min	76,48	76,68	76,53	76,48	75,12	74,85
priemer	77,79	77,63	77,83	77,96	76,30	76,06
Otáčky (min^{-1})	1830	1840	1840	1850	1820	1820
Spotreba (g/15s)	17,41	16,17	16,81	20,38	19,41	15,78
Emisie						
CO (%)	5,59	5,38	5,61	5,31	5,16	5,29
CO2 (%)	10,60	10,60	10,60	10,70	10,80	10,70
HC (ppm)	156,00	149,00	153,00	153,00	159,00	150,00
O2 (%)	0,92	1,02	0,92	1,04	0,98	1,06
NOx (ppm)	573,00	582,00	539,00	569,00	574,00	566,00
Lambda	0,88	0,88	0,87	0,89	0,89	0,89

Tab. 5 Meranie 3 s aditívami 2 (zdroj: autor)
Tab. 5 Measurement 3 with additives 2 (source: author)

Meranie s aditívom 3						
Meranie	1	2	3	4	5	6
Výkon (kW)						
max	15,36	15,35	15,26	15,30	15,36	15,41
min	15,02	15,00	14,92	15,03	15,09	15,19
priemer	15,18	15,16	15,12	15,15	15,20	15,30
Krútiaci moment (Nm)						
max	77,66	77,58	77,16	77,36	77,21	77,08
min	75,95	75,83	75,42	75,98	75,88	76,00
priemer	76,75	76,62	76,42	76,60	76,44	76,56
Otáčky (min^{-1})	1890	1890	1890	1890	1900	1910
Spotreba (g/15s)	15,06	19,93	17,34	18,00	18,89	20,99
Emisie						
CO (%)	5,37	4,31	4,79	4,58	5,12	3,98
CO2 (%)	10,80	11,30	11,10	11,30	10,90	11,50
HC (ppm)	156,00	149,00	147,00	142,00	155,00	148,00
O2 (%)	0,79	0,79	0,81	0,85	0,80	0,85
NOx (ppm)	588,00	860,00	738,00	811,00	656,00	959,00
Lambda	0,88	0,91	0,89	0,90	0,88	0,92

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Tab. 6 Celkové vyhodnotenie výsledkov (zdroj: autor)
Tab. 6 Overall evaluation of results (source: author)

Celkové vyhodnotenie			
	Meranie 1 bez aditíva	Meranie 3 s aditívom 2	Meranie 2 s aditívom 1
výkon (kW)	14,43	14,78	15,19
krútiaci moment (Nm)	75,72	77,26	76,57
otáčky (min^{-1})	1835	1835	1895
spotreba (g)	15,25	17,66	18,37
emisie			
CO (%)	4,41	5,39	4,69
CO2 (%)	11,30	10,67	11,15
HC (ppm)	149,17	153,33	149,50
O2 (%)	0,82	0,99	0,82
NOx (ppm)	805,00	567,17	768,67
Lambda	0,90	0,88	0,90

Z výsledkov celkových meraní si môžeme všimnúť pozitívne pôsobenie aditív v palive. Pri rovnakom zaťažení hydrodynamickej brzdy a dodržiavaní rovnakých otáčok, preukázali aditívapri rovnakých otáčkach a zaťažení zvýšenie výkonu o 0,35 kW a zvýšenie krútiaceho momentu o 1,54 Nm. Pri emisných meraniach sa pri palive s aditívami zvýšil vo výfukových plynoch obsah CO o 0,98 % a O2 o 0,17 % a došlo k zníženiu CO2 o 0,63 % a NOx až o 237,83 ppm / 7 %. Zároveň sa ale pri aditivovanom meraní preukázala vyššia spotreba o 2,41 gramu za časovú jednotku 15 sekúnd.

Pri aditivovanom meraní „meranie s aditívom 3“ je vidieť zvýšenie otáčok a to pri nastavení páky plynového lanka na rovnakej úrovni ako pri prvotnom meraní. Zvýšenie otáčok malo za následok zvýšenie výkonu, a spotreby paliva. Toto meranie preukázalo aj napriek vyšším otáčkam motora nižšie hodnoty NOx častíc (o 36,33 ppm / 4,5 %) a CO2 (o 0,15 %) ako prvotné meranie bez pridaného aditíva pri nižších otáčkach.

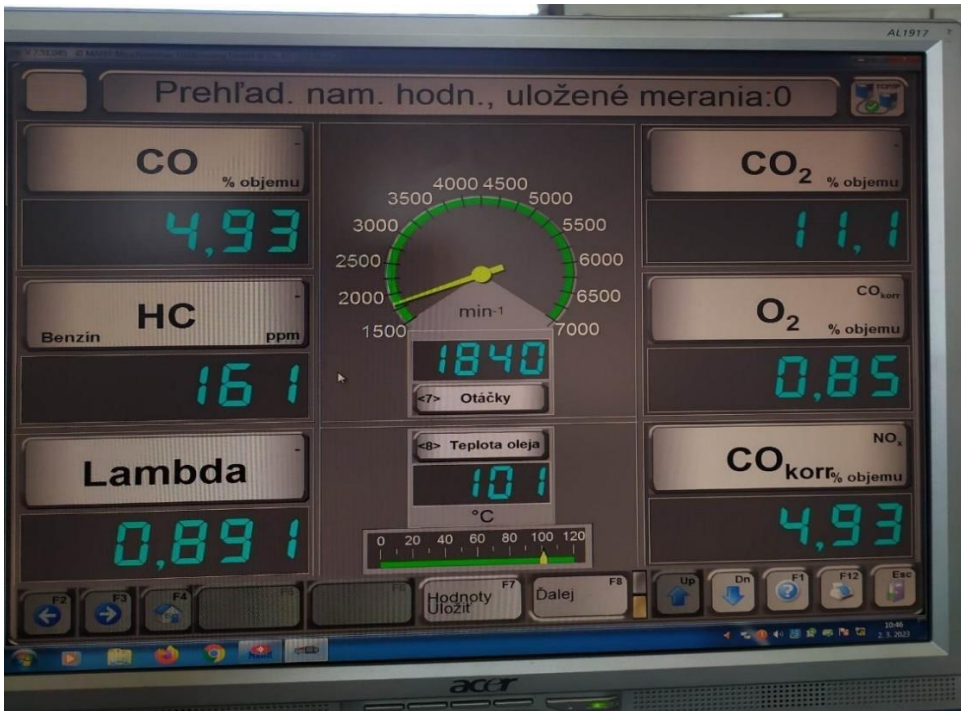
Na nasledujúcich obrázkoch možno vidieť prostredie použitých programov pri meraniach:



Obr. 6 Program Texo - motorová brzda
Fig. 6 Texo programme - engine brake



Obr. 7 Program Vems Tune
Fig. 7 Program Vems Tune



Obr. 8 Analyzátor MAHA MGT 5 s program Maha
Fig. 8 Analyser MAHA MGT 5 with program

4 Záver

Cieľom práce bola modernizácia experimentálneho motorového zariadenia motor – motorová. Modernizácia zahŕňala rekonštrukciu poškodených častí testovacieho zariadenia a implementáciu zariadenia pre analýzu výfukových plynov Maha MGT 5. Následne boli na

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

testovacom zariadení pomocou analyzátoru vykonávané emisné merania a to pri použití benzínu 95 bez aditíva a benzínu 95 s pridanými aditívami. Pri týchto meraniach sa posudzovala účinnosť pridaných aditív značky VIF – super benzin aditiv, na základných parametroch motora a emisiách z výfukových plynov. Účinnosť sa preukazovala pri základných parametroch motora tým že aditíva navýšili výkon motora, krútiaci moment a taktiež znížili nežiadúce látky, ktoré obsahujú výfukové plyny. Aditíva sa preukázali ako vhodná prísada do paliva z dôvodu pozitívneho pôsobenia na výkonnostné a emisné charakteristiky motora.

Výsledky všetkých meraní boli spracované a porovnané v tabuľkovej forme.

5 Literatúra

Tuner, W. (2009). Engine emissions: Polluting emissions from petrol and diesel engines.

Professional Engineering, 22(5), 30-34. Tomazic, M., & Assanis, D. (2014). Engine Testing and Instrumentation. In C. H. W. Barnes (Ed.), Encyclopedia of Automotive Engineering. John Wiley & Sons, Ltd.

Automechanika 2020, Maha MGT 5. [online] Dostupné na: https://autom.com.ua/ru/kombitester-mgt-5mdo-2-lon-gazoanalizatordymomer-maha-germaniya

Willard W. (2015) Pulkrabek Engineering Fundamental of the Internal Combustion Engine, Prentice Hall, Upper Sadle River, New Jersey, 07458

JABLONICKÝ, J. a kol. 2019. Automobilové spaľovacie motory. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita. 176 s. ISBN 978-80-552-2015-4.

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.

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.

Súhrn

Práca sa zaoberá modernizáciou experimentálneho zariadenia motor – motorová brzda. Modernizácia predstavovala rekonštrukciu starých častí experimentálneho zariadenia a implementáciu analyzátora emisií výfukových plynov značky Maha MGT 5. Na zariadení sa uskutočnili merania pri použití benzínového paliva 95 značky OMV a toho istého paliva s použitím aditíva značky VIF – super benzin aditiv. Pri týchto meraniach sa zisťovala účinnosť aditív z pohľadu výkonnostných a emisných charakteristík motora.

Kľúčové slová: experimentálne zariadenie, analyzátor výfukových plynov, benzín, aditíva

POSÚDENIE STAVU PRACOVNÉHO PROSTREDIA VO VÝROBNÝCH PRIESTOROCH
ASSESSMENT OF THE CONDITION OF THE WORKING ENVIRONMENT IN PRODUCTION PREMISES

ANDREJ KARABA[1] – IVAN VITÁZEK[2]

Abstract

The aim of this thesis is to assess the condition of the work environment in selected areas in the production premises. The work includes elucidation of the term working environment, as well as it`s segmentation according to individual authors. In the work is also described principle of operation AHU and CHILLER. The practical part is also processed based on the measurement of individual quantities like carbon dioxide, carbon monoxide, temperature, and dust in the selected production company.

Key words: working environment, temperature, dust, carbon dioxide, carbon monoxide

1 Úvod

Pracovné prostredie a jeho vnímanie sa od človeka k človeku môžu meniť podľa toho, aké máme reálne skúsenosti, kde daný človek pracoval, alebo do akých priestorov mal možnosť nahliadnuť. Stav pracovného prostredia sa tiež môže líšiť v závislosti od odvetvia.

Sokolová a Králiková (2012) popisujú pracovné prostredie z pohľadu manažérstva životného prostredia ako pracovné prostredie a priemyselné pracovné prostredie, ktoré môže byť ovplyvňované rôznymi nežiaducimi vplyvmi. Tieto faktory – nežiadúce až zdraviu škodlivé – sú definované ako fyzikálne, chemické a biologické, ktoré môžu spôsobovať až poruchy zdravia.

Pracovné prostredie priemyselných prevádzok je charakteristické výkyvmi teplôt, zvýšenou vlhkosťou a prašnosťou, zvýšeným elektromagnetickým rušením, žieravými plynmi a kvapalinami atď., ktorým sú zamestnanci vystavovaní.

Technické vybavenie priemyselného prostredia by malo byť významným zdrojom tepla, resp. chladu. V súčasnosti je nesprávne prúdenie vzduchu, ako aj napr. nadmerné teplo, chlad a vlhko v súvislosti s tepelno-vlhkostnou mikroklímou, považované za škodlivinu.

Jedna zo štúdií Medzinárodného prehľadu spoločenských vied (IRSS), ktorá skúmala spokojnosť zamestnanca s prácou hovorí, že pracovné prostredie pozostáva z dvoch širších dimenzií, ako sú práca a kontext.

K pracovnej pohode vodičov automobilov, a tým aj k vplyvu na bezpečnosť jazdy nevyhnutne patrí mikroklíma kabín automobilov (Vitázek et. al, 2021).

Práca podľa tejto štúdie zahŕňa všetky charakteristiky typické pre vykonávanie práce, ako napr. spôsob akým sa práca vykonáva a dokončí, rôznorodosť úloh, kontrola činností súvisiacich s vlastnou prácou, pocit úspechu z práce, a tiež vnútornú hodnotu úlohy. Druhá dimenzia je spokojnosť s prácou, tiež známa ako kontext, ktorý obsahuje fyzické a sociálne pracovné podmienky. (AL-OMARI, OKASHEH, 2017)

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

2 Materiál a metódy

2.1 Systémy na úpravu vnútorného pracovného prostredia

Nároky na pracovné prostredie sú rôznorodé. Na úpravu pracovných podmienok sa používajú rôzne zariadenia ako napríklad chillery, klimatizácie, tepelné čerpadlá, zvlhčovača, atď. Vďaka týmto zariadeniam je možné dosiahnuť požadované parametre.

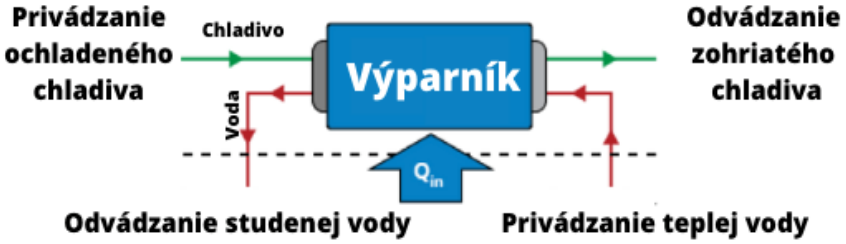
2.1.1 Chiller (chladič)

Chiller, resp. chladič je chladiaci systém, ktorý slúži na úpravu vzduchu pracovného prostredia. Tento chladiaci systém funguje na princípe odoberania tepla za pomoci cirkulácie chladiva a teplo vodivej látky. Základnými časťami chillera sú:

⇒ kompresor,
⇒ kondenzátor,
⇒ expanzný ventil,
⇒ výparník,
⇒ chladivo.

Existuje niekoľko rôznych druhov chillerov, avšak každý z nich má iný proces odovzdávania tepla. Jedno majú však spoločné, a to, že používajú vodu alebo vzduch na schladenie. Okrem dvoch chladiacich procesov sa chladiče ďalej líšia typom kompresora, ktorý sa používa na stlačenie chladiva. I keď existuje široká škála chladičov, väčšina z nich používa rovnaký princíp. Nevyhnutou súčasťou obehu je chladivo, nakoľko dokáže zadržiavať viac tepla ako samotná voda, čím zvyšuje efektívnosť chladenia. Efektívnosť chladenia spočíva v tom, že sa chladiaca kvapalina premení na plynnú látku a tým, že sa premení do plynného skupenstva, dokáže účinnejšie odoberať teplo z obehu.

Chillery možno rozdeliť na tri okruhy, a to na okruh kde sa odoberá teplo chladivom, kompresorová časť a časť, kde sa od chladiva odvádza teplo. Proces chladenia začína, keď voda vstupuje z pracovného prostredia do výparníka, kde sa teplo prenáša z vody do chladiva. Ochladená voda ďalej prúdi do nádrže, odkiaľ je prečerpávaná do koncových zariadení pre chladenie. Nakoľko teplo vždy prechádza z horúceho do chladnejšieho prostredia, ako je uvedené v druhom termodynamickom zákone, studená voda absorbuje okolité teplo z klimatizovaného priestoru. Chladná voda odoberá teplo prúdiacemu vzduchu, pričom teplota vody sa zároveň zvyšuje a táto zohriata voda potom smeruje znova do výparníka, aby sa opätovne ochladila. (IQS Directory. Chillers)

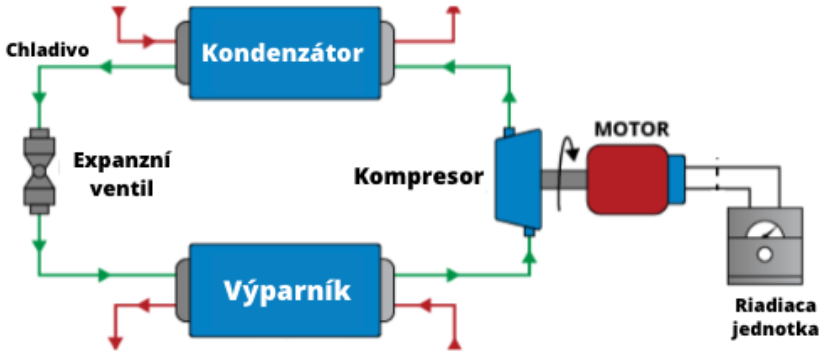


Obr. 1 Schéma výparníku (Upravené podľa Hvacinvestigators)
Fig. 1 Evaporator Diagram (Modified by Hvacinvestigators)

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Súčasne ako prebieha ochladzovanie pracovného prostredia je potrebné preniesť teplo absorbované chladivom vo výparníku. Toto nízkotlakové chladivo s nízkou teplotou prechádza z výparníku do kompresora, kde sa zvýši jeho tlak aj teplota. Následne chladivo smeruje do kondenzátora, kde sa z neho odoberie veľká časť tepla a chladivo skondenzuje.

Po skondenzovaní smeruje vysokotlakové ochladené chladivo do expanzného ventilu, vďaka ktorému sa zníži tlak, čo zapríčiní aj zníženie teploty chladiva. Po expanzii smeruje chladivo do výparníka, kde sa proces začína odznova.



Obr. 2 Schéma kompresorovej časti (Upravené podľa Hvacinvestigators)
Fig. 2 Compressor Section Diagram (Modified by Hvacinvestigators)

Rovnako ako pri výparníku, tak aj u kondenzátora nastáva výmena tepla avšak teplo sa tentokrát odoberá z chladiva do vody (po prípade do vzduchu) a nie naopak. Zohriata voda smeruje do chladiacej veže, kde sa znova na základe princípu druhého termodynamického zákona ochladí. Ochladená voda smeruje spať do kondenzátora, kde sa kolobeh opakuje. Prúdenie vody je zabezpečené za pomoci čerpadla. (HVAC. THE BASICS OF CHILLERS)



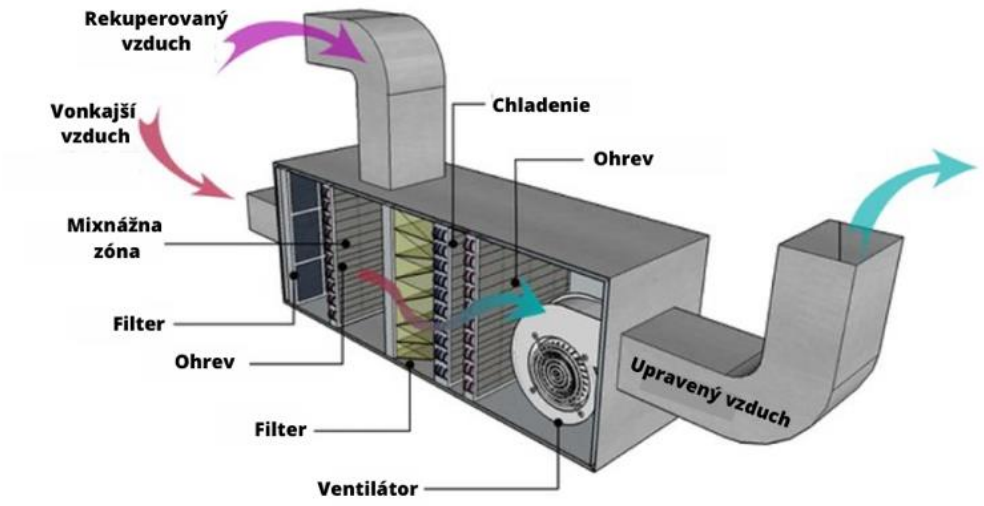
Obr. 3 Schéma kondenzátorovej časti (Upravené podľa Hvacinvestigators)
Fig. 3 Condenser Section Diagram (Modified by Hvacinvestigators)

2.1.2 AHU- Air handling unit

Použitie AHU je charakteristické pre stredné až veľké komerčné a priemyselné budovy. Častokrát sa nachádzajú v prízemí, na strechách alebo na medzi podlažiach budov. Počet AHU závisí od typu budovy a od použitia, pričom na výškových budovách býva väčšinou jedna veľká jednotka, ktorá sa nachádza na streche.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Jednotky AHU upravujú a distribuujú vzduch v budove. Nasávajú čerstvý okolitý vzduch, filtrujú ho, ohrievajú alebo ochladzujú, zvlhčujú poprípade ho sušia a následne distribuujú cez potrubie na určené pracovisko. Väčšina novodobých AHU má zároveň aj odsávanie z miestností, kde dodáva vzduch: AHU nasaje tento vzduch a časť z neho opätovne použije.



Obr. 4 Časti AHU (Upravené podľa Quora)
Fig. 4 Parts of the AHU (Upravené podľa Quora)

Na začiatku systému AHU sa väčšinou nachádzajú veľké mreže, ktoré slúžia na zachytenie veľkých nečistôt z okolia. Po týchto hrubých filtroch nasledujú filtre, ktoré sa zameriavajú na menšie častice. Ak by AHU nebolo vybavené filtrami, dochádzalo by k jeho zaneseniu, poškodeniu jednotlivých častí a v konečnom dôsledku by bolo samotné pracovisko zaprášené. Za každým jedným filtrom sa nachádza senzor na meranie tlaku. Tento senzor slúži na meranie znečistenia filtrov, vďaka čomu údržbári vedia, kedy je potrebná ich výmena alebo servis.

Za skupinou filtrov sa nachádza výmenník na zohrievanie a chladenie vzduchu. Teplota vyvádzaného vzduchu sa meria pri vyvádzaní z AHU ešte pred tým, ako vstupuje do potrubia. Je potrebné, aby teplota vzduchu dosahovala také hodnoty, aby sa ľudia v budove cítili príjemne. Môže nastať situácia, kedy si okolnosti výroby vyžadujú iné nastavenie teploty a vlhkosti na odlišných pracoviskách pre správnu činnosť výroby.

Ak sa snímač teploty zaznamená nižšiu teplotu ako je nastavená, AHU automaticky spína vykurovací okruh a zasa naopak, ak je nameraná vyššia teplota, otvoria sa ventily, ktoré pustia studenú vodu do výmenníka, čím sa vzduch ochladí.

Niektoré AHU systémy sú vybavené zariadeniami na úpravu vlhkosti. Senzor vlhkosti sa nachádza v potrubí pre prívod čerstvého vzduchu. Ak tento senzor zmeria, že vlhkosť sa nachádza pod nastavenou hodnotou, musí priviesť vlhkosť pomocou zvlhčovača. Toto zariadenie je väčšinou jednou z posledných fáz úpravy vzduchu v AHU. Túto úpravu vykonáva pomocou pridávania pary alebo rozprašuje vodu do vzduchu.

Ďalšou nevyhnutou súčasťou AHU je ventilátor, ktorý sa stará o nasávanie vzduchu z okolia a z pracovného prostredia. Tento vzduch následne upraví na požadované parametre a vytlačí ho do požadovaného priestoru. Pri motore sa nachádza aj senzor tlaku, vďaka ktorému vieme zistiť, či sa ventilátor otáča, nakoľko sa pri jeho rotácií vytvára podtlak. (EVANS, Paul. 2018)

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

2.1.3 Meracie prístroje

2.1.3.1 Meranie oxidu uhličitého a oxidu uhoľnatého TESTO 330 – 2 LL

Jedná sa o špeciálny merací prístroj na meranie spalín v ovzduší. Merací prístroj využíva na meranie oxidu uhličitého a uhoľnatého externé sondy, ktoré sa pripoja k meraciemu prístroju TESTO 330-2LL. Prístroj však vie odmerať aj iné veličiny, ako napríklad NO, CO_{low}, NOlow a iné.

Prístrojom je možné merať ťah kotlov, meranie tlaku horáka, vyhľadávanie úniku plynu, kontrolu plynovodu a iné.



Obr. 5 Merací prístroj TESTO 330-2LL a externé sondy
Fig. 5 Mesaurement device TESTO 330-2LL and external probes

Tab. 1 Technické parametre pre meranie oxidu uhoľnatého
Tab. 1 Technical parameters for measuring carbon monoxide

Parameter	Jednotka
Merací rozsah	0-8000 ppm
Presnosť	±10ppm alebo ±10% z mv (0 do 200ppm) ±20ppm alebo ±5% z mv (201 do 2000ppm) ±10% z mv (2001 do 8000ppm)
Rozlíšenie	1 ppm
Doba odozvy	< 60s

Tab. 2 Technické parametre pre meranie oxidu uhličitého
Tab. 2 Technical parameters for measuring carbon dioxide

Parameter	Jednotka
Merací rozsah	0 do CO_2 max (oblasť zobrazenia)
Presnosť	± 0,2 vol. %
Rozlíšenie	0,1 vol. %
Doba odozvy	< 40s

2.1.3.2 Meranie relatívnej vlhkosti a teploty EXTECH MO297

Jedná sa o merací prístroj, ktorý je schopný merať vlhkosť v okolia a teplotu povrchu pomocou IR teplomeru, alebo teplotu okolitého prostredia, pričom je možné zobrazovať teplotu a vlhkosť

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

súčasne. Systém obsahuje programovateľný alarm, ktorý upozorní pri prekročení minimálnej a maximálnej vlhkosti merania.



Obr. 6 Merač vlhkosti a teploty EXTEX MO297
Fig. 6 Mesaurement device of relative humidity and temperature EXTECCH MO297

Tab. 3 Technické parametre meracieho prístroja EXTECH MO297
Tab. 3 Technical parameter od measuring device EXTECH MO297

Parameter	Jednotka
Bezkontaktné meranie relatívnej vlhkosti	0 do 99,9%
Presnosť merania vlhkosti	± 2,5%
Meranie teploty okolitého prostredia	-29°C do 77°C
Presnosť merania teploty	± 2°C
Presnosť bezdrôtového merania teploty	± 3,5 alebo 4,5°C
Rozmery	165x70x38 mm
Hmotnosť	210g

2.1.3.3 Meranie pevných častíc FLUKE 985

Toto zariadenie slúži na meranie častíc vo vzduchu s certifikáciou ISO triedy 5-9. Toto zariadenie si nájde svoje využitie pri okamžitom zisťovaní častíc vo vzduchu. Výstupné dáta je možne odčítať priamo z tabuľky alebo v grafe vývoja.



Obr. 7 Merací prístroj FLUKE 985
Fig. 7 Mesaurement device FLUKE 985

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Tab. 4 Technické parametre meracieho prístroja FLUKE 985 (FLUKE. FLUKE 985 Partice Counter)
Tab. 4 Technical parameter od measuring device FLUKE 985 (FLUKE. FLUKE 985 Partice Counter)

Parameter	Jednotka
Kanály	0,3μm, 0,5μm, 1,0μm, 2.0μm, 5,0μm, 10,0μm
Rýchlosť prietoku	0,1 m^3/m (2,83 l/min)
Typ sondy	Isokinetická
Presnosť	50% pre 0,3μm, 100% pre > 0,45 μm
Rozmery	272x99x53 mm
Hmotnosť	680g

3 Výsledky a diskusia

3.1 Meranie jednotlivých veličín v lakovacích kabínach

V lakovacích kabínach prebieha lakovanie plastových dielov, pričom všetka práca týkajúca sa lakovania je vykonávaná automatizovane. Ľudský faktor je tu použitý iba pred a po lakovaní, kedy pred lakovacím procesom operátori výroby nakladajú tieto komponenty na háky, na ktorých sa následne lakujú, a tiež po lakovaní, kedy komponenty z hákov skladajú a detegujú ich kvalitu.

Pred vstupom do lakovacích kabín je nutné si obliecť ochranný oblek, resp. overal, a to kvôli kontaminácií prostredia. Aby boli tieto podmienky splnené, je povinnosť prejsť cez dekontaminačnú komoru, v ktorej prúdenie vzduchu má za úlohu dekontaminovať od prachu a iných nečistôt, ktoré by mohli byť rizikom v tejto časti výroby a mohli by mať priamy dopad na kvalitu lakovaných dielov.

Všetky merania boli realizované v ranných a aj poobedňajších hodinách.

3.1.1. Meranie prašnosti

Meranie prašnosti bolo realizované prístrojom FLUKE 985. Po zapnutí bol prístroj vložený do kabíny lakovne, kde prebiehalo meranie prašnosti po dobu 1 minútu. Následne prístroj automaticky vyhodnotil veľkosť a množstvo častíc nachádzajúcich sa v tomto priestore, pričom prístroj uvádza počet častíc na m^3.

Tab. 5 Výsledky merania prašnosti
Tab. 5 Dust measurement results

Veľkosť	Počet/m^3 ráno	Počet/m^3 poobede
0,3 μm	62622792	85489744
0,5 μm	20365262	42766060
1,0 μm	4156536,2	6506727,5
2,0 μm	3534645	1846250,8
5,0 μm	970800,2	103825,1
10,0 μm	288167,7	12007

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Výsledky merania ukázali, že najväčší počet častíc sa v danej kabíne nachádzal v popoludňajších hodinách, a to o veľkosti 0,3 μm. V ranných hodinách bol obsah častíc s touto veľkosťou až o 22 866 952 častíc na m^3 nižší.

Zároveň bol nameraný najnižší počet častíc o veľkosti 10 μm, pričom v ranných hodinách bol ich počet v ovzduší až o 276 160,7 častíc na m^3 vyšší.

3.1.2. Meranie koncentrácie oxidu uhličitého a oxidu uhoľnatého

Na meranie týchto veličín bol použitý merací prístroj TESTO 330-2LL, pričom bolo potrebné použitie dvoch externých sond, nakoľko každá z nich merala inú veličinu. Nakoľko sa prístroj používa s rôznymi sondami, je preto dôležité po jeho zapnutí nechať prebehnúť kalibráciu, aby boli namerané výsledky so správnou výpovednou hodnotou.

Tab. 6 Výsledky merania koncentrácie oxidu uhoľnatého
Tab. 6 Results of measuring the concentration of carbon monoxide

CO oxid uhoľnatý [PPM]	
ráno	poobede
7	5

Tab. 7 Výsledky merania koncentrácie oxidu uhličitého
Tab. 7 Results of measuring the concentration of carbon dioxide

CO_2 oxid uhličitý [PPM]	
ráno	poobede
1298	954

Výsledky merania CO ukázali, že v ranných hodinách bolo CO na úrovni 7 ppm a v poobedných hodinách bola hladina CO 5 ppm. V ranných hodinách dosahovali hodnoty CO_2 1 298 ppm a v poobedných hodinách 954 ppm.

3.1.3. Meranie teploty a vlhkosti

Meranie teploty a vlhkosti boli realizované pomocou meracieho prístroja Extech MO297. Tento prístroj po zapnutí bol nastavený na meranie relatívnej vlhkosti a teploty, pričom bolo nutné zmeniť jednotky, v ktorých boli tieto veličiny merané, a to na stupeň Celzia. Následne bolo spustené meranie.

Tab. 8 Výsledky merania relatívnej vlhkosti
Tab. 8 Relative humidity measurement results

Relatívna vlhkosť [%]	
ráno	poobede
64	62,2

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Tab. 9 Výsledky merania teploty
Tab. 9 Temperature measurement results

Teplota [°C]	
ráno	poobede
23,8	24,1

Výsledky merania relatívnej vlhkosti dosahovali v ranných hodinách hodnotu 64% a v poobedných hodinách hodnotu 62,2%. Rovnako ako pri nakládke bol rozdiel hodnôt minimálny. Ak by bol rozdiel väčší, mohlo by to evokovať nesprávne fungovanie úpravy vnútorného prostredia, čo by malo fatálne následky na kvalitu finálneho produktu.

4 Záver

Riešená problematika v príspevku je orientovaná na meranie a zhodnotenie jednej oblasti vo výrobnom podniku, konkrétne oddelenie lakovne. Meranie bolo realizované v lakovacej kabíne, kde je práca plne automatizovaná a nevstupuje do procesu žiaden ľudský faktor. Meranie každej veličiny bolo vykonané v ranných aj poobedných hodinách, aby bolo možné posúdiť správne fungovanie zariadení na úpravu tohto prostredia. Výsledky meraní sú uvedené pod každým meraním jednotlivých veličín, pričom všetky výsledky merania sú vyhovujúce.

V niektorých meraniach boli v časovom období medzi ránom a popoludním namerané odchýlky, avšak vzhľadom na charakter tohto prostredia, ktoré je plne automatizované, nie je zvýšené žiadne riziko týkajúce sa ľudského faktoru. Tieto odchýlky môžu byť spôsobené zmenou dielu alebo rozdielnymi farbami, pričom sa v ovzduší môžu nachádzať prachové častice o inej veľkosti a ich množstvá.

5 Literatúra

SOKOLOVÁ, Ružena – KRÁLIKOVÁ, Hana. 2012. Prístupy k hodnoteniu pracovného prostredia v priemysle [online]. [cit. 2023-25-03]. Dostupné na: <http://www.sszp.eu/wp-content/uploads/2012_konf_MaZP_B06__Kralikova-Sokolova.pdf>.

AL-OMARI, Khaled – OKASHEH, Haneen. 2017. The Influence of Wokr Enviroment on Job Performance: A Caase Study Of Engineering Company in Jornad [online]. [cit. 2023-26-03]. Dostupné na: <https://www.ripublication.com/ijaer17/ijaerv12n24_223.pdf>.

EVANS, Paul. 2018. Air Handling Units Explained [Online]. [cit. 2023-25-03]. Dostupné na: <https://theengineeringmindset.com/air-handling-units-explained/>.

HVAC. THE BASICS OF CHILLERS [Online]. [cit. 2023-26-03]. Dostupné na: <https://www.hvacinvestigators.com/webinars/the-basics-of-chillers-how-they-work-where-theyre-used-and-common-problems/>.

IQS Directory. Achilles [Online]. [cit. 2023-27-03]. Dostupné na: <https://www.iqsdirectory.com/articles/chillers.html>.

FLUKE. FLUKE 985 Partice Counter [Online]. Dostupné na: <https://www.fluke.com/en-us/product/building-infrastructure/indoor-air-quality-testing/fluke-985>.

TEM. MO297 EXTECH [Online]. cit. [2023-25-03]. Dostupné na: <https://www.tme.eu/sk/details/mo297/termohygrometre/extech/>.

TESTO. Testo 330-2-LL- profesionálny analyzátor spalín [Online].[cit. 2023-25-03]. Dostupné na: <https://www.testo.com/sk-SK/testo-330-2-ll/p/0632-3307>.

QUORA. What is the difference between AHU and PAHU in a HVAC system? [Online]. [cit. 2023-27-03]. Dostupné na: <https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-AHU-and-PAHU-in-a-HVAC-system>.

VITÁZEK, Ivan – TKÁČ, Zdenko – MAJDAN, Radoslav. 2021. Vnútorné prostredie v automobiloch – prvky výbavy a ich hodnotenie. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita. 138 s. ISBN 978-80-552-2424-4.

Súhrn

Príspevok je zameraný na posúdenie stavu vnútorného pracovného prostredia. Meranie bolo vykonané v reálnom pracovnom prostredí, pričom pre potreby tejto práce je použité iba jedno oddelenie. Podstatou vyhovujúceho stavu pracovného prostredia nie je len kvalitné pracovné prostredie pre ľudí v ňom pracujúcich, ale v tomto prípade môže tiež ovplyvňovať kvalitu produktu, ktorý sa v ňom vyrába. Hodnotené sú veličiny ako relatívna vlhkosť a teplota, ktorá ma najväčší vplyv na produktivitu zamestnancov, prašnosť, ktorá má vplyv na zdravie zamestnancov, ale aj na kvalitu lakovaného dielu a koncentrácia CO a CO_2. Všetky merania boli vykonané v jeden deň, a to v ranných a poobedných hodinách. Všetky výsledky meraní a ich interpretácia sú uvedené v tabuľkách. Namerané hodnoty ukazujú aj rôzne odchýlky, pričom tieto nie sú veľmi významné, nakoľko sa počas dňa menia zmeny a tiež sa počas dňa vyrábajú rôzne produkty, ktorých výroba môže tieto merané veličiny značne ovplyvniť.

Kľúčové slová: pracovné prostredie, teplota, prašnosť, oxid uhličitý, oxid uhoľnatý

VPLYV PARAMETROV PID REGULÁTORA NA KVALITU REGULÁCIE
THE INFLUENCE OF PID CONTROLLER PARAMETERS ON THE QUALITY OF REGULATION

PATRIK KOVÁČ[1] – ONDREJ LUKÁČ[2]

Abstract

Aim of this paper is to find coefficients of PID controller, used methods for calculation are described in the paper. Calculated coefficients were put into PID controller, designed in MatLab - Simulink. Results of individual methods and their influence on the controller, were compared with each other based on the regulation quality criterias.

Key words: PID, controller, MatLab, regulation, automatization

1 Úvod

Automatizácia je vedecko-technický odbor, pre ktorý je charakteristické uskutočňovanie výrobných, riadiacich a iných procesov bez priameho zásahu človeka. Jej začiatky siahajú až do antiky, kde je spájaná s reguláciou výšky hladiny vodných hodín(Vitruvius, 270 pred n.l.). Pokroky automatizácie sa začali objavovať v 16. a 17. storočí, v období priemyselnej revolúcie. Významným objavom z tohto obdobia bol Wattov odstredivý regulátor, ktorý slúžil na reguláciu otáčok parného stroja. Významnejšie objavy v automatizácií vznikli v období pred 2. svetovou vojnou ale aj počas nej. Z tejto doby pochádzajú prvé teoretické práce popisujúce základné zákonitosti a princípy automatického riadenia. Sem patria napríklad práce amerického fyzika a informatika Harryho Nyquista v oblasti stability a zápornej spätnej väzby. Taktiež bola v roku 1942 vynájdená Ziegler-Nicholsonova metóda optimálneho nastavenia koeficientov regulátora. Automatizácia ako vedecko-technický odbor nie je priamo viazaná na elektrotechniku, avšak môžeme povedať, že jej rozvoj bol umožnený a je úzko spätý s rozvojom elektrotechniky a elektroniky.

2 Materiál a metódy

Metódy nastavenia PID regulátorov môžeme rozdeliť na experimentálne a analytické metódy. Pre výpočet parametrov PID regulátora s experimentálnou metódou, je potrebné poznať parametre prechodovej charakteristiky. V prípade výpočtu nastaviteľných parametrov PID regulátora pomocou analytických metód, využívame koeficienty charakteristickej rovnice regulačného obvodu:

$$1 + G_R(s)G_S(s) = 0 \quad (1)$$

Kde: $G_R(s)$ – prenos regulátora
$G_S(s)$ – prenos regulovanej sústavy
Where: $G_R(s)$ – controller transfer function
$G_S(s)$ – regulated system transfer function

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Ziegler – Nicholsonova metóda kritického zosilnenia

Základnou myšlienkou je priviesť obvod na kmitavú medzu stability. To dosiahneme použitím iba proporcionálnej zložky PID regulátora, integračná a derivačná zložka bude vyradená nastavením $T_I = \infty$ a $T_D = 0$, respektíve $r_{-1} = 0$ a $r_1 = 0$. Zvyšujeme zosilnenie K_p, respektíve r_0 až k hodnote $k_{pk}(r_{0k})$ do doby, kedy je obvod na hranici stability (netlmené kmity na výstupe z riadeného systému). Zosilnenie regulátora, pri ktorom nastáva tento jav, nazývame kritické zosilnenie $K_p = k_{pk}$, respektíve $r_0 = r_{0k}$ a periódu kritických kmitov $T = T_k$. Tieto kritické hodnoty dosadzujeme do empirických vzťahov pre jednotlivé typy regulátorov a vypočítame tak ich nastaviteľné parametre (Navrátil, 2011).

Tab. 1 Nastavenie parametrov PID regulátora pomocou Z-N metódy kritického zosilnenia
Tab. 1 Z-N method of critical gain

	Kp	TI	TD
P	0,5 kpk	-	-
PI	0,45 kpk	0,85 Tk	-
PD	0,4 kpk	-	0,05 Tk
PID	0,6 kpk	0,5 Tk	0,12 Tk

Ziegler – Nicholsonova metóda nastavenia parametrov regulátora z prechodovej charakteristiky regulovanej sústavy

Z nameranej prechodovej charakteristiky regulovanej sústavy (nekmitavého typu) odčítame dobu prieťahu T_u, dobu nábehu T_n a zosilnenie k alebo činiteľ autoregulácie s_0. Zo získaných parametrov určíme optimálne hodnoty nastaviteľných parametrov PID regulátora.

Tab. 2 Nastavenie parametrov PID regulátora z prechodovej charakteristiky regulovanej sústavy
Tab. 2 Z-N method

	Kp	TI	TD
P	$\frac{T_n}{T_u} s_0$	-	-
PI	$0{,}9\frac{T_n}{T_u} s_0$	$3{,}5T_u$	-
PD	$1{,}2\frac{T_n}{T_u} s_0$	-	$0{,}25T_u$
PID	$1{,}25\frac{T_n}{T_u} s_0$	$2T_u$	$0{,}5T_u$

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Tyreus – Luybenova metóda nastavenia parametrov regulátora

Princíp Tyreus – Luybenovej metódy je rovnaký ako pri nastavení regulátora podľa Z-N metódy kritického zosilnenia, avšak táto metóda sa líši vo výpočte parametrov regulátora, viď *tabuľka č.3* a je možné ju použiť iba na PI a PID regulátory.

Tab. 3 Tyreus – Luybenova metóda
Tab. 3 Tyreus – Luyben method

	Kp	TI	TD
PI	$\frac{k_{pk}}{3,2}$	$2,2T_K$	-
PID	$\frac{k_{pk}}{2,2}$	$2,2T_K$	$\frac{T_K}{6,3}$

Chienova – Hronesova – Raswickova metóda nastavenia parametrov regulátora

Táto metóda taktiež vyplýva z metódy Z-N. Pre výpočet parametrov je potrebné zistiť zosilnenie k, dobu prieťahu T_u a dobu nábehu T_n. Tieto parametre zisťujeme z prechodovej charakteristiky regulovanej sústavy. Pomocou tejto metódy získavame lepšie tlmenie. Pri návrhu tejto metódy bolo použité kritérium najrýchlejšej odozvy bez preregulovania a najrýchlejšiu odozvu s 20%-ným preregulovaním. Parametre PID regulátora počítame podľa *tabuľky č.4*.

Tab. 4 Chienova – Hronesova – Raswickova metóda
Tab. 4 Chien – Hrones – Raswick method

Preregulovanie	0%			20%		
Typ regulátora	Kp	TI	TD	Kp	TI	TD
P	$0,3\frac{T_n}{kT_u}$	-	-	$0,7\frac{T_n}{kT_u}$	-	-
PI	$0,35\frac{T_n}{kT_u}$	$1,17T_n$	-	$0,6\frac{T_n}{kT_u}$	T_n	-
PID	$0,6\frac{T_n}{kT_u}$	T_n	$0,5T_u$	$0,95\frac{T_n}{kT_u}$	$1,36T_n$	$0,64T_u$

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Aströmova – Hägglungova metóda nastavenia parametrov regulátora

Metóda vychádza z identifikácie regulovanej sústavy vyššieho rádu. Pre výpočet parametrov je potrebné zistiť zosilnenie k, dobu prieťahu T_u a dobu nábehu T_n. Parametre PID regulátora počítame podľa *tabuľky č.5*.

Tab. 5 Aströmova – Hägglungova metóda
Tab. 5 Aström – Hägglung method

PI	Kp	$\frac{0,29T_n}{kT_u} exp\left(\left(-2,7\frac{T_u}{T_u+T_n}+3,7\frac{T_u}{T_u+T_n}\right)^2\right)$
	TI	$8,9T_u exp\left(\left(-6,6\frac{T_u}{T_u+T_n}-3\frac{T_u}{T_u+T_n}\right)^2\right)$
PID	Kp	$\frac{3,8T_n}{kT_u} exp\left(\left(-8,4\frac{T_u}{T_u+T_n}+7,3\frac{T_u}{T_u+T_n}\right)^2\right)$
	TI	$5,2T_u exp\left(\left(-2,5\frac{T_u}{T_u+T_n}-1,4\frac{T_u}{T_u+T_n}\right)^2\right)$
	TD	$0,89T_u exp\left(\left(-3,7\frac{T_u}{T_u+T_n}+4,1\frac{T_u}{T_u+T_n}\right)^2\right)$

Fruehafova metóda nastavenia parametrov regulátora

Tak ako predošlé metódy, aj táto vychádza z identifikácie regulovanej sústavy vyššieho rádu. Pre výpočet parametrov je potrebné poznať zosilnenie k, dobu prieťahu T_u a dobu nábehu T_n (Koprda, 2014).

Tab. 6 Fruehafova metóda
Tab. 6 Fruehauf method

PODIEL $\frac{T_u}{T_n}$	$\frac{T_u}{T_n} < 0,333$			$\frac{T_u}{T_n} \geq 0,333$		
Typ regulátora	Kp	TI	TD	Kp	TI	TD
PI	$\frac{5T_n}{9kT_u}$	$5T_u$	-	$\frac{1T_n}{2kT_u}$	T_n	-
PID	$\frac{5T_n}{9kT_u}$	$5T_u$	$\leq 0,5T_u$	$\frac{1T_n}{2kT_u}$	T_n	$\leq 0,5T_u$

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Cohenova - Coonova metóda nastavenia parametrov regulátora

Pre výpočet parametrov Cohen – Coonovou metódou je potrebné zistiť zosilnenie k, dobu prieťahu T_u a dobu nábehu T_n.

Tab. 7 Cohenova – Coonova metóda
Tab. 7 Cohen – Coon method

Typ regulátora	Kp	TI	TD
P	$\frac{1T_n}{kT_u}\left(1+\frac{1T_u}{3T_n}\right)$	-	-
PI	$\frac{1T_n}{kT_u}\left(0{,}9+\frac{1T_u}{12T_n}\right)$	$T_u\left(\frac{30+3\frac{T_u}{T_n}}{9+20\frac{T_u}{T_n}}\right)$	-
PD	$\frac{1T_n}{kT_u}\left(\frac{5}{4}+\frac{1T_u}{6T_n}\right)$	-	$T_u\left(\frac{6-2\frac{T_u}{T_n}}{22+3\frac{T_u}{T_n}}\right)$
PID	$\frac{1T_n}{kT_u}\left(\frac{4}{3}+\frac{1T_u}{4T_n}\right)$	$T_u\left(\frac{32+6\frac{T_u}{T_n}}{13+8\frac{T_u}{T_n}}\right)$	$T_u\left(\frac{4}{11+2\frac{T_u}{T_n}}\right)$

Naslinova metóda nastavenia parametrov regulátora

Regulátor sa navrhuje na základe požiadavky maximálneho preregulovania. Po úprave charakteristickej rovnice uzavretého regulačného obvodu, dostávame tvar:

$$a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \cdots + a_1 s + a_0 = 0 \qquad (2)$$

Kde: a_n – konštantné koeficienty
Where: a_n – constant coefficients

kde v koeficientoch an, ..., a1, a0 môžu vystupovať neznáme parametre regulátorov typu PID. Medzi koeficientami platí vzťah:

$$a_i{}^2 = \alpha a_{i+1} a_{i-1} \qquad (3)$$

Kde: α – koeficient tlmenia
Where: α – damping coefficient

Tab. 8 Vzťah medzi maximálnym preregulovaním a parametrom α
Tab. 8 Relationship between the maximum overshoot and parameter α

σ_{max}[%]	20	12	8	5	3	1
α	1,7	1,8	1,9	2	2,2	2,4

Graham - Lathropova metóda nastavenia parametrov regulátora

Táto metóda je založená na charakteristických tvaroch polynómov uzavretého regulačného obvodu. Porovnaním charakteristickej rovnice uzavretého regulačného obvodu s charakteristickým polynómom *n*-tého rádu vypočítame parametre PID regulátora.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Tab. 9 Charakteristické tvary polynómov Graham – Lathropovej metódy
Tab. 9 Characteristic polynomial of Graham – Lathrop method

Stupeň n	Charakteristické tvary polynómov
1	$q + 1$
2	$q^2 + 1{,}4q + 1$
3	$q^3 + 1{,}75q^2 + 2{,}15q + 1$
4	$q^4 + 2{,}1q^3 + 3{,}4q^2 + 2{,}7q + 1$
5	$q^5 + 2{,}8q^4 + 5{,}0q^3 + 5{,}5q^2 + 3{,}4q + 1$

Whitleyova metóda nastavenia parametrov regulátora

Metóda vychádza zo vzorových typov prenosových funkcií uzavretého regulačného obvodu, ktoré udávajú vyhovujúci regulačný pochod a podľa nich upravuje nastavenie parametrov regulátora tak, aby sa koeficienty tejto konkrétnej funkcie a funkcie vzorovej navzájom rovnali.

Tab. 10 Charakteristické tvary polynómov Graham – Lathropovej metódy
Tab. 10 Characteristic polynomial of Whitley method

Stupeň n	Charakteristické tvary polynómov	Preregulovanie
2	$s^2 + 1{,}4cs + c^2$	5
3	$s^3 + 2cs^2 + 2c^2s + c^3$	8
4	$s^4 + 2{,}6cs^3 + 3{,}4c^2s^2 + 2{,}6c^3s + c^4$	10
5	$s^5 + 3{,}2cs^4 + 5{,}2c^2s^3 + 5{,}2c^3s^2 + 3{,}2c^4s + c^5$	10

Metóda nastavenia parametrov regulátora pomocou optimálneho modulu

Pri určovaní optimálnych parametrov regulátora vychádzame z prenosovej funkcie regulovaného systému:

$$G_s(s) = \frac{K}{1 + a_1 s + a_2 s^2 + \cdots} \tag{4}$$

Kde: K – zosilnenie
a_n – konštantné koeficienty
Where: K – gain
a_n – constant coefficients

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Potom platí:

$$K_P = \frac{1}{2K}\frac{(a_0^2a_3^2 - a_1^2a_3 - 2a_0a_1a_2a_3 + a_1^2a_2^2)}{a_3(a_1a_2 - a_0a_3)} \quad (5)$$

$$K_I = \frac{1}{2K}\frac{a_0(a_1a_2^2 - a_0a_2a_3 - a_1^2a_3)}{a_3(a_1a_2 - a_0a_3)} \quad (6)$$

$$K_D = \frac{1}{2K}\frac{(a_2^2 - 2a_1a_3)}{a_3} \quad (7)$$

Kde: K_p – proporcionálna zložka
K_I – integračná zložka
K_D – derivačná zložka
K – zosilnenie
a_n – konštantné koeficienty
Where: K_p – proportional component
K_I – integration component
K_D – derivative component
K – gain
a_n – constant coefficients

3 Výsledky a diskusia

Regulovaný obvod je popísaný sústavou tretieho rádu s nasledovnou prenosovou funkciou:

$$G_s(s) = \frac{1}{s^3 + 7s^2 + 2s + 1} \quad (8)$$

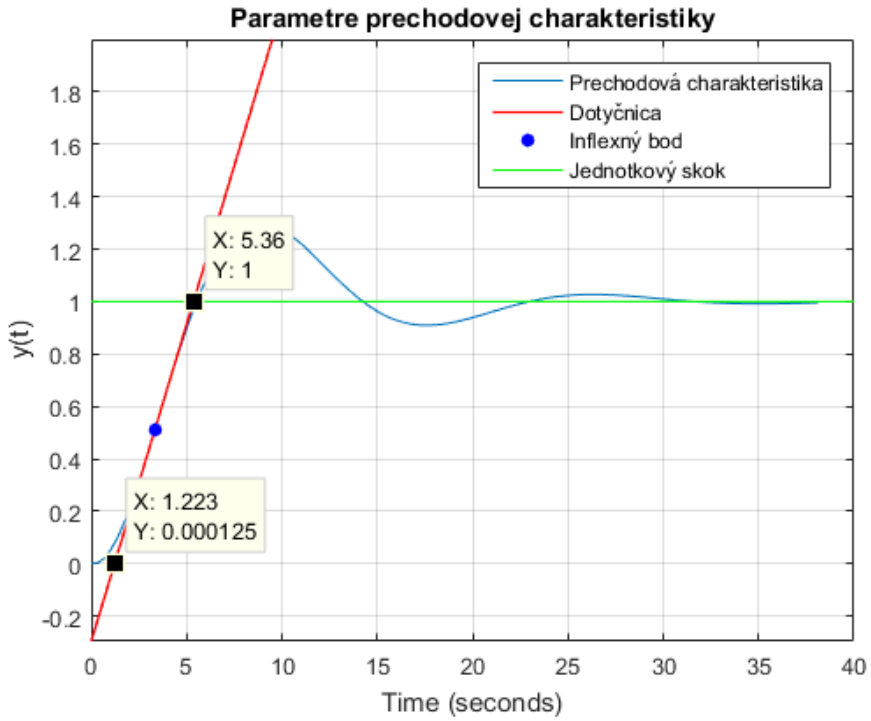
následne, pre PID regulátor platí:

$$G_R(s) = K_p\left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s\right) \quad (9)$$

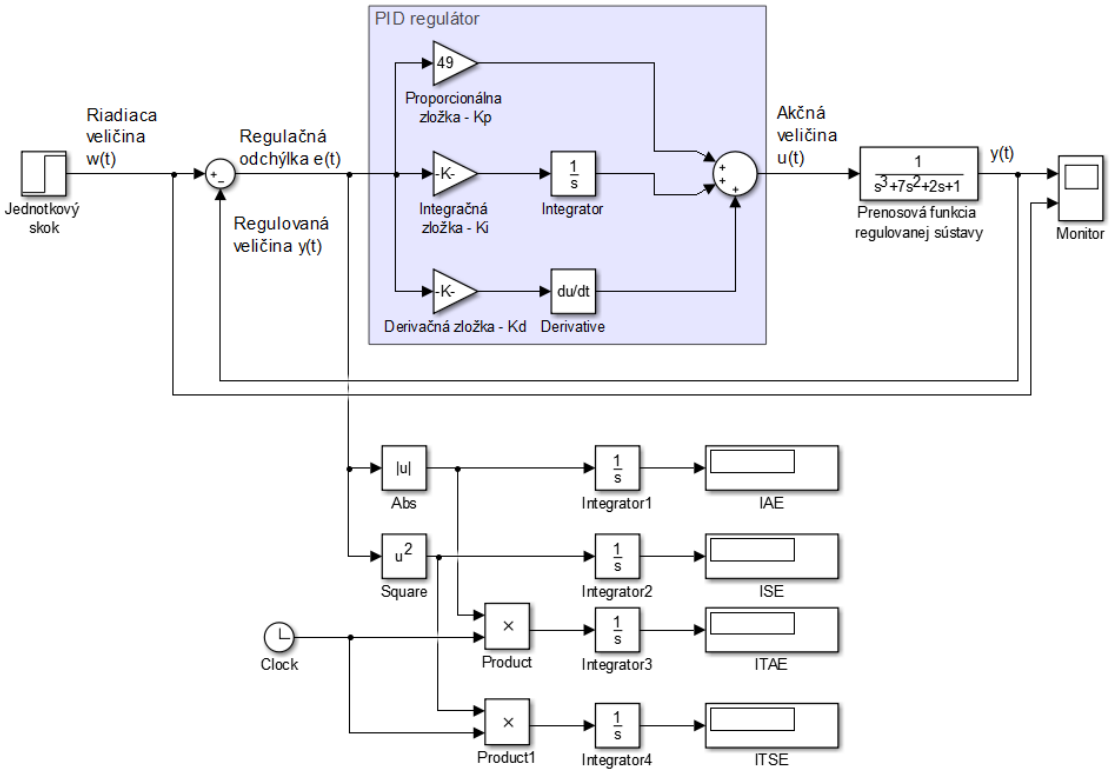
Kde: $G_R(s)$ – prenos regulátora
Kp – proporcionálna zložka
T_I – integračná časová konštanta
T_D – derivačná časová konštanta
Where: $G_R(s)$ – controller transfer function
Kp – proportional component
T_I – integration time constant
T_D – derivative time constant

Aplikovaním jednotkového skoku na daný regulovaný obvod dostávame prechodovú charakteristiku regulovanej sústavy, s dobou prieťahu T_u = 1,223s a dobou nábehu T_n = 4,137s, ide o nedostatočne tlmenú regulovanú sústavu.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 1 Prechodová charakteristika regulovanej sústavy
Fig. 1 Transfer function of regulated system

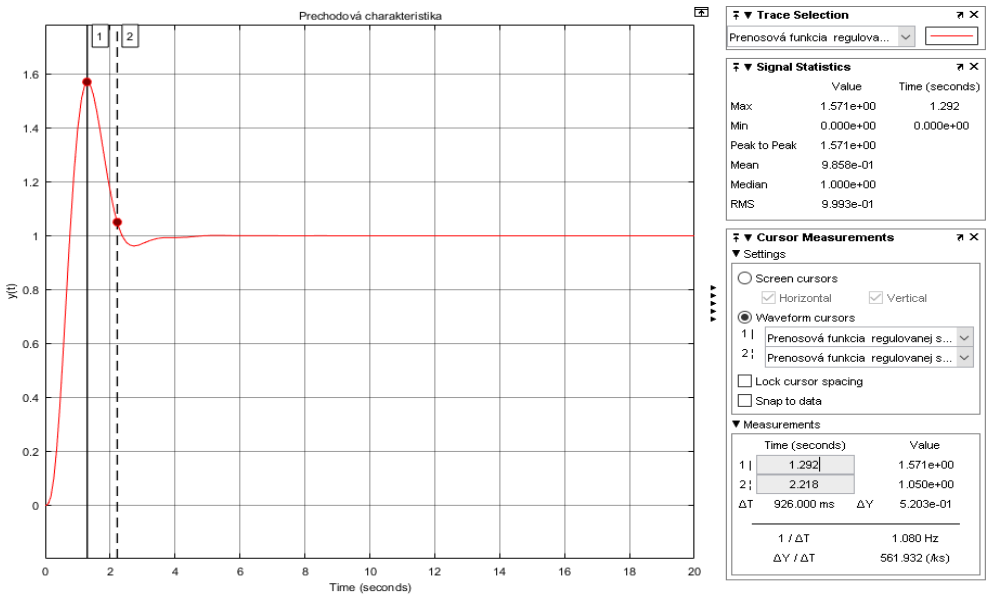


Obr. 2 Bloková schéma pre navrhnutý uzavretý regulačný obvod
Fig. 2 Proposed block diagram for a closed loop control system

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Naslinova metóda nastavenia parametrov regulátora

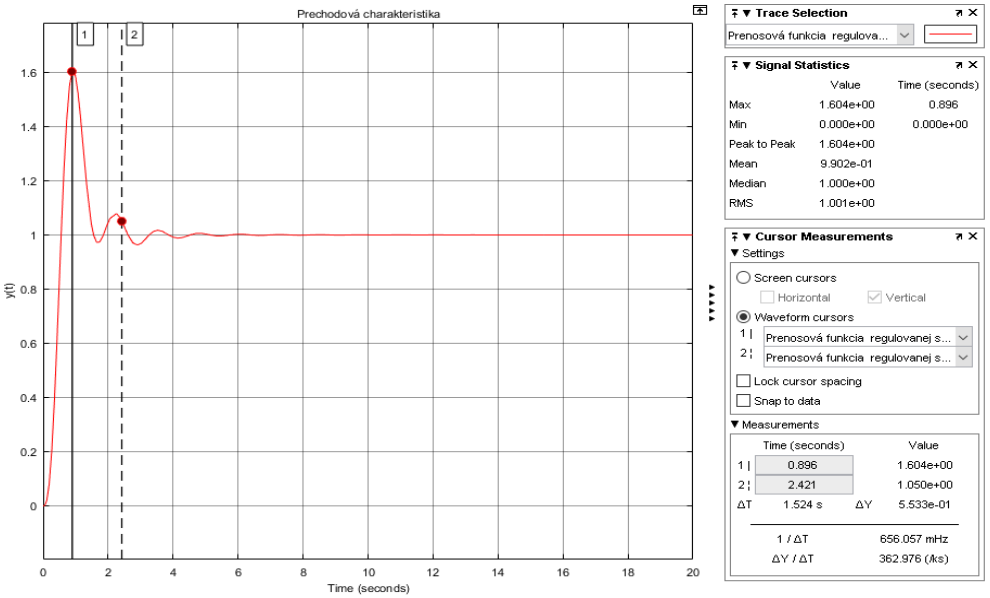
Matematicko – grafickým riešením Naslinovej metódy sme vypočítali koeficienty PID regulátora, ktoré dosadíme do blokovej schémy uzavretého regulačného obvodu:
$K_p = 49$; $K_I = 51{,}0735$; $K_D = 23{,}7650$.



Obr. 3 Simulácia Naslinovej metódy
Fig. 3 Simulated Naslin method

Graham - Lathropova metóda nastavenia parametrov regulátora

Matematicko – grafickým riešením Graham - Lathropovej metódy sme vypočítali koeficienty PID regulátora, ktoré dosadíme do blokovej schémy uzavretého regulačného obvodu:
$K_p = 99$; $K_I = 123{,}4567$; $K_D = 35{,}7776$.

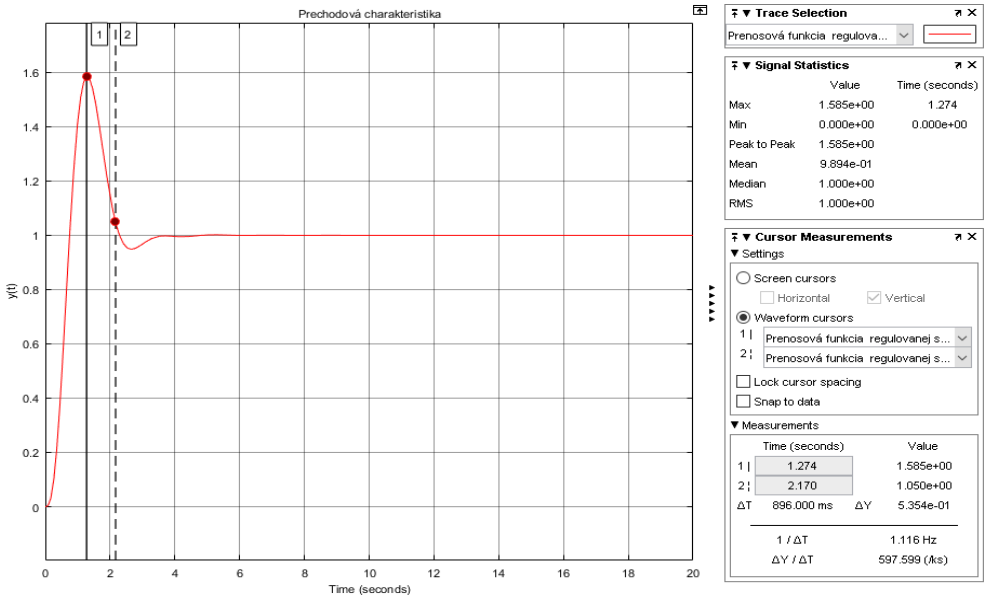


Obr. 4 Simulácia Graham - Lathropovej metódy
Fig. 4 Simulated Graham - Lathrop method

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Whitleyova metóda nastavenia parametrov regulátora

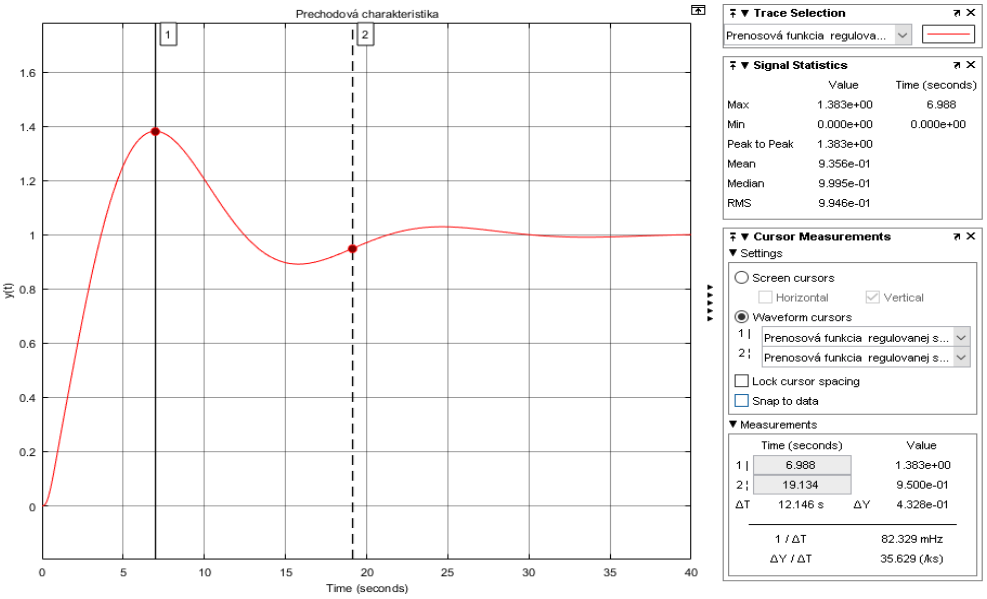
Matematicko – grafickým riešením Graham - Lathropovej metódy sme vypočítali koeficienty PID regulátora, ktoré dosadíme do blokovej schémy uzavretého regulačného obvodu:
$K_p = 49{,}7392$; $K_I = 52{,}5406$; $K_D = 23{,}6917$.



Obr. 5 Simulácia Whitleyovej metódy
Fig. 5 Simulated Whitley method

Metóda nastavenia parametrov regulátora pomocou optimálneho modulu

Matematicko – grafickým riešením Graham - Lathropovej metódy sme vypočítali koeficienty PID regulátora, ktoré dosadíme do blokovej schémy uzavretého regulačného obvodu:
$K_p = 6{,}3461$; $K_I = 3{,}3461$; $K_D = 22{,}5$.

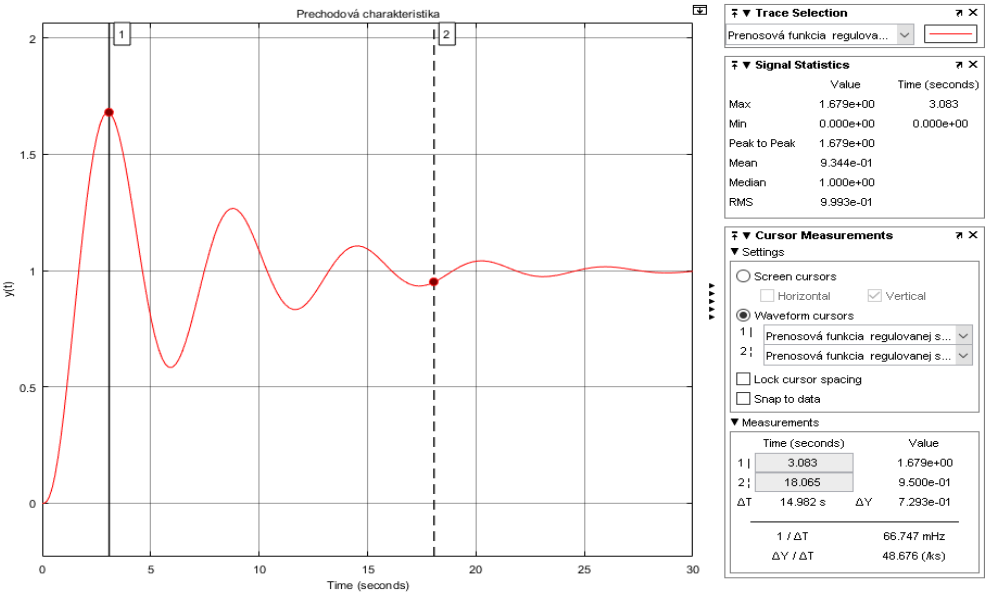


Obr. 6 Simulácia metódy optimálneho modulu
Fig. 6 Simulated optimal module method

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Ziegler – Nicholsonova metóda kritického zosilnenia

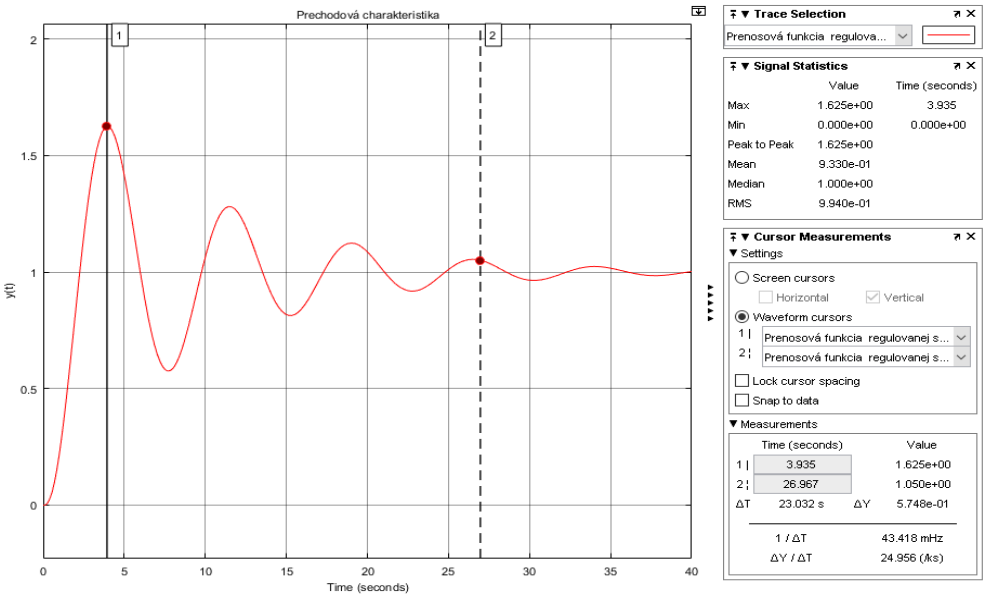
Meraním sme zistili hodnotu T_k = 4,443s a k_{pk} = 13. Dosadením hodnôt do tabuľky(1) sme vypočítali koeficienty PID regulátora:
K_p = 7,8; K_I = 3,5111; K_D = 4,1586.



Obr. 7 Simulácia Z-N metódy kritického zosilnenia
Fig. 7 Simulated Z-N critical gain method

Ziegler – Nicholsonova metóda nastavenia parametrov regulátora z prechodovej charakteristiky regulovanej sústavy

Dosadením hodnôt T_u a T_n do tabuľky(2), sme vypočítali koeficienty PID regulátora:
K_p = 4,2283; K_I = 1,7286; K_D = 2,5856.

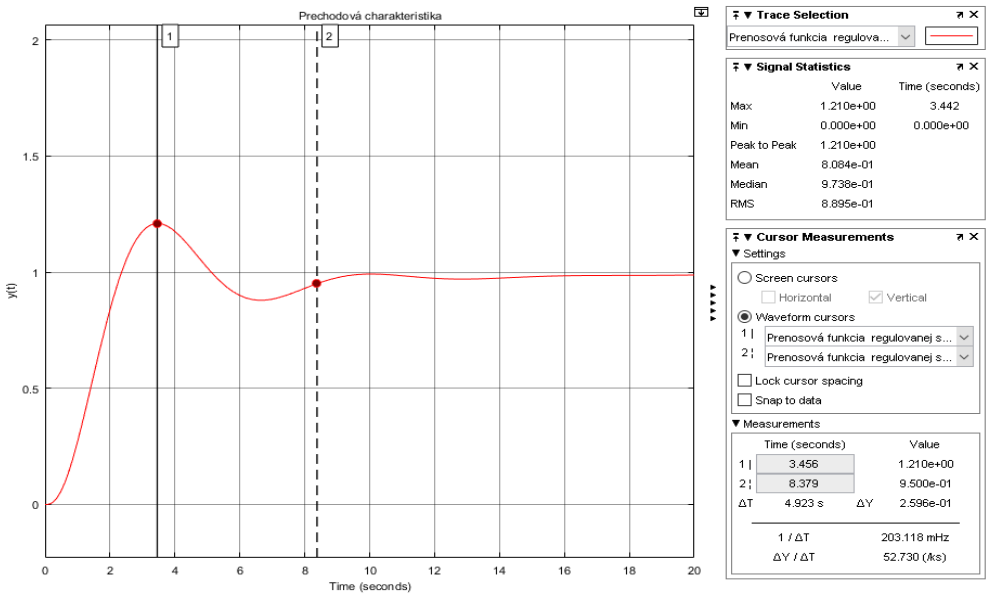


Obr. 8 Simulácia Z-N metódy
Fig. 8 Simulated Z-N method

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Tyreus – Luybenova metóda nastavenia parametrov regulátora

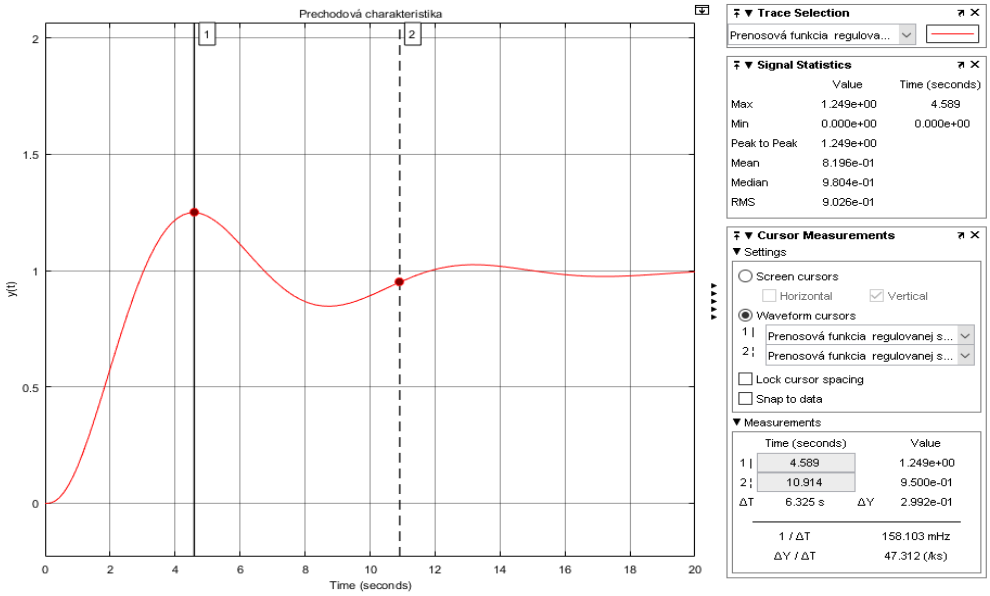
Dosadením hodnôt T_u a T_n do tabuľky(3), sme vypočítali koeficienty PID regulátora: $K_p = 5{,}9090$; $K_I = 0{,}6045$; $K_D = 4{,}1672$.



Obr. 9 Simulácia Tyreus – Luybenovej metódy
Fig. 9 Simulated Tyreus – Luyben method

Chienova – Hronesova – Raswickova metóda nastavenia parametrov regulátora

Dosadením hodnôt T_u a T_n do tabuľky(4), sme vypočítali koeficienty PID regulátora: $K_p = 3{,}2135$; $K_I = 0{,}5711$; $K_D = 2{,}5152$.

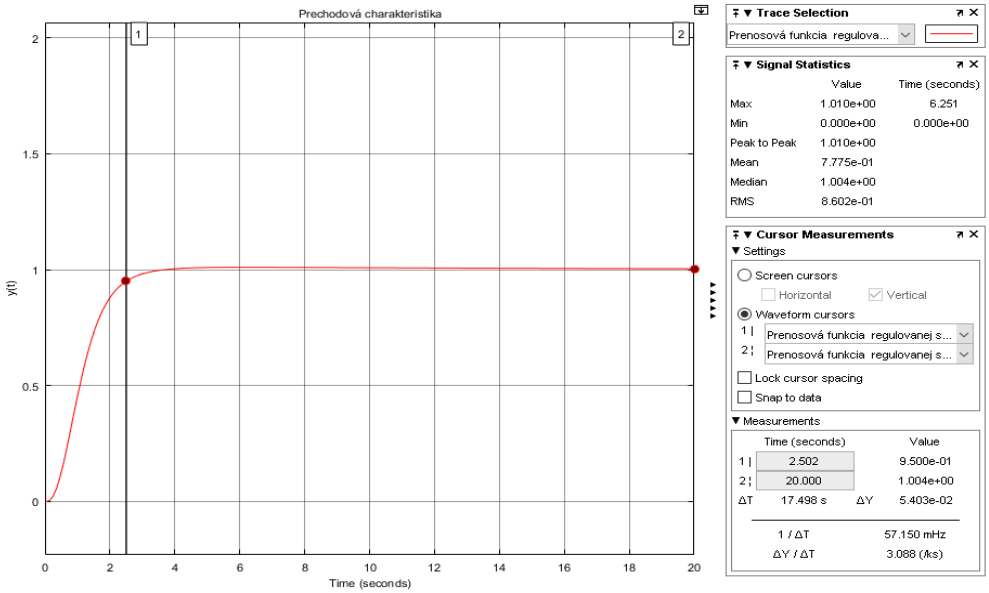


Obr. 10 Simulácia Chienovej – Hronesovej – Raswickovej metódy
Fig. 10 Simulated Chien – Hrones – Raswick method

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Aströmova – Hägglungova metóda nastavenia parametrov regulátora

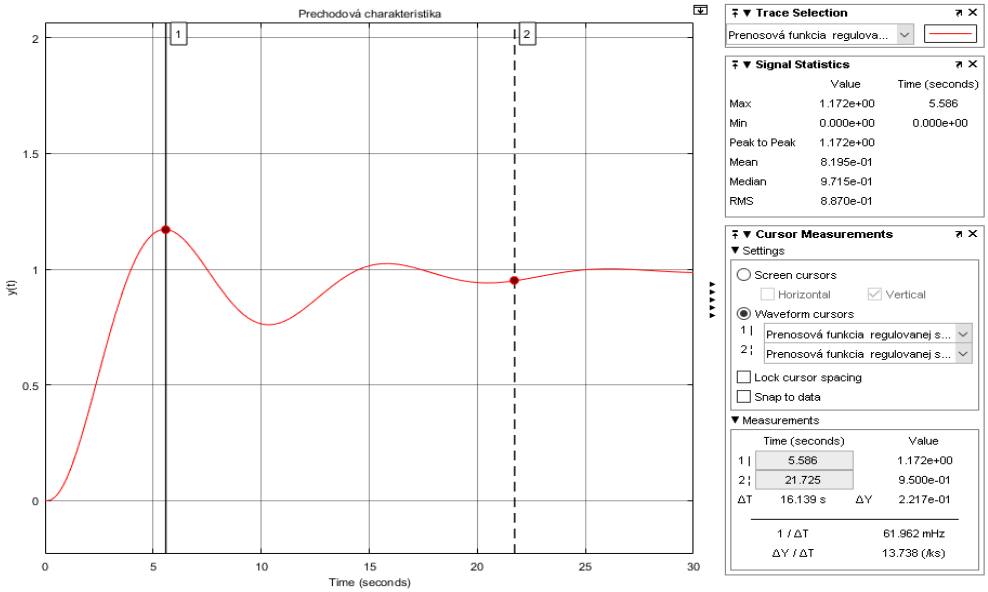
Dosadením hodnôt T_u a T_n do tabuľky(5), sme vypočítali koeficienty PID regulátora: $K_p = 13{,}6899$; $K_I = 0{,}9751$; $K_D = 15{,}0246$.



Obr. 11 Simulácia Aströmovej – Hägglungovej metódy
Fig. 11 Simulated Aström – Hägglung method

Fruehafova metóda nastavenia parametrov regulátora

Dosadením hodnôt T_u a T_n do tabuľky(6), sme vypočítali koeficienty PID regulátora: $K_p = 1{,}8792$; $K_I = 0{,}3073$; $K_D = 1{,}1491$.

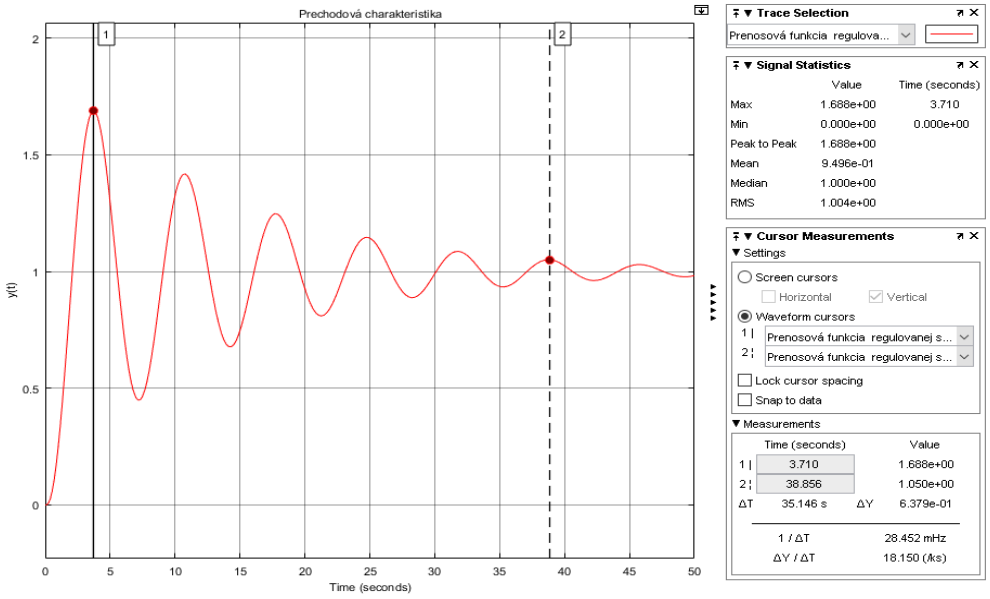


Obr. 12 Simulácia Fruehafovej metódy
Fig. 12 Simulated Fruehauf method

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Cohenova - Coonova metóda nastavenia parametrov regulátora

Dosadením hodnôt T_u a T_n do tabuľky(7), sme vypočítali koeficienty PID regulátora: $K_p = 4{,}7602$; $K_I = 1{,}7707$; $K_D = 2{,}0088$.



Obr. 13 Simulácia Cohenovej – Coonovej metódy
Fig. 13 Simulated Cohen – Coon method

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

4 Záver

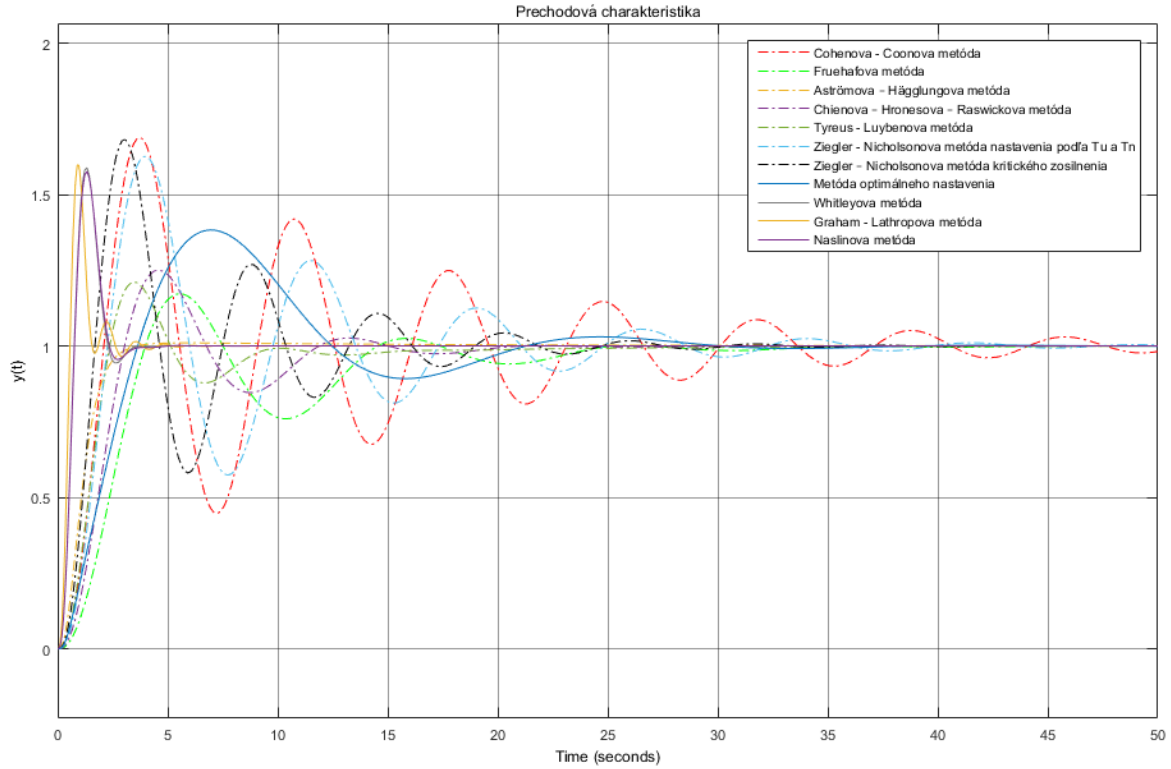
Cieľom práce bolo zistiť a zhodnotiť vplyv nastaviteľných parametrov PID regulátora na kvalitu regulácie. Regulátory majú veľké využitie v praxi, napríklad na reguláciu teploty, otáčok, tlaku, prietoku. Táto práca sa zaoberala viacerými analytickými a experimentálnymi metódami, ktoré boli vzájomne porovnávané. Štúdiou odbornej literatúry sme vybrali nasledujúce analytické metódy: Naslin, Graham – Lathrop, Whitleyove štandardné tvary, Optimálne nastavenie parametrov a experimentálne metódy: Ziegler – Nicholsonova metóda kritického zosilnenia, Ziegler – Nicholsonova metóda nastavenia parametrov regulátora z prechodovej charakteristiky, Tyreus – Luyben, Chienova – Hronesova – Raswick, Aström – Hägglung, Fruehafova, Cohenova – Coonova.

Simulácia všetkých metód bola vykonaná na blokovej schéme PID regulátora navrhnutého v programe MatLab 2015R – Simulink. Všetky metódy sú odsimulované na nedostatočne tlmenej regulovanej sústave tretieho rádu(45). Spomedzi analytických metód z hľadiska kvality regulácie, dosiahla najlepšie výsledky Graham – Lathropova metóda. V porovnaní s ostatnými analytickými metódami však spôsobila maximálne preregulovanie na úrovni 60,4% s počtom preregulovaní 2, čo ale kompenzuje svojou rýchlosťou a časom regulácie T_r. Metóda optimálneho nastavenia parametrov poskytuje nekvalitnú reguláciu s pomerne dlhým časom regulácie T_r = 19,134 s.

Spomedzi experimentálnych metód sme dosiahli najlepšie výsledky použitím Aström – Hägglungovej metódy, pri ktorej nenastalo preregulovanie, s časom regulácie T_r = 2,502s. Z hľadiska kvality regulácie dosahuje táto metóda podobné výsledky ako metódy analytické. Nastavenie regulátora Cohen – Coonovou alebo Ziegler – Nicholsonovými metódami je nekvalitné, nakoľko dochádza ku viacnásobnému preregulovaniu a maximálnemu preregulovaniu na úrovni 60 až 70% s pomerne veľkým časom regulácie, hlavne pri metóde Cohen - Coon. Výsledky Tyreus – Luybenovej a Chien – Hrones – Raswickovej metódy sa z hľadiska kvality regulácie výrazne podobajú, obe dosahujú maximálne preregulovanie na úrovni 20 až 25%, s časmi regulácie v oblasti 8 až 11 sekúnd. Ukazovatele kvality regulácie Fruehafovej metódy sa podobajú Ziegler – Nicholsonovej metóde, avšak maximálne preregulovanie je iba 17,2% pričom viacej preregulovaní nenastalo, nedostatkom Fruehafovej metódy je zdĺhavý čas regulácie.

Simulované metódy nastavenia parametrov regulátora sme zhodnotili z hľadiska kvality regulácie. Najlepšie výsledky sme dosiahli aplikovaním Graham – Lathropovej a Aström – Hägglungovej metódy. Ostatné metódy majú tiež svoje výhody aj nevýhody, avšak výber správnej metódy je obtiažny, nakoľko záleží na preferencií používateľa zariadenia a type regulovaného technologického procesu. Prechodové charakteristiky všetkých simulovaných metód sa nachádzajú na *obrázku č.14*.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 14 Prechodové charakteristiky simulovaných metód
Fig. 14 Transfer functions of simulated methods

Tab. 11 Zhodnotenie riešenia – porovnanie metód
Tab. 11 Evaluation of the results – comparison of methods

Prenosová funkcia	$G_s(s) = \frac{1}{s^3+7s^2+2s+1}$											
Hodnotiace kritériá	e_{max} [%]	T_m [s]	e_i [-]	T_r [s]	IAE [-]	ISE [-]	ITAE [-]	ITSE [-]		K_P [-]	K_I [-]	K_D [-]
Analytické metódy												
Naslin	57,1	1,292	1	2,218	1,051	0,6289	0,9988	0,4009		49	51,0735	23,765
Graham - Lathrop	60,4	0,896	2	2,421	0,801	0,4692	0,7478	0,2134		99	123,4567	35,7776
Whitley	58,5	1,274	1	2,17	1,053	0,6337	0,9901	0,4071		49,7392	52,5406	23,6917
Optimálne nastavenie	38,3	6,688	1	19,134	4,772	2,027	33,52	6,589		6,3461	3,3461	22,5
Experimentálne metódy												
Z-N kritického zosilnenia	67,9	3,083	3	18,065	4,415	1,963	26,85	5,788		7,8	3,5111	4,1586
Z-N z prechodovej charakteristiky	62,5	3,935	4	26,967	5,906	2,478	51,34	10,16		4,2283	1,7286	2,5856
Tyreus - Luyben	21	3,456	1	8,379	2,376	1,163	10,85	1,166		5,909	0,6045	4,1672
Chienova - Hronesova - Raswickova	24,9	4,589	1	10,914	3,021	1,563	11,9	2,227		3,2135	0,5711	2,5152
Aströmova – Hägglungova	-	-	-	2,502	1,355	0,83	3,617	0,446		13,6899	0,9751	15,0246
Fruehafova	17,2	5,586	1	21,725	4,12	2,03	25,69	4,419		1,8792	0,3073	1,1491
Cohenova - Coonova	68,8	3,71	5	38,856	7,953	3,183	94,47	19,43		4,7602	1,7707	2,0088

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

5 Literatúra

KOPRDA, S. 2014. *Simulácia PID regulátora v programovom prostredí Matlab*. Nitra: Univerzita Konštantína Filozofa v Nitra – Katedra informatiky.[cit. 31.10.2022].

NAVRÁTIL, P. 2011. *Automatizace*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati. 289 s. ISBN 978-80-7318-935-8. [cit. 22.11.2022].

Súhrn

Cieľom tejto práce je zistiť koeficienty PID regulátora. Použité metódy pre výpočet sú v práci popísané a vysvetlené. Vypočítané koeficienty boli dosadené do modelu PID regulátora, ktorý bol navrhnutý v programe MatLab. Výsledky jednotlivých metód a ich vplyv na regulátor boli medzi sebou porovnané na základe kritérií kvality regulácie.

Kľúčové slová: PID, regulátor, MatLab, regulácia, automatizácia

Touto cestou by som sa chcel úprimne poďakovať môjmu vedúcemu práce doc. Ing. Ondrej Lukáč, PhD. za odborné a cenné rady, pripomienky a poskytnutú pomoc pri vypracovávaní práce.

HODNOTENIE VYBRANÝCH PREVÁDZKOVÝCH KVAPALÍN VO VÝROBNOM ZARIADENÍ PROSTREDNÍCTVOM VYBRATÝCH REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ
EVALUATION OF SELECTED OPERATING FLUIDS IN PRODUCTION EQUIPMENT THROUGH SELECTED RHEOLOGICAL PROPERTIES

MARTIN KRASŇANSKÝ[1] – PETER HLAVÁČ[2]

Abstract

This article deals with the evaluation of the operating fluids in a production facility by using rheological properties. Operating fluids and oils are used in production machines for the correct and error-free operation. We focused on selected operating fluids in the CNC machining centre as cutting fluid, hydraulic and industrial gear oil. We performed density measurements in the temperature range (0 – 60) °C, while dynamic viscosity in (5 – 60) °C. In dependency of density on temperature we obtained a linearly decreasing trends, while for the dynamic viscosity we applied exponentially decreasing function for each sample. We obtained largest density for the hydraulic oil, while highest viscosity had industrial gear oil. We found the largest difference in kinematic viscosity at 40 °C for the industrial gear oil sample, but all samples had higher value than viscosities in the literature, which can be caused by chemical changes, transport or by longer storage.

Key words: density, viscosity, liquids, cutting oil, hydraulic oil, industrial gear oil

1 Úvod

Vo výrobných strojoch a zariadeniach sa využívajú rôzne druhy prevádzkových kvapalín a olejov, ktoré sú dôležité pre správnu a bezchybnú funkciu a prevádzku stroja vo výrobných prevádzkach zaoberajúcich sa rozličnými činnosťami, ktorých cieľom je dosiahnutie výrobku v požadovanej kvalite a čase pri čo najmenšom možnom počte chýb. Každá z týchto kvapalín a olejov má svoje miesto a funkciu v zariadení pre dosiahnutie požadovanej a bezproblémovej prevádzky. Preto je dôležité sledovať a merať jednotlivé požadované vlastnosti týchto kvapalín z dôvodu zabezpečenia správnej prevádzky a bezchybnej prevádzky v priemysle. V našom prípade sa budeme venovať vybraným prevádzkovým kvapalinám v CNC obrábacom centre pričom medzi najbežnejšie patrí: rezná kvapalina, hydraulický olej a priemyselný prevodový olej.

Rezná chladiaca kvapalina

Hlavnou funkciou rezných chladiacich kvapalín je zabezpečiť účinný odvod tepla z miesta rezania vo výrobných zariadeniach pri obrábacích operáciách, pričom prívodom reznej kvapaliny dochádza ku zmenšeniu vonkajšieho a vnútorného trenia (Čillíková et al., 2005; Kocman, 2011).

Štúdiou vlastností rezných kvapalín sa vo svete zaoberalo veľa autorov. Skúmali sa rozličné vlastnosti, pričom Yan et al. (2022) vo svojom výskume riešili reologické a

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

termofyzikálne vlastnosti rôznych rezných kvapalín. Sah et al. (2021) skúmali termofyzikálne a tribologické vlatnosti rezných kvapalín na báze iónových kvapalín. Liu et al. (2022) skúmali fyzikálne vlastnosti a výkon rezných kvapalín s aditívami nanokryštálov celulózy. Ďalší autori Gómez-Merino et al. (2022) hodnotili tepelné a reologické vlastnosti ekologických prísad pri vŕtaní v podobe kokosového oleja-oxidu kremičitého na základe minimálneho množstva rezných kvapalín. Podobné vlastnosti riešili Gajrani et al. (2019), ktorí sa zaoberali tepelnými a reologickými vlastnosťami, zmáčavosťou a tvrdým obrábaním pri použití minimálneho množstva hybridných ekologických rezných nanokvapalín na báze MoS_2 a CaF_2. Salimi-Yasar et al. (2017) sa taktiež zaoberali podobnými vlastnosťami pričom skúmali tepelné vlastnosti reznej kvapaliny s použitím rozpustnej nanokvapaliny TiO_2 na báze oleja.

Hydraulická kvapalina

Hydraulická kvapalina je médium na prenos energie v systéme alebo strojnom zariadení. Hydraulické kvapaliny sa používajú v hydraulických zariadeniach ako kvapalina na prenášanie alebo násobenie tlaku. Oproti vode majú výhodu - systém chránia proti korózii a oxidácia takého oleja trvá dlho. Stlačiteľnosť hydraulického oleja je minimálna. Tieto oleje sú horľavé, preto je niekedy do nich pridaná voda (Javalagi a Singireddy, 2012).

Meraniami zameranými na hydraulický olej sa zaoberali doma a v zahraničí mnohí autori, ktorí sledovali viaceré vlastnosti súvisiace s hydraulickou kvapalinou. Haldar et al. (2020) sledovali reologické vlastnosti a správanie nanohydraulického oleja experimentálnym prístupom umelej neurónovej siete (ANN). Mohammadfam et al. (2020) riešili a skúmali reologické vlastnosti a výkon magnetických nanokvapalín v prítomnosti magnetického poľa. Kader et al. (2023) sa zaoberali výskumom termofyzikálnych vlastností a tribologického výkonu hydraulického oleja s dispergovanými grafénovými nanočasticami. Autori Hashim et al. (2022) skúmali vo svojom výskume vplyv zvyšujúcej sa teploty na hustotu, dynamickú a kinematickú viskozitu hydraulického oleja HL32. Autori He et al. (2023) sa takisto zaoberali hydraulickými olejmi, a venovali sa štúdii kavitačného toku v nízkotlakovom systéme pri rôznych teplotách hydraulického oleja. Autori Hilal et al. (2022) hodnotili vo svojom výskume výkonnosť hydraulického systému a vplyv pridávania rastlinných olejov do minerálneho oleja na koeficient trenia, viskozitu a pokles tlaku pri rôznych teplotách.

Priemyselný prevodový olej

Priemyselný prevodový olej je tekuté mazivo používané v ozubených kolesách (prevodovkách) na zníženie trenia a opotrebenia povrchov zubov ozubených kolies, odvod tepla generovaného pracovným prevodom a ochranu častí ozubených kolies proti korózii (Bala, 2019; Eusuf, 2022).

Výskumami a meraniami rozličných fyzikálnych veličín sa zaoberalo vo svete veľa autorov. Termofyzikálnymi a tribologickými vlastnosťami priemyselných prevodových olejov s prídavkom nanočastíc Al_2O_3 a SiO_2 sa zaoberali autori Kotia et al. (2019). Reologické vlastnosti hybridných priemyselných prevodových olejov s prídavkom MWCNT/grafénovvých nanočastíc skúmali autori Saxena et al. (2020). Fan et al. (2022) sa zaoberali zlepšovaním mazacích vlastností priemyselného prevodového oleja pomocou pridávania heteroštruktúrnych nanokompozitov zložených z oxidov grafénu a sulfidu molybdeničitého, pričom skúmali ich disperznú stabilitu, tribologické vlastnosti a mechanizmus mazania. Autori Martins et al. (2006) skúmali dva priemyselné prevodové oleje, z toho jeden parafínový minerálny olej s aditívami a druhý biologicky odbúrateľný netoxický ester, pričom skúmali ich fyzikálne vlastnosti, vlastnosti opotrebenia a chemického obsahu a porovnali z hľadiska ich rozptylu výkonu v prevodových aplikáciách. Mohamed et al. (2017) sa zaoberali priemyselnými prevodovými olejmi, kde skúmali tepelné (tepelná vodivosť, teplota vzplanutia, teplota tuhnutia) a reologické (kinematická viskozita) vlastnosti na prevodových olejoch s rôznou koncentráciou uhlíkových nanorúrok ako nanoaditíva a výsledky porovnávali so štandardnými priemyselnými prevodovými olejmi.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

2 Materiál a metódy

Popis použitých vzoriek pri meraní

Na zrealizovanie merania hustoty a dynamickej viskozity použijeme 3 vzorky prevádzkových kvapalín používaných v CNC obrábacom centre: rezný olej, hydraulický olej a priemyselný prevodový olej.

Rezný olej

Pri našom meraní použijeme rezný olej MORRIS Cora B – ISO VG 22. Je to rezný a chladiaci olej strednej viskozity, ktorý obsahuje aditíva pre vysoký tlak a klzné vlastnosti. Je vhodný pre všetky všeobecné obrábacie operácie železa a bežných ocelí a taktiež farebných kovov. Olej má na základe výberu základových olejov a prísad bledo jantárovú farbu (MORRIS LUBRICANTS, 2023).

Hydraulický olej

V našom prípade použijeme pri meraní hydraulický olej LIQUI MOLY HLP 46. Je to vysoko výkonný hydraulický olej, horľavá kvapalina IV. triedy, má výrazne znížený proces starnutia špeciálne pri zvýšených teplotách, nie je samozápalný, ani nebezpečný z hľadiska výbušnosti a nerozpustný vo vode. Zloženie hydraulického oleja je tvorené zo zmesi ropných uhľovodíkov a aditív, zmesi minerálnych olejov získaných rafináciou ropy a aditív (LIQUI MOLY, 2023).

Priemyselný prevodový olej

Pri meraniach použijeme priemyselný prevodový olej PROMA GEAR 150. Je to vysoko akostný priemyselný prevodový olej, horľavá kvapalina IV. triedy, s obsahom vysokotlakových prísad. Je vhodný pro obehové i brodivé systémy mazania priemyselných prevodoviek s čelnými prevodmi s priamym aj šikmým ozubením, taktiež je vhodný pre šnekové prevodovky (PROMA, 2023).

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 tlačiarni alebo poslať do počítača Viskozimeter disponuje 5-palcovým farebným displejom, ktorý na displeji zobrazuje údaje viskozity v jednotkách mPa.s, teploty v jednotkách °C, šmykové napätie v Pa a šmykovú rýchlosť v s^{-1}, rýchlosť vretena v min^{-1} a krútiaci moment v % (BROOKFIELD ENGINEERING, 2023).

Regresné rovnice

Grafickú závislosť hustoty jednotlivých vzoriek od vzrastajúcej teploty budeme modelovať lineárnou klesajúcou funkciou

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

Kde: ρ – hustota vzorky, $kg.m^{-3}$;
t – teplota vzorky, °C;
t_0 – 1 °C;
A, B – koeficienty regresnej rovnice.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Where: ρ – density of the sample, kg.m^{-3};
t – sample temperature, °C;
t_0 – 1 °C;
A, B – coefficients of regression equation.

Pri grafickej závislosti dynamickej viskozity jednotlivých vzoriek od vzrastajúcej teploty aplikujeme exponenciálnu klesajúcu funkciu

$$\eta = C\, e^{-D\,(\frac{t}{t_0})} \quad (2)$$

Kde: η – dynamická viskozita vzorky, mPa·s;
C, D – koeficienty regresnej rovnice.
Where: η – dynamic viscosity of the sample, mPa·s;
C, D – coefficients of regression equation.

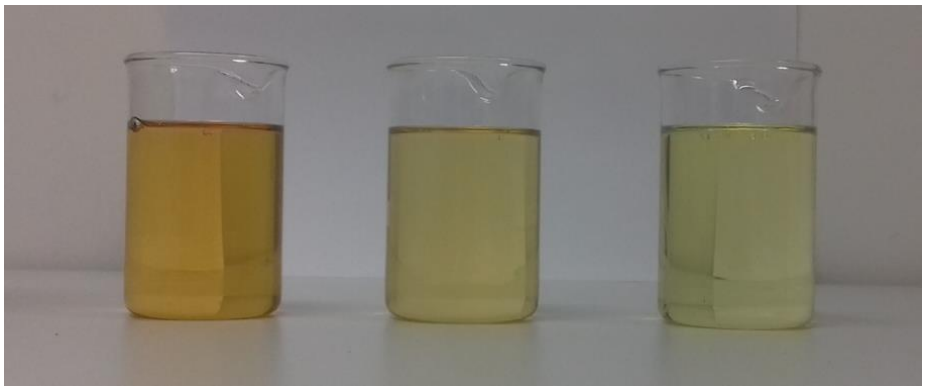
Kinematickú viskozitu vzoriek pri teplote 40 °C stanovíme podľa vzťahu

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (3)$$

Kde: ν – kinematická viskozita, mm^2·s^{-1}.
Where: ν – kinematic viscosity, mm^2·s^{-1} (Hlaváč, Božiková, Petrović, 2019)

3 Výsledky a diskusia

V rámci cieľa práce sme zrealizovali merania hustoty a dynamickej viskozity pre rezný olej, hydraulický olej a priemyselný prevodový olej. Tieto merania sme vykonali v rozsahu teplôt pre hustotu od 0 °C do 60 °C a pre dynamickú viskozitu v rozsahu teplôt od 5 °C do 60 °C. Jednotlivé merané vzorky je možné vidieť na *Obr. 1*.



Obr. 1 Použité vzorky pri meraniach (zľava rezný olej, hydraulický olej, priemyselný prevodový olej)
Fig. 1 Samples used at measurements (from the left cutting oil, hydraulic oil, industrial gear oil)

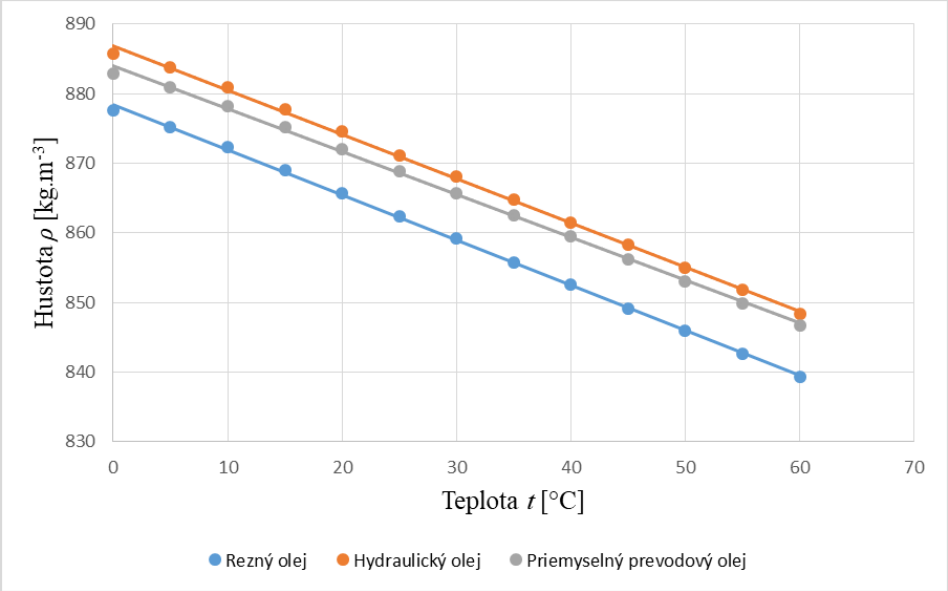
Meranie hustoty

Pri meraní sme použili teplotné rozsahy od 0 °C do 60 °C pričom jednotlivé hodnoty hustoty sme zaznamenávali so zvyšujúcou sa teplotou po 5 °C. Na *Obr. 2* môžeme vidieť výslednú grafickú závislosť hustoty jednotlivých vzoriek od vzrastajúcej teploty a je možné pozorovať lineárne 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 lineárne klesajúci charakter pri všetkých vzorkách. Pri meraní hustoty jednotlivých vzoriek sme zistili, že najvyššie hodnoty hustoty dosahovala vzorka hydraulického oleja a najmenšie hodnoty hustoty dosahovala vzorka rezného oleja. Najvyššiu hodnotu hustoty mala

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

vzorka hydraulického oleja s hodnotou 885,8 kg.m^{-3} pri teplote 0 °C a naopak najnižšiu hustotu mala vzorka rezného oleja s hodnotou 839,25 kg.m^{-3} pri teplote 60 °C. Najväčší pokles hodnôt hustoty sme zaznamenali pri vzorke rezného oleja z hodnoty 877,6 kg.m^{-3} pri teplote 0 °C na 839,25 kg.m^{-3} pri teplote 60 °C a najmenší pokles pri priemyselnom prevodovom oleji z hodnoty 882,85 kg.m^{-3} na 846,65 kg.m^{-3}. Hydraulický olej sa svojimi hodnotami nachádzal medzi predchádzajúcimi dvoma vzorkami. Tieto rozdiely sú spôsobené hlavne rozdielnym chemickým zložením. Podobný typ lineárne klesajúcej závislosti pri hustote dosiahli aj autori Kotia et al. (2019), ktorí sa zaoberali reologickými a tribologickými vlastnosťami priemyselných prevodových olejov a zmenami na týchto olejoch vplyvom pridávania nanočastíc Al_2O_3 a SiO_2. Autori Hashim et al. (2022) zaoberajúci sa hydraulickými olejmi HL32 dosiahli taktiež lineárne klesajúci charakter závislosti hustoty od teploty. Saxena et al. (2020) konštatovali tiež rovnaký typ závislosti, pričom autori sa zaoberali fyzikálnymi vlastnosťami prevodových olejov modifikovaných MWCNT/grafénovými časticami .



Obr. 2 Grafická závislosť hustoty od teploty pre jednotlivé vzorky
Fig. 2 Graphical dependency of density on temperature for measured samples

Príslušné koeficienty regresnej rovnice (1) spolu s koeficientmi determinácie pre závislosť hustoty jednotlivých vzoriek od vzrastajúcej teploty je možné vidieť v *Tab. 1*

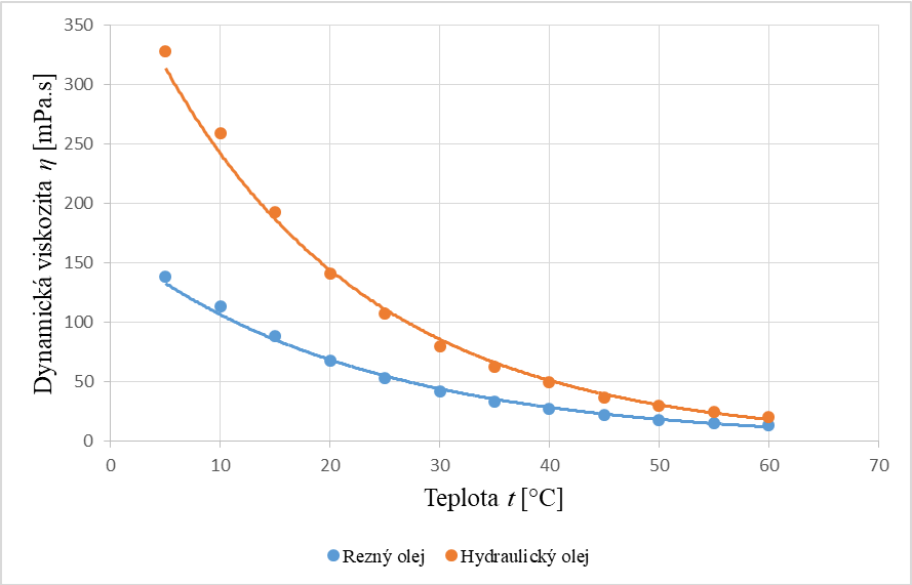
Tab. 1 Koeficienty regresnej rovnice (1) spolu s koeficientmi determinácie
Tab. 1 Coefficients of regression equation (1) and coefficients of determination

Vzorky	A [kg.m^{-3}]	B [kg.m^{-3}]	R^2
Rezný olej	0,6584	878,83	0,9999
Hydraulický olej	0,6485	887,4	0,9999
Priemyselný prevodový olej	0,6286	884,51	0,9998

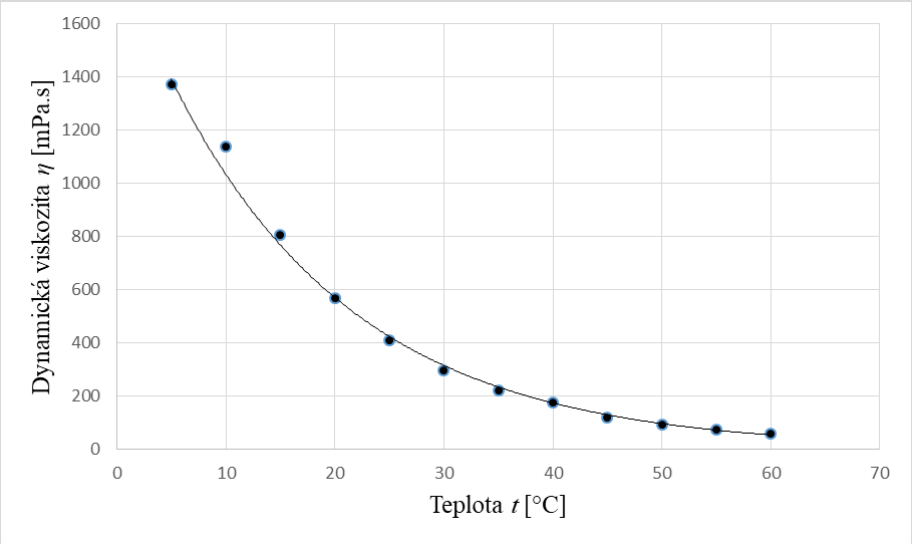
Meranie dynamickej viskozity

Pre meraní dynamickej viskozity sme použili teplotné rozsahy od 5 °C do 60 °C a hodnoty sme zaznamenávali so zvyšujúcou sa teplotou po 5 °C. Na *Obr. 3* môžeme vidieť grafickú závislosť dynamickej viskozity od zvyšujúcej sa teploty nami použitých vzoriek rezného oleja a hydraulického oleja a na *Obr. 4* pre priemyselný prevodový olej.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 3 Grafická závislosť dynamickej viskozity od teploty rezného a hydraulického oleja
Fig. 3 Graphical dependency of dynamic viscosity on temperature for cutting and hydraulic oil



Obr. 4 Grafická závislosť dynamickej viskozity od teploty priemyselného prevodového oleja
Fig. 4 Graphical dependency of dynamic viscosity on temperature for industrial gear oil

Na týchto obrázkoch 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. Pri meraní dynamickej viskozity jednotlivých vzoriek sme zistili, že najvyššie hodnoty viskozity dosahovala vzorka priemyselného prevodového oleja a najmenšie hodnoty dynamickej viskozity dosahovala vzorka rezného oleja. Najvyššiu hodnotu dynamickej viskozity mala vzorka priemyselného prevodového oleja s hodnotou 1372 mPa·s pri teplote 0 °C a naopak najnižšiu dynamickú viskozitu mala vzorka rezného oleja s hodnotou 12,81 mPa·s pri teplote 60 °C. Najväčší vplyv zvyšovania teploty na dynamickú viskozitu môžeme vidieť na *Obr. 4* pre vzorku priemyselného prevodového oleja, kde sme zistili zmenu dynamickej viskozity z hodnoty 1372 mPa·s pri teplote 5 °C na 58,7 mPa·s pri teplote 60 °C, naopak najmenší pokles dynamickej viskozity bol viditeľný pri vzorke rezného oleja hlavne z dôvodu rozdielneho chemického zloženia a fyzikálnych vlastností. Podobne

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

klesajúci charakter zaznamenali aj autori Sah et al. (2021), ktorí sa zaoberali fyzikálnymi a tribologickými vlastnosťami rezných kvapalín na báze iónových kvapalín, ďalej autori Liu et al. (2022) zistili klesajúci charakter vo svojom výskume, kde skúmali reologické vlastnosti samotných rezných kvapalín a rezných kvapalín modifikovaných nanokryštálmi celulózy a ricínovým olejom, taktiež podobný typ závislosti zaznamenali aj autori Haldar et al. (2020), ktorí sa zaoberali reologickými vlastnosťami hydraulických olejov, či už čistých alebo modifikovaných nanočasticami MWCNT/SiO_2, pomocou umelej neurónovej siete.
Príslušné koeficienty regresnej rovnice (2) spolu s koeficientmi determinácie pre závislosť dynamickej viskozity jednotlivých vzoriek od vzrastajúcej teploty je možné vidieť v *Tab. 2.*

Tab. 2 Koeficienty regresnej rovnice (2) spolu s koeficientmi determinácie
Tab. 2 Coefficients of regression equation (2) and coefficients of determination

Vzorky	**C [kg.m^{-3}]**	**D [kg.m^{-3}]**	**R^2**
Rezný olej	165,65	-0,044	0,9953
Hydraulický olej	407,4	-0,052	0,996
Priemyselný prevodový olej	1875,3	-0,059	0,9967

Kinematická viskozita meraných vzoriek

Kinematickú viskozitu pre jednotlivé merané vzorky sme vypočítali podľa vzorca (3).

Použili sme hodnotu dynamickej viskozity rezného oleja pri teplote 40 °C, ktorej hodnota bola 26,9 mPa·s, túto hodnotu sme premenili na Pa·s a dostali hodnotu 0,0269 Pa·s a hodnotu hustoty rezného oleja pri teplote 40 °C, ktorej hodnota nám vyšla 852,55 kg.m^{-3}.

$$\upsilon = \frac{0{,}0269}{852{,}55} = 3{,}155240162 \,.\, 10^{-5}\ \text{m}^2.\text{s}^{-1} = 31{,}55\ \text{mm}^2.\text{s}^{-1}$$

Podobným spôsobom sme vypočítali hodnoty kinematickej viskozity aj pre ostatné vzorky. V *Tab. 3* môžeme vidieť hodnoty kinematickej viskozity meraných vzoriek pri teplote 40 °C.

Tab. 3 Hodnoty kinematických viskozít meraných vzoriek (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1992; Javalagi a Singireddy, 2012)
Tab. 3 Kinematic viscosities of the measured samples (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1992; Javalagi a Singireddy, 2012)

Vzorky	**$\upsilon_{\text{vypočítané}}$ [mm^2.s^{-1}]**	**$\upsilon_{\text{literatúra}}$ [mm^2.s^{-1}]**
Rezný olej	31,55	19,8 – 24,2
Hydraulický olej	56,88	41,4 – 50,6
Priemyselný prevodový olej	205,07	135 – 165

Zistili sme, že najvyššiu hodnotu kinematickej viskozity mala vzorka priemyselného prevodového oleja s hodnotou 205,07 mm^2.s^{-1}, naopak najmenšiu hodnotu kinematickej viskozity mala vzorka rezného oleja s hodnotou 31,55 mm^2.s^{-1}. Pri porovnaní s literatúrou sme zistili, že žiadna z našich vzoriek sa so svojimi hodnotami kinematickej viskozity nenachádza v určenom intervale, ktorý je možné vidieť v *Tab. 3* a všetky vzorky majú vyššiu viskozitu ako uvádza literatúra. Najväčší rozdiel sme zaznamenali pri vzorke priemyselného prevodového oleja v hodnote 45,07 mm^2.s^{-1}, naopak najmenší rozdiel pri vzorke hydraulického oleja v hodnote 6,28 mm^2.s^{-1}. Pri vzorke rezného oleja sme určili rozdiel 7,35 mm^2.s^{-1}. Tieto rozdiely v nameraných a požadovaných hodnotách kinematickej viskozity môžu byť spôsobené napríklad v dôsledku chemických zmien spôsobených dlhšími alebo nesprávnymi skladovacími podmienkami či už počas prepravy od výrobcu k zákazníkovi, alebo počas skladovania u výrobcu, predajcu alebo zákazníka.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

4 Záver

V rámci tohto článku sme sa zaoberali vybranými prevádzkovými kvapalinami v CNC obrábacom centre a hodnotili sme ich cez niektoré reologické vlastnosti. V našom prípade sme sa zamerali na rezný olej, hydraulický olej a priemyselný prevodový olej. Na týchto kvapalinách sme merali hustotu a dynamickú viskozitu. Pri meraní hustoty sme zaznamenali lineárne klesajúci priebeh a pri dynamickej viskozite exponenciálne klesajúci priebeh s rastúcou teplotou. Podobné typy závislostí aplikovali vo svojich výskumoch aj iní autori (Kotia et al., 2019; Hashim et al., 2022; Sah et al., 2021; Liu et al., 2022). Najväčšiu hustotu mala vzorka hydraulického oleja pri 0 °C 885,8 $kg.m^{-3}$ a najmenšiu rezný olej pri 60 °C 839,25 $kg.m^{-3}$. Najväčší pokles hodnôt hustoty sme zaznamenali pri vzorke rezného oleja o 38,35 $kg.m^{-3}$ v rozsahu od 0 °C do 60 °C. Najvyššiu hodnotu dynamickej viskozity mala vzorka priemyselného prevodového oleja 1372 mPa·s pri 0 °C a naopak najnižšiu dynamickú viskozitu rezný olej 12,81 mPa·s pri 60 °C. Najväčší vplyv zvyšovania teploty na dynamickú viskozitu sme zistili pre vzorku priemyselného prevodového oleja o 1313,3 mPa·s pri náraste teploty od 5 °C do 60 °C, naopak najmenší vplyv sme určili pre rezný olej o 125,49 mPa·s aj z dôvodu výrazne nižšej viskozity oproti prevodovému oleju. Tieto rozdiely sú spôsobené hlavne rozdielnym chemickým zložením. Najvyššiu hodnotu kinematickej viskozity sme dostali pre priemyselný prevodový olej 205,07 $mm^2.s^{-1}$ a naopak najmenšiu pre rezný olej 31,55 $mm^2.s^{-1}$. Najväčší rozdiel s hodnotou v literatúre sme zaznamenali pri vzorke priemyselného prevodového oleja 45,07 $mm^2.s^{-1}$, naopak najmenší rozdiel pri vzorke hydraulického oleja 6,28 $mm^2.s^{-1}$. Pri porovnaní s údajmi v literatúre sme zistili, že naše hodnoty boli vo všetkých prípadoch vyššie v porovnaní s intervalmi uvádzanými v iných zdrojoch. Tieto rozdiely v nameraných a požadovaných hodnotách kinematickej viskozity môžu byť spôsobené hlavne v dôsledku chemických zmien, skladovaním a prepravou.

5 Literatúra

BALA, V. 2019. Gear Lubricants. In TOTTEN, G. E. – SHAH, R. J. – FORESTER, D. R. Fuels and Lubricants Handbook - Technology, Properties, Performance, and Testing. 2. vydanie. ASTM International. pp. 721-752. ISBN 978-0-8031-7089-6.

BROOKFIELD ENGINEERING. 2023. DV2T Touch Screen Viscometer (online). Aktualizované 2023. Dostupné na: <https://www.brookfieldengineering.com/products/viscometers/laboratory-viscometers/dv2t-touch-screen-viscometer/> [cit. 2023-02-23].

ČILLIKOVÁ, M. – PILC, J. – STANČEKOVÁ, D. 2005. Rezné kvapaliny a ich aplikácie. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline. 150 s. ISBN 80-8070-428-7

EUSUF, Z. 2022. The Ultimate Industrial Gear Oil Selection Guide (online). Aktualizované 2023. Dostupné na: <https://takeuroil.com/the-ultimate-industrial-gear-oil-selection-guide/> [cit. 2023-03-02]

FAN, X. et al., 2022. Heterostructured rGO/MoS_2 nanocomposites toward enhancing lubrication function of industrial gear oils. In Carbon, vol. 191, pp. 84 – 97. ISSN 0008-6223

GAJRANI, K. K. et al. 2019. Thermal, rheological, wettability and hard machining performance of MoS_2 and CaF_2 based minimum quantity hybrid nano-green cutting fluids. In Journal of Material Processing Technology, vol. 266, pp. 125-139. ISSN 0924-0136

GÓMEZ-MERINO, A. I. 2022. Experimental assessment of thermal and rheological properties of coconut oil-silica as green additives in drilling performance based on minimum quantity of cutting fluids. In Journal of Cleaner Production, vol. 368, 133104. ISSN 0959-6526

HALDAR, A. et al. 2020. Analysis of rheological properties of MWCNT/SiO_2 hydraulic oil nanolubricants using regression and artificial neural network. In International Communications in Heat and Mass Transfer, vol. 116. ISSN 0735-1933

HASHIM, W. M. – AL-SALIHI, H. A. – AL ZUBAIDI, F. N. 2022. Effects of temperature on the properties of HL32 oil in the conventional hydraulic actuators. In Heliyon, vol. 8, no 12. e11831. ISSN 2405-8440

HE, J. et al. 2023. Experiment and simulation study on cavitation flow in pressure relief valve at different hydraulic oil temperatures. In Flow Measurement and Instrumentation, vol. 89. 102289. ISSN 0955-5986

HILAL, A. H. et al. 2022. Experimental, statistical, and numerical investigations for influence of using vegetable oil with mineral oil to enhance the flow characteristics through a closed hydraulic circuit. In Results in Engineering, vol. 15. 100608. ISSN 2590-1230

HLAVÁČ, P. – BOŽIKOVÁ, M. – PETROVIĆ, A. 2019. Selected physical properties assessment of sunflower and olive oils. In Acta Technologica Agriculturae, vol. 22, no. 3, pp. 86 – 91. ISSN 1338-5267

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 3448:1992. Industrial liquid lubricants — ISO viscosity classification

JAVALAGI, S. – SINGIREDDY, S. R. 2012. Hydraulic fluid properties and its influence on system performance. Linkoping: Linkoping University, Department of Management and Engineering. pp. 66. ISRN: LIU-IEI-TEK-A--12/01284—SE

KADER, A. et al. 2023. Experimental investigation on the thermo-physical properties and tribological performance of acidic funcionalized graphene dispersed VG-68 hydraulic oil-based nanolubricant. In Diamond and Related Materials, vol. 133. 109740. ISSN 0925-9635

KOCMAN, K. 2011. Technologické procesy v obrábění. Brno: Univerzia Tomáše Bati, Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2

KOTIA, A. et al. 2019. Mechanism for improvement of friction/wear by using Al_2O_3 and SiO_2/Gear oil nanolubricants. In Journal of Alloys and Compounds, vol. 782, pp. 592-599. ISSN 0925-8388

LIQUI MOLY. 2023. Hydraulický olej HLP 46 (online). Aktualizované 2022. Dostupné na: <https://www.liqui-moly.sk/hydraulicky-olej-hlp-46-p59/> [cit. 2023-02-15]

LIU, Z. et al. 2022. Cellulose nanocrystals as sustainable additives in water-based cutting fluids. In Carbohydrate Polymers, vol. 298, 120139. ISSN 0144-8617

MARTINS, R. et al. 2006. Friction coefficient in FZG gears lubricated with industrial gear oils: Biodegradable ester vs. mineral oil. In Tribology International, vol. 39, no. 6, pp. 512-521. ISSN 0301-679X

METTLER TOLEDO. 2021. DM40/DX40 (online). Aktualizované 2023. Dostupné na: <https://www.mt.com/sk/sk/home/phased_out_products/Laboratory_Analytics_Browse/Density_Family_Browse_main/DE_Benchtop/DM40.html/> [cit. 2023-02-23]

MOHAMED, A. et al. 2017. Thermal and rheological properties of industrial mineral gear oil and paraffinic oil/CNTs nanolubricants. In Iranian Journal of Science and Technology: Transactions of Mechanical Engineering, vol. 42, pp. 355-361. ISSN 2228-6187

MOHAMMADFAM, Y. et al. 2020. Experimental Investigation of Fe_3O_4/hydraulic oil magnetic nanofluids rheological properties and performance in the presence of magnetic field. In Tribology International, vol. 142. ISSN 0301-679X

MORRIS LUBRICANTS. 2023. Cora B Meat Cutting Oil (online). Aktualizované 2023. Dostupné na: <https://www.morrislubricants.co.uk/products/ind/neat-cutting-oils/cora-b.html/> [cit. 2023-02-15]

PROMA. 2023. Olej PROMA GEAR 150 – prevodový 1 L (online). Aktualizované 2023. Dostupné na: <https://www.promask.sk/olej-proma-gear-150-prevodovy-1l.html/> [cit. 2023-02-15]

SAH, N. K. – SINGH R. – SHARMA, V. 2021. Experimental investigations into thermophysical, wettability and tribological characteristics of ionic liquid based metal cutting fluids. In Journal of manufacturing process. vol. 65, pp. 190-205. ISSN 1526-6125

SALIMI-YASAR, H. et al. 2017. Experimental investigation of thermal properties of cutting fluid using soluble oil-based TiO_2 nanofluid. In Powder Technology, vol. 310, pp. 213-220. ISSN 0032-5910

SAXENA, A. et al. 2020. Rheological properties analysis of MWCNT/graphene hybrid-gear oil (SAE EP-90) nanolubricants. In Materials Today: Proceedings, vol. 33, no. 8, pp. 5313-5316. ISSN 2214-7853

YAN, P. et. al. 2022. Effect of cutting fluid on high strain rate dynamic mechanical property and cutting performance of nickel based superalloy. In Journal of Material Research and Technology, vol. 17, pp. 1146-1158. ISSN 2238-7854

Súhrn

Tento článok sa zaoberá hodnotením prevádzkových kvapalín vo výrobnom zariadení pomocou reologických vlastností. Pre správnu a bezchybnú prevádzku sa vo výrobných strojoch používajú prevádzkové kvapaliny a oleje. Zamerali sme sa na vybrané prevádzkové kvapaliny v CNC obrábacom centre ako reznú kvapalinu, hydraulický a priemyselný prevodový olej. Meranie hustoty sme vykonali v teplotnom rozsahu (0 – 60) °C, pričom dynamickú viskozitu v (5 – 60) °C. V závislosti hustoty od teploty sme získali lineárne klesajúce trendy, pričom pre dynamickú viskozitu sme aplikovali exponenciálne klesajúcu funkciu pre každú vzorku. Získali sme najväčšiu hustotu pre hydraulický olej, zatiaľ čo najvyššiu viskozitu mal priemyselný prevodový olej. Najväčší rozdiel v kinematickej viskozite pri 40 °C sme zistili pri vzorke priemyselného prevodového oleja, ale všetky vzorky mali vyššiu hodnotu ako viskozity v literatúre, čo môže byť spôsobené chemickými zmenami, prepravou alebo dlhším skladovaním.

Kľúčové slová: viskozita, hustota, rezný olej, hydraulický olej, priemyselný prevodový olej

ANALÝZA VPLYVU SPÔSOBU VÝPLNE 3D TLAČENÉHO OBJEKTU NA POVRCHOVÚ TVRDOSŤ VÝROBKU
ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF A 3D PRINTED OBJECT FILLING PATTERN ON THE PRODUCT´S SURFACE HARDNESS

TOMÁŠ KUŤKA[1] – PATRIK KÓSA[2]

Abstract

The work is aimed to comparison of the impact of filling pattern to surface hardness in 3D printed objects. In this work we tested surface hardness on 2 types of objects – cube and cylinder. In teoretical part, we describe how FDM printers work, which filling patterns we used and what method of measurement we used to measure surface hardness. In results of this work we described what is the worst filling pattern and also what is the best for each material and type of object. We have also described the differences between each filling patterns.

Keywords: filling pattern, surface hardness, FDM.

1 Úvod

3D tlač je jedným z najvýznamnejších technologických prelomov posledných rokoch. Vďaka tomuto procesu môžeme vytvárať fyzicky hmatateľné objekty pomocou digitálnych modelov. 3D tlač umožňuje vytvárať komplexné geometrické tvary, ktoré by inak nebolo možné vytvoriť ani za pomoci iných technológií. V posledných rokoch sa 3D tlač stáva stále viac a viac populárnejšia a dostupnejšia pre priemysel, alebo pre širokú verejnosť. Kvalita tlače sa za posledné roky posunula výrazne dopredu a vďačíme za to technologickému posunu, ktorý nám umožňuje nastaviť tlačiareň tak, ako potrebujeme. Vieme si vybrať materiál aký potrebujeme, hrúbku tlače, alebo vnútorný vzor výplne.

Vnútorný vzor sa môže skladať z jednoduchých čiar ako sú Čiara, Priamočiara alebo Mriežkovaná výplň, ale aj zo zložitých geometrických tvarov ako sú Včelie plasty Koncentrická alebo Kubická výplň, ktoré môžu ovplyvniť ohybnosť alebo pevnosť v ohybe a pevnosť v ťahu, váhu ale aj dobu tlače. Rôzne vzory majú svoje vlastnosti, komplikovanosť vzorov, alebo počet rovín spojovacích síl.

Cieľom tejto práce bude venovať sa problematike, ktorá sa týka vplyvu výplne na povrchovú tvrdosť tlačeného materiálu. Pri tejto práci bude treba navrhnúť testovacie vzorky a k tomu merací prípravok na presnejšie meranie, ktorý sa využije pri meraní valcových plôch.

2 Materiál a metódy

Pri vypracovaní tohto výskumu sme najprv museli navrhnúť, ako budú vyzerať testovacie vzorky. Rozhodli sme sa pre kocku a valec. Po skúšobných meraniach sme sa rozhodli spresniť meranie valcovej vzorky, a tak sme skonštruovali a vytlačili prípravok na meranie, ktorý po drobných úpravách fungoval tak ako má. Na testovanie sme použili 5 kusov

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

vzoriek na jednu výplň a materiál. Po odmeraní sme všetky namerané hodnoty spracovali v tabuľkách a následne sme z tabuliek vyhotovili grafy. Pri práci sme použili materiály typu ABS a PLA od výrobcu Gembird. Vlastnosti jednotlivých materiálov si popíšeme v nasledovných bodoch:

- Materiál ABS (akrylonitril butadién styrén) sa používa vo vnútornom alebo vonkajšom prostredí. Do plastu sa primiešava kaučuk, takže pri nárazoch plast vydrží viacej. Jeho ďalšou výhodou je, že je rozpustný v acetóne, čo znamená, že sa môže lepiť s iným výtlačkom, alebo pri dôkladnej obozretnosti sa môže výtlačok s acetónom vyhladzovať (Balcarová, 2018).

- Materiál PLA (Polylactic acid - kyselina polymliečna) je vyrobený z kukuričného škrobu a nepoužíva sa pri jeho výrobe ropa, to znamená, že nie je potrebné mať odvetrávanú miestnosť pri tlači. Materiál patrí k tvrdším plastom (Balcarová, 2018).

Použité softvéry
- Solidworks 2020,
- Prusa silcer 2.5.0,
- Microsoft office 365.

Použité nástroje
- Notebook Acer Nitro 5,
- Stolný PC v počte 2ks,
- 3D tlačiareň Prusa MK3S+,
- Durometer Insize.

Použité metódy
- Metóda tlače FDM,
- Metóda merania Shore D.

FDM tlač

FDM (Fused Depostition Modeling) tlač sa môže označovať aj ako FFF (Fused Filament Fabrication). FDM tlač je najrozšírenejšia tlač po celom svete, a práve preto je tento typ tlačiarní najviac cenovo dostupný aj pre širokú verejnosť. Na trhu s tlačiarňami je čoraz viac výrobcov, ktorí ponúkajú kvalitné tlačiarne tohto typu.

Základ 3D tlače je samozrejme 3D model toho, čo chceme vytlačiť. Keď máme 3D model, tak princíp tlače je pomerne jednoduchý. Termoplast namotaný na cievke si pomaličky z cievky odmotáva tlačová hlava, ktorá termoplast taví a postupne ho nanáša na modelovaciu dosku. Tlačiaca hlava sa pohybuje v osi X a v osi Y a modelovacia doska sa pohybuje v osi Z. Keď nám tlačiaca hlava nanesie prvú vrstvu materiálu, modelovacia doska sa pohne v osi Z a tlačiaca hlava tlačí ďalšiu vrstvu materiálu, pokiaľ výtlačok nie je hotový.

Pri tlačení je možné použiť rôzne typy materiálov, ktoré sa od seba odlišujú farbou, fyzikálnymi vlastnosťami ako je pružnosť, tuhosť ale aj cenou (Cotu, 2018).

Vzor výplne

Priamočiara - Je to jedna zo základných vzorov výplni. Priamočiara má tvar mriežky a výhodou tohto vzoru je to, že každú ďalšiu vrstvu otáča o 90° a vďaka tomu šetrí

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

filament. Patrí k najrýchlejšie vytlačeným vzorom výplní a ako jediný sa odporúča k tlači so 100% hustotou výplne.

- **Mriežka** - Patrí k najjednoduchším a rýchlo tlačiacim vzorom výplne. Rozdiel medzi Mriežkou a Priamočiarym je ten, že Mriežka tlačí výplň v jednej vrstve oboma smermi. Mriežka má o niečo celistvejšie výplne, ale zároveň môže robiť problém ako napríklad, môže spôsobovať nepríjemný hluk, alebo môže spôsobiť pokazenie výtlačku.
- **Kubická** – Tento vzor sa križuje v jednej vrstve, ale vytvára kocky, ktoré sú smerované rohom dole. Týmto spôsobom vytvára miesta, kde zostáva vzduch a tento vzor výplne dokáže zabezpečiť tepelnú izoláciu, alebo môže nadnášať výtlačok nad vodnou hladinou.
- **Čiara** - Vzor ktorý nekríži seba samého. Je to podobný vzor ako Priamočiary, ale jednotlivé čiary nie sú rovnobežné namiesto toho tvoria ostrý uhol.
- **Koncentrická výplň** - Vzor Koncentrická výplň kopíruje tvar modelu v ktorý sa vypĺňa. Je to flexibilný vzor výplne. Nevýhoda tohto vzoru je dĺžka tlače a nadmerná spotreba materiálu.
- **Včelí plast** - Ma tvar včelieho plastu. Jedna z výhod je mechanická odolnosť tohto vzoru a výplň sa neprekrýva. Jednou z nevýhod je vyššia spotreba materiálu a dĺžka tlače sa môže predlžiť aj dvojnásobne (www.help.prusa3d.com).

Meranie tvrdosti metódou Shore D

Pri metóde tvrdosti podľa Shore vnikajúce teleso sa stláča do testovacieho telesa za pomoci razovej sily a na starosti to majú kalibrované pružiny. Tento spôsob sa radí do dynamo elastických skúšok merania tvrdosti. Pri meraní sa meria výška odskoku skúšobného telesa od meranej plochy (BUREŠ, 2002).

Vnikajúce telesá majú rôzne tvary hrotov a každý hrot prislúcha k inej norme(JD Dvořák, 2018).

Tab. 1 Shore metódy a k ním priradené hodnoty na silu pružiny a zaťaženie hrotu
Tab. 1 Shore methods and associated values for spring force and tip load

Metóda	Sila pružiny (N)	Skúšobne zaťaženie (N)
A	8,050	9,81 (1 kg)
D	44,450	49,03 (5 kg)
B	8,050	9,81 (1 kg)
C	44,450	49,03 (5 kg)
M	0,764	2,45 (1 kg)

3 Výsledky a diskusia

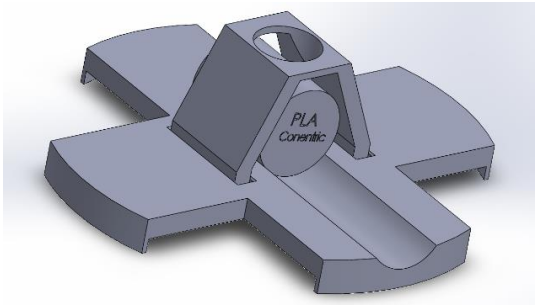
Pred začiatkom práce si bolo potrebné vybrať aký materiál a vzor výplne podrobíme testu a akú metódu merania použijeme. Zvolili sme výplne Priamočiara, Kubická, Čiara, Mriežka, Koncentrická výplň a Včelie plasty. Materiál bol použitý PLA a ABS a metódu merania sme použili Shore D.

Po navrhnutí testovacích vzoriek v programe Solidworks sme vzorky vložili do programu Prusa slicer, kde sme si zvolili vzor výplne akou sa bude tlačiť a takisto aj materiál.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Z hornej strany testovacích vzoriek sme si museli napísať akú výplň vzorka obsahuje o aký materiál sa jedná, keďže po vytlačení nevidíme aký vzor výplne má vzorka.

Vzorky z rovnakého materiálu boli tlačené v 3 vlnách kvôli nedostatočne veľkej tlačiacej podložke a z tohto dôvodu sa zmestili iba 2 série vzoriek na 1 tlač. Materiál sa nemohol kombinovať kvôli rozličnej teplote tlače a podložky, ktorú určitý materiál potrebuje.

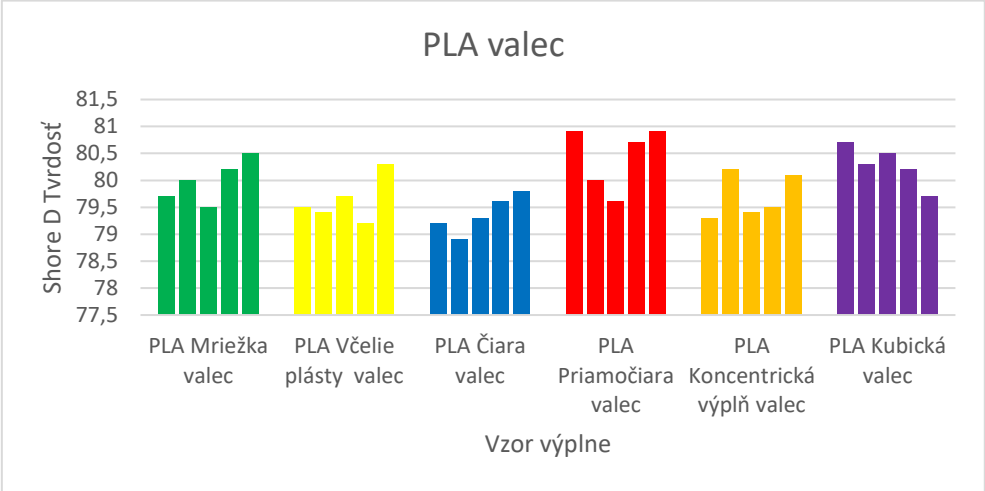




Obr. 1 Merací prípravok pre valcové vzorky
Fig. 1 Measuring jig for cylindrical samples

Každú vzorku sme vložili do meracieho prístroja a meracou metódou Shore D sme odmerali tvrdosť každej vzorky na 5 miestach. Durometer nám vypočítal priemernú hodnotu, ktorú sme vložili do grafu. Tak nám vznikol graf s 5 hodnotami.

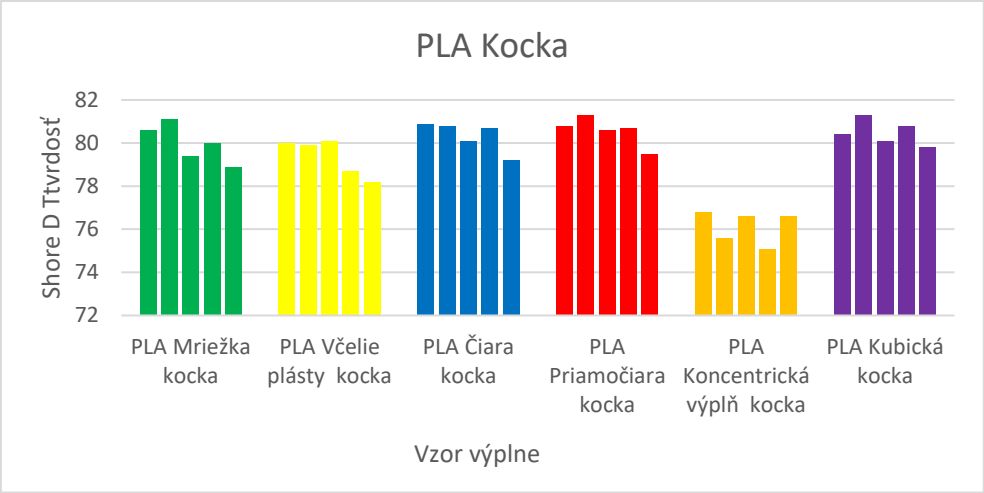
Na meranie valcových vzoriek sme použili merací prípravok na presnejšie meranie danej vzorky. (*Obr.1*) Na meranie vzoriek v tvare kocky sme nepoužili žiadny merací prípravok, keďže nebol žiadny potrebný.



Obr. 2 Graf tvrdosti pri vzorke v tvare valca z materiálu PLA
Fig. 2 Hardness graph for cylinder made of PLA material

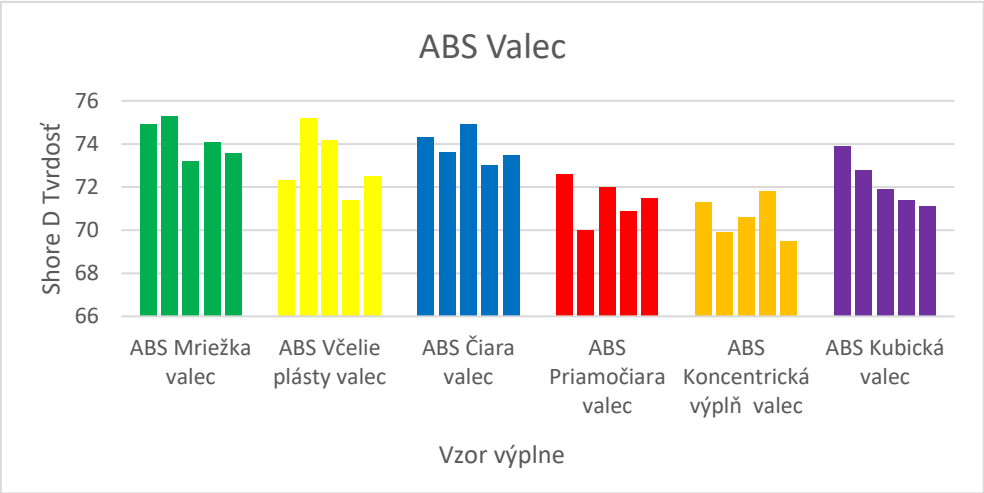
Pri porovnávaní výplne materiálu PLA vzorky valca (*Obr.2*) sme došli k záveru, že najväčšiu odchýlku má výplň PLA Čiara a to 1,32 %. Ostatné výplne majú odchýlku pod 1% čo je zanedbateľná hodnota.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 3 Graf tvrdosti pri vzorke v tvare kocky z materiálu PLA
Fig. 3 Hardness graph for cube-shaped specimen made of PLA material

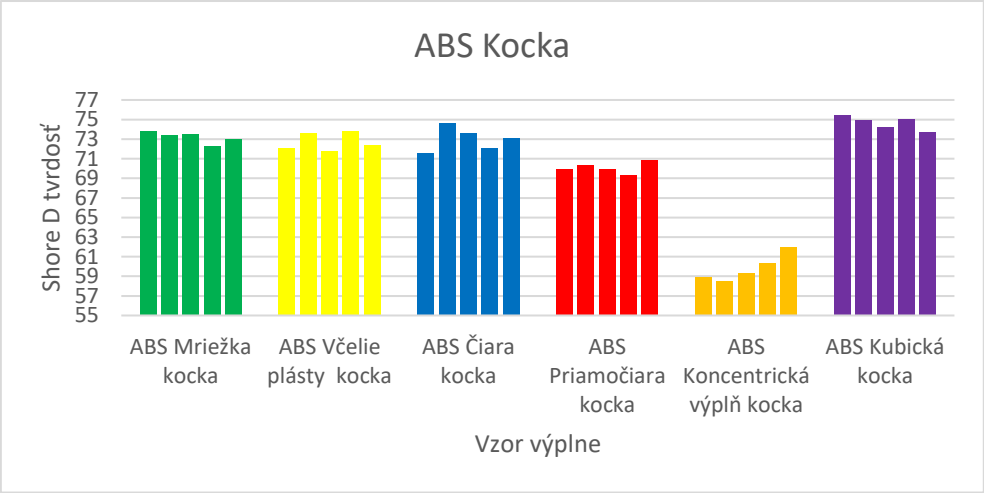
Pri materiáli PLA testovacej vzorky kocka (*Obr.3*) a pri Koncentrickej výplni sme dospeli k záveru, že táto vyplň má nižšiu povrchovú pevnosť ako ostatné testovacie vzorky tvaru kocka pri materiáli PLA. Hodnota odchýlky je 5,51 %. Výplň v tvare Včelích plastov má podobnú odchýlku ako PLA Čiara pri tvare valca a to 1,49%. Pri ďalších vzoroch výplne je hodnota odchýlky zanedbateľná.



Obr. 4 Graf tvrdosti pri vzorke v tvare valca z materiálu ABS
Fig. 4 Hardness graph for cylinder made of ABS material

Materiál ABS je slabší ako materiál PLA a tak sú aj odchýlky väčšie. Medzi násilnejšie vzory výplne materiálu ABS pri testovacom objekte valec (*Obr.4*) patrí vzor Mriežka. Zanedbateľnú odchýlku pod 1 % má vzor Čiara. Vzor v tvare Včelích plastov má takmer rovnakú odchýlku ako pri Kocke z PLA a to 1,48 %. Vzorky s Kubickou a Priamočiarou výplňou majú odchýlku nad 2,50%, Presnejšie 2,69% pri vzore Kubická a 3,80 pri vzore Priamočiara. Najhoršie tak ako aj pri PLA Kocke dopadol vzor Koncentrická výplň s odchýlkou 4,85 %.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 5 tvrdostí pri vzorke v tvare kocky z materiálu ABS
Fig. 5 Hardness graph for cube-shaped specimen made of ABS material

Ako najschopnejší vzor výplne k materiálu ABS a tvare objektu kocka (*Obr.5*) sa hodí Kubická výplň. Vzor tvare Včelích plastov, Čiara a Mriežka majú približne rovnakú tvrdosť s odchýlkou medzi 2 % až 2,75%. Menšiu povrchovú tvrdosť má vzor Priamočiara výplň a to o 6,16% menšiu ako Kubická výplň. Najhoršie dopadla Koncentrická výplň ktorý má povrchovú pevnosť menšiu o 19,92%.

4 Záver

Cieľom našej práce bolo nameraťa porovnať aký vplyv má vzor výplne na povrchovú tvrdosť 3D výtlačku. Rozhodli sme sa merať 2 materiály a 2 objekty rozličného tvaru.

Pri meraniach sme zistili, že pri materiáli PLA na tvar valca je vplyv výplne zanedbateľný. Pri rovnakom materiáli, ale u kocky je Koncentrická výplň slabšia o 5,51% ako najtvrdšia Priamočiara výplň. Pri materiáli ABS a vzorke valec je Koncentrická výplň slabšia ako výplň Mriežka o 4,85% a pri kocke to je až 19,92%, v tomto prípade to je od Kubickej výplne.

Koncentrická výplň sa neodporúča používať z dôvodu malej povrchovej pevnosti pri štvorcových tvaroch pri materiáloch ABS a PLA a pri valcových tvaroch materiálu ABS. Pri materiáli PLA pri valcových tvaroch je výber vzoru výplne irelevantný.

5 Literatúra

BALCAROVÁ, Kateřina.2018. *Čo je to filament?* [online]. [cit. 24.3.2023]. Dostupné na:https://www.miroluk.sk/clanky-jake-je-zakladni-rozdeleni-materialu-filamentu-pro-3d-tiskarny-a-jake-jsou-v-nich-rozdily.html

BUREŠ, Jiři. 2002. *Shore – Skouška tvrdosti dle Shorea.* [online]. [cit. 24.3.2023]. Dostupné na i: http://www.converter.cz/jednotky/tvrdost-shore.htm

Cotu:FDM (FusedDepostition Modeling). 2019. [online]. Cotu: 2019. [cit. 24.3.2023]. Dostupné na: https://www.cotu.cz/sk/blog/134/fdm-fused-deposition-modeling

JD Dvořák. 2018. *METODA SHORE* [cit. 24.3.2023]. [online]. Dostupné na: https://www.testsysteme.cz/pouziti-metody-shore

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Prusa3D: Infillpatterns. [online]. [cit. 24.3.2023]. Dostupné na internete: https://help.prusa3d.com/article/infill-patterns_177130

Súhrn

Táto práca je zameraná na porovnávanie vplyvu vzoru výplne na povrchovú tvrdosť pri3D objektoch. V tejto práci budeme testovať povrchovú drsnosť pri 2 typoch objektu – kocka a valec. V teoretickej časti si popíšeme ako funguje FDM tlačiareň, aký vzor výplne použijeme a akú metódu merania použijeme na odmeranie povrchovej tvrdosti. Vo výsledkoch práce si popíšeme, ktorý je najhorší vzor výplne a ktorý najlepší pre každý materiál a objekt a aké veľké sú rozdiely medzi vzormi výplne vzhladom na povrchovu tvrdosť. .

Kľúčové slová: Vzor výplne, povrchová tvrdosť, FDM

Touto cestou by som chcel poďakovať vedúcemu bakalárskej práce Ing. Patrikovi Kósovi, PhD. za odbornú pomoc a cenné rady, ktoré mi napomohli pri vypracovaní mojej práce.

Tento článok bol financovaný z projektu KEGA: Inovácia študijných programov využitím nových metód vzdelávania a progresívnych výrobných technológií č.003SPU-4/2021.

LABORATÓRNA ANALÝZA ŽIAROVO STRIEKANÝCH TVRDONÁVAROVÝCH POVLAKOV
LABORATORY ANALYSIS OF THERMAL SPRAYED HARDFACING COATINGS

DÁVID MACSÁNSZKY[1] - RASTISLAV MIKUŠ[2]

Abstract

The aim of the article is to investigate the properties of heat-sprayed powder hardfacing materials based on NiCrBSi using a plasma beam in an atmospheric environment. Several powders based on NiCrBSi with different chemical compositions were investigated. On the created samples, the microhardness was measured in the horizontal direction in the deposited layers and in the vertical direction in the cross-sections of the samples. A metallographic analysis of the formed layers was also part of the experiment. The obtained results point to the high potential of atmospheric plasma glow spraying (APS) technology from the point of view of creating NiCrBSi coatings with high hardness and wear resistance. A significant influence of the content of carbon, boron, silicon and chromium on the increase of the hardness values of the deposited layers was found.

Key words: hardfacing, NiCrBSi coatings, atmospheric plasma spraying, microhardnes, microstructure.

1 Úvod

Opotrebenie materiálu sa vyskytuje takmer vo všetkých oblastiach priemyslu. Ekonomicky zaujímavým riešením opravy poškodených strojových súčiastok môže byť nanášanie tvrdonávarových povlakov. Cieľom žiarového striekania je vytvoriť tenkú povrchovú vrstvu, alebo obnoviť pôvodné povrchové vlastnosti (tvrdosť, odolnosť proti opotrebeniu, atď.) na základnom materiáli (substráte), ktorý má zvyčajne horšie mechanické a tribologické vlastnosti. Technológiou plazmového žiarového striekania je možné nanášať širokú škálu vysokolegovaných materiálov, ako sú kovové zliatiny, keramické materiály, karbidy dokonca aj nekovové polymérne materiály (Witherspoon, 2002). Častice prídavného materiálu sú natavované a urýchľované na vysokú rýchlosť pomocou prúdu technických plynov smerom k substrátu. Častice po náraze sa splošťujú, vypĺňajú povrchové nerovnosti substrátu a pomocou mechanických väzieb sa ukotvia do základného materiálu. Takto deformované častice sú často označované ako „splaty“. Nízka miera deformácie a vysoká rýchlosť vytvára poréznejší povlak a z tohto dôvodu výsledná štruktúra nie je homogénna. Povlak je charakterizovaný lamelárnou štruktúrou, dopadajúce častice sa deformujú do tvaru lamiel (Boulos, Fauchais, Heberlein, 2021). Najčastejšie sa v praxi požívajú niklové návarové prášky na báze NiCrBSi, ktoré sú samotroskotvorné kvôli prítomnosti bóru a kremíka (Neikov, Naboychenko, Yefimov, 2019). Zliatiny NiCrBSi majú vyššiu mechanickú pevnosť, vysokú húževnatosť, vynikajúcu odolnosť proti opotrebovaniu, odolnosť proti korózii a vysokým teplotám, nízku krehkosť a dobrú elasticitu. Tieto vlastnosti sú široko využívané v spaľovacích motoroch, pri konštrukcii kotlov či turbín, alebo v kozmickom a leteckom priemysle (Songqiang, 2021). Cieľom príspevku je prezentovať výsledky skúmania mikroštruktúry

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

a tvrdosti vybraných NiCrBSi povlakov nanesených technológiou atmosférického plazmového žiarového striekania (APS).

2 Materiál a metódy

Charakteristika substrátu

Ako substrát bola zvolená nelegovaná konštrukčná uhlíková oceľ STN 11 373 a STN 11 600. Chemické zloženie a mechanické vlastnosti sú uvedené v *Tab. 1*.

Tab. 1 Chemické zloženie a mechanické vlastnosti vybratých základných materiálov (Totalmateria, 2023)
Tab. 1 Chemical composition and mechanical properties of selected substrate materials

Označenie podľa STN	Chemické založenie (hmot. %)				R_e (MPa)	R_m (MPa)	Tvrdosť HV
	C	P	S	N			
11 373	max. 0,170	max. 0,045	max. 0,045	max. 0,007	200 - 240	340 - 420	≤ 222
11 600	max. 0,5	max. 0,045	max. 0,045	max. 0,012	300 - 340	600 - 720	≤ 301

Vidieť, že oceľ STN 11 600 (EN E335) má vyšší obsah uhlíka a dusíka, čo vedie k lepším mechanickým vlastnostiam a vyššej tvrdosti, avšak na úkor húževnatosti a tvárnosti. Oceľ STN 11 600 sa zaraďuje do skupiny stredneuhlíkových ocelí, ktoré sa bežne používajú na výrobu kovaných a lisovaných súčiastok vystavaných vysokému tlaku ako čapy, vretená, lisy, závitovky, pastorky a pod. Oceľ STN 11 373 (EN S235JRG1) patrí medzi nízkouhlíkové ocele, aplikuje sa do teploty 300°C na výrobu staticky a mierne dynamicky namáhaných strojových konštrukcií. Polotovary pre experimenty boli v tvare guľatiny s priemerom $Ø = 25$ mm, ktoré sa na pásovej píle narezali na dĺžky $L = 25$ mm a následne čelné plochy sa zarovnali na sústruhu s výslednou dĺžkou $L = 20$ mm.

Charakteristika tvrdonávarových práškov

V experimente boli skúmané tvrdonávarové prášky od výrobcu Výskumný ústav zváračský z. z. p. o, Bratislava - NP 58 a NP 62. Ide o samotroskotvorné práškové prídavné materiály vhodné na nanášanie plameňom a plazmou. Prášky Deloro 40 a 50 sú vyrábané americkou spoločnosťou Kennametal Inc., ktorý ako metódu výroby práškov uvádza technológiou plynovej atomizácie (Gas Atomized). Touto technológiu vyrobené častice majú pravidelný globulárny tvar. Informácie o práškoch sú zhrnuté v *Tab. 2*.

Tab. 2 Parametre práškov na plazmové striekanie (VÚZ, 2022), (Deloro, 2022)
Tab. 2 Parameters of powders for plasma spraying

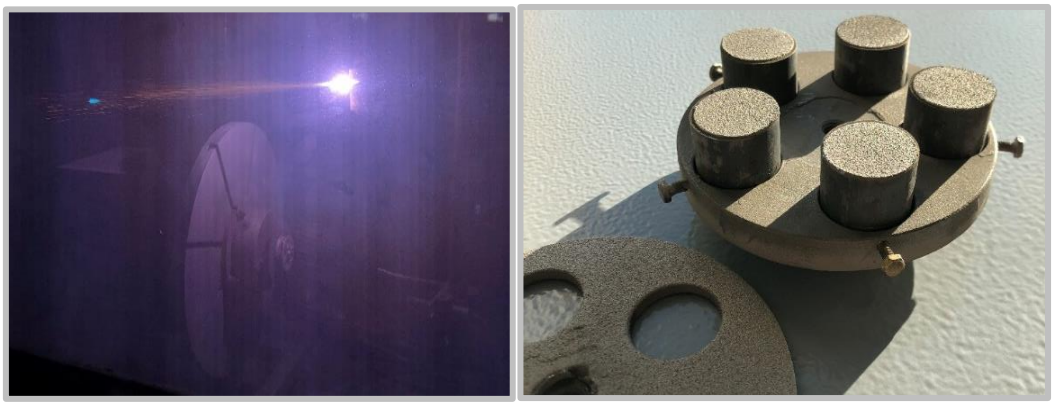
Materiál	Chemické zloženie (hmot. %)									Tvrdosť HRC	Granulácia µm
	C	Si	B	Fe	Cu	Cr	W	Mo	Ni		
NP58	max 0,5	max 4,5	max 4,0	max 10,0	max 2,5	max 15,0	max 2,5	max 2,5	zv.	54-59	45 +5
NP62	max 0,9	max 5,5	max 4,0	max 5,0	-	max 20,0	-	-	zv.	58-65	45 +5
Deloro 40	0,3	3,5	1,7	2,5	-	7,5	-	-	zv.	38-45	106-2

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Deloro 50	0,45	3,9	2,3	3,3	-	11	-	-	zv.	47 - 53	150-63

Postup nanášania povlakov

Z dôvodu zabezpečenia kvality výsledného povlaku sa pred samotným nanášaním tvrdonávarových povlakov musí povrch substrátu upraviť. Na zdrsnenie povrchu bolo použité pieskovacie zariadenie AUER ST 1200 JSB (hnedý korund F80 s veľkosťou zrna 180 – 212 µm). Nanášanie povlakov sa uskutočnilo v rámci spolupráce so spoločnou Chetra, s.r.o. v Medzilaborciach. Spoločnosť používa plazmový systém s robotickým ramenom ABB 4600 od nemeckej firmy Thermico GmbH & Co. KG, na ktorý je namontovaný plazmový horák Thermico A60. Horák Thermico A60 je jednokatódový plazmový horák na atmosférické žiarové striekanie s nepreneseným oblúkom, radiálnym privádzaním kovového prášku, s elektrickým výkonom do 60 kW. Priebeh nanášania povlakov a výsledné hotové vzorky možno vidieť na *Obr. 1*. Prevádzkové parametre počas nanášania povlakov sú uvedené v *Tab. 3*.



Obr. 1 Proces nanášania povlaku a hotové vzorky
Fig 1. Coating process and finished samples

Tab. 3 Základné prevádzkové parametre procesu plazmového striekania
Tab. 3 Operating parameters of the plasma spray process

Vzdialenosť striekania	80 mm
Výkon plazmového lúča	15-25 kW
Prúd plazmového oblúka	650 A
Zmes plazmových plynov	Ar - H - N
Rýchlosť podávania prášku	40 $g.min^{-1}$
Prietok nosného plynu	4 $l.min^{-1}$

Napriek dôkladnej príprave povrchu substrátu, v prípade prášku Deloro 40 došlo k porušeniu priľnavosti povlaku. Deponovaný povlak sa čiastočne odlúpil od substrátu. Pri ostatných práškoch takáto porucha nebola pozorovaná. Z vyššie spomenutého dôvodu bol výskum rozšírený na zisťovanie možných príčin zlyhania prášku Deloro 40. Preto sa pri rovnakých prevádzkových parametroch znova uskutočnil proces plazmového striekania, ale na substrát ocele STN 11 600 s vyšším obsahom uhlíka. Na takto vyhotovených vzorkách sa porucha odlúpnutia deponovanej vrstvy neprejavila. Predpokladá sa, že možným dôvodom je vyšší obsah uhlíka v substráte, prípadne poškodené častice tvrdonávarového prášku, ktoré budú skúmané v rámci mikroskopického pozorovania.

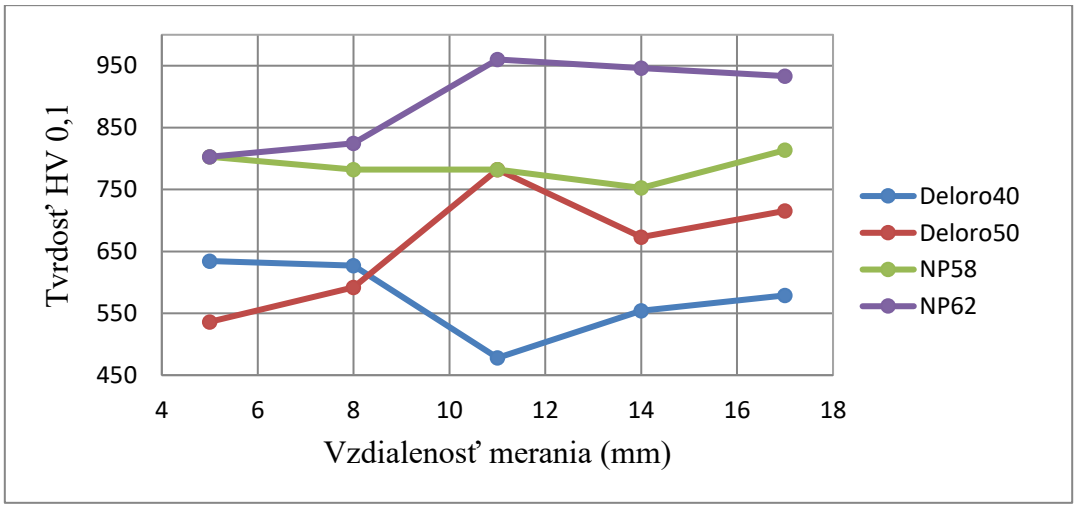
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Príprava vzoriek na laboratórne skúšky

Pre každý tvrdonávarový materiál boli vybraté 2 vzorky, jedna na meranie povrchovej mikrotvrdosti a druhá na metalografické skúmanie. Príprava vzoriek na metalografiu spočívala z pílenia, zalievania, brúsenia, leštenia a leptania s cieľom, aby bolo možné odhaliť štruktúru pod mikroskopom (hrúbka povlaku, pórovitosť, prítomnosť oxidov, neroztavených častíc alebo mikroprasklín). Na pozorovanie bol použitý svetelný mikroskop Zeiss AXIO Scope.A1 od nemeckej spoločnosti Carl Zeiss AG. Na spracovanie obrazu sa použil softvér Zen Core v3.0. Vzorky boli najprv rozrezané priečne pomocou metalografickej rozbrusovacej píly Struers Labotom 5 rezným kotúčom Struers 56A25. Brúsenie a leštenie vzoriek bolo vykonané pomocou zariadenia Labopol-5 od spoločnosti Struers. Dokonale hladký povrch bol dosiahnutý použitím leštiaceho kotúča a diamantových suspenzií DiaDuo s postupne sa znižujúcou zrnitosťou častíc 9, 3 a 1 µm. Posledným krokom prípravy vzoriek bolo leptanie. Ako leptadlo sa použila lúčavka kráľovská.

3 Výsledky a diskusia

Najrozšírenejšou metódou na charakteristiku mechanických vlastností je skúmanie povrchovej tvrdosti pomocou metódy Vickers. Pretože vzorky vyhotovené plazmovým žiarovým striekaním majú malú hrúbku povlaku (približne 0,5 mm), bola zvolená metóda merania mikrotvrdosti HV0,1 (pôsobiace zaťaženie 0,98 N). Merania boli uskutočnené pomocou mikrotvrdomeru FM-100 od výrobcu Future-Tech Corp. Meranie mikrotvrdosti prebiehalo vo vertikálnom a horizontálnom smere na vzorkách pre metalografickú analýzu, t. j. na priečnych rezoch vzoriek. Na každej vzorke bolo uskutočnených 5 meraní tvrdosti v horizontálnom smere v strede hrúbky nanesenej vrstvy. Vzdialenosť medzi vtlačkami bola 3 mm. Výsledky meraní sú uvedené na *Obr. 2*. Z grafu na *Obr. 2* vidieť, že tvrdosť nebola rovnaká. Zvýšené hodnoty môžu byť spôsobené neroztavenými časticami, kým pokles hodnôt je zapríčinený prítomnosťou oxidov alebo pórov. Vo vertikálnom smere bolo vykonaných 8 meraní tak, aby bolo možné získať hodnoty tvrdosti v nanesených vrstvách aj v základnom materiály. Vzdialenosť medzi vtlačkami boli preto 0,1 mm.

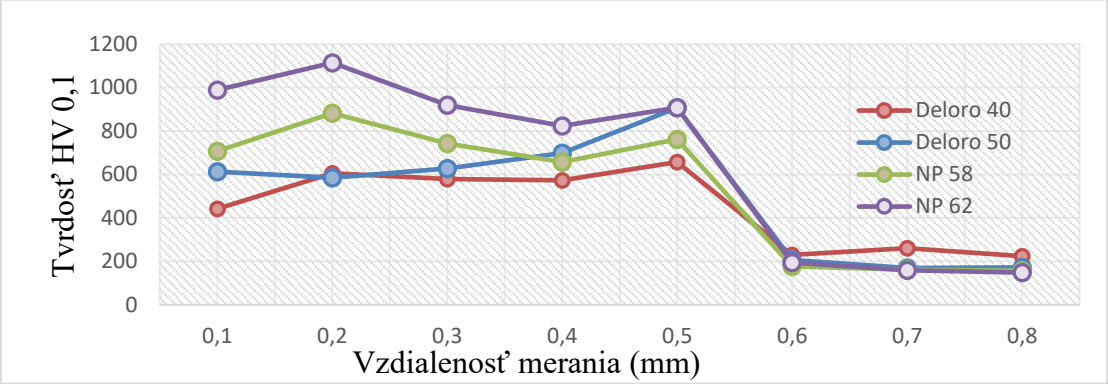


Obr. 2 Grafické znázornenie výsledkov merania tvrdosti v horizontálnom smere
Fig. 2 Graphic representation of the hardness measurement results in horizontal direction

Výsledné priebehy hodnôt tvrdosti vo vertikálnom smere sú uvedené na *Obr. 3*. Z *Obr. 3* vyplýva, že tvrdonávarové prášky NP 58 a NP 62 dosahovali najvyššiu tvrdosť vo vzdialenosti 0,2 mm. Povlaky práškov Deloro 40 a 50 nemali homogénnu štruktúru, ich tvrdosť

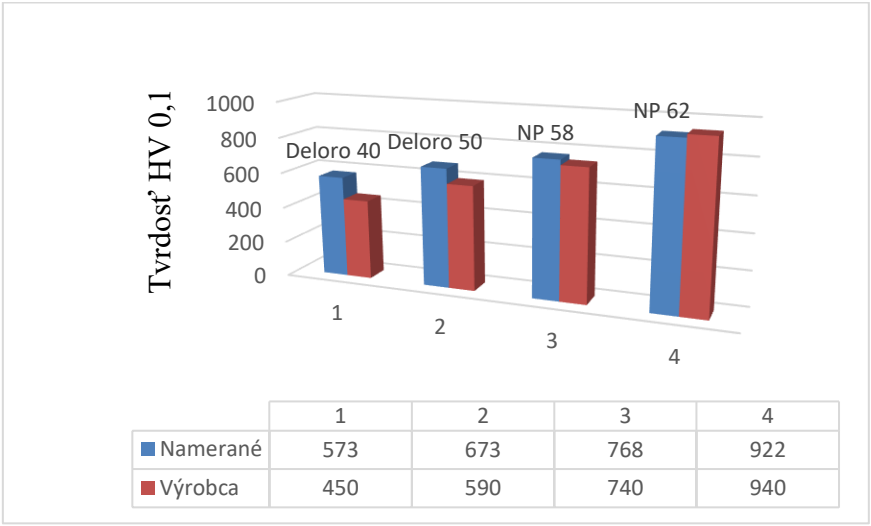
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

dosiahla maximum v blízkosti substrátu, kde pórovitosť bola nižšia. Ďalšie merania od vzdialenosti 0,5 mm sa vzťahujú prakticky už na substrát. Vyššia tvrdosť vo vzdialenostiach 0,6 až 0,8 mm u vzorky s povlakom Deloro 40 bola spôsobená základným materiálom z ocele STN 11 600 s vyšším obsahom uhlíka. V tejto oblasti sa vykonali tri merania a dokonale sa zhodujú s hodnotami udávanými výrobcom, čo poukazuje na presnosť a správnosť nameraných hodnôt a na výhodu technológie APS. Totiž pri technológii plazmového striekania pri depozícii povlaku podľa Huanga et al. (2021) vznikajú v substráte relatívne nízke teploty okolo 160 °C, kvôli čomu nedochádza k deformáciám alebo výrazným metalurgickým zmenám substrátu.



Obr. 3 Grafické znázornenie výsledkov merania tvrdosti vo vertikálnom smere
Fig. 3 Graphic representation of the hardness measurement results in the vertical direction

Z hodnôt výsledkov merania tvrdosti v horizontálnom a vertikálnom smere boli vypočítané priemerné hodnoty, následne bolo vytvorené grafické znázornenie nameraných výsledných tvrdostí v porovnaní s výrobcom udávanými maximálnymi hodnotami, ktoré vidieť na *Obr. 4*. Takmer všetky tvrdonávarové povlaky, okrem NP 62, presahovali výrobcom deklarované maximálne hodnoty tvrdosti. Dôvodom vysokých hodnôt tvrdosti môže byť prítomnosť interdendritických fáz, ktoré majú oveľa vyššiu tvrdosť, než primárne dendritické fázy. Na základe výskumu autora (Liyanage et al., 2010) sa potvrdilo, že tvrdosť NiCrBSi povlakov nie je ovplyvnená jedine prítomnosťou legujúcich prvkov, ale aj objemovým podielom interdendritických fáz, ktoré vedľa Ni dendritov a fáz bohaté na Cr, dosahujú priemerné hodnoty mikrotvrdosti 405 až 1200 HV.



	1	2	3	4
Namerané	573	673	768	922
Výrobca	450	590	740	940

Obr. 4 Grafické znázornenie priemerných hodnôt tvrdosti

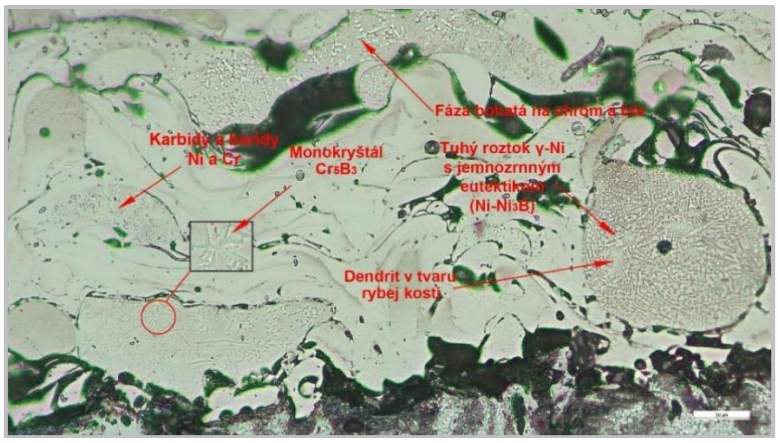
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Fig. 4 Graphic representation of average hardness values

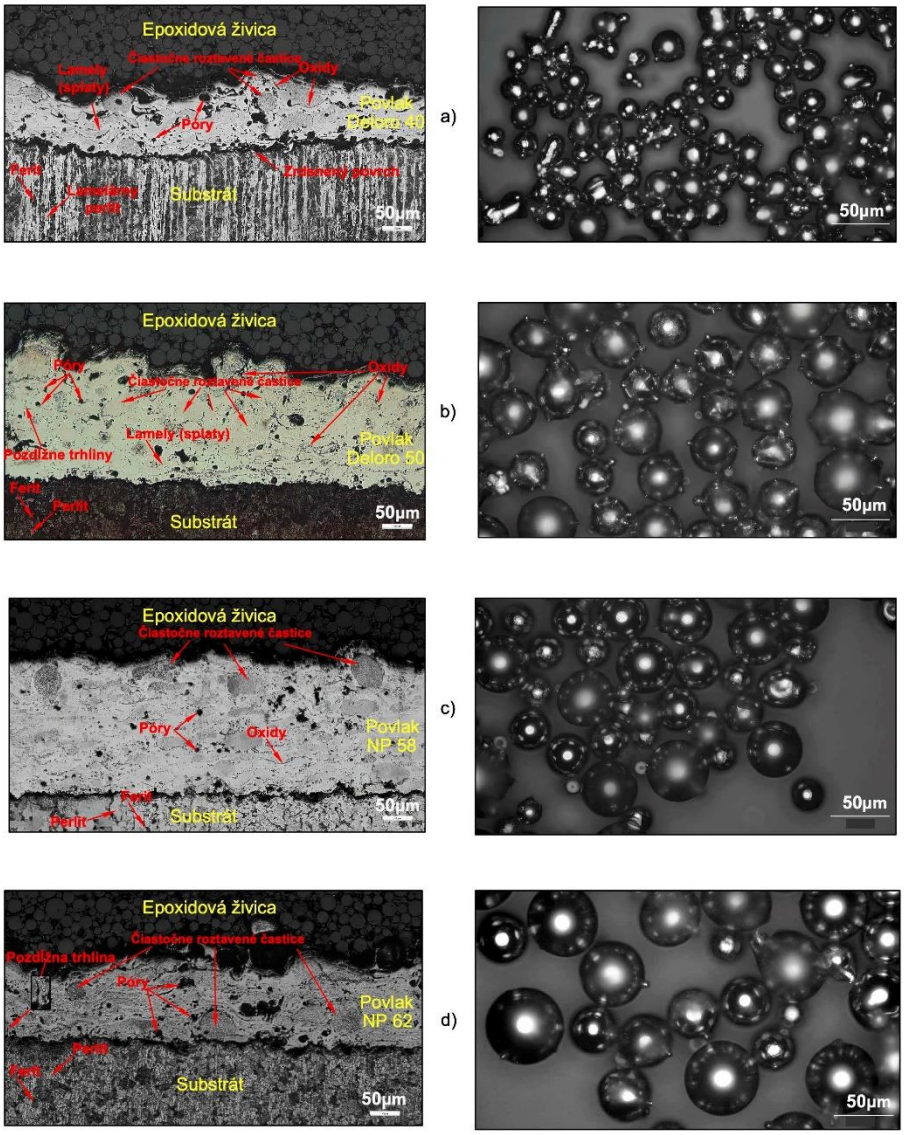
Z nameraných hodnôt vyplýva, že vyššia tvrdosť bola dosiahnutá pri povlaku NP 62. Dôvodom je vyšší obsah legujúcich prvkov ako napríklad Cr. Zo štúdií Yinghua et al. (2020) vyplýva, že atómy Cr môžu reagovať s atómami uhlíka a bóru za vzniku karbidov a boridov, čím sa stávajú spevňujúcimi fázami, ktoré prispievajú k zvýšeniu tvrdosti, odolnosti proti opotrebeniu a korózii. Povlak NP 58 dosiahol nižšiu hodnotu tvrdosti z dôvodu nižších obsahov rozhodujúcich prvkov – uhlíka, kremíka a chrómu. Prítomnosť legujúcich prvkov ako Mo, W, Cu, ktoré v prášku NP 62 neboli prítomné, v daných množstvách nepriniesol taký spevňujúci efekt ako vyššie obsahy spomenutých prvkov. Prítomnosť molybdénu (Mo) vytvára tenkú oxidovú vrstvu MoO_2, ktorá zvyšuje tvrdosť, odolnosť voči opotrebeniu a pôsobí ako tuhé mazivo (Dilawary et al., 2018). Vyšší obsah W v matrici bohatej na Ni zvyšuje povrchovú tvrdosť a odolnosť povlaku voči abrazívnemu opotrebeniu (Sheppard, Koiprasert, 2014).

Výsledné mikroštruktúry spolu s morfológiou jednotlivých práškov vidieť na *Obr. 6*. Výsledná štruktúra je v prípade všetkých vzoriek typická pre plazmové žiarové striekanie a takmer sa zhoduje s pozorovanými štruktúrami v publikáciách od Berganta a Gruma (2009) a od Hemmatiho et al. (2011). Najnižšia homogenita bola pozorovaná pri vzorke Deloro 40, kde okrem vyššieho obsahu globulárnych a intergranulárnych pórov, oxidov a medzikrištalických trhlín boli odhalené aj pozdĺžne trhliny. Pozdĺžna trhlina bola odhalená aj pri vzorke NP 62. Medzikrištalické trhliny sa nachádzajú zväčša na hraniciach splatov (roztavené častice) a majú tvar čiernych čiar. Oxidy sú tiež podobného tvaru, ale najčastejšie sa vyskytujú na hraniciach čiastočne alebo neroztavených častíc. Oxidy podľa Shepparda a Koipraserta (2014) vznikajú počas letu rozprašovaných častíc, kde pri kontakte s kyslíkom pri vysokej teplote dochádza k tvorbe povrchových oxidových vrstiev, ktoré sa začlenia do povlaku. Morfológia práškov od výrobcu VÚZ zobrazuje ostrohranné častice, kým častice práškov Deloro sú výrazne deformované. V prípade vzorky Deloro 40 bol naleptaný pomocou lúčavky kráľovskej pri pôsobení 6 sekúnd. Odhalená mikroštruktúra poukazuje na prítomnosť dendritov a interdendritických sietí, ktoré vznikli v procese rýchleho tuhnutia. Na *Obr. 5* vidieť aj mikroštruktúru globulárnych častíc po atomizácii, kde sa zobrazili tmavšie dendritické fázy rozložené v matrici svetlej farby. Dendritické siete sú v tvare „rybej kosti“ a „kvetinkového tvaru“. Tieto dendritické fázy a medzidendritické percipitáty boli pozorované aj autormi Flores et at. (2008). Matrica bola identifikovaná na základe výsledkov prezentovaných Bergantom a Grumom (2009) ako aj γ-Ni fáza s jemnozrnným eutektikom (Ni-Ni_3B). V dendritickej oblasti tuhého roztoku γ-Ni sa môžu nachádzať aj eutektické fázy obsahujúc chróm, bór alebo kremík, ktoré môžu byť čiastočne alebo úplne rozpustené v tuhom roztoku γ-Ni. Dendrity „kvetinkového tvaru“ boli pozorované aj autorom (Hemmati et al., 2011) a boli identifikované ako monokryštál boridu chrómu Cr_5B_3. V povlakoch NiCrBSi sú často prítomné boridy Cr_2B a karbidy Cr_7C_3, vytvárajúc intermetalické zlúčeniny, čo potvrdili aj viacerí autori (napr. Chen et al., 2018). V povlaku Deloro 40 na základe pozorovnia autorov Navas et al. (2006) a Flores, J. et at. (2008) boli identifikované boridy chrómu CrB alebo niklu Ni_3B, respektíve možné karbidy $(Cr,Fe)_7C_3$. Pravdepodobne povlaky NP 58 a NP62 majú oveľa zložitejšiu štruktúru, nakoľko vyšší obsah legujúcich prvkov (C, Cr, B) podporuje tvorbu precipitátov v interdendritickej zóne a zároveň tým sa znižuje aj množstvo Cr v tuhom roztoku γ-Ni. (Flores et at., 2008).

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



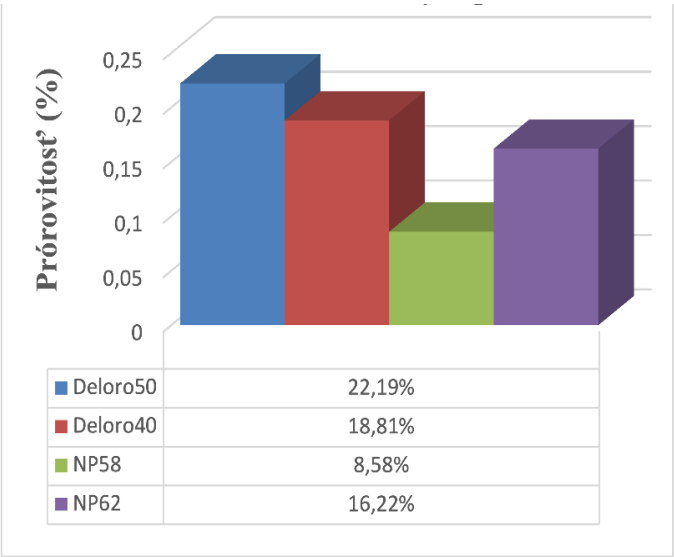
Obr. 5 Mikroštruktúra povlaku Deloro 40
Fig. 5 Microstructure of Deloro 40 coating



Obr. 6 Mikroštruktúry skúmaných práškových tvrdonávarových materiálov a príslušná morfológia použitých práškov: a) Deloro40, b) Deloro50, c) NP58, d) NP62
Fig. 6 Microstructures of the examined powder hardfacing materials and morphology of the used powders: a) Deloro40, b) Deloro50, c) NP58, d) NP62

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Meranie a vyhodnotenie pórovitosti sa uskutočnilo pomocou softvéru ImageJ, ktorý pomocou filtrov, dokáže odfiltrovať a detegovať lokalitu čiernych pórov na bielom podklade. Vygenerované údaje sa zaznamenali do programu Microsoft Excel v ktorom vznikol histogram viditeľný na *Obr. 7*. Vyššia miera porozity a celková nehomogénnosť skúmaných vzoriek bola zaznamenaná pri práškoch Deloro 40 (22,19%) a 50 (18,81%). Prášky VÚZ 58 a 62 mali oveľa vyššiu homogenitu, ktorá sa odzrkadlila na vyšších hodnotách tvrdosti.



Obr. 7 Pórovitosť skúmaných povlakov
Fig. 7 Porosity of the investigated coatings

4 Záver

Laboratórne skúmanie tvrdonávarových povlakov NiCrBSi nanášaných technológiou APS sa uskutočnilo po prvý krát na pôde TF SPU v Nitre. Všetky merania boli vykonané na zariadeniach, ktoré sú k dispozícii na Ústave konštruovania a strojárskych technológií (UKST). Pozorované povlaky napriek vyššiemu podielu pórovitosti vykazovali vyššie hodnoty tvrdosti, ktoré sú najdôležitejším parametrom tvrdonávarových povlakov, ktoré sa bežne aplikujú aj v poľnohospodárstve. Vyššie hodnoty tvrdosti pri použití rovnakých práškových materiálov nanášaných inými technológiami doteraz neboli pozorované. Tieto skutočnosti poukazujú na výhody technológie APS. V prechodovej oblasti medzi substrátom a tvrdonávarovým povlakom nedochádza k nauhličeniu, premiešavaniu ani degradácii pôvodnej štruktúry substrátu kvôli nízkym teplotám substrátu. Ďalšou výhodou technológie je možnosť nanášať veľmi tenké vrstvy a tak ich aplikovať v špeciálnych aplikáciách nielen strojárskeho, ale aj lekárskeho alebo potravinárskeho priemyslu. Hrúbka povlakov nebola rovnomerná, čoho dôvodom bol termoforézny efekt, ktorý v prípade radiálneho privedenia prášku vytvára odklon prúdu natavených častíc. Mikroskopické pozorovanie práškov odhalilo deformáciu častíc práškov Deloro 40 a Deloro 50, kým NP58 a NP62 mali pravidelné, ostrohranné častice. Táto skutočnosť môže byť dôvodom spomenutého odlúpnutia deponovanej vrstvy a vyššej pórovitosti, ktoré boli prítomné v povlakoch Deloro 40 a Deloro 50. Dosiahnuté výsledky otvárajú ďalšie možnosti skúmania: pórovitosť by sa dala napríklad odstrániť dodatočným pretavovaním povlaku. Informácie získané o aplikácii technológie plazmového žiarového striekania a štruktúre skúmaných tvrdonávarových materiálov uľahčujú rozhodovanie o ich

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

potenciálnom využití v konkrétnych podmienkach. Na základe dosiahnutých výsledkov považujem ciele práce za splnené.

5 Literatúra

BERGANT, Z – GRUM, J. 2009. Quality Improvement of Flame Sprayed, Heat Treated, and Remelted NiCrBSi Coatings In Therm Spray Tech, vol.,18, pp. 380–391. ISSN1059-9630

BOULOS, M. I. – FAUCHAIS, P. – PFENDER, E. 2017. Plasma Torches for Cutting, Welding and PTA Coating, In: Handbook of Thermal Plasmas. Springer, ISBN 978-3-319-12183-3. [cit. 2023-02-22]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-12183-3_47-1>

Delloro. Hradfacing coatings. In deloro.com [online] © 2016 [cit. 2022-03-10]. Dostupné na: <https://www.deloro.com/fileadmin/users/redakteur/006_Downloads/Product_Information/Hardfacing_Alloys_eng.pdf>

DILAWARY et al. 2018. Modification of M2 hardfacing: effect of molybdenum alloying and laser surface melting on microstructure and wear performance. In Wear, vol. 404–405, p. 111-121. [cit. 2022-03-19]. Dostupné na: < http://dx.doi.org/10.1016/j.wear.2018.03.013 >

FLORES, Juan – NEVILLE, Anne – KAPUR, Niraj – GNANVELU, A. 2008. Characterization of the corrosion mechanisms of PTA coatings for application in the oilsands industry. In NACE - International Corrosion Conference Series. [cit. 2022-03-12]. Dostupné na: < http://bitly.ws/Ci8v>

HEMMATAI, Ismail et al. 2011. Evolution of microstructure and properties in laser cladding of a Ni-Cr-B-Si hardfacing alloy, WIT Transactions on Engineering Sciences, [online], vol. 72, pp. 287–296. [cit. 2023-03-16]Dostupné na:<https://bit.ly/3spcHsu>

NAVAS C. et al. 2006. Corrosion behaviour of NiCrBSi plasma-sprayed coatings partially melted with laser. In Surface and Coatings Technology, vol. 201, pp. 776 –785, ISSN: 0257-8972 [cit. 2022-03-12], Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2005.12.032>

NEIKOV, Oleg – NABOYCHENKO Stanislav – YEFIMOV Nikolay. 2019. Hardfacing, In Handbook of Non-Ferrous Metal Powders, vol. 2. ISBN 978-0-08-100543-9 [cit. 2022-03-12], Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/hardfacing/pdf>

SONGQIANG, Huang et al. 2021. Microstructural Charactistics of Plasma Sprayed NiCrBSi Coatings and Their Wear and Corrosion Behaviors. In Coatings, vol. 11, no. 2, pp. 170, [cit. 2023-03-29], Dostupné na: <https://doi.org/10.3390/coatings11020170>

Total Metria. 2023. Properties of steel STN 11600 and STN 11373. [on-line], © 2020 [cit. 2023-03-15]. Dostupné na: <https://portal.totalmateria.com/en/search/quick>

VÚZ. Kovové prášky na nanášanie za tepla. In *vuz.sk* [online] © 2022 [cit. 2023-03-8]. Dostupné na: <http://www.vuz.sk/uploads/wysiwyg/katal%C3%B3gy/10_Kovove_prasky.pdf>

WITHERSPOON, F.D. et al. 2002. High velocity pulsed plasma thermal spray. In Therm Spray Tech, vol. 11, no.1, pp. 119–128 [cit. 2023-03-18]. ISSN1059-9630 Dostupné na: <https://doi.org/10.1361/105996302770349050>

YINGHU, Lin et al. 2020. Improving the microstructure and mechanical properties of laser cladded Ni-based alloy coatings by changing their composition. In Reviews on advanced materials sience, vol. 59, no. 1, pp. 340-351. ISSN: 1605-8127 [cit. 2022-03-28], Dostupné na: <https://doi.org/10.1515/rams-2020-0027>

Súhrn

Cieľom článku je skúmať vlastnosti žiarovo striekaných práškových tvrdonávarových materiálov na báze NiCrBSi pomocou plazmového lúča v atmosférickom prostredí. Boli skúmané viaceré prášky na báze NiCrBSi s rôznym chemickým zložením. Na vytvorených vzorkách bola meraná mikrotvrdosť v horizontálnom smere v nanesených vrstvách a vertikálnom smere v priečnych rezoch vzorkami. Súčasťou experimentu bola tiež metalografická analýza vytvorených vrstiev. Získané výsledky poukazujú na vysoký potenciál technológie atmosférického plazmového žiarového striekania (APS) z pohľadu vytvárania NiCrBSi povlakov s vysokou tvrdosťou a odolnosťou proti opotrebeniu. Bol zistený výrazný vplyv podielu uhlíka, bóru, kremíka a chrómu na zvýšenie hodnôt tvrdosti nanesených vrstiev.

Kľúčové slová: tvrdonávar, NiCrBSi povlaky, atmosferické plazmové striekanie, mikrotvrdosť, mikroštruktúra.

Poďakovanie
Autori by radi poďakovali Ing. Matúšovi Šavčákovi zo spoločnosti CHETRA SK, s.r.o. za pomoc pri vyhotovení vzoriek.

MINIATÚRNY AUTONÓMNY ROBOTICKÝ SYSTÉM NA PRECHOD KORIDOROM
MINIATURE AUTONOMOUS ROBOTIC SYSTEM FOR CROSSING A CORRIDOR

MATEJ MARKUSEK[1] - LADISLAV TÓTH[2]

Abstract

The goal of the work is to design and create control algorithms for guiding a mobile robot in the middle of the corridor. The algorithm is designed on the Arduino platform. The work also includes the design and production of a mobile robot itself in which the designed control algorithms are implemented. The mobile robot has an Ackerman type of chassis. The type of selected drive is stated in the paper too, as well as its technical parameters. The mobile robot is navigated in the corridor using five ultrasonic distance sensors. The measured distance data are used to calculate the tilt angle of the front wheels by the control algorithm. The algorithm consists various mathematical functions that guid the robot to the centre of the corridor. The mobile robot algorithm can reach the required path from different starting positions. By testing the system, it has been proven that the robotic system is able to guide itself to the centre of the corridor with a maximum deviation of 93 mm from the axis of the corridor.

Key words: Arduino, navigation, Ackerman chassis, mobile robot

1 Úvod

Mobilná robotika je vedecká oblasť, ktorá sa zaoberá riešením problémov robotov, ktoré sú schopné pohybovať sa v prostredí, tým pádom nie sú fixované na jedno miesto. Mobilné roboty sú schopné získavať informácie o svojej polohe z rôznych senzorov a sú schopné tieto informácie následne použiť pri riadení pohybu. Komponenty mobilného robota sú obvykle senzory, akčné členy, energetický systém, radiče a regulátory. Ako regulátory sa v období posledných 10 rokov používajú vo veľkej obľube mikrokontroléry ako Arduino UNO alebo Raspberry Pi. Na meranie vzdialeností sa používajú vo veľkom množstve ultrazvukové alebo laserové snímače. Pre napájanie mobilných robotov sa vo väčšine prípadov používajú lítiové akumulátory, ktoré sú v danej problematike jedným z najlepších riešení. Okrem navigovania pomocou vyššie spomenutých snímačov, je v praxi možné použiť aj iné metódy riadenia ako napríklad SLAM metóda alebo ovládanie založené na Fuzzy logike pre autonómnu navigáciu robotov.

Miniatúrny robotický systém na prechod koridorom je zariadenie, ktoré má za úlohu pohybovať sa v strede chodby, alebo iného koridoru v interiéri, pričom má Ackermanov typ riadenia. V zariadení je použitý mikrokontrolér Arduino UNO, ktorý slúži ako regulátor. Princíp sledovania okolia je založený na ultrazvukových snímačoch, pomocou ktorých je mikrokontrolér schopný vypočítať vzdialenosti medzi stenami koridoru, a tým pádom regulovať pohyb servo motora, ktorý natáča predné kolesá Ackermanovho podvozku. Pre voľný pohyb zariadenia a zabezpečenie elektrickej energie sú použité v zariadení dve Li-Po batérie.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

2 Materiál a metódy

Prototyp mobilného robotického systému pre schopnosť pohybu vo svojom okolí bez zásahu človeka potrebuje nižšie uvedené moduly.

Arduino UNO je mikrokontrolérová doska, ktorá v mobilnom robote slúži na vyhodnocovanie údajov nameraných ultrazvukovými snímačmi vzdialenosti, na základe ktorých Arduino UNO dáva pokyny na riadenie jednotlivých akčných členov.

Tab. 1 Základné parametre mikrokontroléra Arduino UNO
Tab. 1 Basic parameters of the 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 bootloader
Rýchlosť hodinového signálu	16 MHz
Mikrokontrolér	ATmega328P

Ultrazvukový senzor vzdialenosti HC-SR04 je prvok, pomocou ktorého sa mobilný robot orientuje v priestore. Pomocou vývodu Trig dostane senzor informáciu z mikrokontroléra, aby vyslal zvukový signál v nepočuteľnom pásme s dĺžkou 10 µs. V momente, kedy je signál vyslaný, vývod Echo sa prepne na vysokú úroveň a zotrvá v danom stave do momentu, kým sa signál nevráti späť. Keď je už známa dĺžka echa, mikrokontrolér dokáže pomocou nižšie uvedeného *vzťahu č.1* zistiť, aká je vzdialenosť medzi senzorom a meraným objektom.

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

Kde: d - vzdialenosť medzi senzorom a meraným objektom, m
v - konštanta rýchlosti zvuku (340 m/s pri teplote 15 °C), -
t - čas cestovania zvukového impulzu, s

Where: d - the distance between the sensor and the measured object, m
v - the sound speed constant (340 m/s at a temperature of 15 °C), -
t - the travel time of the sound pulse, s

DC motory zabezpečujú mobilnému robotovi pohyb dopredu a dozadu. Rýchlosť otáčania výstupnej hriadele motorov je daná úrovňou PWM signálu, ktorý generuje mikrokontrolér Arduino UNO. Aby bolo možné riadiť smer otáčania motorov, je potrebné použiť integrovaný obvod L298N. Obvod obsahuje dva moduly H-mostíka, pomocou ktorého je možné zmeniť smer prúdu výstupným obvodom, čo znamená v našom prípade smer prúdu prechádzajúci DC motorom.

Servo motor MG995 je zariadenie, ktoré sa otáča v uhlovom rozsahu 0-180°, a je schopné v danom uhle aj zotrvať. Servo motor má všetky prevody kovové, preto je vhodné ho použiť ako akčný člen, ktorý slúži na vytáčanie prednými kolesami Ackermanovho podvozku. Poloha osi servo pohonu je nastavovaná pomocou striedy PWM signálu.

Li-Po akumulátory slúžia v mobilnom robote ako zdroj elektrickej energie. Akumulátory majú napätie 7,4 V a skladajú sa z dvoch sériovo radených článkov s napätím 3,7V. Kapacita akumulátorov je 1500 mAh.

DC-DC Menič napätia LM2596 slúži na úpravu výstupného napätia z batérii. Výhoda zariadenia je presné nastavenie výstupného napätia v intervale od 1,25 V do 35 V.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

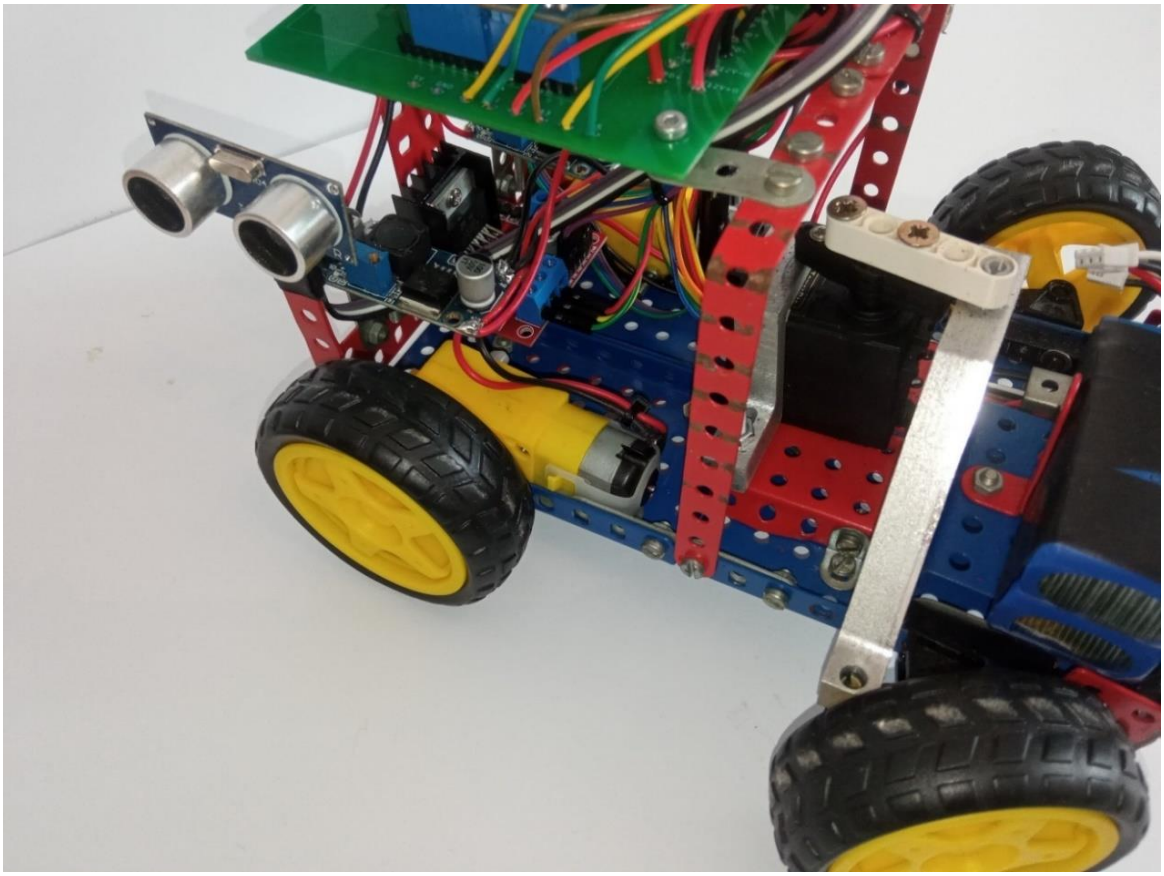
Arduino IDE je softvér, pomocou ktorého je možné naprogramovať použitý mikrokontrolér a určiť presnú funkciu každému vstupu a výstupu. Softvér je dostupný pre operačné systémy Windows, Linux a iOS.

Pre dosiahnutie cieľa, ktorým je navrhnutie autonómneho mobilného robota na prechod koridorom je potrebné zvoliť nasledujúci postup práce.

Ako prvé je potrebné vytvoriť podvozok mobilného robota z plechových polotovarových dielov, na ktorý sme umiestňovali jednotlivé zariadenia. Následne je potrebné vytvoriť v grafickom programe 3D model súčiastok, ktoré je potrebné vyrobiť obrábacím procesom na CNC stroji a jednotlivé diely umiestniť na podvozok mobilného robota. Po vytvorení prototypu mobilného robota je potrebné zistiť charakteristiky použitých ultrazvukových snímačov vzdialenosti HC-SR04. Pre splnenie cieľa je potrebné navrhnúť algoritmus, pomocou ktorého je zariadenie vedené na stred koridoru a algoritmus na otočenie sa na konci chodby. Po navrhnutí prototypu mobilného robota a následnom naprogramovaní je dôležité vyskúšať a overiť vyhotovené riadiace algoritmy mobilného robota v reálnom prostredí (medzi koridormi - chodba) a určiť odchýlku prejdenej trajektórie od stredu koridoru. Ladenie algoritmov riadenia mobilného robota s postupným overovaním, skúšaním a ladením algoritmov bude nutné pre dosiahnutie najmenších odchýlok od ideálnej trajektórie v strede koridoru. Namerané odchýlky od stredu koridoru budú spriemerovaním vyhodnotené.

3 Výsledky a diskusia

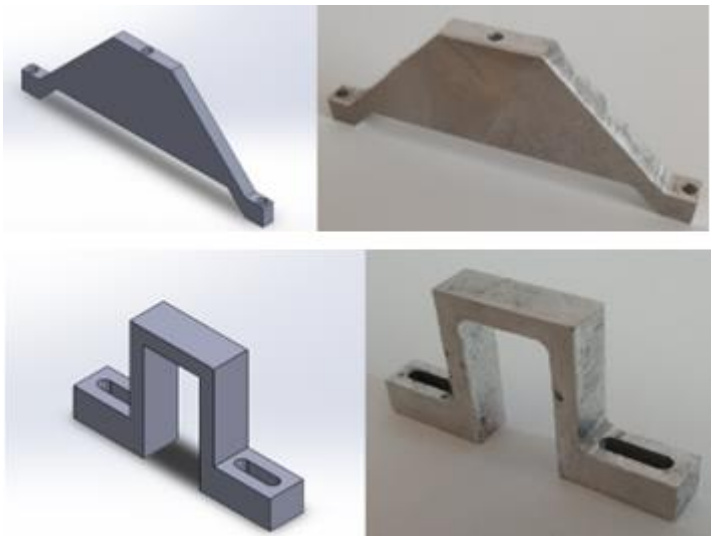
Podvozok mobilného robota sme vytvorili z plechových polotovarových dielov tak, ako je to zobrazené na *obr.1*. Výsledné rozmery autonómneho vozidla bez kolies sú 207 x 109 mm, spolu s kolesami sú rozmery vozidla 207 x 184 mm.



Obr. 1 Podvozok z plechových dielov
Fig. 1 Chassis made of sheet metal parts

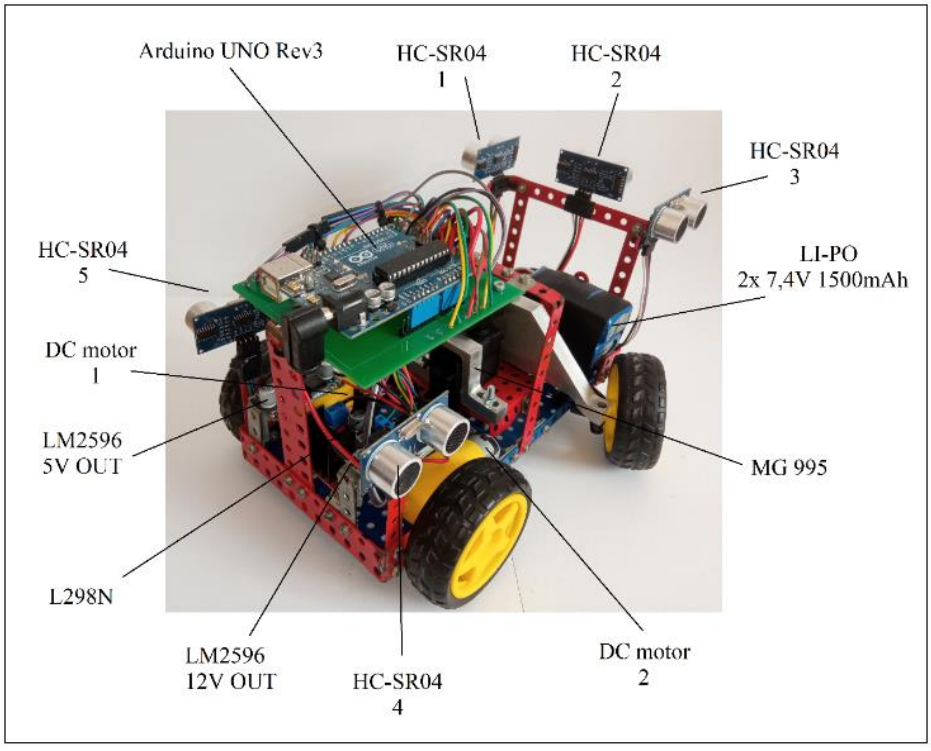
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Po vytvorení podvozku bolo potrebné vyrobiť dva diely pomocou CNC obrábacieho stroja. 3D model súčiastok sme navrhli v grafickom programe Solidworks. Dané modely sme nahrali do CNC obrábacieho centra, ktoré ich následne vyrobilo. Výsledok obrábacieho procesu je vyobrazený na *obr.2 a 3.*



Obr. 2 3D model: držiak servo motora MG995 a spojovací diel riadenia
Fig. 2 3D model: MG995 servo motor mount and steering linkage

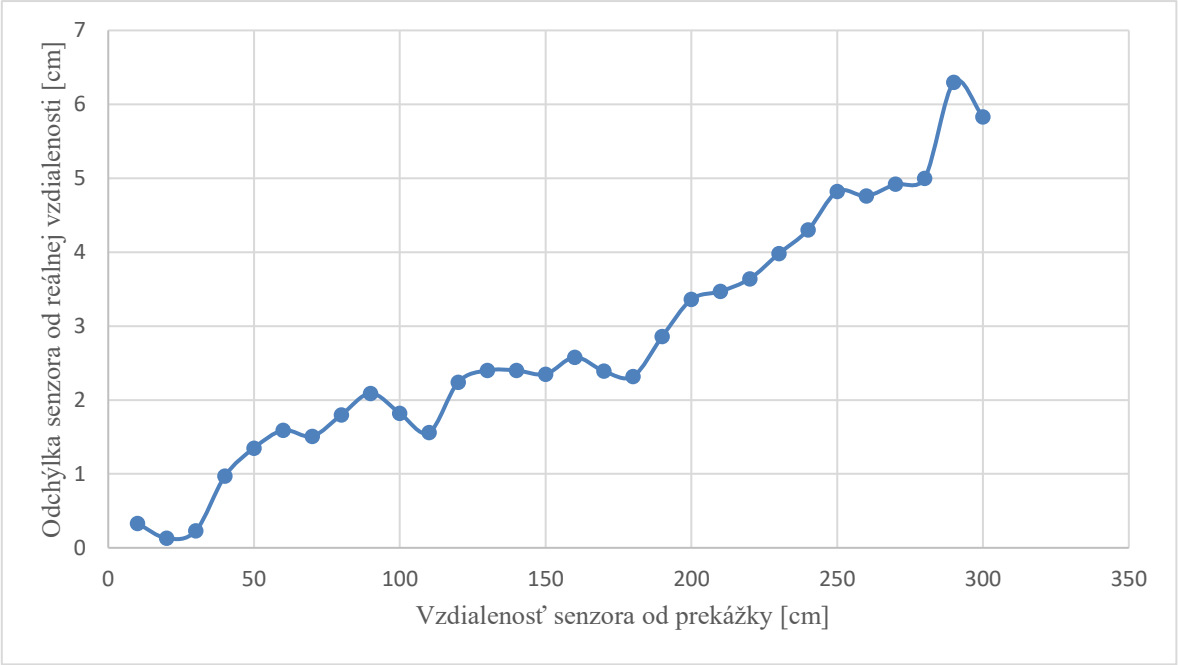
Po vytvorení všetkých potrebných dielov mobilného robota boli diely nainštalované na podvozok. Na *obr.3* je zobrazený podvozok mobilného robota s rozmiestnenými elektronický modulmi.



Obr. 3 Popis umiestnenia jednotlivých zariadení na podvozku
Fig. 3 3D model, MG995 servo motor mount and steering linkage

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Presnosť ultrazvukového snímača vzdialenosti HC-SR04 bola zisťovaná meraním vzdialenosti medzi pomocným predmetom (tyč s priemerom 35mm) a snímačom. Vzdialenosti boli nastavované v intervale od 10 cm do 300 cm s krokom po 10 cm. Merania boli opakované celkom tridsaťkrát pričom jednotlivé odchýlky pri nastavených vzdialenostiach (*obr. 4*) boli spriemerované.



Obr. 4 Závislosť odchýlky senzora od reálnej vzdialenosti
Fig. 4 Dependence of the sensor deviation on the real distance

Hlavným cieľom projektu je riadenie mobilného robota do stredu koridoru. Prvotné informácie k lokalizácií robota boli získané štyrmi ultrazvukovými snímačmi, ktoré boli umiestnené na krajných hranách mobilného robota tak, aby snímali prostredie po bokoch mobilného robota (*obr. 3*).

Jeden z potrebných parametrov, ktoré bolo potrebné zistiť pre navigáciu mobilného robota je natočenie robota voči koridoru. Pomocou výpočtov pomerov zo štyroch ultrazvukových snímačov vzdialenosti, sme určili natočenie robota. Mobilný robot môže byť otočený tak, že smer jazdy je rovnobežný so stenami koridoru. V tomto prípade je pomer rovný 1. Ak nastane situácia, že je robot natočený doprava, pomer bude väčší ako 1. Ak by nastala situácia, že by bol mobilný robot natočený doľava, pomer by bol menší ako 1.

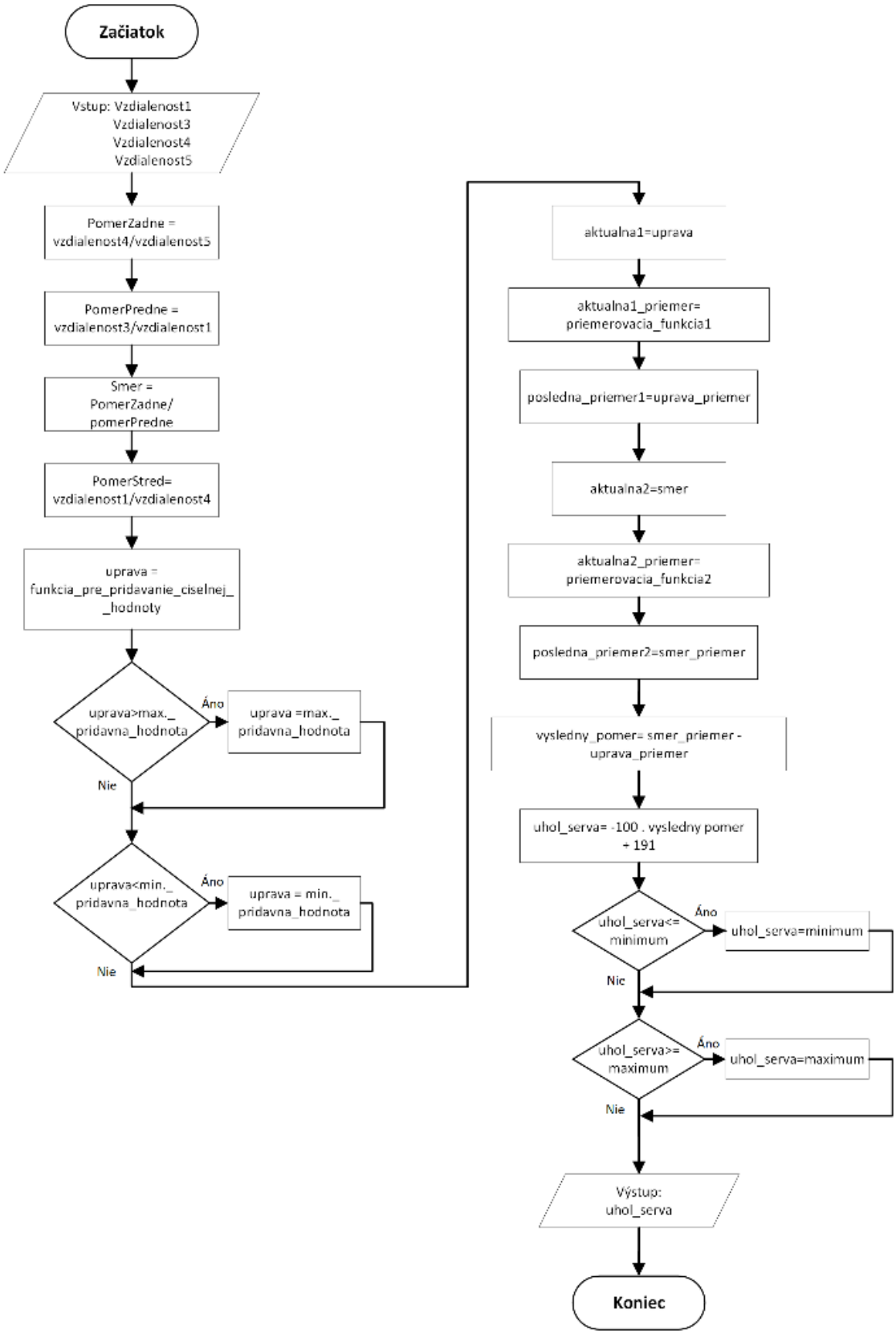
Pomocou zistených hodnôt pomerov, je potrebné regulovať uhol natočenia servo motora tak, aby bol mobilný robot vedený v strede koridoru. Na to potrebujeme dve funkcie.

Prvá funkcia má za úlohu nastaviť uhol servo motora tak, aby smer predných kolies bol rovnobežný s koridorom. Pomocou softvéru MS Excel bola vytvorená funkcia a matematický vzťah, ktorý určuje presný uhol natočenia servo motora v závislosti od výsledného pomeru vzdialeností.

Použitím druhej funkcie bolo docielené vedenie mobilného robota na stred koridoru. Druhá funkcia pridáva kladnú, alebo zápornú číselnú hodnotu k prvej funkcii v prípade, že sa mobilný robot nachádza v inej pozícii, ako je os koridoru. Ak nastane stav, kedy mobilný robot sa pohybuje v strede, funkcia bude pripočítavať nulovú hodnotu t.j. riadenie bude nastavené bez zmeny.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

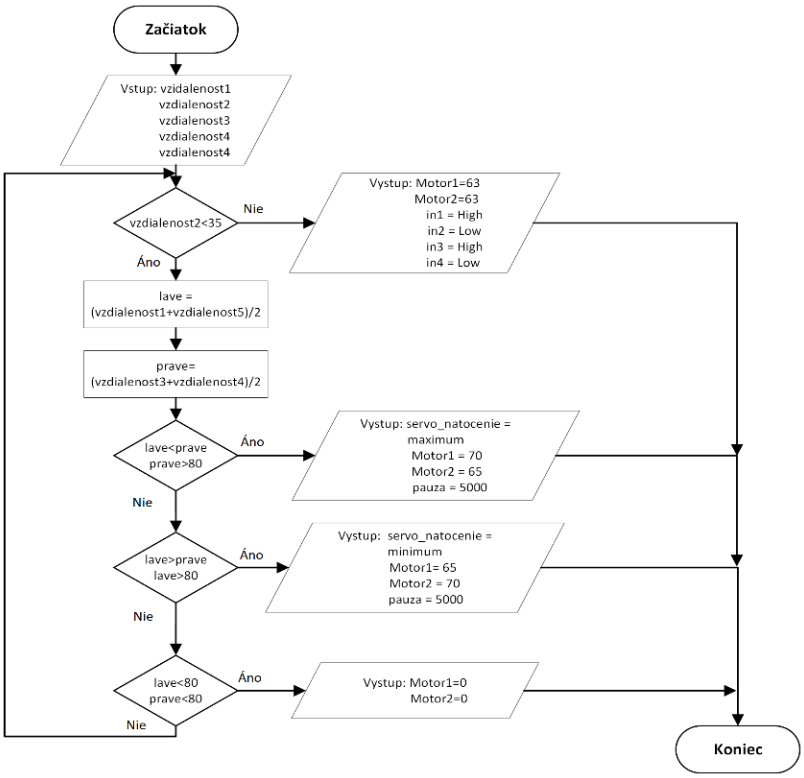
Proces navigovania mobilného robota na stred koridoru je vyobrazený vo vývojovom diagrame na *obr.5*.



Obr. 5 Vývojový diagram pre navigovanie mobilného robota na stred koridoru
Fig. 5 Flow diagram for navigating the mobile robot to the center of the corridor

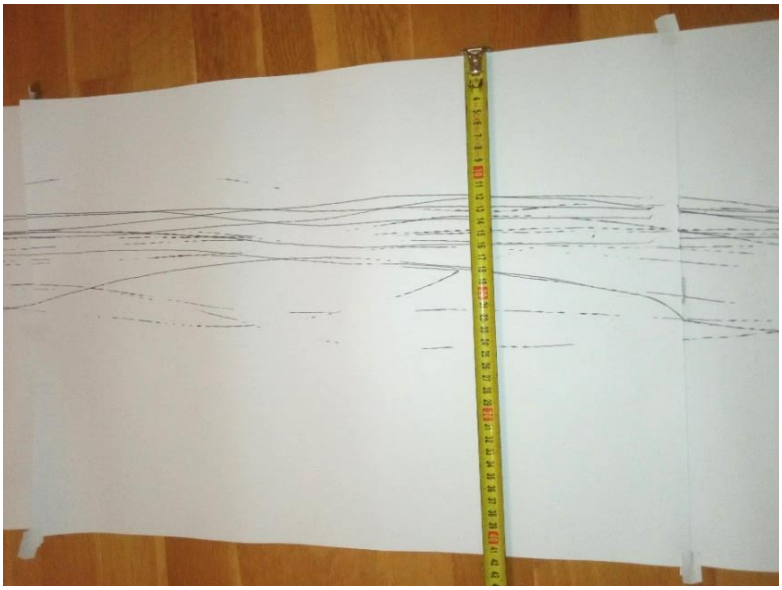
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Pre otočenie mobilného robota na konci koridoru bolo potrebné vytvoriť algoritmus, ktorý vyhodnotí do ktorej strany je vhodnejšie zahájiť otáčací proces a následne daný úkon vykoná. Celý proces otáčania robota je vyobrazený na *obr.6*.



Obr. 6 Vývojový diagram na otáčanie robota na konci koridoru
Fig. 6 Flow diagram for turning the robot at the end of the corridor

Testovanie mobilného robota prebiehalo v skúšobnom koridore s prejazdovou šírkou 176 cm. Samotná skúška pozostávala zo štrnástich prejazdov mobilného robota koridorom, pričom zariadenie počas jazdy kreslilo na podložku svoju trajektóriu. Trajektórie sú vyobrazené na *obr.7*.



Obr. 7 Trajektória mobilného robota
Fig. 7 Trajectory of the mobile robot

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Testovaním bolo dokázané, že mobilný robot je schopný prejsť koridorom s najvyššou odchýlkou 93 mm od stredu koridoru. Priemerná odchýlka od stredu koridoru je 52 mm.

4 Záver

Mobilná robotika je v dnešnej dobe do veľkej miery štandardom. Existujú rôzne druhy autonómnych robotov, ktoré sú schopné pohybu v interiéri aj v exteriéri, pričom rozsah ich využitia každým dňom narastá. Pri používaní mobilných robotov na pracovisku, ktoré sú schopné autonómneho pohybu je výhoda tá, že danú úlohu sú roboty schopné vykonávať opakovane a s rovnakou presnosťou, ktorá je daná výrobcom.

Autonómne roboty, ktoré sú navigované pomocou ultrazvukových snímačov vzdialenosti majú výhodu v tom, že sú schopné navigovať sa v prostredí, kde sa nachádzajú transparentné objekty. Pri riadení mobilného robota ultrazvukovými snímačmi nastávajú veľmi často problémy s nepresným meraním vzdialenosti. Tieto chyby je nutné do najväčšej miery eliminovať algoritmami tak, aby zásadne neovplyvňovali pohyb robota.

Zadanie úlohy, ktorou bolo návrh a vytvorenie riadiacich algoritmov mobilného robota bolo do veľkej miery splnené. Mobilný robot je schopný sa z rôznych východiskových pozícii dostať do stredu koridoru s tolerovateľnou odchýlkou. Odchýlka od absolútneho stredu je maximálne 93 mm a priemerná odchýlka od stredu koridoru je 52 mm.

Mobilný robot na prechod koridorom sa dokáže na konci chodby otočiť, a následne pokračovať v jazde. Tým, že je zariadené schopné otáčania sa na konci koridoru je dokázaný určitý stupeň autonómnosti, kedy je zariadenie schopné opakovane prejsť tým istým koridorom bez zásahu človeka.

5 Literatúra

GENGYU, G. et al. 2022. An Improved VSLAM for Mobile Robot Localization in Corridor Environment [online], [cit. 2023-02-16] Dostupné na: https://www.researchgate.net/publication/360817389_An_Improved_VSLAM_for_Mobile_Robot_Localization_in_Corridor_Environment

GOPALAKRISHNAN, S. et al. 2004. Design and development of an autonomous mobile smart vehicle: a mechatronics application [online], [cit. 2022-08-22] Dostupné na: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957415803001016?via%3Dihub

HAJER, O. et al. 2016: Fuzzy Logic Based Control for Autonomous Mobile Robot Navigation [online], [cit. 2023-03-22] Dostupné na: https://www.hindawi.com/journals/cin/2016/9548482/?fbclid=IwAR0JzMNUsN21kfSXSa9RwLGv7k-ydU3yArT-oo_9UtDnt2PocFef9WyNMMo

MARTINEK, Radislav. 2004. Senzory v priemyselnej praxi. Praha: BEN - technická literatura. 199s. ISBN 9788073001148

MOUBARAK, P. et al. 2011. Adaptive manipulation of a hybrid mechanizm mobile robot. Montreal: IEEE International Symposium on Robotic and Sensors Environments (ROSE), ISBN 978-1-4577-0819-0

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Súhrn

Cieľom práce je návrh a vyhotovenie riadiacich algoritmov pre vedenie mobilného robota v strede koridoru. Algoritmus je navrhnutý na platforme Arduino. Súčasťou práce je aj návrh a vyhotovenie mobilného robota, v ktorom sú implementované navrhnuté riadiace algoritmy. Mobilný robot má Ackermanov typ podvozku, v práci je uvedené aký typ pohonu je zvolený a aké sú jeho technické parametre. Mobilný robot sa naviguje v koridore pomocou piatich ultrazvukových snímačov vzdialenosti, z ktorých je riadiaci algoritmus schopný vypočítať pomocou rôznych matematických funkcii uhol natočenia predných kolies tak, aby bol robot vedený v strede koridoru, pričom je schopný dostať sa do požadovanej dráhy z rôznych východiskových pozícii. Testovaním systému bolo dokázané, že robotický systém je schopný sa naviesť do stredu koridoru s odchýlkou 93 mm od osi koridoru.

Kľúčové slová: Arduino, navigácia, Ackermanov podvozok, mobilný robot

006SPU-4/2021
Implementation of technology of Industry 4.0 in education process in study program "Control Systems in Production Engineering"

REOLOGICKÉ VLASTNOSTI PREVODOVÝCH OLEJOV ŠIJACÍCH STROJOV
RHEOLOGICAL PROPERTIES OF GEAR OILS FROM SEWING MACHINES

MELICHER MAREK[1] – HLAVÁČ PETER[2]

Abstract

The aim of the article is the determination of the selected gear oils rheological properties from sewing machines. We stated the distribution, basic properties and contamination of gear oils. Next we described measuring devices (viscometer and density meter) and measuring methods. We performed the measurements in the temperature range (5 – 60) °C with the step 5 °C. We obtained the values of oils density, dynamic viscosity, shear stress and shear rate, and we calculated the kinematic viscosity and constructed graphical dependencies. We compared and described the obtained data on the rheological properties of individual samples. We found that densities of used gear oils were higher due to the present impurities. Values of dynamic viscosity of used gear oils were also higher, what can be caused by thermal and oxidative degradation of these oils. In the end by using the flow curves we verified that analysed gear oils are Newtonian fluids.

Key words: gear oils, dynamic viscosity, kinematic viscosity, density, shear stress, shear rate, flow curves, temperature

1 Úvod

Šijacie stroje slúžia na výrobu rozličných látkových produktov. Uľahčujú náročnú prácu, pričom sú svojou produkciou veľmi rýchle a presné. Každý šijací stroj je poháňaný motorom prostredníctvom prevodov.

Práve prevody šijacích strojov je potrebné správne mazať pomocou prevodových mazív. Prevodové mazivá sa nachádzajú v každom prevodovom mechanizme. Zabezpečujú mazanie stykových plôch, čo priaznivo pôsobí na trenie medzi jednotlivými zaberajúcimi zubami ozubených kolies. Podľa druhu šijacieho stroja a teda aj druhu prevodového systému sa volia prevodové mazivá. Pojem nazývaný mazanie možno aplikovať na dva rôzne stavy: tuhé mazanie pomocou plastických mazív a na mazanie olejovým tekutým filmom (Patnaik et al., 2021). Najviac používaným spôsobom mazania prevodov je mazanie formou prevodového oleja, ktorý zabezpečuje ochranu prevodov výrobných zariadení. Mazací olej vytvára separačný film medzi povrchmi susedných pohyblivých častí, aby sa minimalizoval priamy kontakt medzi nimi, čím sa znižuje teplo spôsobené trením a opotrebovanie, čím sa chránia prevody zariadenia (Vasishth et al., 2014). Mazaním prevodov sa vyhýbame únavovým poruchám ako mikropitting, opotrebovanie, odierania a pod., čím zvyšujeme účinnosť záberu. Dynamický výkon prevodov sprevádzaný hlukom a vibráciami tiež veľmi závisí od podmienok mazania prevodov. Je zrejmé, že mazanie prevodov je spojené s tribológiou a dynamikou súčasne (Chen et al., 2023). Vzájomným kontaktom prevodov vzniká medzi dotýkajúcimi sa plochami prevodov trenie. Trenie je proces rozptylu energie a zhoršuje účinnosť výrobných zariadení. Následkom trenia vzniká opotrebenie, ktoré vedie k skráteniu

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

životnosti a predčasnému zlyhaniu komponentov výrobných zariadení. Zlyhanie zariadení znamená v priemyselných odvetviach prerušenú výrobu, ktorá má za následok obrovské ekonomické straty (Rana, 2010). Aby sa minimalizoval vplyv trenia a opotrebovania na výkon výrobného zariadenia, zvyčajne sa dbá najmä na mazanie (Rana, 2010). Autor Bock (2014) vo svojej práci uvádza, že mazanie výrobných zariadení je dôležitým konštrukčným prvkom vo výrobných zariadeniach (Bock, 2014). V *Tab.1* môžeme vidieť výhody a nevýhody jednotlivých typov mazív.

Tab. 1 Výhody a nevýhody jednotlivých typov prevodových mazív (Melicher, 2021)
Tab. 1 Advantages and disadvantages of selected gear oils (Melicher, 2021)

	Výhody	**Nevýhody**
Pevné prevodové mazivo	Veľký teplotný rozsah Nevyžaduje sa tesnosť prevodovky Možnosť použiť vo vákuu	Žiadny chladiaci účinok Drahé pri aplikácii Obmedzená životnosť
Plastické mazivo	Nevyžaduje sa tesnosť prevodovky	Nepatrný chladiaci účinok Nie je filtrovateľné Len pre nízke otáčky a zaťaženie
Prevodový olej	Dobrý mazací účinok Dobrý chladiaci účinok Dobrá filtrovateľnosť Ľahká obnoviteľnosť	Vyžaduje sa tesnosť prevodovky
Zmes na mazanie prevodov	Nevyžaduje sa tesnosť prevodovky	Žiadny chladiaci účinok Drahé pri aplikácii Obsah rozpúšťadiel

Prevodové mazivá musia v čo najväčšom rozsahu spĺňať požiadavky na ich vlastnosti. Zhoršenie vlastností mazania počas starnutia môže teda výrazne ovplyvniť výkon, spoľahlivosť a životnosť výrobných systémov (Rana, 2010). Najdôležitejšou vlastnosťou prevodových mazív je ich viskozita. Viskozita je funkciou teploty a tlaku. Vzťah medzi viskozitou a teplotou a vzťah medzi viskozitami a tlakom sú dôležité aj v reológii mazív, ako aj pre životnosť strojných prvkov. Tak ako zvýšenie teploty znižuje viskozitu mazacieho oleja, tak aj zvýšenie tlaku spôsobuje zvýšenie jeho viskozity (Vasishth et al., 2014).

Požiadavky kladené na prevodové mazivá sú:

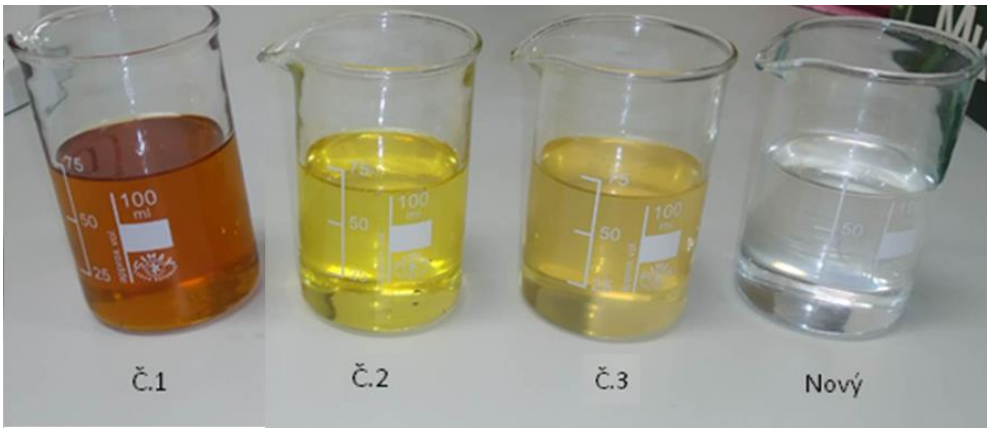
a) zníženie opotrebovania sa prevodových mechanizmov,
b) menšia viskozitno-teplotná závislosť,
c) dobrá znášanlivosť oleja s konzervačnými prostriedkami,
d) dobrá antikorózna ochrana,
e) vysoká oxidačná stálosť,
f) výborná znášanlivosť s elastomermi,
g) podstatné predĺženie výmenných lehôt oleja,
h) znášanlivosť so všetkými značkami olejov,
i) nepenivosť ani pri vysokých treniach (Marko a i., 2014; Melicher, 2021).

Kvalita používaného maziva klesá s rastúcim obsahom nečistôt. Nečistoty sú nežiadané látky ktoré obsahuje mazivo. Môžu byť pevného alebo aj kvapalného skupenstva.

Nečistoty môžu byť zapríčinené rôznymi chemickými ale aj mechanickými procesmi a zdrojmi (König – Birg, 2011). Prítomnosť pevných častíc v mazive môže pochádzať z vonkajšieho alebo vnútorného prostredia. S rastúcim obsahom nečistôt v mazive sa znižuje účinnosť mazacieho systému, čo môže zapríčiniť poškodenie funkčných prvkov a následne poruchu zariadenia (Garza – Hernándes, 2019).

2 Materiál a metódy

Vzorky prevodových olejov šijacích strojov sme odobrali celkovo zo štyroch rozličných zariadení. Na *Obr. 1* môžeme vidieť štyri vzorky prevodových olejov pre šijacie stroje. Z toho tri vzorky použitého a jednu nového nepoužitého prevodového oleja.



Obr. 1 Vzorky prevodových olejov zo šijacích strojov (zľava použité vzorky – 1, 2, 3; vpravo nová vzorka)
Fig. 1 Samples of gear oils from sewing machines (from the left used samples – 1, 2, 3; in the right new sample)

Vzorka č. 1 má zo všetkých vzoriek najtmavšiu hnedkastú farbu, čo naznačuje, že tento olej bude najopotrebovanejší. Táto vzorka je odobratá zo šijacieho stroja JACK JK-SHIRLEY II E, určeného na šitie rôznych látok. Vzorka bola používaná dva roky a odpracovala viac ako 4000 Mth (motohodín). Vzorka č. 2 bola odobratá zo šijacieho stroja SIRUBA L818F – M1, v ktorom bola jeden rok a odpracovala približne 2000 Mth. Vzorku č. 3 sme odobrali z tzv. „dierkovačky", teda stroja JUKI LBH-770 určeného na prerážanie dier do látok. Jedná sa o najstarší stroj v danej organizácii, ktorá nám poskytla vzorky.

Tab. 2 Vlastnosti meraného prevodového oleja MOL WO M46 (SLOVNAFT, 2021)
Tab. 2 Properties of analysed gear oil MOL WO M46 (SLOVNAFT, 2021)

MOL WO M 46 – medicinálny biely olej	
Vlastnosti	Typické hodnoty
Farba	bezfarebný, číry, jasný
Bod tuhnutia	- 12 °C
Bod vzplanutia v otvorenom tégliku	> 220 °C
Hustota	863 kg·m^{-3} (15 °C)
Dynamická viskozita	118 mPa.s (20 °C)
Kinematická viskozita	47,8 mm^2·s^{-1} (40 °C)

Tento stroj sa používa zriedkavo a jeho prevodový olej je starý päť rokov a má odpracovaných len približne 300 Mth. Posledná vzorka nového prevodového oleja je čírej

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

priehľadnej (bezfarebnej) farby a jedná sa o nový nepoužitý prevodový olej MOL WO M46. Tento olej môžeme nájsť uvedený ako hydraulický olej alebo aj medicínsky biely olej, pretože je chemicky neutrálny, bezpečný, nie je agresívny pri priamom kontakte so živým organizmom a má viacero možností použitia. Jedno z odvetví jeho použitia je aj použitie vo výrobe materiálov alebo kozmetiky, teda napríklad na mazanie prevodových mechanizmov šijacích strojov (SLOVNAFT, 2021). V *Tab. 2* môžeme vidieť typické hodnoty vlastností nového prevodového oleja udávaného výrobcom.

Merania budeme uskutočňovať na dvoch meracích zariadeniach. Dynamickú viskozitu, šmykovú rýchlosť a šmykové napätie budeme určovať na viskozimetri BROOKFIELD DV2T. Hustotu určime na zariadení METTLER TOLEDO DM40. Merania viskozity budeme aplikovať v rozmedzí teplôt (5 – 60) °C. Merania hustoty budeme aplikovať v teplotnom rozmedzí (0 – 60) °C. Hodnoty dynamickej viskozity a hustoty budeme zaznamenávať po každých 5 °C. Tokové krivky si určíme z nameraných hodnôt šmykovej rýchlosti a šmykového napätia pri teplote 40 °C. Na záver si stanovíme kinematickú viskozitu pri teplote 40°C, kvôli jednoduchému porovnaniu. Teplota 40 °C je hodnota, pri ktorej uvádzajú kinematickú viskozitu aj výrobcovia nami meraných olejov.

Zariadenie BROOKFIELD DV2TLV je rotačný viskozimeter, ktorý okrem merania dynamickej viskozity meria aj šmykovú rýchlosť a šmykové napätie. Meranie prebieha pri nami zvolenej rýchlosti. Túto rýchlosť sme museli nastaviť tak, aby bola účinnosť krútiaceho momentu v rozmedzí (10 – 90) %. Nami použitý viskozimeter bol vybavený o klimatizačnú jednotku, ktorá nám zabezpečovala presnú zmenu teploty na nami zvolenú hodnotu. Merania sme zrealizovali dva krát, pričom z nameraných hodnôt sme vypočítali aritmetický priemer.

Zariadenie METTLER TOLEDO DM40 je hustomer na presné meranie hustoty. Zariadenie je poloautomatické, vloženú vzorku samo zohrieva na nami zvolenú teplotu. Pre dosiahnutie vyššej presnosti sme meranie každej vzorky uskutočnili dva krát, pričom sme z nameraných hodnôt vypočítali aritmetický priemer.

Pri zostrojovaní grafov sme použili nasledovné matematicky vyjadrené závislosti:

a) Pri závislosti dynamickej viskozity od teploty sme aplikovali klesajúcu exponenciálnu závislosť.

$$\eta = M\, e^{-N\left(\frac{t}{t_0}\right)} \tag{1}$$

Kde: M, N sú koeficienty regresnej rovnice (mPa·s; 1); η je dynamická viskozita (mPa·s); t_0 je 1 °C, t je teplota (°C).
Where: M, N are coefficients of regression equation (mPa·s; 1); η is dynamic viscosity (mPa·s); t_0 is 1 °C; t is temperature (°C).

b) Pri teplotnej závislosti hustoty sme použili klesajúcu lineárnu závislosť.

$$\rho = -K\left(\frac{t}{t_0}\right) + L \tag{2}$$

Kde: K, L sú koeficienty regresnej rovnice (kg·m^{-3}); ρ je hustota (kg·m^{-3}).
Where: K, L are coefficients of regression equation (kg·m^{-3}); ρ is density (kg·m^{-3}).

c) Pri závislosti šmykového (tangenciálneho) napätia od šmykovej rýchlosti, teda tokových krivkách použijeme rastúcu lineárnu závislosť.

$$\tau = P\,D + Q \tag{3}$$

Kde: P, Q sú koeficienty regresnej rovnice (Pa·s; Pa); τ je tangenciálne (šmykové) napätie (Pa); D je šmyková rýchlosť (s^{-1}).
Where: P, Q are coefficients od regression equation (Pa·s; Pa); τ is tangential (shear) stress (Pa); D is shear rate (s^{-1}).

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

d) Pre stanovenie kinematickej viskozity ν sme použili definičný vzťah:

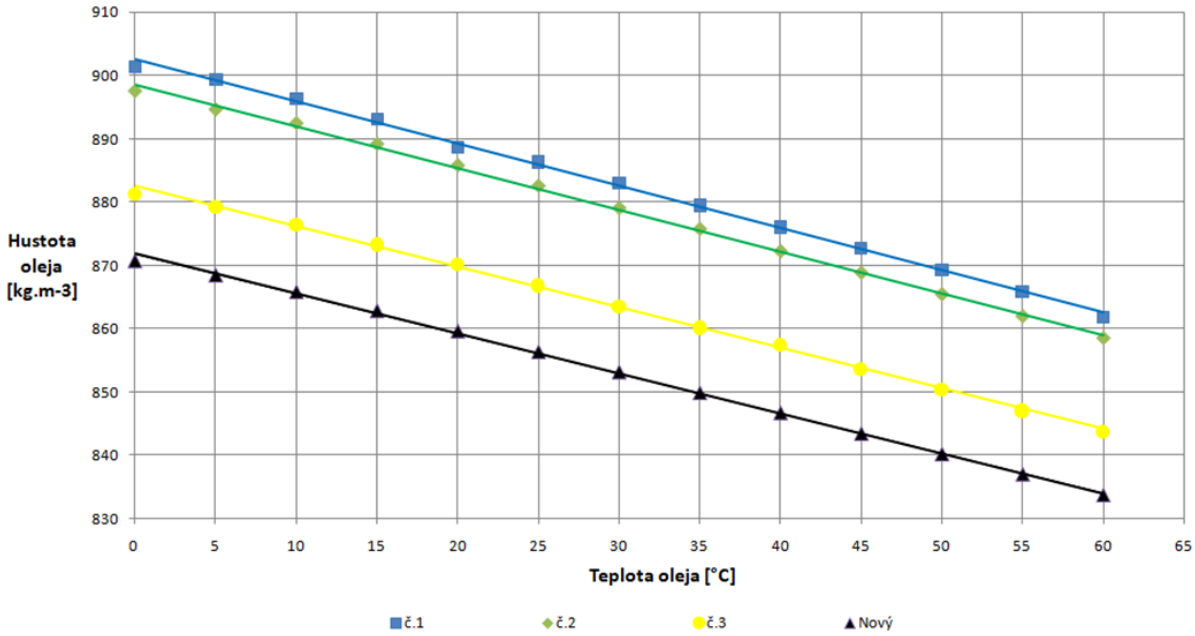
$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \tag{4}$$

(Hlaváč et al., 2019; Melicher, 2021).

3 Výsledky a diskusia

Prevodové oleje pre šijacie stroje sme najskôr podrobili meraniu hustoty. Na *Obr. 2* môžeme vidieť, že použité oleje majú na prvý pohľad väčšiu hustotu ako nový prevodový olej pri rovnakej teplote.

Šijacie stroje sa v praxi používajú pri izbovej teploty okolia t.j. 20 °C. Pracovná teplota prevodových olejov šijacích strojov závisí od samotného šijacieho stroja, prevedenia mazacej sústavy, množstva prevodového oleja a intenzity používania stroja. Pracovná teplota sa teda pohybuje v rozmedzí od 20 °C do 50 °C. Hustotu prevodových olejov šijacích strojov sme merali aj v nižších (extrémnejších) teplotách, aby sme vedeli pozorovať väčšie zmeny závislosti hustoty od teploty. Na grafe závislosti hustoty od teploty oleja šijacích strojov (*Obr. 2*) možno vidieť, že prevodové oleje šijacích strojov pri teplote 0 °C sú podstatne hustejšie ako pri ich pracovnej teplote. Vzorka č. 1, ktorá bola používaná 2 roky a odpracovala približne 4000 Mth, je zjavne najhustejšia a pri teplote 20 °C mala hustotu 888,75 kg·m^{-3}, čo je o 29,1 kg·m^{-3} viac oproti nameranej hodnote nového prevodového oleja. Vzorka č. 2 sa veľmi priblížila vzorke č. 1, avšak stále má pri teplote 20 °C o 2,95 kg·m^{-3}menšiu hustotu ako vzorka č. 1 a o 26,15 kg·m^{-3} väčšiu hustotu ako má nová vzorka oleja. Vzorka č. 2 bola pritom používaná 1 rok a odpracovala približne 2000 Mth.



Obr. 2 Graf závislosti hustoty od teploty oleja
Fig. 2 Graphical dependency of density on oil temperature

Vzorka šijacieho prevodového oleja č. 3 je najdlhšie používaný prevodový olej z našich meraných vzoriek. Tento prevodový olej bol 5 rokov používaný, avšak s malou intenzitou a má odpracovaných len 300 Mth. Jeho hustota sa však prekvapivo rapídne nezmenila. Prevodový olej č. 3 má pri teplote 20 °C hustotu 870,2 kg·m^{-3}, čo je len

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

o 10,55 kg·m^{-3} viac ako vzorka nového nami meraného šijacieho prevodového oleja. Vzorky použitého prevodového oleja sú hustejšie kvôli degradácií oleja a strate ich fyzikálnych vlastností avšak najmä kvôli prítomným nečistotám v hlavne v podobe prachu, keďže šijacie stroje pracujú vo veľmi prašnom prostredí (König – Birg, 2011).

Novú vzorku šijacieho prevodového oleja sme porovnali s údajmi od výrobcu. Podľa výrobcu má mať nový nepoužitý prevodový olej pri teplote 15 °C hustotu 863 kg·m^{-3} (SLOVNAFT, 2021), pričom nami nameraná hodnota hustoty pri rovnakej teplote je 862,85 kg·m^{-3}. Rozdiel predstavuje len 0,15 kg·m^{-3}, čo je menej než 0,2 % hodnoty hustoty nového prevodového oleja.

Rozdiel v hustote môžeme pozorovať na *Obr. 2*, kde je možné vidieť, že závislosť hustoty od teploty má lineárnu klesajúcu tendenciu vyjadrenú pomocou regresnej rovnice (2). Totožný typ závislosti použili v článku aj autori (Thomas et al., 2015; Hlaváč et. al.,2019). Koeficienty regresnej rovnice (2) a koeficienty determinácie sú v *Tab. 3*.

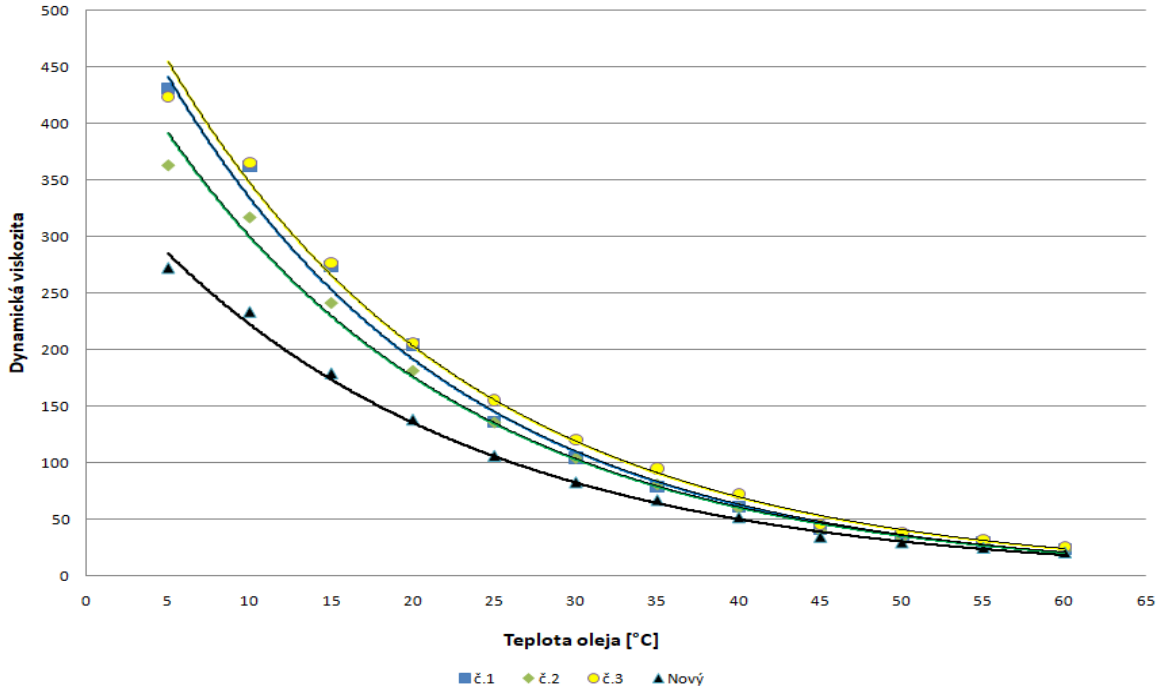
Tab. 3 Koeficienty regresnej rovnice (2) a koeficienty determinácie
Tab. 3 Coefficients of regression equation (2) and coefficients of determination

Vzorka	Koeficienty		
	K (kg·m^{-3})	L (kg·m^{-3})	R^2
Č. 1	0,668	902,6	0,998
Č. 2	0,658	898,5	0,998
Č. 3	0,639	882,6	0,998
Nový	0,630	871,8	0,998

Ďalší meraný parameter bola dynamická viskozita prevodových olejov šijacích strojov. Z nameraných hodnôt sme zostrojili graf závislosti dynamickej viskozity od teploty olejov (*Obr. 3*). Z grafu je na prvý pohľad vidieť, že nami merané prevodové oleje majú pri teplote 5 °C najväčšiu dynamickú viskozitu.

Najväčšie hodnoty dosahuje vzorka č. 1 spolu so vzorkou č. 3. Napríklad pri teplote 5 °C je dynamická viskozita vzorky č. 1 je 430,2 mPa · s a vzorky č. 3 je 423 mPa · s., čo je oproti novému oleju dosť veľký rozdiel. Nový prevodový olej má dynamickú viskozitu pri teplote 5 °C 272 mPa · s. Vzorka č. 1 má rozdiel dynamickej viskozity oproti novému oleju až o 158,2 mPa · s a vzorka č. 3 rovných 151 mPa · s. Keďže vzorka č. 3 má odpracovaných len 300 Mth, z toho nám vyplýva, že túto odchýlku spôsobil práve vek tohto prevodového oleja. Prekvapivo má vzorka č. 2 menšie hodnoty dynamickej viskozity ako sme očakávali. Pravdepodobne je to spôsobené tým, že vzorka č. 2 je vymenená správne podľa predpísaného časového intervalu, teda po jednom roku. Ďalej sme hodnoty dynamickej viskozity nového prevodového oleja porovnali s údajom od výrobcu, ktorá je 118 mPa · s, čo je o 20 mPa · s menej ako sme namerali pri teplote 20 °C. Avšak pri vyšších teplotách boli rozdiely týchto medzi dynamickými viskozitami menšie. Tieto odchýlky mohlo zapríčiniť skladovanie nového oleja vo väčšom množstve v nie dokonale uzatvorenej nádobe v organizácií, ktorá nám poskytla vzorku. Závislosť dynamickej viskozity od teploty popisuje klesajúca exponenciálna funkcia (1), ktorú možno vidieť na Obr. 3. Zhodný typ závislosti aplikovali aj autori (Kumbár – Nedomová, 2015; Hlaváč et. al.,2019). V Tab. 4 sú zobrazené koeficienty regresnej rovnice a koeficienty determinácie pre všetky vzorky prevodových olejov šijacích strojov.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 3 Graf závislosti dynamickej viskozity od teploty oleja
Fig. 3 Graphical dependency of dynamic viscosity on oil temperature

Tab. 4 Koeficienty regresnej rovnice (1) a koeficienty determinácie
Tab. 4 Coefficients of regression equation (1) and coefficients of determination

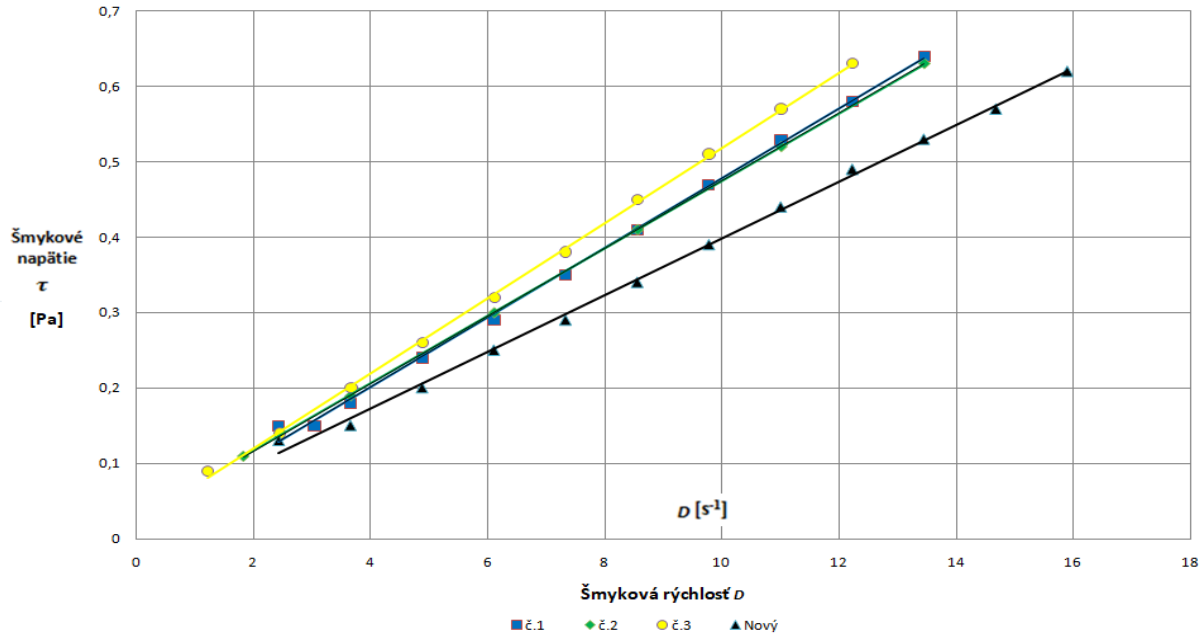
Vzorka	Koeficienty		
	M (mPa·s)	N (1)	R^2
Č. 1	581,8	0,05	0,993
Č. 2	510,3	0,05	0,995
Č. 3	594,0	0,05	0,995
Nový	365,3	0,04	0,995

Pre stanovenie tokových kriviek sme museli odmerať šmykové napätie a šmykovú rýchlosť každej vzorky oleja. Meranie sme uskutočnili pri teplote 40 °C. Hodnoty sme zaznamenávali pri zmene rýchlosti otáčania meracej sondy, pričom krútiaci moment sme udržovali z rozmedzí (10 – 90) %. Z nameraných hodnôt sme zostrojili tokové krivky, ktoré možno vidieť na *Obr. 4*. Vzorka nového prevodového oleja má iný charakter rastu šmykového napätia od šmykovej rýchlosti ako vzorky č. 1, č. 2 a č. 3. Hodnoty šmykovej rýchlosti a šmykového napätia použitých vzoriek prevodových olejov sú veľmi podobné. Podľa grafu môžeme dedukovať, že tokové krivky všetkých meraných vzoriek prevodových olejov šijacích strojov majú lineárny rastúci charakter, čo znamená, že sú to newtonovské kvapaliny (Melicher, 2021). Koeficienty regresnej rovnice (3) aj s koeficientmi determinácie sú pre graf tokových kriviek znázornené v *Tab. 5* . Pri regresnej rovnici je koeficient P adekvátny hodnotám dynamickej viskozity.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Tab. 5 Koeficienty regresnej rovnice (3) a koeficienty determinácie
Tab. 5 Coefficients of regression equation (3) and coefficients of determination

Vzorka	Koeficienty		
	P (Pa·s)	Q (Pa)	R^2
Č.1	0,046	0,016	0,997
Č.2	0,044	0,026	1
Č.3	0,049	0,02	0,999
Nový	0,037	0,021	0,998



Obr. 4 Tokové krivky pri teplote 40 °C
Fig. 4 Flow curves at the temperature 40 °C

4 Záver

V rámci úvodnej časti sme popísali prevodové oleje a určili ich význam. Zhodnotili sme výhody a nevýhody prevodových mazív, požiadavky pre prevodové oleje a spomenuli sme nečistoty v prevodových olejoch. K dosiahnutiu výsledkov tejto práce bolo potrebné odmerať šmykovú rýchlosť, šmykové napätie, hustotu a dynamickú viskozitu meraných vzoriek prevodových olejov šijacích strojov. K dispozícii sme mali štyri vzorky prevodových olejov, z toho tri vzorky použitého a jednu vzorku nového prevodového oleja MOL WO M46.

Z nameraných hodnôt sme zostrojili graf závislosti hustoty od teploty prevodového oleja. Hodnota hustoty klesajú lineárne s rastúcou teplotou, pričom táto závislosť je vyjadrená pomocou regresnej rovnice (Thomas et al.,2015; Hlaváč et al., 2019). Koeficient determinácie bol pre hustotu pri všetkých prevodových olejov 0,998, čo predstavuje vysokú závislosť od teploty. Výsledky ukázali, že použité oleje mali väčšiu hustotu, ale aj dynamickú viskozitu ako nový nepoužitý prevodový olej v celom rozsahu teplôt. Grafickú závislosť dynamickej viskozity od teploty sme modelovali klesajúcou exponenciálnou funkciou, čo e v súlade s autormi (Kumbár – Nedomová, 2015; Hlaváč et al., 2019). Dynamická viskozita sa pri vyššej teplote líšila len o niekoľko jednotiek mPa · s. Hodnotu dynamickej viskozity nového prevodového oleja sme porovnali s údajom od výrobcu a zistili sme, že pri teplote 20 °C je

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

rozdiel 20 mPa · s. Avšak pri vyšších teplotách bol rozdiel medzi hodnotami dynamických viskozít menší. Pri porovnaní kinematickej viskozity nového prevodového oleja s údajmi od výrobcu, sme zistili, že vypočítaná kinematická viskozita bola takmer o 10,6 $mm^2 \cdot s^{-1}$ väčšia ako udáva výrobca. Túto odchýlku mohlo zapríčiniť skladovanie nového oleja vo väčšom množstve v nie dokonale uzatvorenej nádobe v organizácií, ktorá nám poskytla vzorku. Grafy tokových kriviek prevodových olejov šijacích strojov majú lineárny rastúci charakter, čo znamená, že všetky merané vzorky olejov sú newtonovské kvapaliny (Hlaváč et al., 2019). Výsledky tejto práce by mohli byť použité pri stanovovaní vhodného termínu výmeny prevodových olejov šijacích strojov alebo iných výrobných zariadení.

V rámci ďalšieho výskumu by bolo možné zanalyzovať vlastnosti mazív z iných rotačných strojových komponentov.

5 Literatúra

BOCK, W. 2014. Machine Tool Lubrication. In Mang, T. (eds) Encyclopedia of Lubricants and Lubrication. Springer, Berlin, Heidelberg 2014, pp. 1099 - 1105. ISSN 978-3-642-22647-2.

CHEN, Z. – JIANG, Y. – LI, S. – TONG, Z. – TONG, S. - TANG, N. 2023. Uncertainty propagation of correlated lubricant properties in gear tribodynamic system. In Tribology International, 2023, vol. 179. ISSN 0301-679X.

GARZA, G. – HERNÁNDES, I. 2019. Improvement of Productivity in Hydraulic Systems with servomechanisms. In Procedia Manufacturing, 2019, vol. 41, pp. 779 – 786. ISSN 2351-9789.

HLAVÁČ, P. – BOŽIKOVÁ, M. – PETROVIĆ, A. 2019. Selected physical properties assessment of sunflower and olive oils. In Acta Technologica Agriculturae, vol.22, No. 3, pp. 86-91. ISSN 1335-2555.

KUMBÁR, V. – NEDOMOVÁ, Š. 2015. Viscosity and analytical differences between raw milk and UHT milk of Czech cows. In Scientia Agriculturae Bohemica, vol. 46, no.2, pp. 78 – 83. DOI: 10.1515/sab-2015-0020.

KÖNIG – BIRK, J. 2011. Filter testing: Particle countries for hydraulic and lubricating oils. In FIltration + Sepuration, vol. 48, no. 3, pp. 33 – 36. ISSN 0015-1882.

MARKO, M. – DROPPA, P. – ŠTIAVNICKÝ, M. – PAVLOV, Š. 2014. Vlastnosti a tribodiagnostika mazív v prevádzke motorových vozidiel [online] [cit. 2023-3-16]. In BULLETIN č.6, 218 s. Dostupné na: <http://ak.aos.sk/images/dokumenty/e-knihy/MM-KTS/vatm.pdf>.

MELICHER, M. 2021. Určenie tokových kriviek prevodového oleja : bakalárska práca. SPU Nitra, 2021. 53s.

PATNAIK, A. – TEJ, S. – VIKAS, K. 2021. Tribology in Materials and Manufacturing - Wear, Friction and Lubrication. IntechOpen London, 2021, pp 346. ISBN 978-1-83881-899-9

RANA, P. 2010. Real-time lubricant ageing analysis : Master thesis, Luleå University of Technology,2010, 69s. ISSN 1402-1617.

SLOVNAFT, 2021. MOL WO M 46 [online]. Aktualizované 2021 [cit. 2023-3-16]. Dostupné na: < https://slovnaft.sk/images/content/LUB_repo/TDS_MOL%20WO%20M%2046_SK.pdf>.

THOMAS, M. J. – BRAMBLETT, K. A. – GREEN, B. D. – WEST, K. N. 2015. Thermophysical and absorption properties of brominated vegetable oil. In Journal of Molecular Liquids, Vol. 211, p. 647 – 655, ISSN 0167-7322.

VASISHTH, A. – KUCHHAL, P. – ANAND G. 2014. Study of Rheological Properties of Industrial Lubricants. In Conference Papers in Science, vol. 2014, pp 5 . Article ID 324615. Dostupné na: < https://www.hindawi.com/journals/cpis/2014/324615/>.

Súhrn

Cieľom článku je stanovenie reologických vlastností vybraných prevodových olejov šijacích strojov. V úvode sme popísali rozdelenie, základné vlastnosti a znečistenie prevodových olejov. Nasledovne sme charakterizovali meracie zariadenia (viskozimeter a hustomer) a metódy merania. Opísali sme si meracie zariadenia (viskozimeter a hustomer). Meranie sme zrealizovali v teplotnom intervale (5 – 60) °C s krokom 5 °C. Počas merania sme pre vzorky olejov získali hodnoty hustoty, dynamickej viskozity, šmykového napätia a šmykovej rýchlosti. Následne sme pomocou nameraných údajov vypočítali kinematickú viskozitu a zostrojili príslušné grafické závislostí. Pri jednotlivých vzorkách sme získané údaje reologických vlastností vzájomne porovnali. Zistili sme, že použité vzorky prevodových olejov majú väčšiu hustotu, kvôli prítomným nečistotám v oleji. Ďalej sme zistili, že dynamická viskozita použitých vzoriek je tiež väčšia, čo môže byť spôsobené termickou a oxidačnou degradáciou týchto olejov. V závere sme pomocou tokových kriviek overili, že skúmané prevodové oleje sú newtonovské kvapaliny.

Kľúčové slová: prevodové oleje, dynamická viskozita, kinematická viskozita, hustota, šmykové napätie, šmyková rýchlosť, tokové krivky, teplota

Poďakovanie

Rád by som poďakoval svojmu školiteľovi doc. Mgr. Petrovi Hlaváčovi, PhD. za jeho vynaložené úsilie a taktiež za jeho poznatky, ktoré mi pomohli pri písaní tejto práce. Taktiež by som sa chcel poďakovať výrobným organizáciám, ktoré mi poskytli vzorky prevodových olejov. Záverečná práca bola vypracovaná s podporou Výskumného centra AgroBioTech vybudovaného v rámci projektu Vybudovanie výskumného centra „AgrobioTech" ITMS 26220220180.

OMNIWHEEL AUTÍČKO / OMNIWHEEL CAR

MARKO OLEXA, ŠIMON VLČÁK

Abstract

This article discusses the Omniwheel and Mecanum systems, providing clear definitions of their basic properties, advantages, and disadvantages, as well as a schematic descri ption of their application. Based on a comparison between these two systems, a suitable type of wheel was chosen, which was subsequently created using a 3D printer. The Arduino, H-bridges, and motors were then connected. These actions were followed by programming the Arduino in the Arduino IDE programming language, which is similar to the C++ programming language. Furthermore, a functionality test was carried out to eliminate any possible errors and shortcomings in the program. The importance of using these systems lies in the field of logistics, as they facilitate the control of truck movement and eliminate the space required for turning or changing the direction of travel when handling loads. Applying a large number of such wheels to a conveyor belt allows smooth, uninterrupted handling of cargo in all directions. This makes it possible to achieve precise storage at the designated sorting position.

Key words: Omniwheel, Mecanum, roller

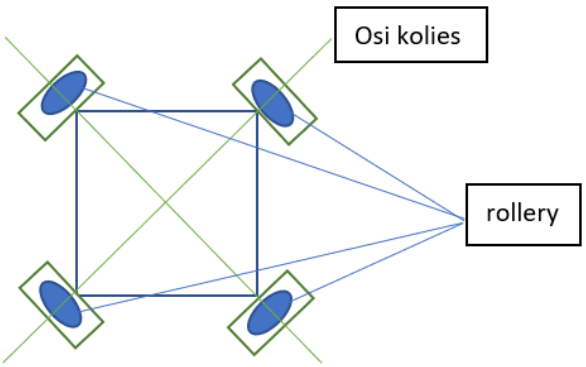
1 Úvod

V súčasnosti sa v mnohých logistických firmách rieši otázka transportu nákladu na presne určené miesto. Realizácia prebieha používaním manipulačných vozíkov a dopravných pásov. Komfortný pohyb je dôležitý aj pre zdravotne znevýhodnených ľudí na vozíčku, ktorí vďaka Omniwheel kolesám môžu vykonávať pohyb priamo do všetkých smerov bez komplikovaného prerušovania pohybu z dôvodu nadchádzania. Bežné kolesá sú viac namáhané z dôvodu záťaže a vysokého trenia. Tento fakt je potrebné riešiť a tento článok ponúka opis možnosti danej problematiky.

2 Materiál a metódy

Prvým krokom je vhodné zvolenie uplatnenej metódy a teda rozhodnutie medzi Omniwheel a Mecanum. V prípade použitia Omniwheel, kolesá musia byť otočené o 45 stupňov.

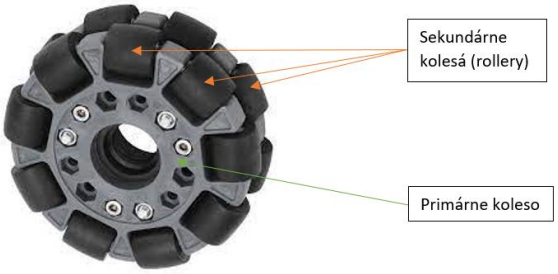
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 1 Schéma Omniwheel

Fig. 1 Scheme of omniwheel

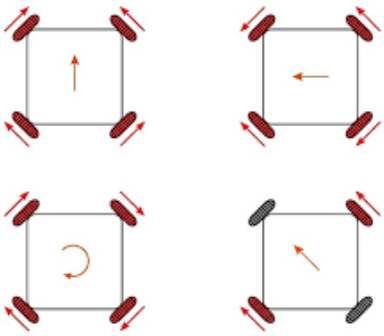
Omniwheel je koleso s cylindrami (rollery) po jeho obvode umožňujú kolesu sa pohybovať do všetkých strán. Rollery sú na tomto autíčku počas pohybu neustále využívané. Pri hladkých povrchoch nemajú kolesá dostatok trenia a pohyb auta neprebieha priamo. Taktiež ochádza k opotrebeniu rollerov pri každom smere.



Obr. 2 Omniwheel koleso

Fig. 2 Omniwheel wheel

Pre daný cieľ je vhodná aplikácia 4 kolesá, ale tu na rozdiel od normálnych ovládacích autíčok musia byť pootočené o 45°.



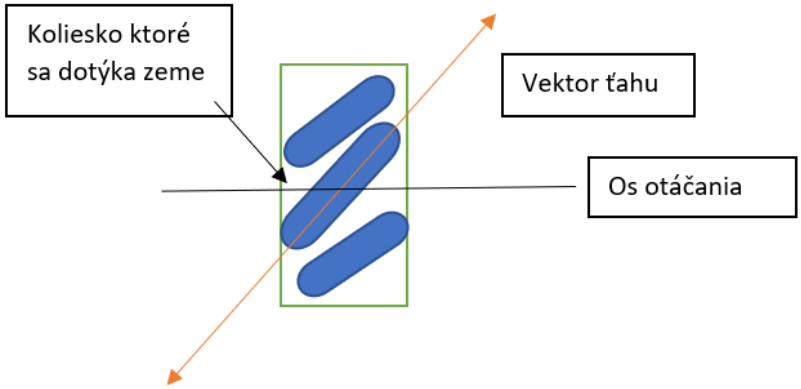
Obr. 3 Aplikácia Omniwheel kolies v sérií po 4

Fig. 3 Apliacation of omniwheels in series of 4

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

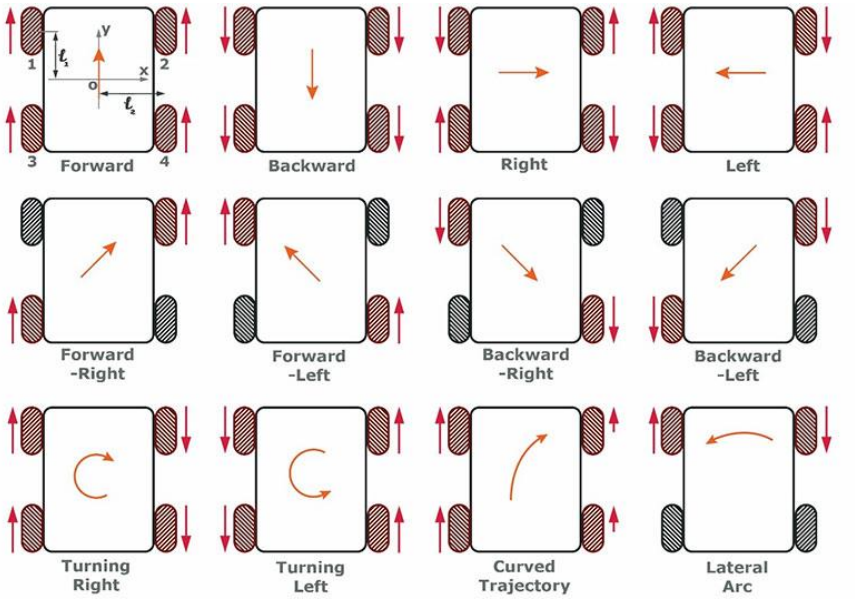
Môžu byť poháňané primárne aj sekundárne kolesá, ale vyžaduje to zložitý mechanizmus.

Mecanum je podobné ako Omniwheel, ale má vonkajšie kolesá otočené tak aby bolo pri kontakte zo zemou otočené o 45° na os otáčania stredového kolesa. Používa sa v sústave po 4 kolesá kde každé koleso má vlastný vektor otočený o 45° na os otáčania.



Obr. 4 Vektory ťahu Mecanum kolesa

Fig. 4 Drag vectors of mecanum wheel



Obr. 5 Aplikácia Mecanum kolies

Fig. 5 Application of mecanum wheels

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Tab. 1 Tab. 1 Porovnanie vlastností Mecanum a Omniwheel
Tab. 2 Tab. 1 Properties comparation of mecanum and omniwheel

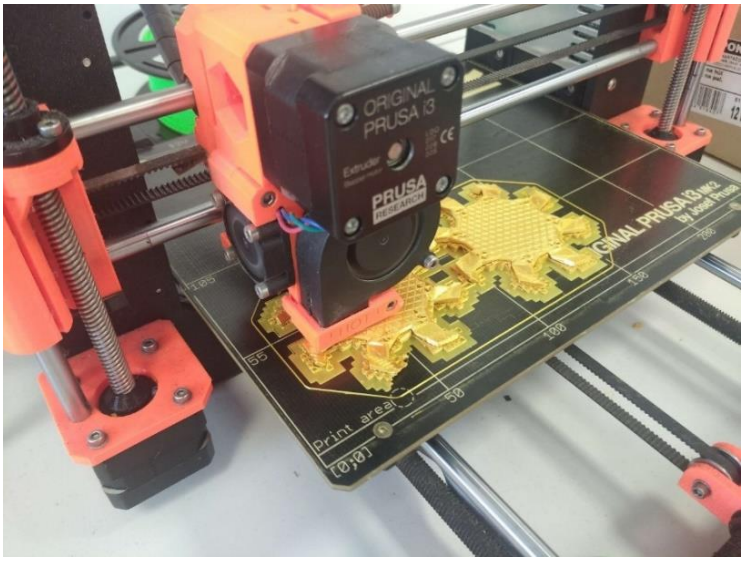
Vlastnosť	Mecanum	Omniwheel
Efektivita	Má viac praktických využití	X
Nákladnosť	X	Je veľmi jednoduché na výrobu a lacnejšie
Trenie	X	Pri otáčaní je stále v kontakte zo zemou
Pevnosť	Menej sa zaťažuje pri točení kolies	X

3 Výsledky a diskusia

Mecanum vyhovuje pre požadovaný cieľ viac, pretože rollery sa využívajú len pri otáčaní a pohybe do bokov. Osi Mecanum kolies v tomto prípade musia byť otočené v pravom uhle zo stranami autíčka.

Po uplatnení metodiky možno pristúpiť k realizácii. Na modelovanie súčiastok bol zvolený program Blender. Tento program má viac možností modelovania detailov a umožňuje rýchlejšiu prácu v porovnaní s inými programami.

Hotové koliesko sa dá z Blenderu konvertovať priamo na .stl súbor ktorú slicer neskôr spracuje na Gcode. Ten 3d tlačiareň použije na vytlačenie súčiastok na kolesá.



Obr. 6 Tlač kolieska na 3D tlačiarni

Fig. 6 3D Printing of wheel

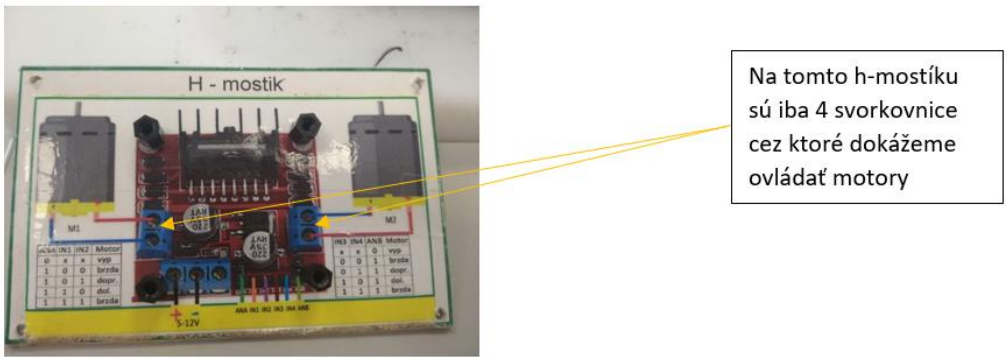
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 7 Výsledný produkt - hotové koliesko vyrobené pomocou 3D tlačiarne

Fig. 7 Final product - finished wheel created by 3d printer

Následne možno pristúpiť k zrealizovaniu návrhu zapojenia autíčka.



Obr. 8 H-mostík

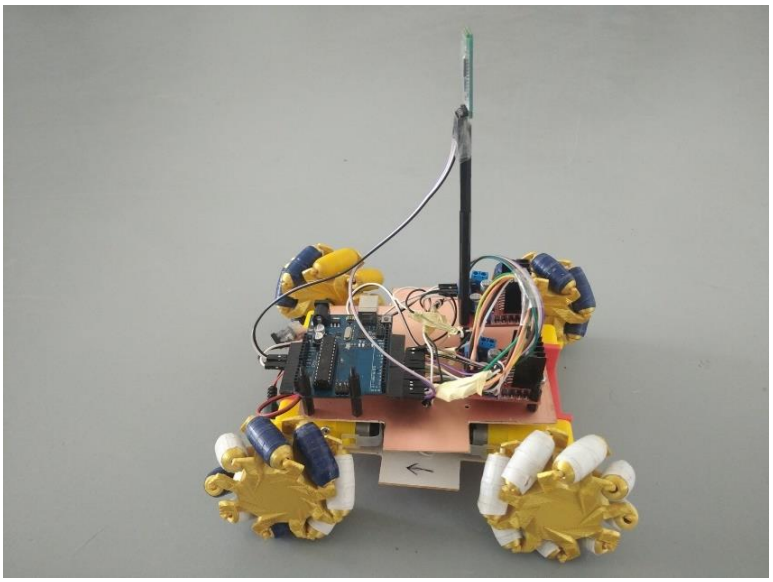
Fig. 8 H-bridge

Arduino, mostíky a Bluetooth modul sú napájané z batérií. Arduino prijíma a spracúva informácie z mobilného telefónu cez Bluetooth a ovláda dva mostíky. Vždy jeden mostík na dva motory.

Od navrhnutého kolieska a zapojenia sa neskôr odvíja tvar a veľkosť podvozku.

V ďalšej fáze je potrebné zapojiť a naprogramovať arduino na autíčku a vykonať skúšku funkčnosti.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 9 Zhotovené autíčko
Fig. 9 Finished car

4 Záver

Cieľom tejto práce bolo vytvoriť vhodný systém pohybu autíčka tak, aby bol jednoducho aplikovateľný či už v logistike alebo v bežnom živote. Porovnávané boli dva typy kolies Omniwheel a Mecanum. Vhodným výberom sa zamedzilo opotrebeniu, zaistilo sa, že rollery budú vyosené v obvode kolesa o 45stupňov a tak budú správne zaberať aj na hladkých povrchoch a bude vykonávaný priamy pohyb. Výsledným produktom tejto činnosti je prototyp autíčka aplikovateľného v oblastiach ktoré sú limitované malým priestorom pre otáčanie. Tento problém sa častokrát rieši v stiesnených a preplnených skladoch. Taktiež umožňuje parkovanie priamo do boku bez zložitého a opakovaného nadchádzania. Vďaka tomu možno dosiahnuť úsporu času a priestoru. Pri porovnávaní sa zistila nevýhoda Omniwheelu z dôvodu neustáleho opotrebovania rollerov. Z tohto dôvodu Mecanum bolo výhodnejšie, vďaka tomu, že nedochádza k zbytočnému opotrebeniu pri hlavnom pohybe dopredu a dozadu. Taktiež vhodným použitím materiálu možno zvýšiť trenie a tým spresniť manipuláciu ktorú chceme dosiahnuť. Rozhodujúci je taktiež tvar a rozmiestnenie rollerov a samozrejme aj ich počet. Správny tvar rollerov zaisťuje stály kontakt so zemou, znižuje kmitanie. Vhodné umiestnenie zvyšuje nosnosť keďže sa dotýkajú 4 rollery zeme a váha sa rozloží na viacero kolies.

5 Literatúra

Essential Electronics - H-bridge Motor Controller [online 2023-10-03]. Dostupné na: <https://toshiba.semicon-storage.com/eu/semiconductor/design-development/innovationcentre/articles/tcm0587_TB67H450.html

HANS, Moravec. 1985. The Mobil Rotot Laboratory. Pittsburgh: Carncgie Mcllon University. NO00 14-81-K-0503

Kershaw, Jenai 2016. Londýnsky vynálezca nových všesmerových kolies tvrdí, že jeho prototyp je lepší ako existujúce produkty. In The London Free press [online 2023-20-03]. Dostupné na: <http:// https://lfpress.com/2016/03/29/london-inventor-of-new-omni-directional-wheels-says-his-prototype-is-better-than-existing-products >.

PODNAR, Gregg W. (1985). "The URANUS Mobile Robot" (PDF). Autonomous Mobile Robots Annual Report 1985, Mobile Robot Laboratory (CM U-KI-TK-86-4): 127–129. Archived (PDF) from the original on 2008-12-03.

Súhrn

Tento článok rieši problematiku systému Omniwheel a Mecnaum. Podáva jasné definície ich základných vlastností, výhod a nevýhod, schématický popis ich aplikácie. Na základe ich porovnania došlo k zvoleniu vhodného typu kolesies, ktoré boli následne vytvorené prostredníctvom 3D tlačiarne. Následne bolo prevedené zapojenie Arduina, H-mostíkov a motorčekov. Po týchto úkonoch nasledovalo programovanie Arduina v programovacom jazyku Arduino IDE ktorý sa podobá programovaciemu jazyku C++. Ďalej prebehol test funkčnosti a odstránili sa prípadné chyby a nedostatky v programe. Význam využitia spočíva v oblasti logistiky. Prejavuje sa v uľahčení ovládania pohybu vozíka, vďaka čomu eliminuje priestor potrebný pre otáčanie, zmenu smeru jazdy pri manipulácií s nákladom. Aplikácia veľkého počtu takýchto kolies na dopravný pás umožňuje hladkú priamu manipuláciu nákladu do všetkých smerov bez prerušovania. Vďaka tomu možno dosiahnuť presné ukladanie na danú triediacu pozíciu.

Kľúčové slová: Omniwheel, Mecanum, roller

Poďakovanie patrí pedagogickým zamestnancom SSOŠP DSA za odborné rady a pripomienky počas výskumu.

NÁVRH SNÍMAČA UHLA ZALOMENIA PASÍVNEHO PRÍVESNÉHO VOZÍKA
DESIGN OF PASSIVE TRAILER ROLLER ANGLE SENSOR

JÁN ORŠULA[1] – VLADIMÍR CVIKLOVIČ[2]

Abstract

This contribution is focused on designing a roll angle sensor for a passive trailer. Using the researched issue, electronic components and software equipment, the task is to build a sensor that can measure the required data. The main part of this system is the Ultra compact high performance e-compass LSM303DLHC, which contains the 3D accelerometer and the 3D compass. By connecting these sensors, the measured data can be further used to calculate two heading angles. Following analysis, data recording and processing in the MATLAB environment, we can create a program, that will use the selected data to calculate the angle between the measured objects, in our case a car and trailer.

Key words: angle, LSM303DLHC, compass, accelerometer, trailer

1 Úvod

Kritický uhol zalomenia už vo svojej podstate poukazuje na limitu. Obmedzenie vychádza z rozmerov prívesného vozíka a rozmerov vozidla, za ktoré daný vozík pripojíme. Podstatnými parametrami sú rozmery náprav vozidla a vzdialenosť bodu upevnenia vozíka od nápravy vozíka.

Uhol zalomenia môžeme v jednoduchosti definovať ako rozdiel uhlov medzi osami vozidla a prívesného vozíka. Kritický uhol zalomenia je uhol, pri ktorom nemožno zvrátiť zalomenie pasívneho prívesného vozíka pri cúvaní. V takomto prípade je nevyhnutné uhol zalomenia znížiť potiahnutím vozíka dopredu.

Cieľom práce je skonštruovať zariadenie schopné merania uhla zalomenia súpravy ťahača a pasívneho prívesného vozíka pomocou magnetometra a akcelerometra. Následne bude vytvorený program v nami zvolenom programovacom jazyku.

2 Materiál a metódy

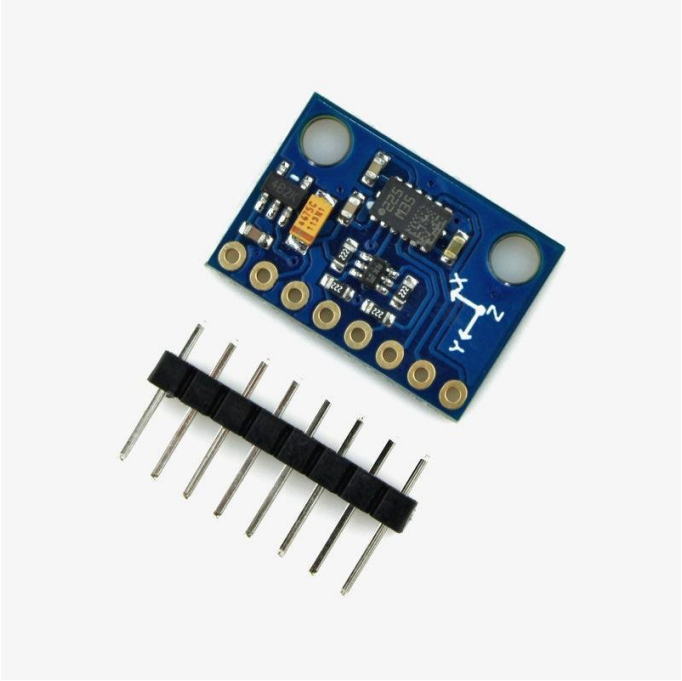
Ako prvý krok pri riešení návrhu snímača uhla zalomenia pasívneho prívesného vozíka je zvolenie potrebného modulu, ktorý obsahuje snímacie jednotky potrebné na snímanie nami magnetickej indukcie a zrýchlenia. Zvolili sme snímač LSM303DLHC. Taktiež je potrebné pri používaní prihliadnuť na vplyvy magnetických polí okolia, ktoré na snímač pôsobia, čo komplikuje celý návrh.

Pri riešení problematiky vplyvov okolia sú najdôležitejšie tzv. „soft a hard iron distortion“ (v preklade skreslenie mäkkého a tvrdého železa). Pôsobením týchto vplyvov dochádza k skresleniu nameraných hodnôt, čo narúša presnosť meraní. Zvoleným prostredím na programovanie je aplikácia MATLAB. Výhodou je priama určenosť k riešeniu

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

komplexných matematických problémov. Spísaním kódu s aplikovaním korekcií vplyv tvrdého a mäkkého železa sa vieme dopracovať k výslednému meranému uhlu.

LSM303DLHC zobrazený na *obr.1* je modul spojujúci 3D digitálny lineárny akcelerometer ktorého rozsah je ±2 g, ±4 g, ±8 g, ±16 g a 3D digitálny magnetický snímač, ktorý disponuje rozsahom ±1,3 až ±8,1 μT. Tento snímač ďalej disponuje 16-bitový výstupom, snímačom teploty, dvoma programovateľnými snímačmi na detekciu pohybu a voľného pádu, 6D a 4D detekciou orientácie. Napájanie tohto modulu sa pohybuje v rozmedzí od 2,16 do 3,6 V. Bloková schéma snímača je zobrazená na *obr. 2* (STMicroelectrics, 2010).



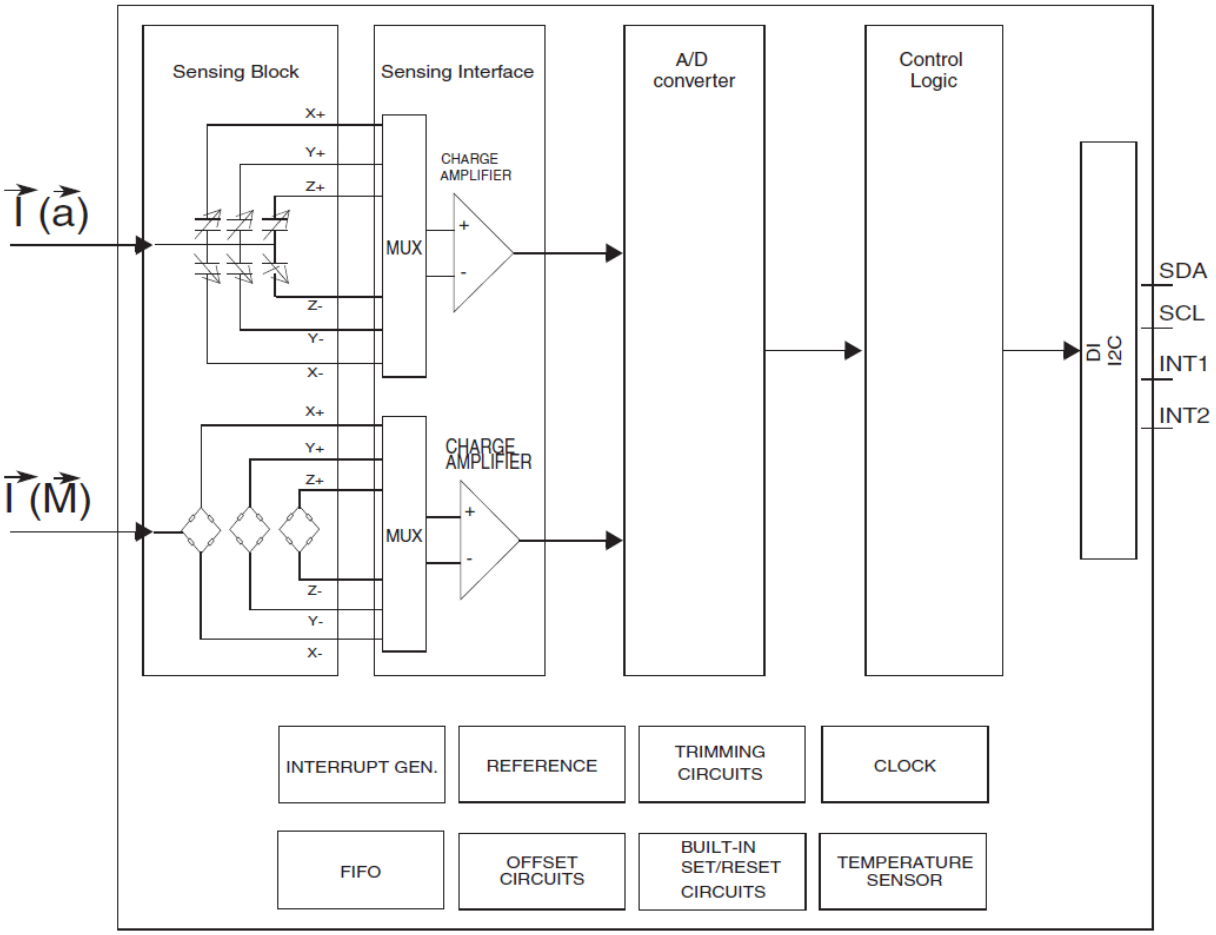
Obr. 1 Modul snímača LSM303DLHC
Fig. 1 Modul of sensor LSM303DLHC

Bod nulového g popisuje odchýlku skutočného výstupného signálu od ideálneho výstupného signálu ak nie je aplikované zrýchlenie. Snímač v ustálenom stave a na vodorovnom povrchu meria na osiach X a Y hodnotu 0 g a na osi Z hodnotu 1 g. Odchýlka od ideálnej hodnoty sa v tomto prípade nazýva posun. Posun je do určitej miery výsledkom namáhania snímača MEMS a preto sa môže odchýlka mierne zmeniť po osadení snímača na plošný spoj, ale pri vystavení rozsiahlejšiemu mechanickému namáhaniu. Odchýlka sa vplyvom teploty mení minimálne (Reinaldo Perez, 1998).

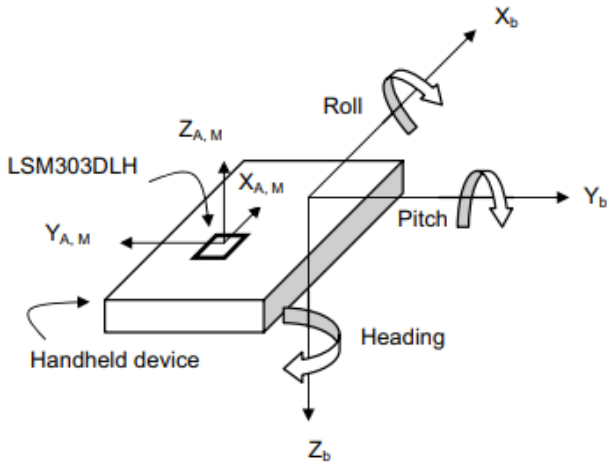
Magnetický snímač (magnetometer) je zariadenie slúžiace na meranie smeru a veľkosti magnetického poľa. Ich použitie je veľmi široké ako v bežnom živote tak aj na vedecké účely a v armáde. Magnetometer je charakterizovaný pôsobením skreslenia mäkkého a tvrdého železa. Skreslenie tvrdého železa je konštantná zložka, ktorá je pripočítaná v meraní. Dôvodom môže byť napríklad vplyv permanentného magnetu alebo posun snímača. Skreslenie mäkkého železa zahŕňa multiplikačný efekt. Odráža zmenu smeru alebo útlm vektora magnetickej indukcie. Takýto efekt môže byť spôsobený prítomnosťou kovového predmetu v bezprostrednej blízkosti snímača alebo vlastným pôsobením snímača, chybou v mierke alebo nesprávnou kalibráciou osí (STMicroelectrics, 2010).

X_b, Y_b a Z_b z *obr.3* sú osi tela snímača s konfiguráciou vpred-vpravo-dole. $X_{A,M}$, $Y_{A,M}$ a $Z_{A,M}$ sú osi akcelerometra a magnetometra. Uhol náklonu, stúpania a azimut sú referencie do lokálnej horizontálnej roviny.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 2 Bloková schéma snímača LSM303DLHC (STMicroelectrics, 2010)
Fig. 2 Block diagram of sensor LSM303DLHC (STMicroelectrics, 2010)



Obr. 3 Koordinačný systém elektronického kompasu (STMicroelectrics, 2010)
Fig. 3 Coordination system of electronic compass (STMicroelectrics, 2010)

Azimut (ψ) je definovaný ako uhol k magnetickému severnému pólu. Je vždy kladný v rozsahu 0° až +359° pri otáčaní okolo osi Z_b po smere hodinových ručičiek. Ak je potrebné upresniť smerovanie k severnému pólu je potrebné počítať so súčasnou geografickou

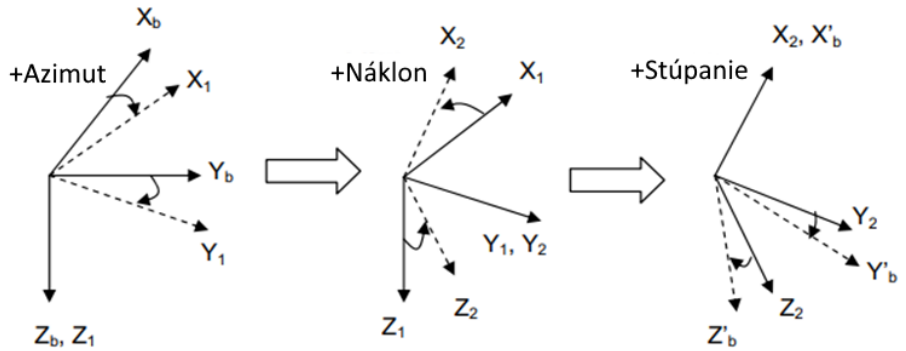
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

lokáciou. Pripočítaním alebo odpočítaním hodnôt pôsobiacich na určenom geografickom mieste získame presné smerovanie k severnému pólu.

Uhol náklonu (ρ – „pitch“) je definovaný ako uhol medzi osou X_b a horizontálnou rovinou. Funguje v rozhraní 0° až +90° pri otáčaní okolo osi Y_b s osou X_b pohybujúcou sa nahor. Ak sa os X_b pohybuje nadol, je uhol naklonenia 0° až -90°.

Uhol stúpania (γ – „roll“) je definovaný ako uhol medzi osou Y_b a horizontálnou rovinou. Má rozsah od 0° do +90° pri otáčaní okolo osi X_b s osou Y_b pohybujúcou sa nadol. Ak sa os Y_b pohybuje smerom nahor, stupeň otáčania sa pohybuje od 0° do -90° (Mark Pedley, 2013).

Keď je zariadenie v ľubovoľnej 3D polohe X'_b, Y'_b a Z'_b, existuje niekoľko rotačných procedúr na otáčanie zariadenia v rámci lokálnej úrovne X'_b, Y'_b a Z'_b (*obrázok 4*). Rôzne rotačné procedúry majú za následok rozdielne výsledky v rotačných maticiach. Najskôr otáčanie zariadenia okolo osi Z_b po smere hodinových ručičiek pod uhlom ψ z pohľadu počiatočného bodu smerom nadol. Potom pootočenie zariadenia okolo osi Y_b pod uhlom ρ s osou X_b smerujúcou nahor. Nasledovne zariadenie otočíme okolo osi X_b pod uhlom γ s osou Y_b pohybujúcou sa smerom nadol. Novými osami zariadenia sa stanú X'_b, Y'_b a Z'_b ako je ukázané na *obr. 4*.



Obr. 4 Rotačne procedúry (Mark Pedley, 2013)
Fig. 4 Rotation procedures (Mark Pedley, 2013)

Rotačné matice sú matematicky definované nasledovne:

$$R_\Psi = \begin{bmatrix} cos\Psi & sin\Psi & 0 \\ -sin\Psi & cos\Psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$R_\rho = \begin{bmatrix} cos\rho & 0 & -sin\rho \\ 0 & 1 & 0 \\ sin\rho & 0 & cos\rho \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$R_\gamma = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & cos\gamma & sin\gamma \\ 0 & -sin\gamma & cos\gamma \end{bmatrix} \quad (3)$$

Vzťahy medzi hodnotami X'_b, Y'_b a Z'_b a X_b, Y_b a Z_b sú nasledovné:

$$\begin{bmatrix} X'_b \\ Y'_b \\ Z'_b \end{bmatrix} = R_\Psi R_\rho R_\gamma \begin{bmatrix} X_b \\ Y_b \\ Z_b \end{bmatrix} = \quad (4)$$

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

$$\begin{bmatrix} cos\rho\ cos\Psi & cos\rho\ sin\Psi & -sin\rho \\ cos\Psi\ sin\rho\ sin\gamma - cos\gamma\ sin\Psi & cos\gamma\ cos\Psi + sin\rho\ sin\gamma\ sin\Psi & cos\rho\ sin\gamma \\ cos\Psi\ sin\rho\ \ cos\gamma + \ sin\gamma\ sin\Psi & -sin\gamma\ cos\Psi + \ sin\rho\ cos\gamma\ sin\Psi & cos\rho\ sin\Psi \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} X_b \\ Y_b \\ Z_b \end{bmatrix} \quad (5)$$

V lokálnej horizontálnej rovine, ako je znázornené na obrázku –hore--, $X_b = Y_b = 0$, $Z_b = +1$ g. A_x, A_y a A_z sú neupravené dáta zo snímača LSM303DLHC. Určme si hodnoty A_{x1}, A_{y1} a A_{z1} ako normalizované hodnoty po aplikácii kalibrácie akcelerometra do hodnôt A_x, A_y a A_z. takže z hodnôt A_{x1}, A_{y1} a A_{z1} sa stanú hodnoty menšie ako 1 vo vzťahu so zemskou gravitáciou (g).

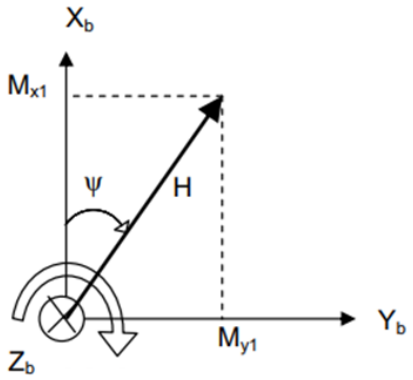
$$\begin{bmatrix} X_b \\ Y_b \\ Z_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} cos\rho\ cos\Psi & cos\rho\ sin\Psi & -sin\rho \\ cos\Psi\ sin\rho\ sin\gamma - cos\gamma\ sin\Psi & cos\gamma\ cos\Psi + sin\rho\ sin\gamma\ sin\Psi & cos\rho\ sin\gamma \\ cos\Psi\ sin\rho\ \ cos\gamma + \ sin\gamma\ sin\Psi & -sin\gamma\ cos\Psi + \ sin\rho\ cos\gamma\ sin\Psi & cos\rho\ sin\Psi \end{bmatrix} \quad (6)$$

Preto, náklon a otáčanie môžeme vypočítať ako:

$$\text{Náklon} = \rho = arcsin(-A_{x1}) \quad (7)$$

$$\text{Azimut} = \gamma = arcsin(A_{y1} / cos\rho) \quad (8)$$

Pre výpočet azimutu musíme hodnoty namerané magnetometrom normalizovať aplikovaním kalibračných parametrov a následne aplikovať kompenzáciu náklonu ako je znázornené na *obr. 5*.



Obr. 5 Výpočet smerovania kompasu (Mark Pedley, 2013)
Fig. 5 Calculation of compass heading angle (Mark Pedley, 2013)

Ak zariadenie otočíme z $X_b/Y_b/Z_b$ do $X''_b/Y''_b/Z''_b$ o stupeň pootočenia nasledovaný naklonením tak:

$$\begin{bmatrix} X_b \\ Y_b \\ Z_b \end{bmatrix} = R_\gamma^{-1} R_\rho^{-1} \begin{bmatrix} X''_b \\ Y''_b \\ Z''_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} cos\rho & 0 & sin\rho \\ sin\gamma\ sin\gamma & cos\gamma & -sin\gamma\ cos\rho \\ -cos\gamma\ sin\rho & sin\gamma & cos\gamma\ cos\rho \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} X''_b \\ Y''_b \\ Z''_b \end{bmatrix} \quad (9)$$

Určme M_{x1}, M_{y1} a M_{z1} ako normalizované dáta z magnetometra po aplikovaní kalibračných parametrov na pôvodné namerané dáta M_x, M_y a M_z na novú pozíciu $X''_b/Y''_b/Z''_b$. Dáta s kompenzáciou náklonu M_{x2}, M_{y2} a M_{z2} vypočítame ako:

$$M_{x2} = M_{x1}\ cos\rho + M_{z1}\ sin\rho \quad (11)$$

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

$$M_{y2} = M_{x1}\, sin\gamma\, sin\rho + M_{y1}\, cos\gamma - M_{z1}\, sin\gamma\, cos\rho \quad (10)$$

$$M_{z2} = -M_{x1}\, cos\rho\, sin\rho + M_{y1}\, sin\gamma + M_{z1}\, cos\gamma\, cos\rho \quad (12)$$

Z toho nasledovne:

$$Smerovanie = \Psi = arctan\,(M_{y2}/M_{x2}) \quad ,pre\, M_{x2} > 0\, a\, M_{y2} >= 0 \quad (13)$$

$$= 180° + arctan\,(M_{y2}/M_{x2}) \quad ,pre\, M_{x2} < 0 \quad (14)$$

$$= 360° + arctan\,(M_{y2}/M_{x2}) \quad ,pre\, M_{x2} > 0\, a\, M_{y2} <= 0 \quad (15)$$

$$= 90° \quad ,pre\, M_{x2} = 0\, a\, M_{y2} < 0 \quad (16)$$

$$= 270° \quad ,pre\, M_{x2} = 0\, a\, M_{y2} > 0 \quad (17)$$

Pretože akcelerometer nedokáže odlíšiť zemské gravitačné zrýchlenie od lineárneho zrýchlenia alebo uhlovej rýchlosti, rýchle pohyby môžu spôsobovať chyby v meraniach. Vo väčšine prípadov takéto zrýchlenie trvá len zanedbateľnú dobu a snímač sa vráti naspať do správnej polohy.

Kalibrované dáta B_C je zjednodušene lokálne geomagnetické pole B_r pootočené maticou R, ktorá udáva orientáciu magnetometra. Geomagnetický vektor B_r je fixný vektor v globálnom referenčnom rámci vynásobený maticou orientácie plošných spojov. R je príkladom vektorovej transformácie z globálneho systému do súradnicového systému snímača:

$$B_C = RB_r \quad (18)$$

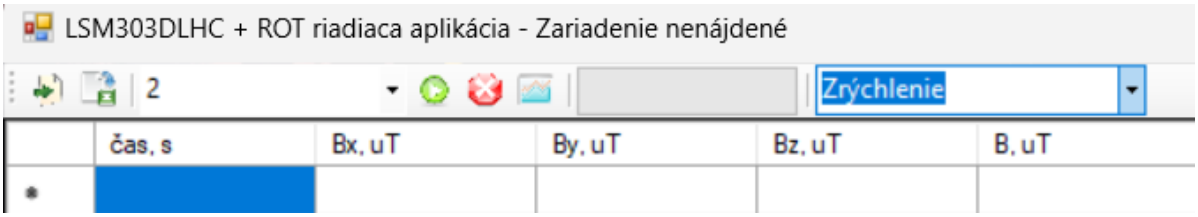
Najvšeobecnejší lineárny model skreslenia B_C do meraných magnetometrických dát B_p s hard a soft iron skreslením je:

$$B_p = WB_c + V = WRB_r + V \quad (19)$$

Kde V je 3x1 vektor a W je matica 3x3. Vektor V uvádza odchýlku skreslenia tvrdého železa a matica W označuje odchýlku skreslenia mäkkého železa. Posun vplyvom skreslenia tvrdým železom určuje nulový bod snímača s pričítaním permanentného pôsobenia súčiastok na vývojovej doske. Matica skreslenia mäkkým železom označuje pôsobenie magnetického poľa vo všetkých troch osiach snímača (Mark Pedley. 2014).

3 Výsledky a diskusia

Dáta zo snímača LSM303DLHC sú získavané v nami určených časových rozpätiach.



Obr. 6 Aplikácia na komunikáciu so snímačom
Fig. 6 Application for communication with sensor

Na *obr.6* je možné vidieť rozhranie, prostredníctvom ktorého získavame dáta zo snímača. Po ľavej strane sa nachádzajú tlačidlá importu a exportu údajov, ako ďalšou funkciou je voľba časového rozpätia v ktorom chceme merať údaje. Nasledujú tlačidlá

na spustenie a prerušenie programu, vedľa týchto tlačidiel sa nachádza ukazovateľ priebehu merania dát. Na konci sa nachádza výber meraných dát z magnetometra, akcelerometra alebo oboch snímačov v rovnakom čase.

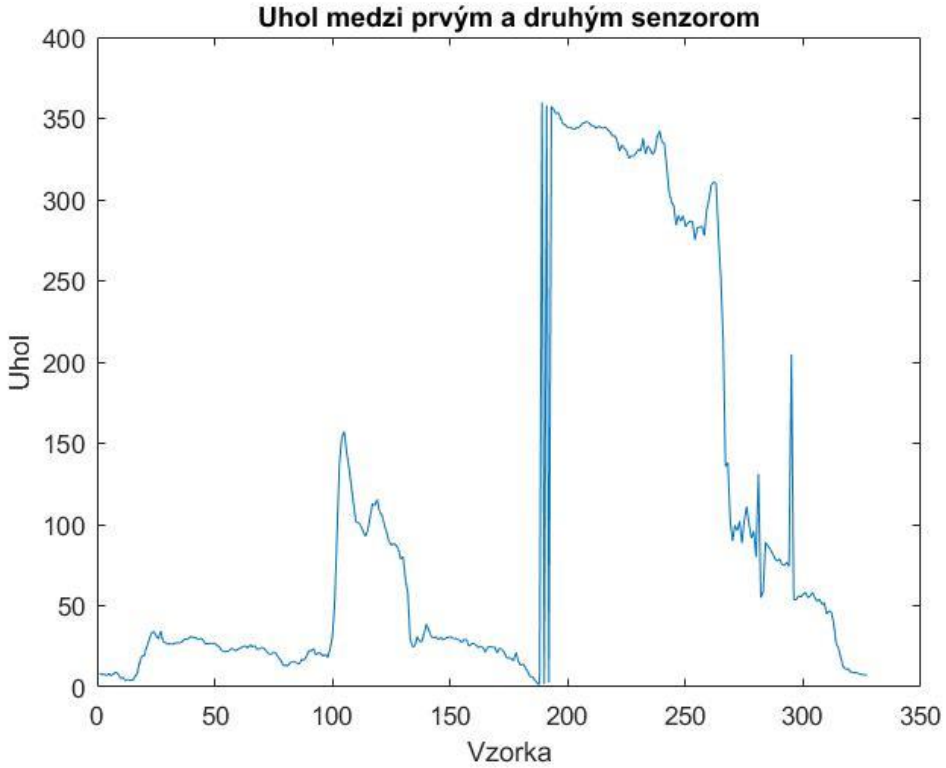
Nasnímané dáta za účelom zjednodušenia a uschovania prekonvertujú do súboru *.xlsx, čo nám značne zjednoduší manipuláciu s dátami v ďalších krokoch. Na obrázku nižšie je uvedený takýto súbor pri otáčaní snímača okolo osi y.

Ako prostredie a programovací jazyk sme zvolili program MATLAB z dôvodu, že je navrhnutý na riešenie rôznorodých matematických vzorcov a výpočtov (MathWork, 1997). Postup riešenia je uvedený nižšie. Na to, aby sme sa vôbec dopracovali k výsledku potrebujeme počiatočné údaje, z ktorých následne pomocou výpočtov daný výsledkom vypracujeme. Vďaka uschovaniu dát môžeme jednoducho načítať nami potrebné údaje do prostredia MATLAB z nami zvoleného súboru *.xlsx.

Tab. 1 Vzorka nameraných hodnôt
Tab. 1 Measurements sample

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	čas, s	Bx, uT	By, uT	Bz, uT	B, uT	ax, ms-2	ay, ms-2	az, ms-2	a, ms-2
2	0,015625	36,00735304	-28,96532458	-4,517527688	46,43196698	0,814385135	0,795445946	9,611638514	9,678819779
3	0,046875	36,00735304	-29,23106151	-5,049001533	46,65272603	0,814385135	0,795445946	9,573760135	9,641205346
4	0,078125001	36,1402215	-28,96532458	-4,916133072	46,57546567	0,82385473	0,729158784	9,630577703	9,69321598
5	0,109375001	36,00735304	-28,83245612	-4,916133072	46,38974416	0,776506757	0,795445946	9,602168919	9,666299444
6	0,140625001	35,87448458	-28,96532458	-4,384659226	46,31623807	0,804915541	0,814385135	9,640047297	9,707812528
7	0,171875002	35,74161612	-29,09819305	-5,314738456	46,39412038	0,833324324	0,785976351	9,658986486	9,726675085
8	0,203125002	35,60874765	-29,09819305	-5,181869995	46,2767709	0,833324324	0,767037162	9,592699324	9,659329985
9	0,234375002	35,87448458	-28,96532458	-5,314738456	46,413523	0,767037162	0,785976351	9,554820946	9,617728845
10	0,265625003	36,00735304	-28,83245612	-5,049001533	46,40401292	0,82385473	0,804915541	9,621108108	9,689806338
11	0,296875003	36,40595842	-29,09819305	-5,049001533	46,87847122	0,785976351	0,795445946	9,621108108	9,685877054
12	0,328125003	36,80456381	-28,5667192	-4,650396149	46,82157139	0,814385135	0,785976351	9,592699324	9,659237149
13	0,359375003	36,00735304	-28,43385074	-4,916133072	46,14305695	0,82385473	0,795445946	9,573760135	9,642009852
14	0,390625004	35,87448458	-28,30098228	-4,916133072	45,9575087	0,795445946	0,795445946	9,658986486	9,724273158
15	0,421875004	36,1402215	-28,30098228	-5,049001533	46,17958017	0,804915541	0,776506757	9,621108108	9,68589557
16	0,453125004	35,60874765	-28,16811382	-5,447606917	45,72856839	0,795445946	0,757567568	9,554820946	9,617756817
17	0,484375005	34,94440535	-28,43385074	-6,377686147	45,50022213	0,785976351	0,776506757	9,658986486	9,7219721
18	0,515625005	34,54579996	-28,5667192	-6,909159993	45,35643541	0,776506757	0,804915541	9,658986486	9,72352157
19	0,546875005	35,21014227	-28,30098228	-7,042028454	45,71968812	0,757567568	0,776506757	9,658986486	9,719716627
20	0,578125006	35,21014227	-28,16811382	-6,377686147	45,5397808	0,861733108	0,776506757	9,621108108	9,690782627

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 7 Rozdiel azimutov medzi dvomi snímačmi
Fig. 7 Azimuth differences between two sensors

Na počiatku sme si zadeklarovali z akého súboru nám program načíta údaje. Následne sme špecifikovali hodnoty vektora z magnetometra a hodnoty vektora z akcelerometra. Kalibrácia tvrdého železa spočíva vo vypočítaní priemerných hodnôt nameraných magnetometrom a odpočítaním tejto priemernej odchýlky od nameraných hodnôt za účelom vzniku upravených správnych hodnôt. Po aplikovaní kalibrácie tvrdého železa je možné pokračovať vo výpočtoch a korekciách. Po úpravách výpočtov a využití výpočtových možností prostredia MATLAB sme dokázali zjednodušiť a skrátiť výpočet kalibrácie mäkkého železa.

Keďže na výpočet uhla zalomenia je potrebné poznať vektory z oboch snímačov, musíme vyššie uvedené merania a korekcie aplikovať aj na druhom snímači. Je potrebné, aby bol jeden snímač upevnený na vozidle a druhý na prívesnom vozíku a merania musia prebiehať v rovnakom čase. Po získaní oboch azimutov v rozsahu 0° až 360° je možné určiť uhol medzi osou vozidla a osou prívesného vozíka. Na *obr. 7* môžeme vidieť vzorku priebehu pri skúškach.

Po nameraní uhla medzi dvoma snímačmi je možné porovnať či a v akej miere bol uhol zalomenia prekročený. Uhol zalomenia jazdnej súpravy ťahač – pasívny jednonápravový prívesný vozík vypočítame nasledovne (Cviklovič a kol., 2021):

$$\gamma_{cr,a} = \text{-}\arcsin\left[\frac{2L_T}{\Delta X}\sin\left(\frac{\Delta x}{2\,\mathrm{sgn}(\varphi)\sqrt{\left(L_v/\tan(\pm\varphi_{max})\right)^2}}\right)\right] + \arctan\left(\frac{h\tan(\pm\varphi_{max})}{L_v}\right) \quad (20)$$

kde $\gamma_{cr,a}$ je absolútna hodnota kritického uhla zalomenia, po prekročení ktorého nie je možné zmenšiť uhol zalomenia pri pohybe vzad. ΔX je posunutie vozidla, h je vzdialenosť k pripojeniu vozíka, L_V vzdialenosť predných a zadných kolies vozidla, L_T vzdialenosť kolies vozíka k upevneniu vozíka, φ uhol natočenia predných kolies vozidla.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

4 Záver

V práci sme zvolili správny typ meracieho prístroja s potrebnými snímačmi. Modul LSM303DLHC sme pripojili k počítaču a pomocou programu sme zhotovili 2 merania. Namerané dáta sme archivovali a následne sme zhotovili program v prostredí MATLAB. Po aplikovaní potrebných kalibrácií a procedúr sme boli schopný určiť smer snímačov a na ich základe vypočítať, pod akým uhlom je snímač 2 k snímaču 1. Vypočítaním uhla zalomenia za pomoci rozmerov ľubovoľného automobilu a pasívneho prívesného vozíka a ostatných potrebných parametrov vieme zistiť či a do akej miery bol kritický uhol zalomenia prekročený.

5 Literatúra

Cviklovič, Vladimír, Srnánek, Rastislav, Hrubý, Dušan and Harničárová, Marta. 2021. The Control Reversing Algorithm for Autonomous Vehicles with PSD-Controlled Trailers. In Acta Technologica Agriculturae, vol.24, no.4, 2021, pp.187-194. https://doi.org/10.2478/ata-2021-0031

Mark Pedley, Michael Stanley. 2014. Magnetic Calibration (magnetic.c). technická správa. Austin : Freescale Semiconductor. 8-11 s.

Mark Pedley. 2013. Tilt Sensing Using a Three-Axis, Accelerometer. Poznámka k aplikácii. Freescale Semiconductor. 21 s.

MathWork. 1997. ver. 5. MATLAB the language of technical computing. Manuál. Natick: MathWorks, Inc. 772 s.

Reinaldo Perez. 1998. Wireless Comunication Design Handbook. 2. vyd. Academic Press. 184 s. ISBN 01-255-0723-2

STMicroelectrics. 2010. Using LSM303DLHC for tilt compensated electronic compass. Poznámka k aplikácii. STMicroelectronics. 34 s.

Súhrn

Táto práca je zameraná na návrh snímača uhla zalomenia pasívneho prívesného vozíka. Pomocou skúmanej problematiky, elektronických súčiastok a softvérového vybavenia je úlohou zostrojiť príslušný snímač. Hlavnou časťou tohto systému je kombinovaný elektronický kompas LSM303DLHC, ktorý obsahuje 3D akcelerometer a 3D magnetometer. Spojením týchto dvoch snímačov je možné namerané údaje ďalej použiť na výpočet uhla. Nasledovnou analýzou, zaznamenaním dát a ich spracovaním v prostredí MATLAB vieme vytvoriť program, ktorý nami zvolené dáta využije na vypočítanie vzniknutého uhla medzi meranými objektami, v našom prípade automobil a prívesný vozík.

Kľúčové slová: uhol, LSM303DLHC, kompas, akcelerometer, prívesný vozík

HODNOTENIE PARAMETROV ADITÍVA DO BENZÍNU VYRÁBANÉHO PRE AUTOMOBILOVÝ PRIEMYSEL

EVALUATION OF GASOLINE ADDITIVE PARAMETERS PRODUCET FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY

JURAJ PODSKALAN – IVAN JANOŠKO

Abstract

This article is determined by evaluating the parameters of the gasoline additive. We did the first measurement without the additive and the second measurement was with the additive. We then compared the results of these measurements. The conditions are the same for all measurements. The only difference was in the added additive. The results of measurements of emission parameters, performance parameters and fuel consumption, which were able to reduce especially the values of emissions in exhaust gases. The consumption of the car also decreased and its performance increased. We consider the measurements to be successful.

Key words: additives, gasoline, emissions

1 Úvod

Na rozdiel od fosílnych palív sú biopalivá obnoviteľné a dokážeme ich produkovať v podstate neobmedzene dlhú dobu. Biopalivá majú potenciál znižovať emisie motorových vozidiel, ktoré sú vypúšťané do ovzdušia, a rovnako tak znižovať produkciu skleníkových plynov. Problémom biopalív však je to, že často potrebujú dotácie, prípadne iné druhy trhových zásahov, aby boli schopné ekonomicky konkurovať fosílnym palivám. Napríklad v Spojených štátoch amerických tvorí etanolové biopalivo až 95 % celkového objemu benzínu. (Lee, 2017)

Biopalivá, v našom prípade etanol, má vyššiu hustotu ako benzín. Ďalším problémom, ktorý je najmä u starších vozidiel, ako napríklad u vozidla použitého na náš výskum, je to, že alkoholové biopalivá, vrátane etanolu, môžu spôsobovať koróziu kovových, prípadne poškodenie a naleptanie gumových častí v benzínových motoroch. Najmä gumových hadíc, rôznych tesnení a podobne. Novšie vozidlá dokážu tento problém eliminovať, respektíve sa ich riadiace jednotky dokážu prispôsobiť, avšak u starších vozidiel je potrebné kvôli iným vlastnostiam biopalív nastaviť časovanie zapaľovania, aby motor dokázal bezproblémovo fungovať. (Rievaj et all., 2014; Cunningham, 2021; Jablonický et all., 2018)

V súčasnej dobe je benzín vo vysokej miere obohacovaný vysokým podielom biozložiek, ktoré prinášajú výskyt tvorby usadenín a následné problémy so spaľovaním paliva. Pridaním aditíva do paliva sa dajú tieto negatívne vplyvy biozložky efektívne potláčať a eliminovať. Najnovšie benzínové motory sú rovnako ako naftové opatrené filtrom pevných častíc, avšak aj v tomto prípade je vhodné aditíva do benzínu ideálne pravidelne aplikovať. (Vrablová, 2022)

Benzín E10 nie je vhodný pre všetky druhy motorov. Vo všeobecnosti nie je vhodný pre staršie vozidlá ktoré majú vstrekovanie paliva pomocou karburátora z dôvodu citlivosti na usadeniny ktoré sa najmä po dlhšom čase z biozložky vytvárajú.(Sajdl, 2022; Synák, 2020, 2022). Samotní výrobcovia automobilov zostavili zoznamy modelov pre ktoré nie je benzín

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

E10 vhodný. (Cunningham, 2021; Jablonický et all., 2018). Konkrétne automobilka Škoda neodporúča tento benzín pre Škodu Felicia 1,3 OHV s výkonom 40 a 50 kW v modelových rokoch 1994 až 2001. (Andrejčák, 2021) Príspevok je zameraný na hodnotenie významných parametrov aditíva do benzínu na vybrané parametre spaľovacieho motora Škoda 100.

2 Materiál a metódy

2.1 Charakteristika použitého materiálu

Merania prebiehali za použitia automobilu Škoda 100, pričom tento kedysi veľmi populárny automobil patrí do nižšej strednej triedy a bol vyrábaný Československou automobilkou AZNP Mladá Boleslav v rokoch 1969-1977. Vozidlo je poháňané benzínovým motorom o objeme 988cm^3 s karburátorom a 4 stupňovou manuálnou prevodovkou. Udávaný čistý výkon je 30,9 kW pri 4650 min^{-1}.



Obr. 1 Automobil Škoda 100 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 Škoda 100
Tab. 1 Technical parameters of the vehicle Škoda 100

Značka	Škoda 100
Druh paliva	Benzín
Zdvihový objem valcov	988 cm^3
Čistý výkon pri min^{-1}	30,9 kW pri 4650 min^{-1}
Točivý moment pri min^{-1}	73,5 Nm pri 3000 min^{-1}
Prevodovka	4-stupňová manuálna

Pri všetkých laboratórnych meraniach bol ako palivo použitý bezolovnatý automobilový benzín Natural E95 E10 od značky Slovnaft, ktorý má maximálny objemový podiel biozložky 10% (v tomto prípade sa jedná o bioetanol). Použitý bol motorový olej Mobil 1 2000 s viskozitou 10W40. Počas celého priebehu meraní bol používaný iba jeden konkrétny druh

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

aditíva pre benzínové motory, VIF super benzin aditiv, ktorý sme do benzínu pridávali v pomere 20 ml aditíva na 20 l paliva.



Obr. 2 Aditívum používané pri meraniach [Vlastná fotografia]
Fig. 2 Additive used in measurements [Own photo]

2.2 Charakteristika použitých prístrojov

Valcová skúšobňa

Na meranie výkonových parametrov bola použitá valcová skúšobňa nemeckého výrobcu MAHA (obr.3) s typovým označením MSR 500/3 4WD (Obr. 2) v zostave s komunikačným pultom MCD 2000. Zariadenie umožňuje merať vozidlá aj s pohonom 4x4. Rozsiahla škála prevádzkových režimov skúšobne zahŕňa meranie statického výkonu pri konštantných otáčkach, pri konštantnej rýchlosti, pri konštantnej ťažnej sile a dynamické meranie výkonu s regulovateľnou akceleráciou. Skúšobňa pracuje s presnosťou ± 2 %.



3. Valcová skúšobňa MAHA MSR 500 a komunikačný pult MCD 2000
3. Single roller dynamometer MAHA MSR 500 and MCD 2000 communication desk

Analyzátor výfukových plynov

Zloženie emisií vo výfukových plynoch sme merali prostredníctvom analyzátora výfukových plynov MAHA MGT 6.3 a príslušného softvéru Maha Emission Software. Prístroje

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

vyhodnocujú emisie z výfukových plynov vozidiel s naftovým ako aj benzínovým motorom. Analyzátor je zobrazený na Obr. 4.



4. Analyzátor výfukových plynov MAHA MGT 6.3
4. Exhaust gas analyser MAHA MGT 6.3

2.3 Charakteristika pracovných postupov

Metodika merania pozostávala z nasledujúcich krokov:

1. Zaistenie automobilu na skúšobnej valcovej stolici.
2. Prispôsobenie skúšobnej stolice k parametrom meraného vozidla, napríklad zvolenie zadného náhonu, počtu prevodových stupňov a druhu paliva.
3. Zavedenie potrebných snímačov, napríklad snímaču teploty oleja, otáčok motora, zapojenie prietokomeru na meranie spotreby paliva.
4. Zavedenie emisnej sondy do výfuku vozidla, kontrola jej tesnosti, prietoku a zapojenie do analyzátora výfukových plynov. Jednotlivé snímače medzi sebou musia komunikovať.

Postup pri meraní:

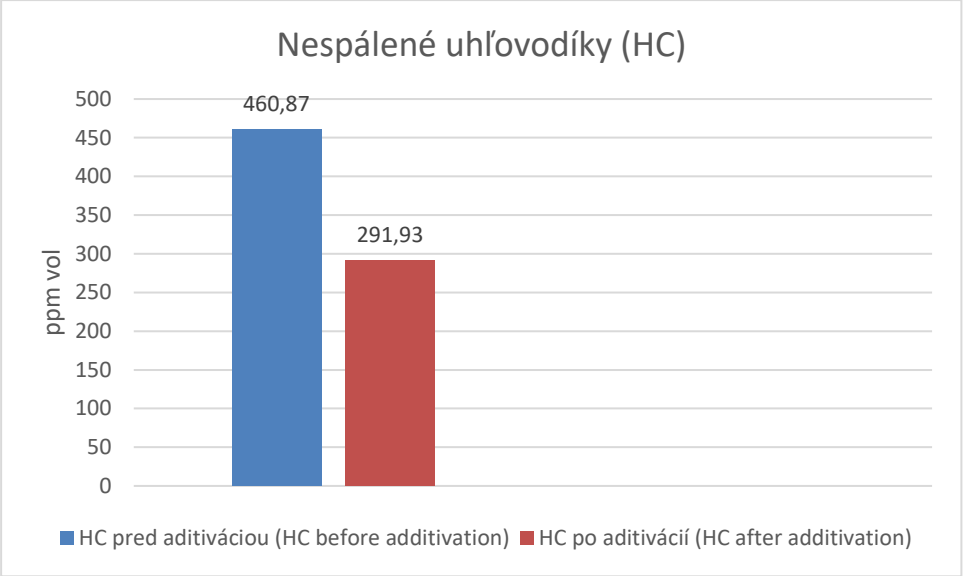
1. Je potrebné, aby bol motor zohriaty na prevádzkovú teplotu.
2. Následne sa pristupuje k meraniam vo vopred určených časových intervaloch, v našom prípade 110 sekúnd, počas ktorých sa zisťuje otáčková charakteristika motora, jeho emisie, spotreba a výkon.
3. Palivo sa aditivuje podľa pokynov výrobcu, dôležité je najmä správne premiešanie benzínu s aditívom, následne motor beží 60 minút, aby sa palivo upravené aditívom dostalo do celej palivovej sústavy.
4. Nasleduje druhá séria meraní, aby sme zistili účinok aditíva po jeho pridaní.
5. Po každom meraní sa veličiny uložia na dátové médium a následne sa vyhodnocujú. Vyhodnocovanie výsledkov prebieha tak, že z merania každého parametra sme vybrali rovnaký časový úsek, následne sme hodnoty daného parametru spočítali a vyrátali priemer týchto hodnôt.
6. Jednotlivé hodnoty prehľadne spracovať v stĺpových grafoch s jednoduchým popisom a percentuálnym rozdielom medzi hodnotami bez aditíva a s pridaným aditívom.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

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. Hodnoty v modrom stĺpci sú vždy pred aditiváciou a hodnoty v oranžovom stĺpci sú po aditivácii.

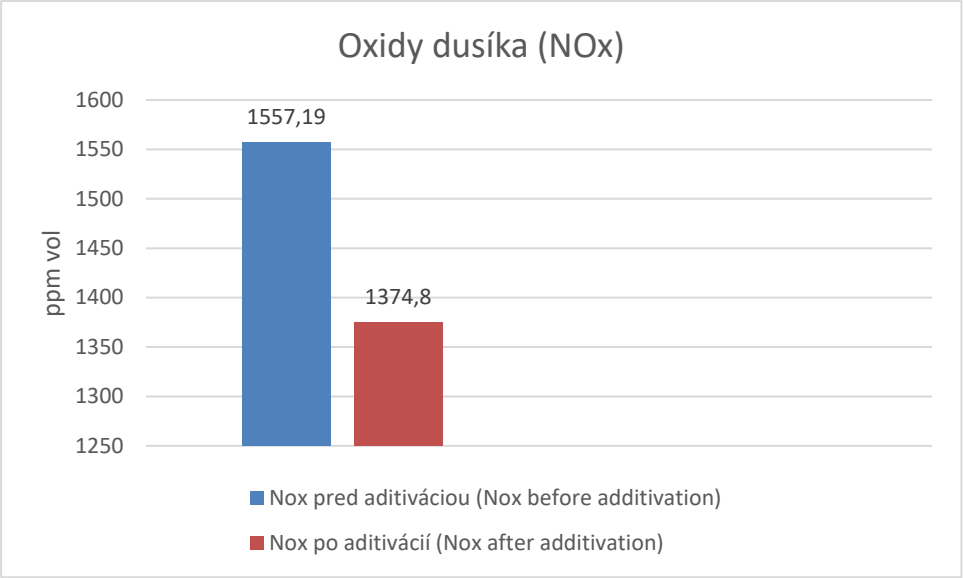
Obsah nespálených uhľovodíkov, ktoré obsahujú jedovaté aldehydy, (Sajdl., 2022) sa podarilo vďaka aditívu znížiť až o 36,65% (obr.5).



Obr. 5: Nespálené uhľovodíky [Vlastné spracovanie]
Fig. 5: Unburned hydrocabons [Own photo]

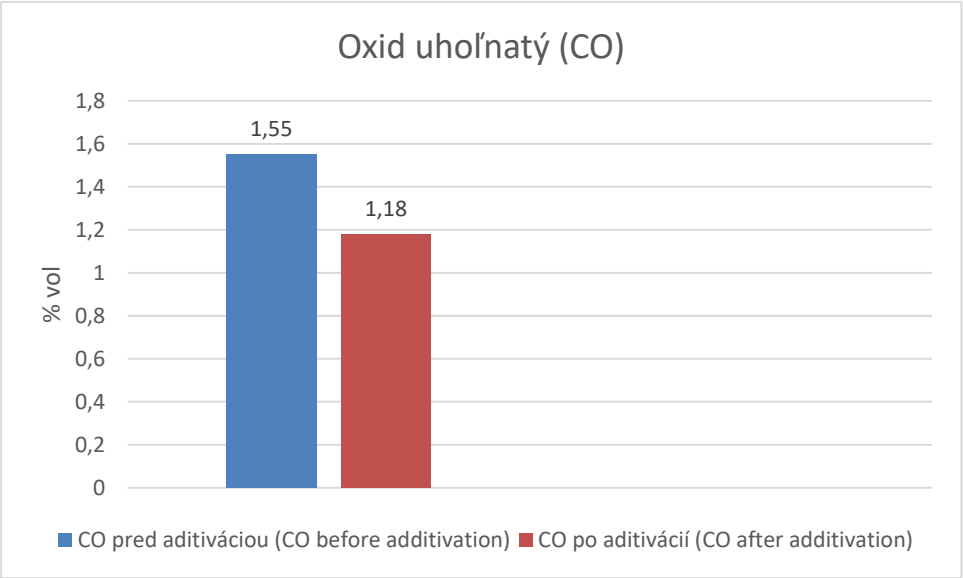
Obsah oxidov dusíka, ktoré sa podieľajú na poškodzovaní ozónovej vrstvy, na tvorbe kyslých dažďov a tvorbe smogu (Sajdl., 2022) najmä v mestách, sa podarilo znížiť o 11,71% (obr.6).

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 6: Oxidy dusíka [Vlastné spracovanie]
Fig. 6: Nitrogen oxides [Own photo]

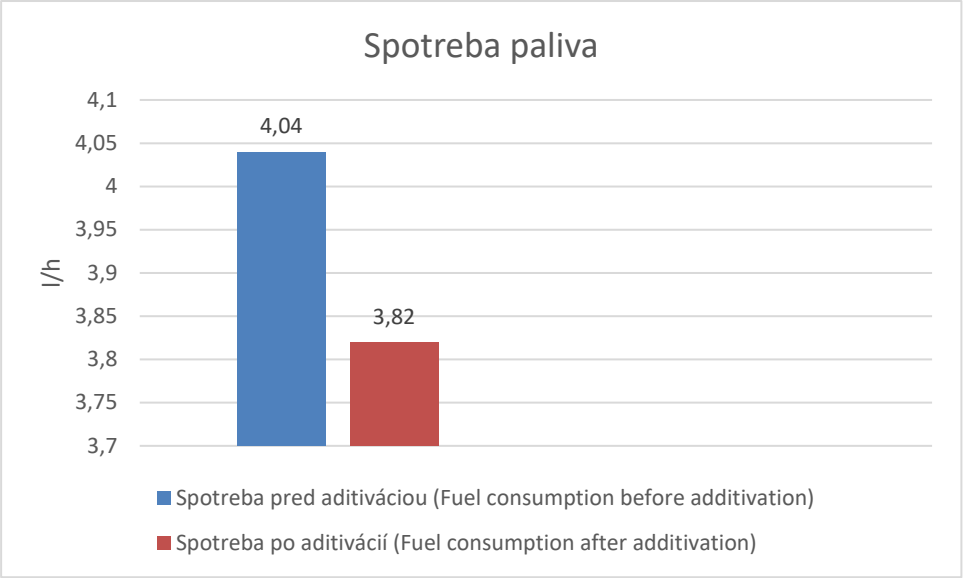
Oxid uhoľnatý, ktorý je najškodlivejšou zložkou výfukových plynov, pretože blokuje prísun kyslíku ku tkanivám, spôsobuje malátnosť a bolesti hlavy, (Sajdl., 2022) sa podarilo znížiť až o 23,87 % (obr.7).



Obr. 7: Oxid uhoľnatý [Vlastné spracovanie]
Fig. 7: Carbon monoxide [Own photo]

Spotreba paliva klesla len v menšej miere, konkrétne o 5,44%, čo však z dlhodobého hľadiska môže mať pozitívny dopad aj na množstvo vypúšťaných škodlivín (obr.8).

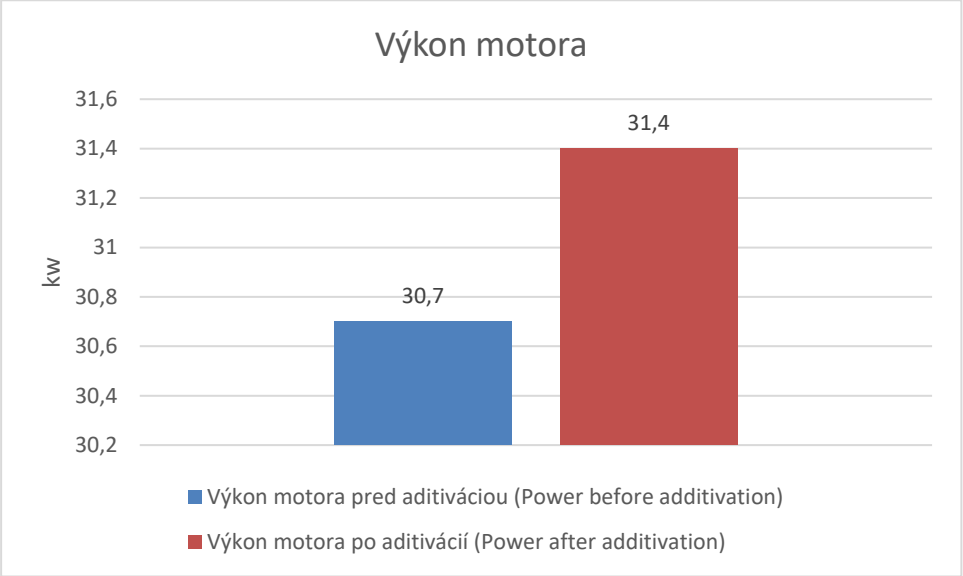
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 8: Spotreba paliva [Vlastné spracovanie]
Fig. 8: Fuel consumption [Own photo]

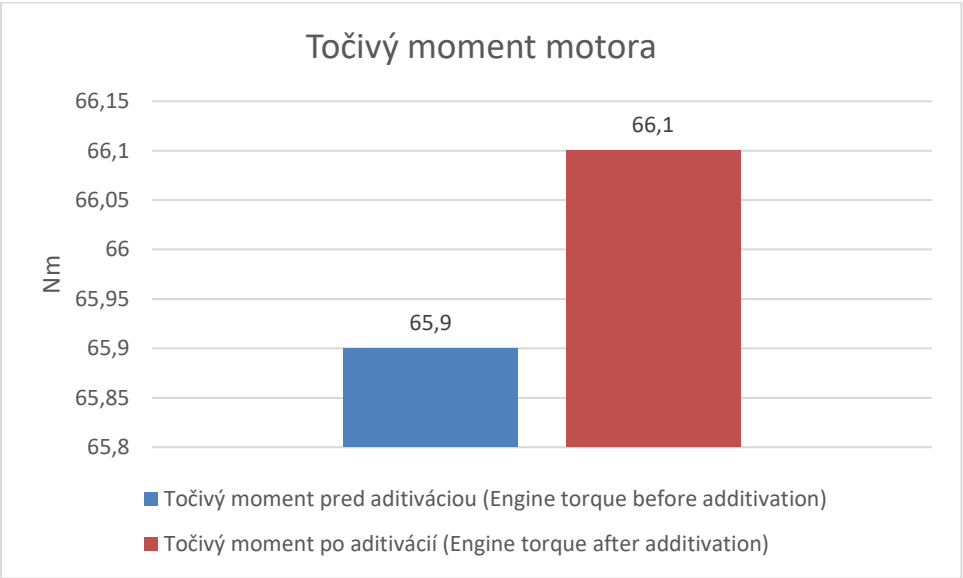
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Výkon motora sa zásadným spôsobom nezmenil, jeho nárast medzi meraniami bol o 2,28 %. Zaujímavosťou však je, že tento výkon je vyšší ako výkon udávaný výrobcom vozidla (obr.9).



Obr. 9: Výkon motora [Vlastné spracovanie]
Fig. 9: Power engines [Own photo]

U točivého momentu motora boli zmeny najmenej viditeľné, podľa meraní bol jeho nárast iba na úrovni 0,3% (obr.10).



Obr. 10: Točivý moment motora [Vlastné spracovanie]
Fig. 10: Engine torque [Own photo]

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

4 Záver

Úlohou našej práce bolo zhodnotiť účinok aditíva do benzínu vyrábaného pre automobilový priemysel s komerčným názvom VIF super benzín aditív. Merania sme realizovali na automobile Škoda 100 z roku 1973. Pred samotnými meraniami bol ako pohonné palivo používaný 95 oktánový benzín s 10 % prídavkom etanolu bez aditíva, pričom na vozidle sa okoamžite prejevili problémy nielen pri samotnom štarte, ale aj pri samotnej jazde, boli citeľné najmä v podobe nerovnomerného chodu motora. Rovnako boli citeľné problémy aj pri akcelerácii. Tieto problémy sa prejavili aj pri samotnom prvom meraní bez pridaného aditíva, kedy bolo problematické vôbec vozidlo rozbehnúť na valcovej skúšobni pod záťažou. Po pridaní aditíva do benzínu bežalo vozidlo na voľnobeh približne 60 minút s občasným pridávaním plynu, aby sa aditívum dostalo do celého palivového systému. Následne, už na druhý deň pri prvom štarte, bolo citeľné zlepšenie štartovania a motor mal vyrovnaný chod. Zlepšenie nasledovalo aj pri akcelerácii na valcovej skúšobni. Pri porovnaní výsledkov sú viditeľné výsledky, a to najmä v hodnotách meraných emisií. Vplyv na spotrebu nebol síce tak zásadný, avšak bol zaznamenaný jej mierny pokles a zvýšenie výkonu, čo môžeme považovať za pozitívny prínos.

Vzhľadom na preukázateľne pozitívne výsledky tejto práce považujeme dané merania a výskum interesantné a výsledky preukazné.

Súhrn

Tento článok je zameraný na vyhodnotenie parametrov aditíva do benzínu vyrábaného pre automobilový priemysel. Prvé meranie sme realizovali bez aditíva a druhé meranie bolo s pridaným aditívom do benzínu. Výsledky týchto meraní sme následne porovnali. Podmienky boli rovnaké pre obe merania. Jediným rozdielom bolo pridanie aditíva do benzínu. Výsledky meraní emisných parametrov, výkonových parametrov a rovnako aj spotreby paliva boli taktiež porovnané. Znížili sa najmä emisné parametre, ale rovnako klesla aj spotreba a mierne narástol výkon motora. Merania teda môžeme považovať za prospešne pre motoristickú verejnosť a životné prostredie.

Kľúčové slová: aditíva, benzín, emisie

5 Literatúra

[1] LEE, Kevin. Aktualizované 2017. Differences Between Biomass and Biofuel. [online] Dostupné na: <https://uniag.link/xDm1D> [cit. 2023-4-13]
[2] RIEVAJ, Vladimír; KALAŠOVÁ, Alica; MAJEROVÁ, Zuzana. 2014. Emisie cestných vozidiel. [online] Dostupné na <https://uniag.link/XkSO8> [cit. 2023-4-13]
[3] 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]
[4] 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

[5] SAJDL, Jan. 2020. Emise výfukových plynu. [online] Dostupné na: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/emise-vyfukovych-plynu/> [cit. 2023-4-13]

[6] 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.

[7] 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.

[8] VRABLOVÁ, Nikola. 2022. Co jsou a jak fungují aditiva do benzínu a nafty? [online] Dostupné na: <https://uniag.link/iTxJm> [cit. 2023-4-13]

[9] 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]

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

ZARIADENIE NA MERANIE ZVODOVÉHO PRÚDU SUPERKONDENZÁTORA
DEVICE FOR MEASURING LEAKAGE CURRENT OF SUPERCAPACITOR

IVAN RONDA[1] – VLADIMÍR CVIKLOVIČ[2]

Plná čiara (solid line)

Abstract

This contribution is focused on the design and technical documentation of a device for measuring leakage current of supercapacitor. The design of this device is divided into the selection of suitable elements, electronic components, hardware connection and development of the software. The control unit of this system is development board C8051F410 TB with the microcontroller C8051F410-GQ. The system uses analog to digital converter of the development board to measure the voltage of the supercapacitor and uses digital to analog converter of the board to set charging current of the supercapacitor. The charging current is inputted by user based on the analysis of the voltage charging curve. The charging is controlled via docker container Node-red by using RS-232 communication protocol to communicate with development board and measured data is stored inside docker container database Influx DB. The data is displayed in docker visualization container Grafana.

Key words: Supercapacitor, Docker, Microcontroler, Leakage current

Plná čiara (solid line)

1 Úvod

Zvodový prúd v superkondenzátore je malý prúd, ktorý neustále tečie cez superkondenzátor. Tento zvodový prúd spôsobuje samovybíjanie, môže viesť k postupnému poklesu energie obsiahnutej v superkondenzátore a zníženému výkonu počas jeho životnosti. Zvodový prúd sa v superkondenzátoroch objavuje kvôli nečistotám v elektrolyte, defektom alebo porušeniam v elektródach alebo kvôli prítomnosti nadmernej vlhkosti. Postupne tieto faktory spôsobujú vyššiu degradáciu vnútornej štruktúry superkondenzátora, čo spôsobuje ďalšie zvyšovanie zvodového prúdu. Veľkosť zvodového prúdu závisí od faktorov ako teplota, vlhkosť alebo napätie. Vo všeobecnosti platí, že vyššia vlhkosť a teplota spôsobujú nárast zvodového prúdu zatiaľ čo nižšie napätie spôsobuje jeho pokles. Je ale potrebné podotknúť, že zvodový prúd značne závisí od vnútorného dizajnu a materiálov superkondenzátora. Znižovanie dopadov zvodového prúdu môžeme docieliť pomocou špeciálnych obalov a materiálov použitých na konštrukciu superkondenzátora ktoré znižujú absorpciu vlhkosti a vylepšujú stabilitu vnútornej štruktúry. Dodatočne, pravidelná údržba a monitorovanie môže pomôcť identifikovať a predísť potencionálnym problémom s narastajúcim zvodovým prúdom. Práca sa venuje monitorovaniu rôznych parametrov superkondenzátora, avšak prvoradý parameter meraní je ich zvodový prúd (Kularatna a kol., 2021).

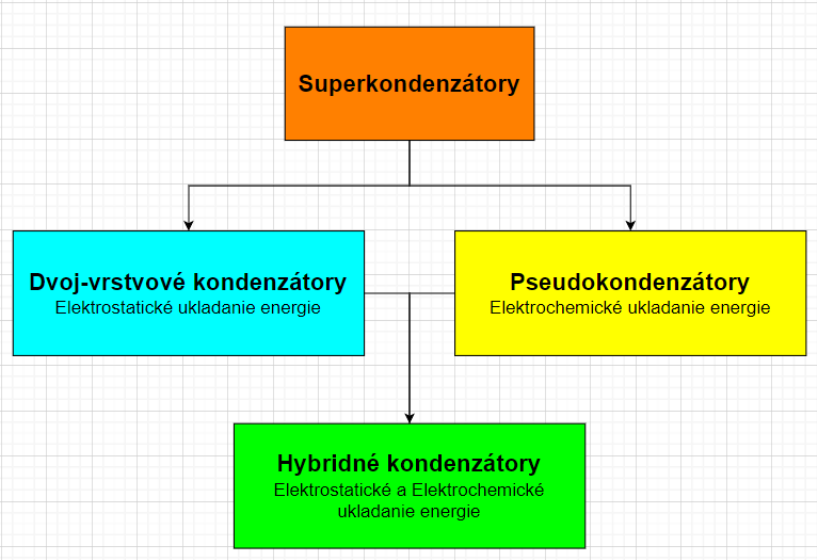
Cieľom práce bude vytvorenie technickej dokumentácie a samotné technické vyhotovenie zariadenia na meranie zvodového prúdu superkondenzátora. Zariadenie bude riadené mikrokontrolérom a predmetom činnosti bude aj programovanie firmvéru a softvéru.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

2 Materiál a metódy

Superkondenzátor

Superkondenzátor je veľkokapacitný kondenzátor, ktorý dokáže uložiť 10 až 100 krát viac energie na jednotku objemu alebo hmotnosti než elektrolytické kondenzátory. Dokáže primať a odovzdávať energiu o dosť rýchlejšie. Znáša podstatne viac cyklov nabíjania a vybíjania ako batéria. Používajú sa v aplikáciách, ktoré vyžadujú vysokú cyklickú životnosť alebo vyžadujú dodávanie a absorpciu veľkých prúdových špičiek. Typický príklad využitia nájdeme napríklad pri rekuperácii v elektrických automobiloch. Systém sa snaží pohltiť a zachovať veľké množstvo energie z brzdenia vozidla a následne ho využiť na akceleráciu. Na rozdiel od klasických kondenzátorov, superkondenzátory nepoužívajú dielektrikum. Podľa zloženia sa rozdeľujú na tri typy, ktoré môžeme vidieť na *obrázku 1* a ich vnútornú konštrukciu môžeme vidieť na *obrázku 2*. (Kularatna a kol., 2021, Tehrani a kol., 2016, Wenlong Jing a kol., 2017, Hoffman, 2023)



Obr.1 Typy superkondenzátorov
Fib.1 Types of supercapacitors

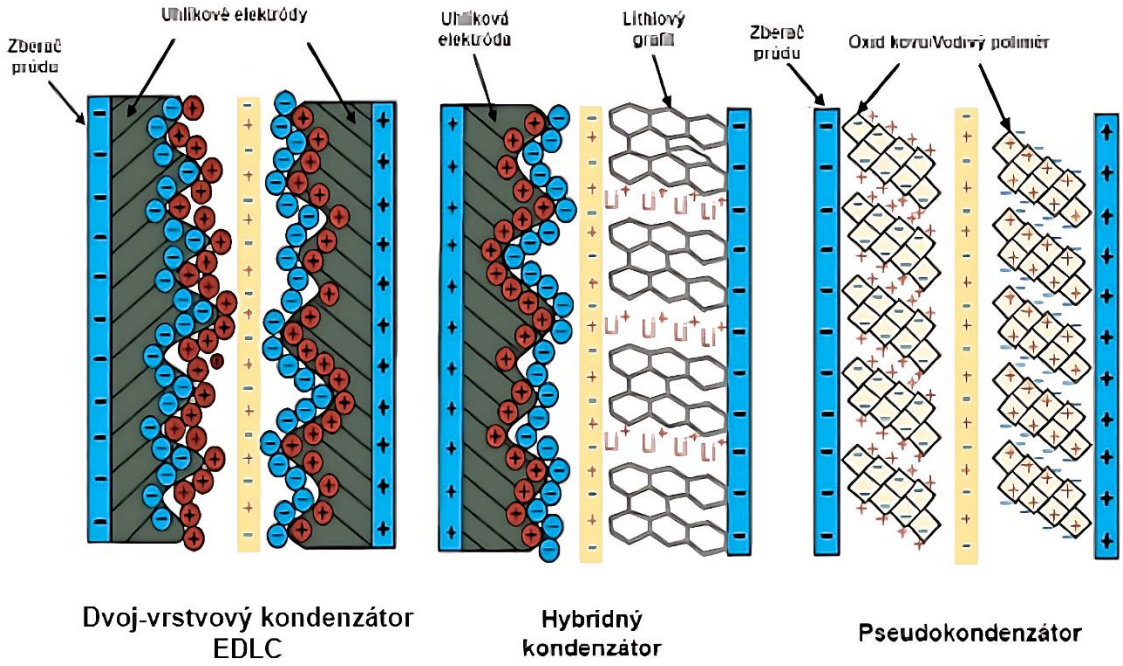
Elektronické dvojvrstvové kondenzátory (EDLC) sú superkondenzátory, ktorých elektróda sa skladá z uhlíka alebo jeho derivátov s vyššou dvojvrstvovou kapacitou ako elektrochemická pseudokapacita. Oddelenie náboja sa dosahuje v Helmholtzovej dvojitej vrstve na rozhraní medzi povrchom elektródy a elektrolytu. Rozdelenie náboja je 0,3 – 0,8 nm, čo udáva vyššiu energetickú hustotu ako bežné kondenzátory, no zároveň nižšiu ako bežné dobíjacie batérie.

Pseudokondenzátory sú superkondenzátory, ktorých vnútorná stavba sa od EDLC líši spôsobom ukladania energie. Zatiaľ čo EDLC ukladajú energiu pomocou fyzickej separácie náboja, pseudokondenzátory ukladajú energiu pomocou reverzibilných faradických reakcií, ktoré zabezpečujú prenos náboja medzi elektrolytom a povrchom elektródy. Elektródy pseudokondenzátorov sa skladajú z pseudokapacitných materiálov, ktoré majú zvyčajne veľkú povrchovú plochu. Toto umožňuje väčšiu energetickú hustotu, ale menšiu výkonnosť ako EDLC. Medzi pseudokapacitné materiály patria oxidy kovov, vodivé polyméry a sulfidy prechodových kovov. Všeobecne sú tieto superkondenzátory drahšie a zložitejšie na výrobu.

Hybridné kondenzátory sú elektrochemické superkondenzátory, ktoré kombinujú vlastnosti EDLC a pseudokondenzátorov. V hybridných kondenzátoroch sa používajú dva rôzne typy elektród. Jedna je z oxidu kovu alebo uhlíka pre elektrostatickú kapacitu a druhá je

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

z elektrochemicky aktívneho pseudokapacitného materiálu pre pseudokapacitu. Prvá elektróda ukladá energiu elektrostaticky pomocou svojej veľkej povrchovej plochy a druhá elektróda ukladá energiu pomocou elektrochemických reakcií. Tieto superkondenzátory poskytujú výhody oboch typov superkondenzátorov. Toto kombinovanie výhod nám umožňuje dosiahnuť vysoký výkon a zároveň poskytuje pomerne dlhodobé ukladanie energie na pomery superkondenzátorov. (Kularatna a kol., 2021, Tehrani a kol., 2016, Wenlong Jing a kol., 2017, Hoffman, 2023, Kalbitz, 2019)



Obr.2 Vnútorná konštrukcia superkondenzátorov
Fig.2 Internal construction of supercapacitors

Programovanie a Docker

Softvér mikrokontroléra C8051F410 je programovaný v jazyku C. Cieľom programu bolo dosiahnuť schopnosť presne merať napätie pomocou ADC a schopnosť presne nastaviť prúd nabíjania superkondenzátora pomocou IDAC. Program obsahuje tri rozsahy nabíjania, ktoré korešpondujú s rozsahom DA prevodníka na čipe. Prvý rozsah sa používa na presné nastavenie nabíjacieho prúdu od 0,061 µA do 250 µA, druhý rozsah je od 250 µA do 1000 µA a tretí rozsah je od 1000 µA do 2000 µA. Tieto rozsahy sa používajú na rýchlejšie dobíjanie superkondenzátora, aby sme meranie nemuseli začínať od 0 V a čakať, kým sa priblížime hodnote napätia, pri ktorom je zvodový prúd superkondenzátora merateľný. Program má štyri funkcie. Prvá funkcia meria napätie na analógovom vstupe mikrokontroléra P1.6. Druhá funkcia meria napätie na vstupe P1.7. Pomocou tretej funkcie vyberáme rozsahy DA prevodníka. Vo štvrtej funkcii zadávame prúd, ktorým chceme cez IDAC nabíjať superkondenzátor.

Tzv. „Docker“ je linuxová platforma používaná na vývoj, stavbu a používanie kontajnerových aplikácií. Kontajnery sú ľahký, prenosný a sebestačný spôsob ako zabaliť aplikáciu so všetkými jej závislosťami. Je to v podstate virtuálny počítač vo vnútri operačného systému, tento kontajner má ale značne menšie nároky na hardvér hostiaceho počítača, taktiež sú jednoduchšie migrovateľné medzi hostiacimi systémami. Takže kontajnerovo zabalená aplikácia je ľahko šíriteľná a pomocou docker-compose.yml vieme zaručiť, že prostredie bude funkčné na každom systéme rovnako. My v prostredí docker používame tri kontajnerové aplikácie, ktorými meriame, spracovávame, ukladáme a vizualizujeme namerané údaje. Tieto

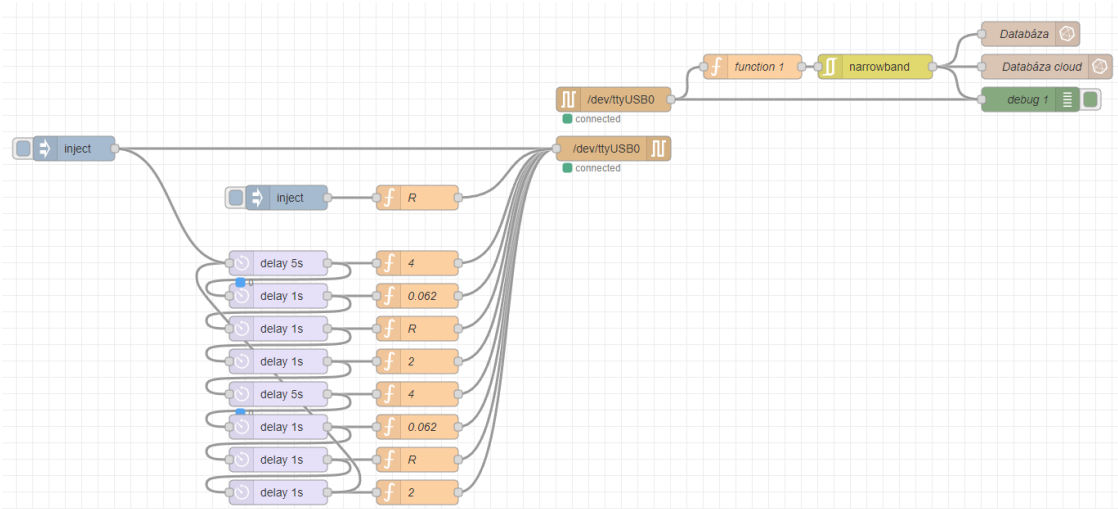
tri kontajnery sme centralizovali do jedného tzv. „clustera“ pomocou docker-compose.yml, ktorý môžeme vidieť na *obrázku 3*.

Prvý kontajner je Node-red – program na spracovanie a posielanie digitálnych signálov. Programuje sa pomocou funkčných blokov. Meranie vyhotovujeme pomocou funkčných blokov, ktorými posielame informáciu v údajovo type textového reťazca. Na začiatku pomocou sériovej komunikácie pošleme reťazec, ktorým zvolíme štvrtú funkciu, následne pošleme hodnotu nabíjacieho prúdu v µA. Následne pošleme nulovanie, ktorým uložíme nami nastavenú hodnotu nabíjacieho prúdu. Ak už chceme vyhotoviť meranie, zvolíme funkciu dva, ktorá nám odmeria napätie na superkondenzátore. Ukážku prostredia tohto kontajnera zobrazuje *obrázok 4*.

```yaml
version: "3.8"

services:
    influxdb:
        container_name: "influxdb2"
        image: "influxdb:latest"
        ports:
            - "8086:8086"
        volumes:
            - .\Volume\Influxdb\data:/var/lib/influxdb2
            - .\Volume\Influxdb\config:/etc/influxdb2
            - .\Volume\Influxdb\secrets:/run/secrets
            - .\Volume\Influxdb\backup:/home
    grafana:
        container_name: "grafana2"
        image: "grafana/grafana:latest"
        ports:
            - "3000:3000"
        environment:
            GF_SECURITY_ALLOW_EMBEDDING: "true"
            GF_AUTH_ANONYMOUS_ENABLED: "true"
        volumes:
            - .\Volume\Grafana:/var/lib/grafana
    node-red:
        container_name: "nodered2"
        image: "nodered/node-red:latest"
        ports:
            - "1880:1880"
        volumes:
            - .\Volume\Nodered:/data
        environment:
            - TZ=Europe/Bratislava
```

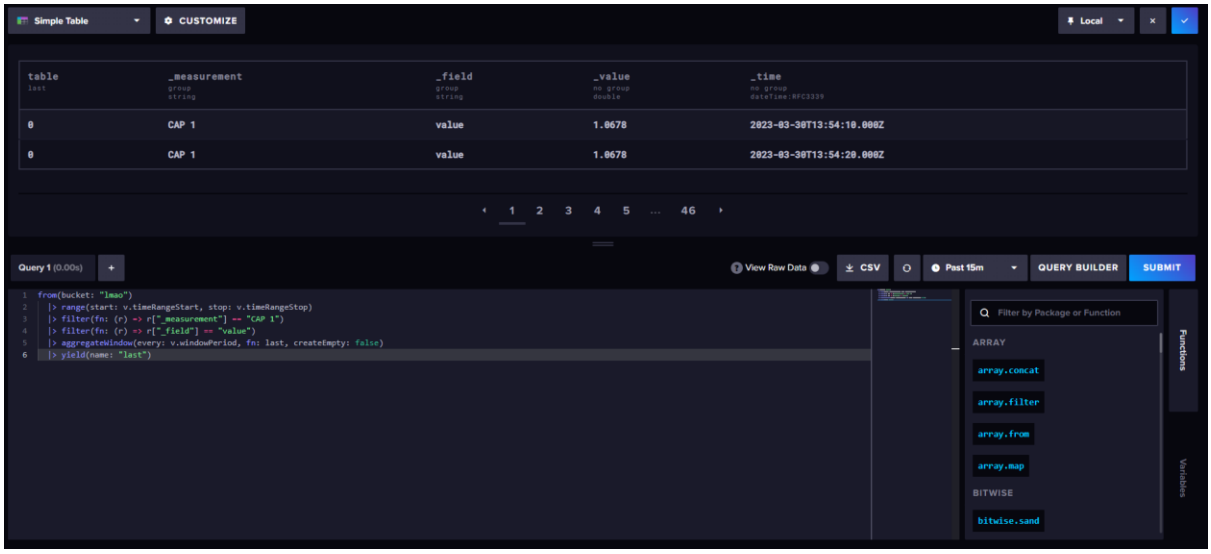
Obr. 3 Docker compose
Fig. 3 Docker compose



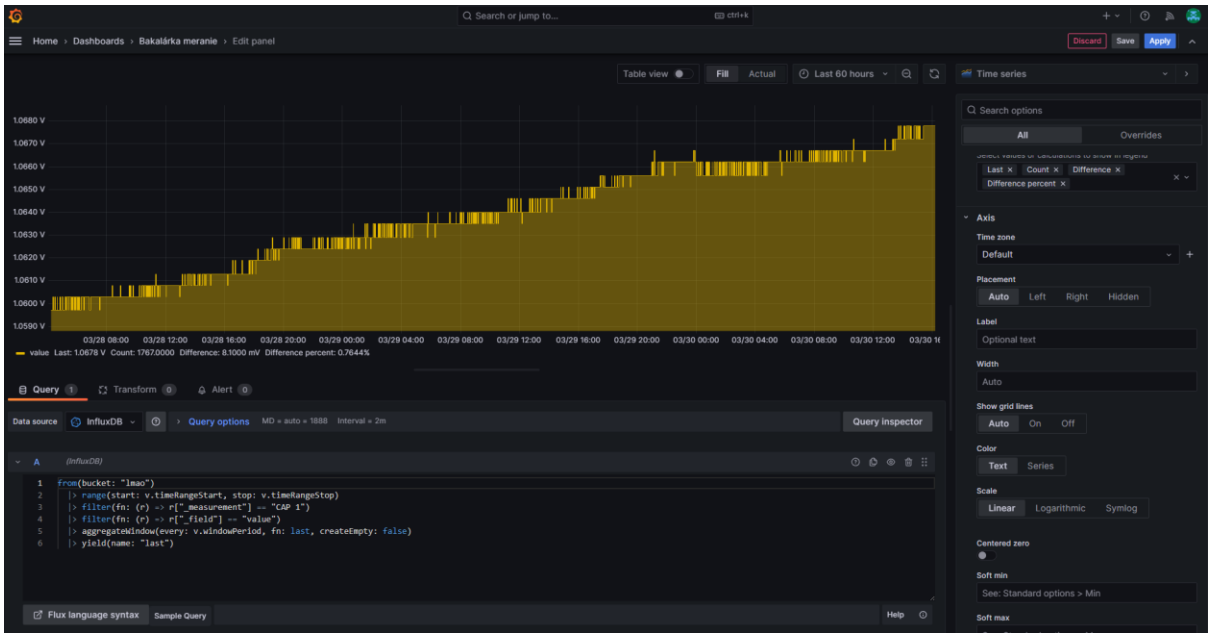
Obr.4 Node-red
Fig.4 Node-red

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Po každom s týchto krokov dostaneme z mikrokontroléra reťazec, ktorý nám vypovedá o aktuálnom stave meraní. Reťazce nám slúžia na prehľadnosť komunikácie, nijako inak ich nespracovávame ani neukladáme. Spracovávame iba správu, ktorá príde po druhej funkcii, v ktorej nám mikrokontrolér vypíše hodnotu napätia na superkondenzátore. Tento reťazec vo funkčnom bloku spracujeme pomocou javascriptu. Rozložíme ho a samotnú nameranú hodnotu premeníme na formát „integer“, ktorý vie naša databáza spracovať. Hodnotu v premennej ďalej posielame do našej databázy InfluxDB. Jedna inštancia tejto databázy nám pracuje lokálne v dockery a druhá inštancia tejto databázy nám beží v cloude. Týmto sme si merané dáta začali bezpečne sprístupňovať aj mimo našej lokálnej siete, v ktorej beží docker.



Obr.5 InfluxDB
Fig.5 InfluxDB



Obr.6 Grafana
Fig.6 Grafana

InfluxDB je kontajnerová tzv „time series“ databáza, ktorá údaje spracováva s použitím jazyka flux. Môže fungovať samostatne lokálne a súbežne aj v cloude. Výhoda tejto databázy je, že je jednoducho integrovateľná s prostredím Node-red. Pre naše potreby je využiteľná

zadarmo. Databázu rozdeľujeme na cloudovú a lokálnu kvôli tomu, aby sme mali jednoduchý a okamžitý prístup k aktuálne nameraným údajom na diagnostiku problémov a analýzu. Tieto údaje sa však v cloude uchovávajú len tridsať dní. Lokálnu inštanciu tejto databázy využívame na dlhodobé ukladanie dát a ich vizualizáciu. Keďže sa InfluxDB v cloudovej podobe sa vizuálne nijako nelíši od InfluxuDB na lokálnej sieti prostredie oboch inštancií nám zobrazuje *obrázok 5*.

Na dlhodobú vizualizáciu údajov sme používali kontajnerovú aplikáciu Grafana. Táto aplikácia nám beží lokálne v dockery pod jedným „clustrom" s našimi ostatnými aplikáciami. Údaje prijíma zo zdroja InfluxDB. Z tejto databázy si konkrétne nami vyžadované údaje berie pomocou query, ktoré je písané v jazyku flux. Ďalej takto získané údaje zobrazuje v grafoch, ale vieme použiť aj rôzne ďalšie typy zobrazenia. Spôsob zobrazenia time series v prostredí Grafana môžeme vidieť na *obrázku 6*.

3 Výsledky a diskusia

Na začiatku návrhu zariadenia na meranie zvodového prúdu superkondenzátora bolo potrebné naštudovanie problematiky zvodového prúdu v superkondenzátoroch ale aj samotných superkondenzátorov, mikrokontrolérov a ich analógovo digitálnych prevodníkov (ADC) a digitálne analógových prevodníkov (DAC). V prvej časti sme vyberali a testovali rôzne mikrokontroléry a ich prevodníky.

Prvé zdanlivo ideálne riešenie bolo naprogramovať mikrokontrolér Arduino UNO tak, aby priamo meralo zvodový prúd na jednom zo svojich analógových vstupov. Toto riešenie sa však ukázalo ako nevhodné, keďže Arduino UNO na čipe obsahuje len 10-bitový ADC. To znamená, že rozlíšenie prevodníka je 2^{10}=1024 úrovní. Tento parameter sa ukázal ako veľmi nepresný.

Pri druhom riešení sme zvolili mikrokontrolér Raspberry PI pico. Tento mikrokontrolér sme zvolili na základe poznatkov, ktoré sme nadobudli pri prvom neúspešnom riešení. Čip RP2040, ktorý zabezpečuje fungovanie tejto dosky obsahuje 12-bitový ADC. To znamená, že má rozlíšenie 2^{12}=4096 úrovní. Raspberry pi pico W tento rozsah softvérovo navyšuje na 16-bitový ADC s rozlíšením 2^{16}=65536 úrovní. Ale keďže je toto navyšovanie len softvérové tak sme zistili, že tento mikrokontrolér je nevyhovujúci na riešenie nášho zadania.[11]

Pri treťom riešení sme použili externý modulový ADC ADC1115 so 16-bitovým rozlíšením, takže má 65536 úrovní. Prevodník nám však stále nestačil, keďže sme chceli merať veľké rozsahy napätí a prúdov. Tak sme znížili maximálne merané napätie a sústredili sa iba na meranie zvodových prúdov, ktoré sa bežne pohybujú od 1 nA až po 100 uA. Avšak sa ukázalo, že pri lepších superkondenzátoroch s nižším zvodovým prúdom sme dosiahli limity aj tohto ADC.

Pri štvrtom a finálnom riešení sme sa rozhodli zmeniť postup a celý systém merania zvodového prúdu. Pri treťom neúspešnom riešení sme si uvedomili, že také malé prúdy sa nedajú presne merať pomocou bežne finančne dostupných hardvérových komponentov. Tak sme sa rozhodli zvodový prúd priamo nemerať ale nastavovať a sledovať výkyvy v napätí superkondenzátora. Vieme, že tieto výkyvy by sa mali stabilizovať, ak sa nabíjací prúd bude rovnať zvodovému prúdu. Toto sa nám ďalej potvrdilo experimentálnymi meraniami. Napätie na superkondenzátore sme merali pomocou ADC, ktorý je na vývojovej doske C8051F410 TB a má rozlíšenie 12-bitov. To znamená, že má 2^{12}=4096 úrovní. Napätie sme obmedzili do 2 V, pretože pomocou prúdového digitálne analógového prevodníka (IDAC) mikrokontroléra C8051F410-GQ možno presne nastaviť výstupný prúd iba do takéhoto napätia.

Výsledkom práce je zostrojenie systému na meranie a monitorovanie parametrov superkondenzátorov pomocou mikrokontroléra, pričom zariadenie nie je dizajnové na jeden konkrétny typ superkondenzátora. Systém pracuje na princípe monitorovania poklesov alebo

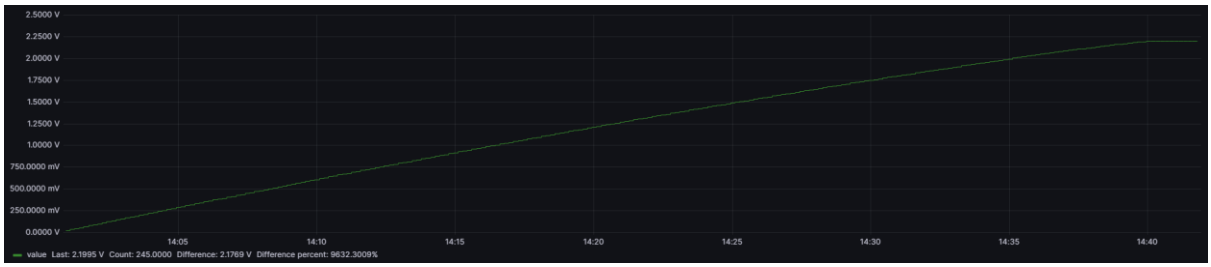
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

nárastov napätia v superkondenzátore. Ak chceme merať zvodový prúd, operátor zariadenia určí prúd nabíjania, ktorý bude v stabilizovanom stave (hodnota napätia nebude stúpať ani klesať) rovnaký ako zvodový prúd superkondenzátora. Ak chceme sledovať nabíjanie superkondenzátora, operátor zvolí ľubovoľný prúd v ním zvolenom rozsahu mikrokontroléra, ktorým sa bude superkondenzátor nabíjať. Ak chceme pozorovať samovybíjanie, operátor nastaví nabíjací prúd na 0 A. Ak chceme sledovať vybíjanie operátor do obvodu so superkondenzátorom pripojí ľubovoľný rezistor a nabíjací prúd nastaví na 0 A. Naše merania sú vyhotovené na superkondenzátore typu EDLC od značky EATON so sériovým číslom HV0810-2R7105-R. Všetky merania boli vyhotovené pri izbovej teplote od 23 do 25 °C (Eaton, 2016).



Obr.7 Detekcia zvodového prúdu v superkondenzátore
Fig.7 Detection of leakage current in supercapacitor

Obrázok 7 zobrazuje krivku napätia, pri ktorom nabíjací prúd 0,061 µA dosiahol hodnotu zvodového prúdu. Z toho dedukujeme, že zvodový prúd nami meraného superkondenzátora pri napätí 1,06688 V je 0,061 µA.



Obr.8 Nabíjanie superkondenzátora
Fig.8 Charging of supercapacitor

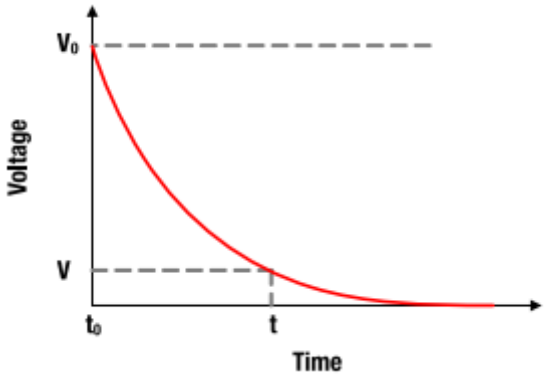
Obrázok 8 zobrazuje krivku napätia superkondenzátora počas nabíjania. Nabíjací prúd je 894,309 µA. Týmto prúdom sme meraný superkondenzátor s kapacitou 1 F nabili na maximálne prevádzkové napätie mikrokontroléra 2,2 V za čas 41 minút.



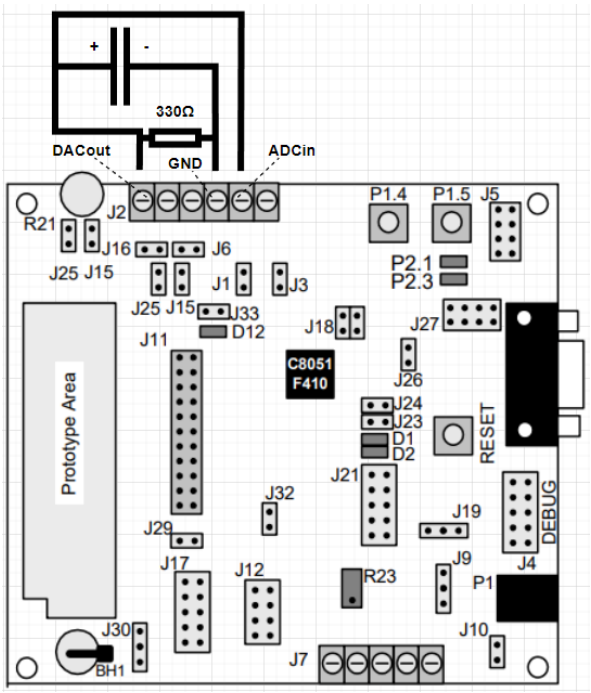
Obr.9 Vybíjanie superkondenzátora
Fig.9 Discharging of supercapacitor

Obrázok 9 zobrazuje priebeh vybíjania superkondenzátora cez rezistor s odporom 330 Ω. Krivka korešponduje s priebehom vybíjania ideálneho kondenzátora cez rezistor. Schéma zapojenia je zobrazená na *obrázku číslo 11*.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr.10 Vybíjanie ideálneho superkondenzátora
Fig.10 Discharging of ideal supercapacitor



Obr.11 Schéma zapojenia obvodu na vybíjanie superkondenzátora
Fig.11 Schematic digram of the circuit for discharging the supercapacitor

4 Záver

V našich meraniach sme zistili, že zvodový prúd sa líši v závislosti od napätia superkondenzátora. Udávaný zvodový prúd nami meraného superkondenzátora je 10 µA. Prúd bol meraný pri maximálnom pracovnom napätí. Naše meranie zvodového prúdu bolo uskutočnené pri napätí 1,06688V, kedy bol zvodový prúd 0,061 µA. Vieme teda predpokladať, že zvodový prúd priamoúmerne narastá s napätím superkondenzátora.

Pri meraní vybíjania superkondenzátora prostredníctvom rezistora s odporom 330 Ω sme zistili, že priamoúmerné vlastnosti prúdu v superkondenzátore platia opačne ako pri jeho nabíjaní. Teda, že prúd v superkondenzátore priamoúmerne klesá s klesajúcim napätím a obe tieto veličiny exponenciálne klesajú s narastajúcou dobou merania až pokiaľ sa meraný superkondenzátor nevybije. Tento jav je pozorovateľný na obrázku číslo 10 no je aj rovnako

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

pozorovateľný na *obrázku číslo 9*. Z toho vyplýva, že pri vybíjaní cez rezistor sa nami meraný superkondenzátor značne približoval vlastnostiam ideálneho superkondenzátora.

Môžeme skonštatovať, že sa nám podarilo zostrojiť zariadenie na meranie vlastností superkondenzátorov a že zariadenie meria s dostatočnou presnosťou na vyhodnotenie a grafické znázornenie meraných veličín.

5 Literatúra

Arduino UNO R3 (2023) [online]. Dostupné na: <https://docs.arduino.cc/static/40e7342d54f6c8dd2a516362a767bb0c/A000066-datasheet.pdf>.

Atsuko Hoffman. Supercapacitor leakage current and self discharge characteristics. KEMET Elecreonics [online]. Dostupné na: <https://www.mouser.com/pdfDocs/KEMETSupercap_Leakage_Selfdischarge-Q3FY18.pdf>.

EATON HS/GSL Supercapacitors Tchnical data 11043 (2020) [online]. Dostupné na: <https://www.farnell.com/datasheets/3106630.pdf>.

EATON HV Supercapacitors Technical data 4376 (2016) [online]. Dostupné na: <https://www.farnell.com/datasheets/2849567.pdf>.

Kalbitz René, Puhane Frank. How to use supercapacitors? (2019) [online]. Dostupné na: <https://www.we-online.com/catalog/media/o157040v410%20AppNote_SN009_EN.pdf>.

Kularatna, N.; Subasinghage, K.; Gunawardane, K.; Jayananda, D.; Ariyarathna, T. Supercapacitor-Assisted Techniques and Supercapacitor-Assisted Loss Management Concept: New Design Approaches to Change the Roadmap of Power Conversion Systems. Electronics 2021, 10,1697 [online]. Dostupné na: <https://doi.org/10.3390/electronics10141697>.

Raspberry Pi Pico W (2023) [online]. Dostupné na: <https://datasheets.raspberrypi.com/picow/pico-w-datasheet.pdf>.

SAMXON Supercap electric double layer capacitor (2016) [online]. Dostupné na: <https://www.farnell.com/datasheets/2368882.pdf>.

SCM Series, series-conected super capacitor modules [online].Dostupné na: <https://www.farnell.com/datasheets/3179426.pdf>.

Silicon labs C8051F41x developement kit user´s guide [online]. Dostupné na: <https://www.mouser.sk/datasheet/2/368/C8051F41x_DK-2489389.pdf>.

Tehrani, Z., Thomas, D., Korochkina, T., Phillips, C., Lupo, D., Lehtimäki, S., O'Mahony, J. & Gethin, D. (2016). Large-area printed supercapacitor technology for low-cost domestic green energy storage [online]. Dostupné na: <https://cronfa.swan.ac.uk/Record/cronfa31048>.

VISHAY 196 HVC ENYCAP (2018) [online]. Dostupné na: <https://www.farnell.com/datasheets/2792957.pdf>.

Wenlong Jing, Cheam Hung Lai, Shung Hui Wallace Wong, Mou Ling Dennis Wong. Battery-supercapacitor hybrid energy storage system in standalone DC microgrids: areview (2017). ISSN 1752-1416 [online]. Dostupné na: <https://bpb-us-w2.wpmucdn.com/muse.union.edu/dist/8/471/files/2017/11/Batterysupercap_design-romdeh.pdf>.

6 Súhrn

Práca je zameraná na návrh a technickú dokumentáciu zariadenia na meranie zvodového prúdu superkondenzátora. Návrh tohto zariadenia je rozdelený na výber vhodných prvkov, elektronických súčiastok, hardvérové pripojenie a vývoj softvéru. Riadiacou jednotkou tohto systému je vývojová doska C8051F410-TB s mikrokontrolérom C8051F410-GQ. Systém využíva analógovo-digitálny prevodník vývojovej dosky na meranie napätia superkondenzátora a využíva digitálno-analógový prevodník dosky na nastavenie nabíjacieho prúdu superkondenzátora. Nabíjací prúd zadáva používateľ na základe analýzy nabíjacej krivky napätia. Nabíjanie je riadené cez docker kontajner Node-red pomocou komunikačného protokolu RS-232 na komunikáciu s vývojovou doskou. Namerané údaje sa ukladajú do docker kontajnerovej databázy Influx DB, následne sú zobrazené v dockerovom vizualizačnom kontajneri Grafana.

ANALÝZA VPLYVU TEPLOTY TLAČOVEJ TRYSKY NA GEOMETRICKÉ ROZMERY 3D TLAČENÉHO VÝROBKU
ANALYSIS OF THE NOZZLE´S TEMPERATURE ON GEOMETRICAL DIMENSIONS OF A 3D PRINTED PART

ERIK SENEŠI[1] – PATRIK KÓSA[2]

Abstract

The thesis is devoted to the analysis of the influence of temperature on geometric shapes in modelled 3D samples. The measurements were carried out in the laboratory of the Institute of Design and Mechanical Engineering Technologies at the Faculty of Mechanical Engineering, SPU in Nitra. Using different three temperatures, we printed our modelled samples. From the measured data of the measured samples we found that PLA material is the most suitable for the best printing with the smallest deviations. As the most unfavorable material for printing, was ABS material.

Key words: 3D printing, models, geometric shapes, temperature

1 Úvod

3D tlač je proces vytvárania fyzických objektov z digitálneho modelu pomocou špeciálneho tlačiarenského zariadenia nazývaného 3D tlačiareň. Tento proces sa tiež nazýva aditívna výroba, pretože objekt sa vytvára postupne pridávaním materiálu vrstva po vrstve. (www.3ders.org)

3D tlač prebieha v niekoľkých krokoch. Najskôr sa digitálny model vytvorí pomocou 3D modelovacieho softvéru. Potom sa tento model prevedie do formátu, ktorý môže 3D tlačiareň použiť na vytvorenie fyzického objektu (Průša, 2018). Po tomto kroku tlačiareň začne vytvárať objekt tým, že aplikuje vrstvu materiálu na vrstvu materiálu, kým nie je hotový celý objekt. 3D tlač sa v súčasnosti využíva v mnohých odvetviach, vrátane medicíny, strojárstva, automobilového priemyslu a výroby nábytku (www.3dprinting.com). Tento proces umožňuje vytváranie zložitých geometrických tvarov, ktoré by boli ťažké alebo nemožné vytvoriť inými spôsobmi (Lansard, 2021).

Prvé zariadenie pre vytvorenie 3D prototypov bol stroj, ktorý využíval technológie stereolitografie (SLA). Tento stroj sa ešte nepodobal na moderné 3D tlačiarne, ale je to práve tento vynález, ktorý definoval ako pracuje 3D tlačiareň: objekty buduje po vrstvách (www.amfg.ai).

Cieľom tejto práce bolo zistiť vplyv teploty na geometrické rozmery 3D tlačených testovacích vzoriek. Za účelom zistenia vplyvov teploty sme si vytvorili v 3D modelovacom softvéri 2 modely. Vďaka vytvoreným a vytlačeným 3D modelom sme mohli zistiť vplyv teploty na vytlačené geometrické rozmery. Z nameraných výsledkov sme následne vyhotovili grafy a analyzovali sme vplyv teploty tlačovej trysky na geometrické rozmery výrobku.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

2 Materiál a metódy

Meranie sa uskutočňovalo v laboratóriu Ústavu konštruovania a strojárskych technológií na TF SPU v Nitre. Pri riešení nami vybranej problematiky bolo dôležitou časťou návrh vhodného geometrického tvaru pre vzorky a taktiež pri skúmaní vzoriek bola dôležitou časťou voľba vhodných materiálov a teplôt pre bezproblémovú realizáciu 3D tlačených vzoriek.

Po prehodnotení rôznych geometrických tvarov, sme dospeli k názoru že pre porovnanie vplyvu teploty tlačovej trysky na geometrické rozmery, budú najvhodnejšie dva typy vzoriek s otvorom vo vnútri. Pre tieto tri vzorky sme používali dve výšky vrstvy materiálu a to 0.15mm a 0.30mm. Vzorka č.1 bola hranol so štvorcovou dierou a vzorka č.2 bola valec s kruhovou dierou. Dôležitou časťou pri skúmaní danej problematiky bol aj výber materiálov pre tlač. Pre naše dve vzorky boli vybrané tri najčastejšie používané materiály pri 3D tlači. Jedná sa o materiály PLA (Polylactic acid - kyselina polymliečna), ABS (akrylonitril butadién styrén) a PET-G (Polyetyléntereftalát - Glykol). Prvou úlohou po výbere materiálov a geometrických tvarov, bolo namodelovanie týchto vzoriek. Dané vzorky sme modelovali v programe SOLIDWORKS 2020. Následne sme tieto modely previedli do formátu .STL, ktorý môže 3D tlačiareň použiť na vytvorenie fyzického objektu. Na dosiahnutie tohto kroku sme použili softvér PrusaSlicer 2.5.0. Pri tomto kroku bolo najdôležitejšou časťou správne nastavenie teplôt prvej tlačovej vrstvy a ostatných vrstiev. Najdôležitejšou časťou to bolo z dôvodu, že každý materiál má inú teplotu tlače. Pre materiál PLA to boli teploty 210,215 a 220 °C, pre materiál ABS to boli teploty 225, 230 a 235 °C a pre materiál PET-G to boli teploty 235, 240, 245 °C. Po tomto kroku začala tlačiareň vytvárať objekty tým, že aplikovala vrstvu materiálu na vrstvu materiálu, kým nevytvorila celé objekty. Po vytlačení všetkých vzoriek sme pomocou digitálneho posuvného meradla merali vonkajší priemer, vnútorný priemer a výšku. Namerané hodnoty boli zapísané do predom pripravených tabuliek. Z nameraných hodnôt boli vytvorené grafy pomocou ktorých sme zistili vplyv teplôt na geometrické tvary.

Pri návrhu testovaných vzoriek boli použité nasledovné zariadenia:

- Notebook ACER ASPIRE A514-54 Intel(R) Core (TM) i5-1135G7, 8 GB RAM.
- 3D tlačiareň PRUSA MK3S+,

Použité programové vybavenie:

- SOLIDWORKS 2020,
- Microsoft Office 365,
- PrusaSlicer 2.5.0.

Použité meracie zariadenia:

- Digitálne posuvné meradlo MITUTOYO.

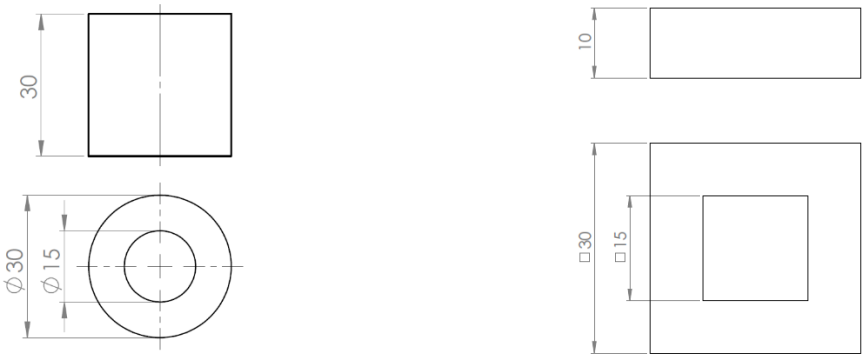
Použité materiály:

- ABS Gembird,
- PET-G Gembird,
- PLA Gembird.

3 Výsledky a diskusia

Prvým krokom pri našej práci bol návrh súčiastok, ktoré budeme skúmať z hľadiska ovplyvnenia geometrických rozmerov. Z dôvodu lepšej prehľadnosti sme zvolili dva typy objektov. Dané vzorky majú rozmery podľa *Obr. 1*.

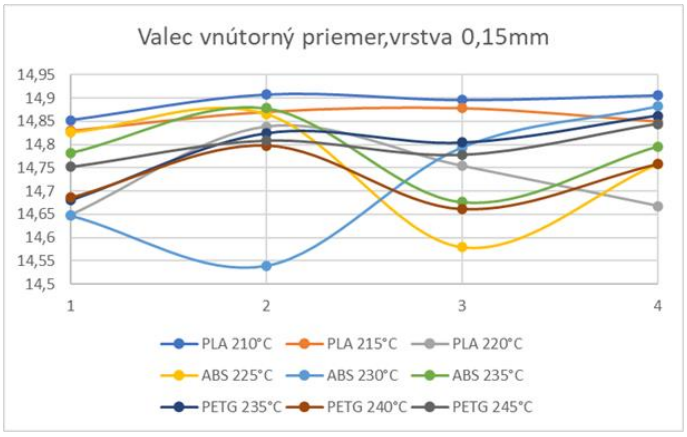
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



(A) (B)

Obr. 1 Rozmery navrhnutých vzoriek (A-valec, B-hranol)
Fig. 1 Dimensions of the designed specimens (A-cylinder, B-prism)

Po navrhnutí vzoriek sme pokračovali s 3D tlačením súčiastok z daných materiálov pri troch rôznych teplotách pri výške vrstvy 0,15 mm a 0,30 mm. Pre získanie väčšieho množstva nameraných údajov boli z každej vzorky vytlačené štyri kusy. Pre prehľadnejšie spracovania nameraných údajov sa po meraní vyhodnocovali porovnávali priemerné hodnoty nameraného rozmeru s referenčným. Prvým skúmaným rozmerom bol vnútorný priemer valca, ktorého priebeh je znázornený na *Obr. 2*.



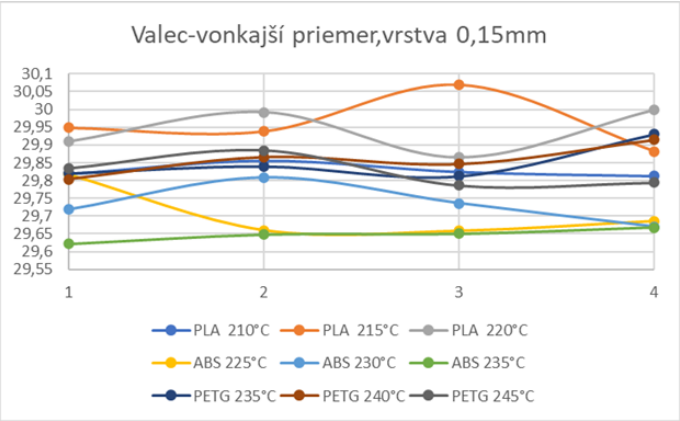
Obr. 2 Namerané hodnoty vnútorného priemeru valcových vzoriek pri vrstve 0,15 mm
Fig. 2 Measured values of inside diameter of the cylinder specimens with 0,15 mm layer

Z nameraných hodnôt sme zistili, že vzorka z materiálu PLA má pri teplote 210 °C odchýlku od referenčnej hodnoty 0,109 mm (0,73%). Pri teplote 215 °C mala vzorka z PLA odchýlku 0,143 mm (0,95%).Posledná vzorka materiálu PLA bola pri teplote 220 °C kde bola odchýlka 0,273 mm (1,82%).

Vzorka z ABS materiálu mala pri prvej teplote 225 °C odchýlku 0,242 mm (1,61%). Vzorka pri druhej teplote 230 °C mala odchýlku 0,284 mm (1,89%). Teplota 235 °C bola posledná a pri tejto teplote mala vzorka odchýlku 0,217 mm (1,45%).

PETG vzorka mala pri teplote 235 °C odchýlku 0,207mm (1,38%). Pri teplote 240 °C mala vzorka odchýlku 0,274 mm (1,85%). Tretia a zároveň posledná teplota bola 245 °C a vzorka mala odchýlku 0,205 mm (1,37%).

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

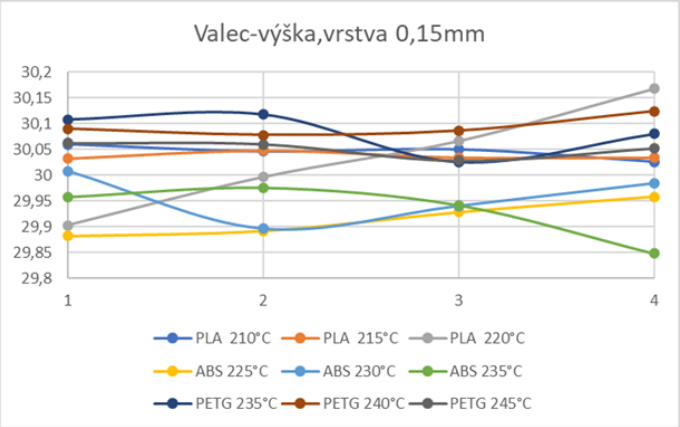


Obr. 3 Namerané hodnoty vonkajšieho priemeru valcových vzoriek pri vrstve 0,15 mm
Fig. 3 Measured values of outside diameter of the cylinder specimens with 0,15 mm layer

Z nameraných hodnôt vonkajšieho priemeru valcových vzoriek (*Obr. 3*) sme zistili, že vzorka z materiálu PLA má pri teplote 210 °C odchýlku od referenčnej hodnoty 0,172 mm (0,57%). Pri teplote 215 °C mala vzorka z PLA odchýlku 0,015 mm (0,05%). Posledná vzorka materiálu PLA bola pri teplote 220 °C kde bola odchýlka 0,058 mm (0,19%).

Vzorka z ABS materiálu mala pri prvej teplote 225 °C odchýlku 0,294 mm (0,98%). Vzorka pri druhej teplote 230 °C mala odchýlku 0,267 mm (0,89%). Teplota 235 °C bola posledná a vzorka mala odchýlku 0,275 mm (0,92%).

PETG vzorka mala pri teplote 235 °C odchýlku 0,149mm (0,50%). Pri teplote 240 °C mala vzorka odchýlku 0,142 mm (0,47%). Tretia a zároveň posledná teplota bola 245 °C a vzorka mala odchýlku 0,175 mm (0,58%).



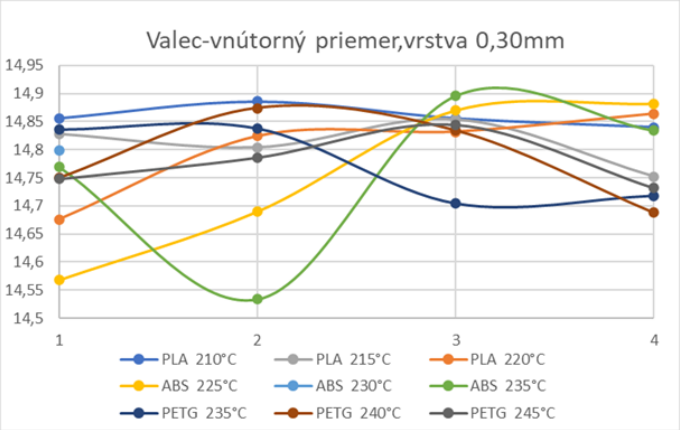
Obr. 4 Namerané hodnoty výšky valcových vzoriek pri vrstve 0,15 mm
Fig. 4 Measured values of height of the cylinder specimens with 0,15 mm layer

Z nameraných hodnôt výšky valcových vzoriek (*Obr. 4*) sme zistili , že vzorka z PLA materiálu pri teplote 210 °C má odchýlku od referenčnej hodnoty 0,046mm (0,15%). Pri teplote 215 °C vzorka PLA mala znovu odchýlku 0,037 mm (0,12%). Posledná teplota pri materiály PLA bola 220 °C kde tiež bola odchýlka na vzorke 0,033 mm (0,11%).

Vzorka z ABS materiálu mala pri prvej teplote 225 °C odchýlku 0,085 mm (0,28%). Vzorka pri druhej teplote 230 °C mala odchýlku 0,043 mm (0,14%). Teplota 235 °C bola posledná a vzorka mala odchýlku 0,069 mm (0,23%).

PETG vzorka mala pri teplote 235 °C odchýlku 0,083 mm (0,27%). Pri teplote 240 °C mala vzorka odchýlku 0,095 mm (0,32%). Tretia a zároveň posledná teplota bola 245 °C a vzorka mala odchýlku 0,051 mm (0,17%).

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

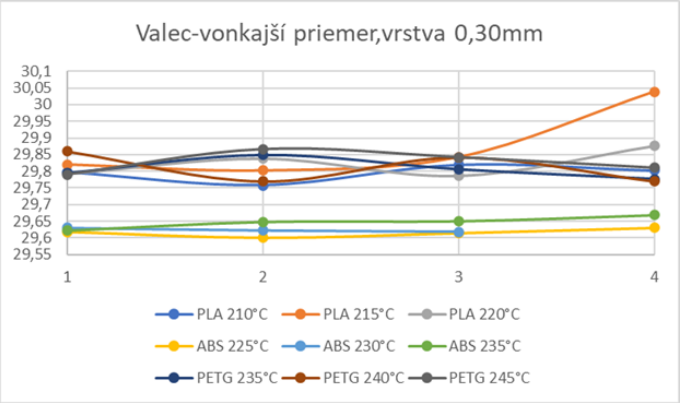


Obr. 5 Namerané hodnoty vnútorného priemeru valcových vzoriek pri vrstve 0,30 mm
Fig. 5 Measured values of inside diameter of the cylinder specimens with 0,30 mm layer

Z nameraných hodnôt vnútorného priemeru valcových vzoriek (*Obr. 5*) sme zistili, že vzorka z PLA materiálu pri teplote 210 °C má odchýlku od referenčnej hodnoty 0,14 mm (0,93%). Pri teplote 215 °C vzorka PLA mala znovu odchýlku 0,19 mm (1,27%). Posledná teplota pri materiály PLA bola 220 °C kde tiež bola odchýlka na vzorke 0,201 mm (1,34%).

Vzorka z ABS materiálu mala pri prvej teplote 225 °C odchýlku 0,247 mm (1,65%). Vzorka pri druhej teplote 230 °C mala odchýlku 0,279 mm (1,86%). Teplota 235 °C bola posledná a vzorka mala odchýlku 0,241 mm (1,61%).

PETG vzorka mala pri teplote 235 °C odchýlku 0,226 mm (1,51%). Pri teplote 240 °C mala vzorka odchýlku 0,213 mm (1,42%). Tretia a zároveň posledná teplota bola 245 °C a vzorka mala odchýlku 0,222 mm (1,48%).



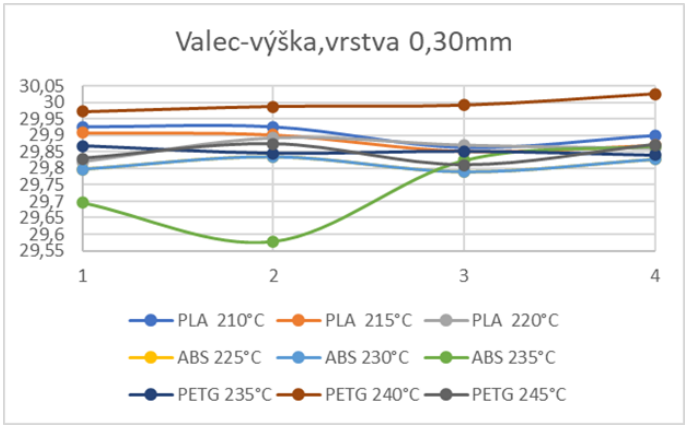
Obr. 6 Namerané hodnoty vonkajšieho priemeru valcových vzoriek pri vrstve 0,30 mm
Fig. 6 Measured values of outside diameter of the cylinder specimens with 0,30 mm layer

Z nameraných hodnôt vonkajšieho priemeru valcových vzoriek (*Obr. 6*) sme zistili, že vzorka z PLA materiálu pri teplote 210 °C má odchýlku od referenčnej hodnoty 0,305 mm (1,02%). Pri teplote 215 °C vzorka PLA mala znovu odchýlku 0,124 mm (0,41%). Posledná teplota pri materiály PLA bola 220 °C kde tiež bola odchýlka na vzorke 0,177 mm (0,59%).

Vzorka z ABS materiálu mala pri prvej teplote 225 °C odchýlku 0,384 mm (1,28%). Druhá teplota 230 °C mala odchýlku na vzorke 0,382 mm (1,27%). Teplota 235 °C bola posledná a vzorka mala odchýlku 0,353 mm (1,18%).

PETG vzorka mala pri teplote 235 °C odchýlku 0,193 mm (0,64%). Pri teplote 240 °C mala vzorka odchýlku 0,189 mm (0,63%). Tretia a zároveň posledná teplota bola 245 °C a vzorka mala odchýlku 0,173 mm (0,58%).

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

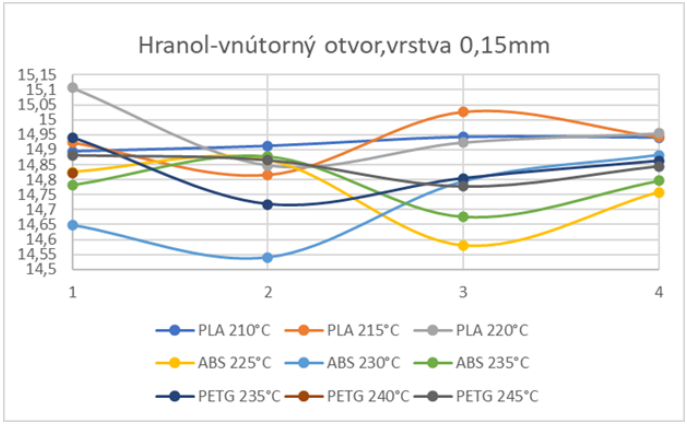


Obr. 7 Namerané hodnoty výšky valcových vzoriek pri vrstve 0,30 mm
Fig. 7 Measured values of height of the cylinder specimens with 0,30 mm layer

Z nameraných hodnôt výšky valcových vzoriek (*Obr. 7*) sme zistili, že vzorka z PLA materiálu pri teplote 210 °C má odchýlku od referenčnej hodnoty 0,096 mm (0,32%). %). Pri teplote 215 °C vzorka PLA mala znovu odchýlku 0,117 mm (0,39%). Posledná teplota pri materiály PLA bola 220 °C kde tiež bola odchýlka na vzorke 0,138 mm (0,46%).

Vzorka z ABS materiálu mala pri prvej teplote 225 °C odchýlku 0,225 mm (0,75%). Druhá teplota 230 °C mala odchýlku na vzorke 0,195 mm (0,65%). Teplota 235 °C bola posledná a vzorka mala odchýlku 0,258 mm (0,86%).

PETG vzorka mala pri teplote 235 °C odchýlku 0,148 mm (0,49%). Pri teplote 240 °C mala vzorka odchýlku 0,005 mm (0,02%). Tretia a zároveň posledná teplota bola 245 °C a vzorka mala odchýlku 0,153 mm (0,51%).



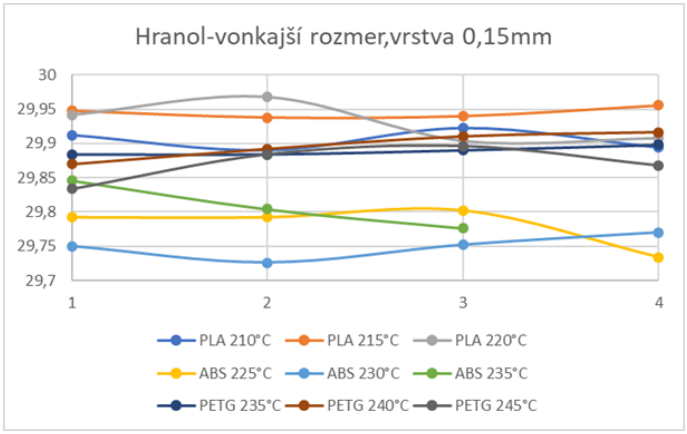
Obr. 8 Namerané hodnoty vnútorného otvoru hranolových vzoriek pri vrstve 0,15 mm
Fig. 8 Measured values of inside hole of prism specimens with 0,15 mm layer

Z nameraných hodnôt vnútorného otvoru hranolových vzoriek (*Obr. 8*) sme zistili, že vzorka z PLA materiálu pri teplote 210 °C má odchýlku od referenčnej hodnoty 0,078 mm (0,52%). Pri teplote 215 °C vzorka PLA mala znovu odchýlku 0,073 mm (0,49%). Posledná teplota pri materiály PLA bola 220°C kde tiež bola odchýlka na vzorke 0,042mm (0,28%).

Vzorka z ABS materiálu mala pri prvej teplote 225 °C odchýlku 0,030 mm (0,20%). Druhá teplota 230 °C mala odchýlku na vzorke 0,028 mm (0,19%). Teplota 235 °C bola posledná a vzorka mala odchýlku 0,023 mm (0,15%).

PETG vzorka mala pri teplote 235 °C odchýlku 0,141 mm (0,94%). Pri teplote 240 °C mala vzorka odchýlku 0,13 mm (0,87%). Tretia a zároveň posledná teplota bola 245 °C a vzorka mala odchýlku 0,146 mm (0,97%).

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

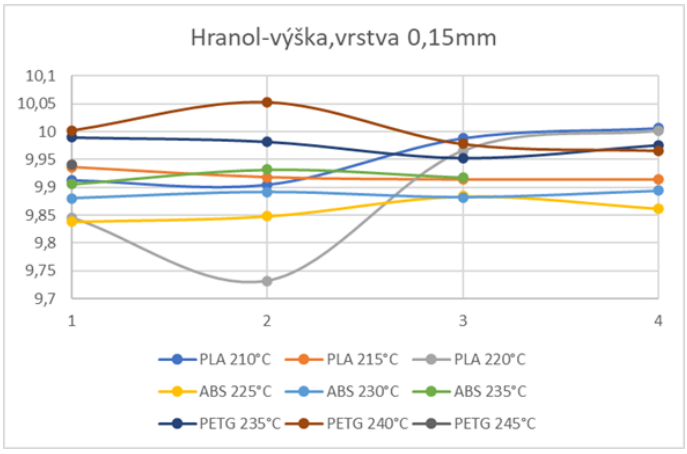


Obr. 9 Namerané hodnoty vonkajších rozmerov hranolových vzoriek pri vrstve 0,15 mm
Fig. 9 Measured values of outside dimension of prism specimens with 0,15 mm layer

Z nameraných hodnôt vonkajších rozmerov hranolových vzoriek (*Obr. 9*) sme zistili, že vzorka z PLA materiálu pri teplote 210 °C má odchýlku od referenčnej hodnoty 0,095 mm (0,32%). Pri teplote 215 °C vzorka PLA mala znovu odchýlku 0,054 mm (0,18%). Posledná teplota pri materiály PLA bola 220 °C kde tiež bola odchýlka na vzorke 0,069 mm (0,23%).

Vzorka z ABS materiálu mala pri prvej teplote 225 °C odchýlku 0,22 mm (0,73%). Druhá teplota 230 °C mala odchýlku na vzorke 0,25 mm (0,83%). Teplota 235 °C bola posledná a vzorka mala odchýlku 0,191 mm (0,64%).

PETG vzorka mala pri teplote 235 °C odchýlku 0,111 mm (0,37%). Pri teplote 240 °C mala vzorka odchýlku 0,103 mm (0,34%). Tretia a zároveň posledná teplota bola 245 °C a vzorka mala odchýlku 0,129 mm (0,43%).



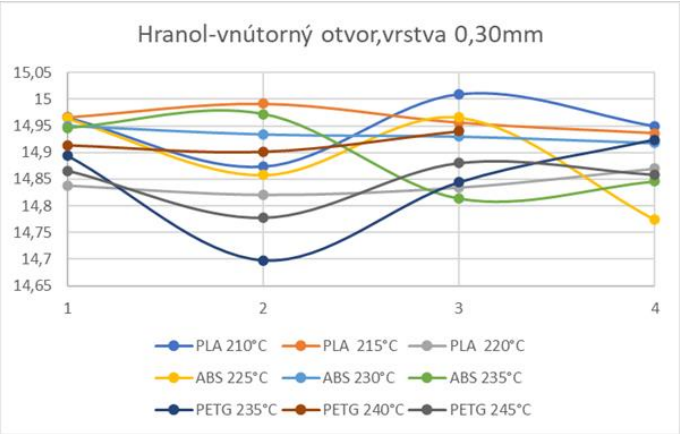
Obr. 10 Namerané hodnoty výšky hranolových vzoriek pri vrstve 0,15 mm
Fig. 10 Measured values of height of the prism specimens with 0,15 mm layer height

Z nameraných hodnôt výšky rozmerov hranolových vzoriek (*Obr. 10*) sme zistili, že vzorka z PLA materiálu pri teplote 210 °C má odchýlku od referenčnej hodnoty 0,047 mm (0,47%). Pri teplote 215 °C vzorka PLA mala znovu odchýlku 0,079 mm (0,79%). Posledná teplota pri materiály PLA bola 220 °C kde tiež bola odchýlka na vzorke 0,114 mm (1,14%).

Vzorka z ABS materiálu mala pri prvej teplote 225 °C odchýlku 0,142 mm (1,42%). Druhá teplota 230 °C mala odchýlku na vzorke 0,113 mm (1,13%). Teplota 235 °C bola posledná a vzorka mala odchýlku 0,076 mm (0,76%).

PETG vzorka mala pri teplote 235 °C odchýlku 0,025 mm (0,25%). Pri teplote 240 °C mala vzorka odchýlku 0,001 mm (0,01%). Tretia a zároveň posledná teplota bola 245 °C a vzorka mala odchýlku 0,046 mm (0,46%).

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

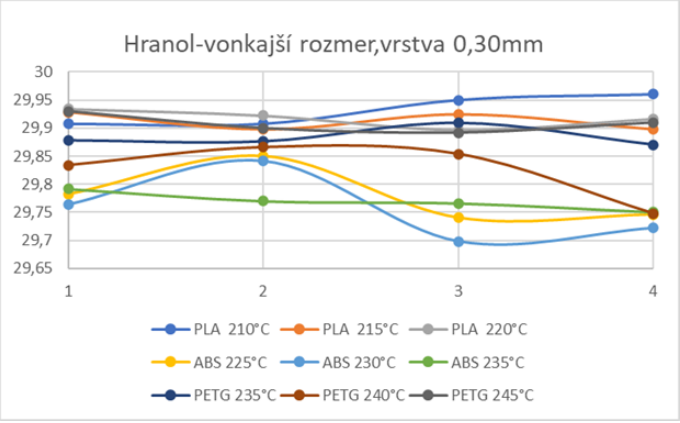


Obr. 11 Namerané hodnoty vnútorného otvoru hranolových vzoriek pri vrstve 0,30 mm
Fig. 11 Measured values of inside hole of prism specimens with 0,30 mm layer height

Z nameraných hodnôt vnútorných otvorov hranolových vzoriek (*Obr. 11*) sme zistili, že vzorka z PLA materiálu pri teplote 210 °C má odchýlku od referenčnej hodnoty 0,050 mm (0,33%). Pri teplote 215 °C vzorka PLA mala znovu odchýlku 0,037 mm (0,25%). Posledná teplota pri materiály PLA bola 220 °C kde tiež bola odchýlka na vzorke 0,159 mm (1,06%).

Vzorka z ABS materiálu mala pri prvej teplote 225 °C odchýlku 0,109 mm (0,73%). Druhá teplota 230 °C mala odchýlku na vzorke 0,067 mm (0,45%). Teplota 235 °C bola posledná a vzorka mala odchýlku 0,105 mm (0,70%).

PETG vzorka mala pri teplote 235 °C odchýlku 0,16 mm (1,07%). Pri teplote 240 °C mala vzorka odchýlku 0,083 mm (0,55%). Tretia a zároveň posledná teplota bola 245 °C a vzorka mala odchýlku 0,154 mm (1,03%).



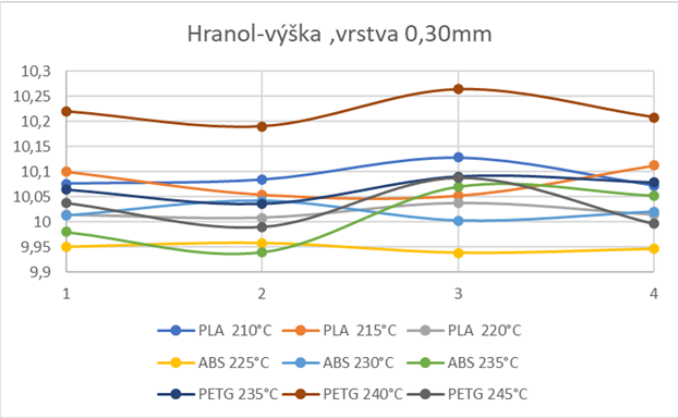
Obr. 12 Namerané hodnoty vonkajších rozmerov hranolových vzoriek pri vrstve 0,30 mm
Fig. 12 Measured values of outside dimension of prism specimens with 0,30 mm layer height

Z nameraných hodnôt vonkajších rozmerov hranolových vzoriek (*Obr. 12*) sme zistili, že vzorka z PLA materiálu pri teplote 210 °C má odchýlku od referenčnej hodnoty 0,068 mm (0,23%). Pri teplote 215 °C vzorka PLA mala znovu odchýlku 0,088 mm (0,29%). Posledná teplota pri materiály PLA bola 220 °C kde tiež bola odchýlka na vzorke 0,083 mm (0,28%).

Vzorka z ABS materiálu mala pri prvej teplote 225 °C odchýlku 0,22 mm (0,73%). Druhá teplota 230 °C mala odchýlku na vzorke 0,243 mm (0,81%). Teplota 235 °C bola posledná a mala odchýlku 0,23 mm (0,77%).

PETG vzorka mala pri teplote 235 °C odchýlku 0,116 mm (0,39%). Pri teplote 240 °C mala vzorka odchýlku 0,174 mm (0,58%). Tretia a zároveň posledná teplota bola 245 °C a vzorka mala odchýlku 0,092 mm (0,31%).

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 13 Namerané hodnoty výšky hranolových vzoriek pri vrstve 0,30 mm
Fig. 13 Measured values of height of the prism specimens with 0,30 mm layer height

Z nameraných hodnôt výšky rozmerov hranolových vzoriek (*Obr. 12*) sme zistili, že vzorka z PLA materiálu pri teplote 210 °C má odchýlku od referenčnej hodnoty 0,09 mm (0,9%). Pri teplote 215 °C vzorka PLA mala znovu odchýlku a bola väčšia o 0,08 mm (0,8%). Posledná teplota pri materiály PLA bola 220 °C kde tiež bola odchýlka na vzorke a bola väčšia o 0,019 mm (0,19%).

Vzorka z ABS materiálu mala pri prvej teplote 225 °C odchýlku 0,052 mm (0,52%). Druhá teplota 230 °C mala odchýlku na vzorke 0,019 mm (0,19%). Teplota 235 °C bola posledná a mala odchýlku 0,011 mm (0,11%).

PETG vzorka mala pri teplote 235 °C odchýlku 0,067 mm (0,67%). Pri teplote 240 °C mala vzorka odchýlku 0,221 mm (2,21%). Tretia a zároveň posledná teplota bola 245 °C a vzorka mala odchýlku 0,028 mm (0,28%).

4 Záver

Z nameraných a vypočítaných hodnôt sme zistili, že pre najlepšiu tlač čo s najmenšími odchýlkami je pri vzorke valca aj pri vzorke hranolu materiál PLA pri teplote 215 °C. Je najlepším vhodným materiálom pre obi dve nami použité výšky vrstvy (0,15 mm, 0,30 mm). Najvýhodnejšia tlač pre vzorku valca bola pri výške vrstvy 0,15 mm a teplote 215 °C. Priemerná odchýlka pri týchto parametroch bola pre vnútorný priemer 0,95%, pre vonkajší priemer 0,05% a pre výšku 0,12%. Pre vzorku hranola bola najvýhodnejšia tlač pri výške vrstvy 0,30mm a teplote 215 °C. Priemerná odchýlka pri týchto parametroch bola pre vnútorný priemer 0,25%, pre vonkajší priemer 0,29% a pre výšku 0,8%. Najväčšiu odchýlku z nami vybraných materiálov mal materiál ABS. Tým sme zistili že pre tlač je najnevhodnejší.

5 Literatúra

3D printing basics. 2016. [online], [cit. 2023-03-26]. Dostupné na: https://www.3ders.org/3d-printing-basics.html

AMFG. Industrial Applications of 3D Printing: The Ultimate Guide. [Online], [cit. 2023-03-25]. https://amfg.ai/industrial-applications-of-3d-printing-the-ultimate-guide/?cn-reloaded=1.

LANSARD, Martin. 2021. List of 3D printing technologies - guide on all 3D printing technologies, Aniwaa. [online], [cit. 2023-03-26]. Dostupné na: https://www.aniwaa.com/guide/3dprinters/3d-printing-technologies/

PRŮŠA, Josef. 2018 Original Prusa SL1 3D printer - Prusa Research. [online], [cit. 2023-03-25]. Dostupné na: https://shop.prusa3d.com/en/3d-printers/717-original-prusa-sl1.html

What is 3D printing. [online], [cit. 2023-03-25]. Dostupné na: https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/#fdm

Súhrn

Práca sa venuje analýze vplyvu teploty na geometrické tvary v namodelovaných 3D vzorkách. Meranie sa uskutočňovalo v laboratóriu Ústavu konštruovania a strojárskych technológií na TF SPU v Nitre. Pomocou rôznych troch teplôt, sme tlačili nami vymodelované vzorky. Z nameraných údajov z meraných vzoriek sme zistili, že pre najlepšiu tlač s najmenšími odchýlkami je najvhodnejší materiál PLA. Ako najnevýhodnejší materiál pre tlač, bol materiál ABS.

Kľúčové slová: 3D tlač, modely, geometrické tvary, teplota

Poďakovanie:

Touto cestou by som chcel poďakovať vedúcemu bakalárskej práce Ing. Patrikovi Kósovi, PhD. za odbornú pomoc a cenné rady, ktoré mi napomohli pri vypracovaní mojej práce.

Tento článok bol financovaný z projektu KEGA: Inovácia študijných programov využitím nových metód vzdelávania a progresívnych výrobných technológií č.003SPU-4/2021.

VPLYV OBJEKTOV NA DEFORMÁCIU MAGNETICKÉHO POĽA
INFLUENCE OF OBJECTS ON THE DEFORMATION OF THE MAGNETIC FIELD

JURAJ STAŇO[1] – VLADIMÍR CVIKLOVIČ[2]

Abstract

This contribution is focused to measuring deformation of magnetic field with using magnetoresistor in vehicle detection system. Vehicle detection is a crucial task for traffic engineers, transportation planners, and government agencies responsible for managing transportation networks. An effective method for measuring traffic flow is the use of anisotropic magnetoresistance (AMR) sensors. AMR sensors detect changes in magnetic fields, generated by passing vehicles and convert them into electrical signals, that can be analysed and processed to provide data on traffic patterns. The LSM303DLHC sensor module was used for vehicle detection. That includes both a 3-axis accelerometer and a 3-axis magnetometer. The Silicon Labs C8051F340-TB microcontroller development board is used in conjunction with the LSM303DLHC sensor module for data collection and processing. This thesis provides an overview of the methods used in vehicle detection using AMR sensors, specification, capabilities of the LSM303DLHC sensor module and signal processing techniques by MATLAB.

Key words: Vehicle detection, Anisotropic magnetorezistors, Magnetic field

1 Úvod

Meranie dopravného toku je základnou úlohou dopravných inžinierov, dopravných plánovačov a vládnych agentúr zodpovedných za riadenie dopravných sietí. Údaje získané z meraní dopravného toku možno použiť na optimalizáciu časovania dopravných signálov, úpravu rýchlostných limitov, plánovanie novej cestnej infraštruktúry a tvorba zákonov zameraných na zníženie dopravných zápch a zlepšenie bezpečnosti.

Výhody použitia senzorov AMR na detekciu vozidiel, vrátane ich vysokej presnosti, spoľahlivosti a nákladovej efektívnosti, z nich robia ideálnu voľbu pre dopravné agentúry, ktoré chcú optimalizovať tok dopravy a zvýšiť bezpečnosť na cestách a diaľniciach. Okrem poskytovania cenných údajov pre systémy riadenia dopravy možno detekciu vozidiel pomocou senzorov AMR použiť aj v celom rade iných aplikácií, ako je správa parkovania a počítanie vozidiel pre maloobchodnú analýzu.

V rámci tohto projektu vyvinieme systém detekcie vozidiel využívajúci senzor AMR a techniky spracovania signálov na presné zistenie prítomnosti vozidiel a ich počítanie.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

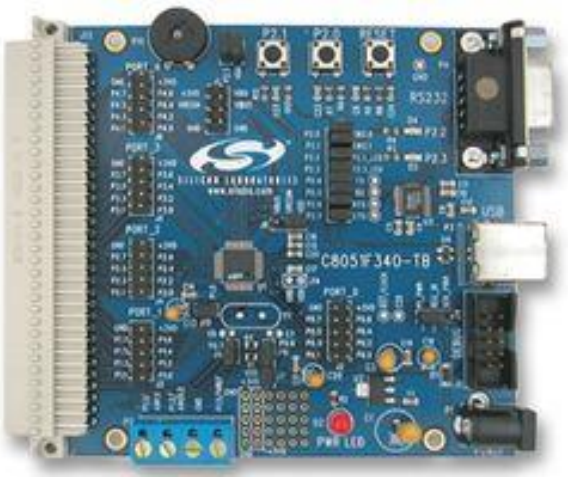
Preskúmame tiež metódy spracovania a analýzy údajov zozbieraných zo senzora, aby sme zistili relevantné informácie o meraní premávky. Presné údaje o dopravnom toku prospievajú nielen riadeniu dopravy a bezpečnosti, ale majú aj ekonomické a environmentálne dôsledky.

2 Materiál a metódy

Prvým krokom pri návrhu detekcie deformácií magnetického poľa spôsobených vozidlami bolo naštudovanie problematiky anizotropných magnetorezistorov a ich funkčnosti. Hlavným dôvodom na použitie práve anizotropných magnetorezistorov je citlivosť na zmeny magnetického poľa. Dáta prezentované v tejto práci sme získavali empirickými pokusmi, ktoré sme následne podrobili spracovaniu a procesu detekcie vrcholov v programe MATLAB.

Proces detekcie vrcholov vozidiel zahŕňa nasledujúce kroky:

1. Predspracovanie dát: Neupravené dáta o premávke najprv predspracujeme na odstránenie akéhokoľvek šumu a vyhladenie signálu. V našom prípade sme zvolili jednoduchú metódu kĺzavého priemeru.
2. Korekcia základnej úrovne: Základnú úroveň signálu následne korigujeme odčítaním referenčnej hodnoty, ktorá je priemernou hodnotou prvých 20 bodov dát v signáli.
3. Detekcia vrcholov: Vrcholy korekciou základnej úrovne signálu detegujeme pomocou prahovania signálu. Prahovú hodnotu pre detekciu signálu volíme na základe pokusu merania vozidiel v premávke.
4. Analýza: V poslednom kroku analyzujeme detegované vrcholy na určenie počtu vozidiel, ktoré prechádzajú okolo senzora a následné generovanie grafu na prezentáciu nameraných a spracovaných dát.



Obr. 1 Vývojová doska C8051F340-TB
Fig. 1 Development board C8051F340-TB

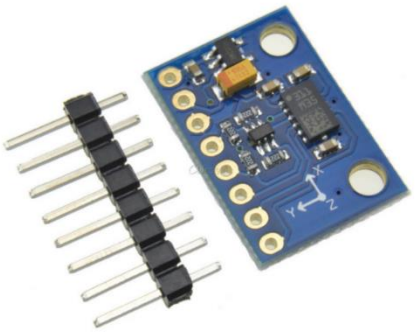
Mikrokontrolér C8051F340 (*obr. 1*) disponuje mnohými špecifikáciami, ktoré ho robia vhodným pre široké spektrum aplikácií. Niektoré z jeho kľúčových špecifikácií sú 8-bitové CPU jadro s hodinovou frekvenciou do 48 MHz, 64 kB flash pamäť na ukladanie firmvéru a 4 kB SRAM. Mikrokontrolér tiež obsahuje na čipe ADC s 16 kanálmi a rozlíšením

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

10 bitov, ako dve rozhrania UART, SPI a I2C rozhranie pre komunikáciu s inými zariadeniami. Flexibilný kontrolér prerušení mikrokontroléra podporuje 32 zdrojov, čo umožňuje veľmi rýchle a efektívne spracovanie systémových udalostí.

Mikrokontrolér C8051F340 je všestranným a výkonným zariadením, ktoré môže byť použité v širokej škále aplikácií pre vstavané systémy od priemyselnej automatizácie a kontroly po spotrebiteľskú elektroniku a zdravotnícku techniku. Jeho periférie, flexibilné programovacie možnosti a komplexné vývojové nástroje ho robia atraktívnou voľbou pre vývojárov, ktorí chcú ľahko vytvárať sofistikované vstavané systémy. (Datasheet Mikrokontrolér Silicon Labs C8051F340-TB)

LMS 303 DLHC je snímač (*obr. 2*), ktorý kombinuje digitálny trojosový akcelerometer a trojosový magnetometer do jedného kompaktného snímača. Výstupom je šesť nezávislých výstupov meraní, ktoré môžu byť v rozpätí od ±2 g po ±8 g pri meraní zrýchlenia alebo od ±130 µT až po ± 810 µT, ktoré sú dostupné cez I²C rozhranie. Napájanie snímača sa pohybuje v rozmedzí 2,16 V až do 3,6 V. Schopnosť interného autotestu umožňuje používateľovi skontrolovať funkčnosť modulu vo finálnej aplikácii. Príklady použitia snímača sú detekcia polohy, funkcie aktivované pohybom, krokomer, inteligentná úspora pre mobilné zariadenia, rozpoznávanie a zaznamenávanie nárazov, detekcia voľného pádu, vstupné zariadenia pre hry a virtuálnu realitu, orientácia displeja, monitorovanie a kompenzácia vibrácií. (Datasheet Snímač LMS303DLHC)



Obr. 2 Snímač LMS303DLHC [4]
Fig. 2 Sensor LMS303DLHC

3 Výsledky a diskusia

Z našich meraní, ktoré sme robili pred budovou technickej fakulty sme pomocou senzora umiestneného na okraji vozovky namerali skupinu 10 áut, ktoré nám poskytli referenčnú vzorku deformácie magnetického poľa. Tieto dáta sme následne spracovávali v programe Matlab pomocou nami vytvoreného programu. Súčasťou programu je vyhladenie dát a ich filtrácia za účelom odstránenia náhodných chýb z meranej vzorky a taktiež zamedzenie počítaniu týchto chýb ako vozidiel. Následne dochádza pomocou funkcie "Findpeaks" k spočítaniu vrcholov v nameranej vzorke ,ktoré predstavujú namerané vozidlá. Tieto dáta sú následne vykreslené do grafu a uložené do súboru formátu *.xlsx so spracovanými dátami.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Z týchto spracovaných hodnôt sme zistili , že bežné osobné vozidlo vychýli magnetické pole pri umiestení senzora na okraji vozovky minimálne o 5 µT túto hodnotu preto použijeme ako prah pre detekciu prejdeného vozidla. Takto spracované dáta nám poskytujú lepší obraz o deformácií magnetického poľa. Dáta sú následne uchovávané vo forme *.xlsx súboru na ďalšiu analýzu. V nasledujúcom grafe (obr. 3) môžeme vidieť časť kódu na spracovanie dát pomocou Matlabu.

```
data = xlsread('meranie2a.xlsx');
x = data(:, 1);
y = data(:, 5);

windowSize = 20;
smoothY = movmean(y, windowSize);

avg_first_20 = mean(smoothY(2:20));

smoothY = smoothY - avg_first_20;

[pks,locs] = findpeaks(smoothY, 'MinPeakHeight', 2,'MinPeakDistance', 100);

num_peaks = length(locs);

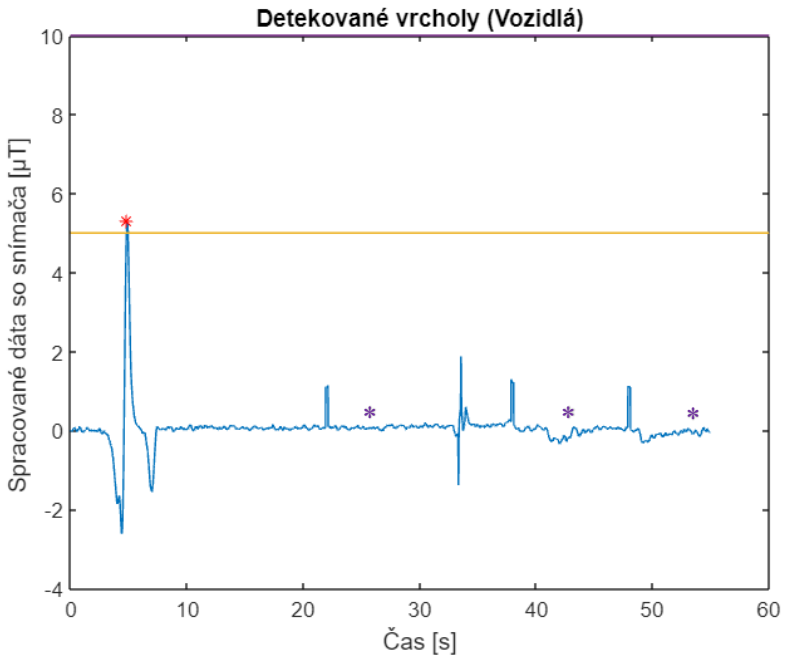
disp(['Detekované vrcholy: ', num2str(num_peaks)]);

Tabledata = array2table (smoothY, 'VariableNames',  {'B'});

writetable(Tabledata, 'spracovanedata.xls', 'Sheet', 'Data');

figure;
plot(x, smoothY);
hold on;
plot(x(locs), pks, 'r*');
plot([0 60],[5 5])
plot([0 60],[4 4])
xlabel('Čas');
ylabel('Spracované dáta so snímača');
title('Detekované vrcholy (Vozidlá)');
```

Obr. 3 Ukážka programu na spracovanie údajov pomocou programu MATLAB
Fig. 3 Data processing program using MATLAB



DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Obr. 4 Graf spracovaných dát zo snímača
Fig. 4 Graph of processed data from the sensor

Z grafu na *obr. 4* môžeme vidieť deformáciu magnetického poľa spôsobenú prechodom vozidla v okolí snímača a jeho vrchol zaznamenaný našim programom (*) s chybami (*), ktoré boli odstránené pomocou funkcie kĺzavého priemeru (*obr. 5*). Žltá čiara predstavuje prah, ktorý musí signál dosiahnuť nato aby bol považovaný za namerané vozidlo.

```
x = data(:, 1);
y = data(:, 5);
prev_sum = 0;

windowSize = 20;
smoothY = movmean(y, windowSize);
avg_first_20 = mean(smoothY(2:20));
smoothY = smoothY - avg_first_20;
hysteresis_thresh = [10, 5];
num_peaks = zeros(1,length(hysteresis_thresh));

for i = 1:length(hysteresis_thresh)
    [pks, locs] = findpeaks(smoothY, 'MinPeakHeight', ...
        hysteresis_thresh(i), 'MinPeakDistance', 100);
    num_peaks(i) = length(locs) - prev_sum;
    prev_sum = prev_sum + num_peaks(i);
end
for i = 1:length(hysteresis_thresh)
    disp(['Detekované vrcholy pre hysterezný práh ', ...
        num2str(hysteresis_thresh(i)), ': ', num2str(num_peaks(i))]);
end
Tabledata = array2table(smoothY, 'VariableNames',  {'B'});
writetable(Tabledata, 'spracovanedata.xls', 'Sheet', 'Data');
figure;
plot(x, smoothY);
hold on;
for i = 1:length(hysteresis_thresh)
    [pks,locs] = findpeaks(smoothY, 'MinPeakHeight', ...
        hysteresis_thresh(i), 'MinPeakDistance', 100);
    plot(x(locs), pks, '*');
    plot([0 60],[5 5])
    plot([0 60],[10 10])

end
xlabel('Čas');
ylabel('Spracované dáta so snímača');
title('Detekované vrcholy (Vozidlá)');
legend(string(hysteresis_thresh));
```

Obr. 5 Upravený program pre detekciu rôznych veľkostí vrcholov
Fig. 5 Modified program for detection of different peak sizes

V priebehu môžeme vidieť aj signál, ktorý pripomína signál automobilu prechádzajúceho okolo senzora. Tento signál predstavuje automobil, ktorý ide vo vedľajšom pruhu ako sa nachádza naše meracie zariadenie. Z tohto môžeme konštatovať, že nebude

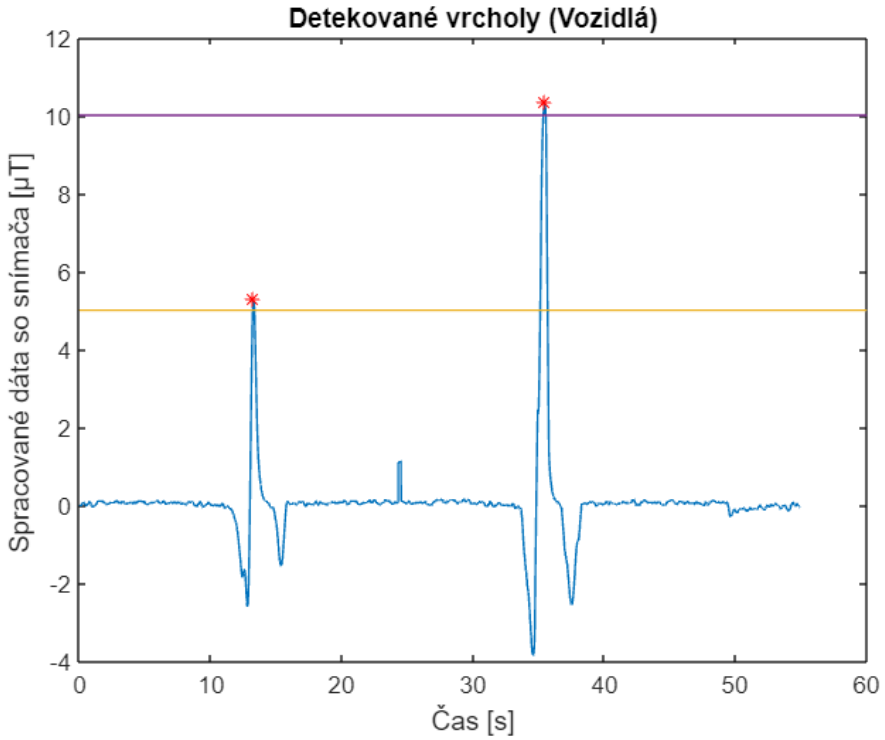
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

dochádzať k započítavaniu áut, ktoré idú v protismere do áut prejdených v našom meranom jazdnom pruhu. V prípade, že by dochádzalo k falošnej detekcii väčších napríklad nákladných vozidiel idúcich v opačnom smere v nami meranom jazdnom pruhu, by bolo možné tento problém riešiť pomocou druhého meracieho zariadenia, ktoré by meralo protichodný pruh a porovnávalo by údaje tak, aby došlo k zamedzeniu započítania nákladného vozidla v opačnom jazdnom pruhu ako automobilu v nami meranom jazdnom pruhu.

Keďže sa nám podarilo namerať významný rozdiel medzi osobnými a nákladnými automobilmi, rozhodli sme sa program upraviť a rozlišovať tieto vozidlá na základe veľkosti ich deformačnej stopy v magnetickom poli.

Z našich meraní sme zistili, že priemerné smetiarske auto spôsobí zmenu minimálne 10 µT. Preto túto hranicu budeme považovať za prah, ktorý je nutné prekročiť, aby došlo k započítaniu signálu ako nákladného auta.

Ako môžeme vidieť (*obr. 5*) v programe pribudla podmienka, ktorá počíta vrcholy v rôznych prahoch. Konkrétne v nami určených hodnotách 5 µT pre osobné automobily a 10 µT pre nákladné vozidlá. Následne ich od seba odpočítavame, aby sa zamedzilo započítaniu jedného vrcholu aj ako osobného automobilu, a aj ako nákladného vozidla. Tieto údaje sú následne ukladané do súboru v *.xlsx pre ďalšiu analýzu a tiež sú vykresľované do grafu uvedeného na *obr. 6*.



Obr. 6 Spracované dáta s rozdielnymi prahmi
Fig. 6 Processed data with different thresholds

V grafe môžeme vidieť dve rozdielne hodnoty prahov, ktoré určujú, či signál reprezentuje osobný automobil alebo nákladné vozidlo. Toto delenie signálov na rôzne kategórie by sme mohli rozviesť aj na ďalšie typy dopravných prostriedkov ako napríklad motocykle alebo aj bicykle. Vyžadovalo by si to však senzor s väčším rozlíšením.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

4 Záver

Cieľom tejto práce bolo zhodnotenie možnosti využitia magnetorezistorov na detekciu a počítanie vozidiel v cestnej doprave. Z výsledkov zistených v tejto práci môžeme konštatovať, že aplikácia anizotropných magnetorezistorov je vhodná metóda na detegovanie vozidiel hlavne v oblastiach, kde nemožno využívať iné možnosti počítania a snímania vozidiel ako napríklad detekcia kamerovým systémom.

Dáta získané zo systému detekcie vozidiel môžu byť použité na analýzu dopravných vzorcov a na informované rozhodovanie o riadení dopravy. Napríklad môžu byť použité na optimalizáciu časovania dopravných signálov, prispôsobenie rýchlostných limitov a plánovanie nových cestných infraštruktúr. Okrem toho môžu byť použité na vývoj politík zameraných na znižovanie výskytu dopravných zápch a zlepšovanie bezpečnosti.

Budúce výskumy by sa mohli zamerať na ďalšie zlepšovanie presnosti senzora AMR a optimalizovanie algoritmov spracovania dát v mikrokontroléri s cieľom zlepšiť celkový výkon systému. Okrem toho by integrácia systému detekcie vozidiel s ďalšími technológiami riadenia dopravy, ako sú inteligentné dopravné systémy, mohla ďalej zlepšiť efektívnosť riadenia toku dopravy. Celkovo systém detekcie vozidiel pomocou senzorov ukazuje veľký potenciál pre zlepšenie riadenia dopravnej siete a podporu bezpečnejších a efektívnejších podmienok vodičov.

5 Literatúra

Datasheet Mikrokontrolér Silicon Labs C8051F340-TB [online]. [cit. 2023-03-30]. Dostupné na: < https://www.mouser.sk/datasheet/2/368/C8051F34x_DK-1543552.pdf>.

Mikrokontrolér Silicon Labs C8051F340-TB [online]. [cit. 2023-03-30]. Dostupné na: < https://sk.farnell.com/productimages/standard/en_GB/129152206-40.jpg>.

Datasheet Snímač LMS303DLHC [online]. [cit. 2023-03-30]. Dostupné na: < https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/LSM303DLHC.PDF >.

Snímač LMS303DLHC [online]. [cit. 2023-03-30]. Dostupné na: < https://m.media-amazon.com/images/W/IMAGERENDERING_521856-T1/images/I/61VO3bK8u+L._AC_UF350,350_QL50_.jpg >.

Súhrn

Táto práca je zameraná na meranie deformácie magnetického poľa pomocou anizotropných magnetorezistorov a aplikáciu v systéme detekcie vozidiel. Detekcia vozidiel je kľúčovou úlohou dopravných inžinierov, dopravných plánovačov a vládnych agentúr zodpovedných za riadenie dopravných sietí. Účinnou metódou merania dopravného prúdu je použitie anizotropných magnetorezistívnych (AMR) senzorov. Senzory AMR detegujú zmeny v magnetických poliach generovaných prechádzajúcimi vozidlami a premieňajú ich na elektrické signály, ktoré možno analyzovať a spracovať, aby poskytli údaje o dopravných vzorcoch. Senzorový modul LSM303DLHC budeme používať na detekciu vozidiel. Obsahuje 3-osový akcelerometer a 3-osový magnetometer. Mikrokontrolér Silicon Labs C8051F340-TB

budeme používať v spojení so senzorovým modulom LSM303DLHC na zber a spracovanie dát. Táto práca poskytuje prehľad metód používaných pri detekcii vozidiel pomocou AMR senzorov, špecifikácie a možnosti senzorového modulu LSM303DLHC a techniky spracovania signálov pomocou MATLABu.

Kľúčové slová: Detekcia vozidiel , Anizotropické magnetorezistory , Magnetické pole

MERANIE PARAMETROV VNÚTORNÉHO PROSTREDIA V AUTOMOBILE
MONITORING PARAMETERS OF CAR CABIN

MÁRK SZÁZ[1] – IVAN VITÁZEK[2]

Abstract

This paper deal with monitoring the parameters in car cabin at different methods of climate control and different types of cabin filters. Climate control in car is realized by ventilating at 3 different speeds. Subject of climate control is achievement thermal comfort, but also the quality of the air. Control measurements are realized two different cabin filters, one common cabin filter and one carbon cabin filter. Selected vehicle to control measurements is Renault Scenic II. Monitored parameters are CO and CO_2. CO and CO_2 are measured by digital measuring instruments Testo 330-2 LL and ALMEMO 2590. Measured data shows differences between normal and carbon cabin filter parameters and difference in methods of climate control. We also measured the noise in the cabin in the parking lot and in traffic.

Key words: thermal comfort, emissivity, CO, CO_2, ventilation, car cabin, noise level

1 Úvod

V s. vislosti s tepeln. mi pomermi v prostredí sa hovorí o tzv. tepelnej pohode človeka, na ktorú sa kladie veľký dôraz, keďže na prípadný tepelný nekomfort je človek veľmi citlivý. Základným predpokladom tepelnej pohody človeka je taký stav jeho tepelného režimu, pri ktorom je telo v tepelnej rovnováhe s okolím bez výrazného mokrého potenia. Tepelnú rovnováhu človeka ovplyvňuje:

- metabolizmus človeka Q_m [W.m^{-2}],
- vlastnosti odevu: tepelný odpor R, súčiniteľ zväčšenia povrchu tela f_c [-],
- tepelný stav prostredia: teplota vzduchu t_a [°C], stredná radiačná teplota r_t [°C],
- rýchlosť prúdenia vzduchu w [m.s^{-1}], relatívna vlhkosť vzduchu φ [%],

pričom vhodná kombinácia uvedených činiteľov zabezpečí telu pocit tepelnej pohody (Karlovarský, 2004).

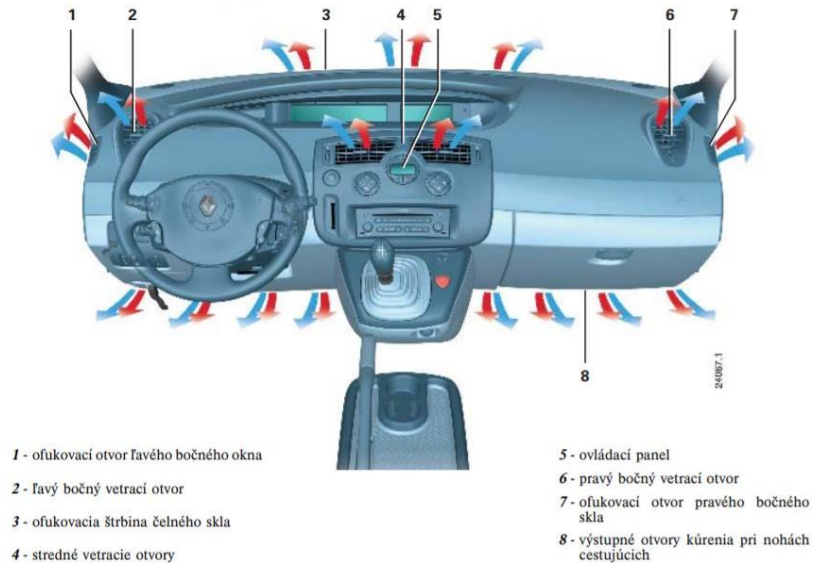
Stav prostredia je hlavnou časťou pri posudzovaní celkovej pohody človeka. Hodnotenie tepelného stavu mikroklímy je možné vykonávať hneď niekoľkými spôsobmi. Predovšetkým ho však realizuje pomocou základných fyzikálnych veličín určujúcich tepelný stav mikroklímy (Pavelek, Štetina, 2007).

Kabína sa skladá z konštrukčných prvkov, ktoré oddeľujú vnútorné, teplotne riadené prostredie, od vonkajšieho prostredia vozidla. V tejto súvislosti slúži priestor kabíny ako hlavný ústredný bod pri zabezpečovaní celkového pohodlia cestujúceho, nielen poskytnutím prostredia, ktoré umožňuje príjemný vodičský zážitok, ale tiež zabezpečenie toho, aby boli dodržané tepelné podmienky v kabíne (Garrett et. al., 2019; Vitázek et. al, 2021).

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Vetracia sústava automobilov musí spĺňať niekoľko základných požiadaviek. Okrem základnej funkcie, t.j. prívodu dostatočného množstva čerstvého vzduchu pre vodiča a aj ostatných pasažierov, musí byť schopná odviesť z kabíny vydýchaný vzduch. Tiež musí byť navrhnutá a zabezpečená tak, aby do interiéru nevnikal prach a voda, aby sa v interiéri nezahmlievali okná a aby sa na žiadnom mieste neakumuloval studený vzduch. Zároveň by celá výmena vzduchu mala prebiehať bez zbytočného hluku, či prievanu (Theseus-fe, 2021).

Vzduch privádzaný do kabíny je vhodné filtrovať. Najčastejšie sa pre filtráciu vzduchu používajú peľové filtre, ktoré odlučujú prachové častice, peľ. V súčasnej dobe je trend miesto tohto typu do vetracích sústav automobilov montovať uhlíkové filtre, ktoré v sebe spájajú výhody peľových filtrov a navyše vďaka uhlíkovej vrstve eliminujú nepríjemné zápachy a zabraňujú vniknutiu ozónu (Kameš, 2006).



Obr. 1 Vetracie otvory v meranom automobile Renault Scenic II
Fig. 1 Ventilation in measured car Renault Scenic II

Kabínový filter chráni vodiča i jeho posádku pred prachom, peľom a nečistotami z výfukových splodín, ktoré by mohli vnikať do interiéru vozidla spolu s chladným vzduchom. Nové generácie uhlíkových kombinovaných filtrov dokážu eliminovať aj pachy chemického, poľnohospodárskeho, či iného pôvodu. Filter sa spravidla nachádza v mieste pod čelným sklom, alebo priamo vo ventilačnom kanáli pred výparníkom. Kabínový filter je potrebné v pravidelných intervaloch vymieňať. Zvyčajne sa jedná o interval 1 roka, prípadne podľa množstva najazdených kilometrov v závislosti na odporúčanie výrobcu vozidla (Scheissl.cz, 2008).

Pre meranie rýchlosti prúdenia vzduchu v obytných alebo pracovných priestoroch sú potrebné metódy, ktoré nám umožnia stanoviť aj veľmi malé rýchlosti. K tomu nám slúžia tri druhy prístrojov, ktoré podľa spôsobu merania môžeme rozdeliť na:

- rotačné anemometre,
- žiarové anemometre,
- katateplomery (Janco, 2016).

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

2 Materiál a metódy

V tomto príspevku sme sa zamerali na meranie parametrov vnútorného prostredia automobilu a dokopy sme vykonali 5 meraní. Merali sme 2 dni, a to 28. 3. 2023 (podmienky: teplota okolia 6 °C, tlak vzduchu 1020 hPa, relatívna vlhkosť vzduchu 33 %) a 30.3.2023 (podmienky: teplota okolia 14 °C, tlak vzduchu 1015 hPa, relatívna vlhkosť vzduchu 60 %). Meranie bolo realizované v mestskej premávke vo vnútri vybraného automobilu Renault Scénic II s motorizáciou 1.9 dCi s výkonom 88 kW s označením F9Q, v ktorom sme vykonali 3 jazdy po meste Nitra na vopred zvolenej trase v dĺžke 6 km a merali sme aj mimo premávky na parkovisku. Objektom skúmania prvého a druhého merania bola zmena parametrov prostredia počas 2 jázd automobilom, pričom sme použili 2 rôzne kabínové filtre značky Starline, pričom bol jeden klasický a druhý bol uhlíkový. Nový filter sme vymenili za starý, umiestnenie filtra v tomto automobile je pod čelným oknom, vzadu v motorovom priestore. Filter je ďalej uzavretý za odnímateľnými dvierkami. Pomocou meracích prístrojov uvedených nižšie sme merali koncentráciu CO a CO_2, kontrolovali sme prúdenie vzduchu z výduchov. Merali sme na rôznych nastaveniach rýchlosti prúdenia, ktoré sme menili po úseku 2 km a zvyšovali sme rýchlosť prúdenia o jeden stupeň na ovládacom paneli. Pri ďalšom experimente sme vykonali aj meranie s uzavretým okruhom so zapnutou klimatizáciou, kde sme skúmali aj zmenu relatívnej vlhkosti a skúmali sme aj zmeny koncentrácie CO_2. Pri jazdách sme mali zapojenú aj diagnostiku cez ODB 2 zásuvku, ktorá sa nachádza pod lakťovou opierkou. Pomocou nej sme merali otáčky motora, prejdenú vzdialenosť, rýchlosť a zaťaženie motora. Ďalej sme merali hodnoty hluku v kabíne automobilu. Najprv sme odmerali hodnoty pri vypnutom ventilátore a zvyšovali sme rýchlosť po 0,5 stupňa rýchlosti ventilátora na ovládacom paneli až po maximum. Následne sme realizovali merania aj v premávke na už spomínanej 6 km trase, kde sme taktiež merali hodnoty hluku. Zaznamenané hodnoty sme previedli do počítača a vyhodnotili sme ich pomocou tabuliek.

Meracie prístroje:

Analyzátor spalín Testo 330-2 Ll

Technické údaje:

- Váha – 600g (bez batérie)
- Rozmery – 270 x 90 x 65 mm
- Prevádzková teplota -5 do +45 °C
- Rozmer obrazovky – 240 x 320 mm
- Funkcia zobrazenia – grafický farebný displej
- Napájací zdroj – blok akumulátoru, 3,7 V / 2,6 Ah, sieťový zdroj 6 V / 1,2 A
- Plná pamäť- 500 000 nameraných hodnôt
- Skladovacia teplota - -5 do +50 °C

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Meranie CO:

- Rozsah – 0 - 8000 ppm
- Presnosť
  - ±10 ppm alebo ±10 % z mv (0 do 200 ppm)
  - ±20 ppm nebo ±5 % z mv (201 do 2000 ppm)
  - ±10 % z mv (2001 do 8000 ppm)
- Rozlíšenie – 1ppm
- Doba odozvy – menej ako 60s



Obr. 2 Testo 330-2 Ll
Fig. 2 Testo 330-2 Ll

TESTO snímač CO

- Varuje pred nebezpečnými koncentráciami CO vo vnútornom vzduchu (napríklad v kotolniach)
- Rozsah merania: 0 až +500 ppm



Obr. 3 Testo snímač CO
Fig. 3 Testo CO sensor

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

AHLBORN ALMEMO 25904AS

Univerzálny dataloger ALMEMO 2590-4AS - 4 vstupy pre snímače ALMEMO, pamäť pre až 100 000 hodnôt (s SD-kartou takmer neobmedzená); výstupy: RS232, USB, ethernet, analógový, kontaktný (s príslušnými káblami).



Obr. 4 ALMEMO 2590
Fig. 4 ALMEMO 2590

Snímač koncentrácie CO_2 AHLBORN FYAD00CO2M1B05

- 3 meracie kanály: obsah CO_2, teplota, atmosférický tlak;
- meracie rozsahy: obsah CO_2: 0...5000 ppm, presnosť: +-(50 ppm + 3 % z meranej hodnoty) teplota: -40...+60 °C, presnosť: +-0,5 °C pri 25 °C tlak: 700...1100 mbar, presnosť: +-2 mbar pri 25 °C;
- princíp: IR-2 lúčové rozmery: ochranná krytka: priemer 20 mm, dĺžka 51 mm, držiak: priemer 12 mm, dĺžka 130 mm;



Obr. 5 Snímač koncetrácie CO_2 AHLBORN FYAD00CO2M1B05
Fig. 5 CO_2 concentracion sensor AHLBORN FYAD00CO2M1B05

Vrtuľový anemometer AHLBORN FVAD15S120

- merací rozsah: 0,4 až 20 m/s,
- presnosť: +-1 % z rozsahu +-1,5 % z meranej hodnoty,
- priemer sondy 25 mm,
- priemer otvoru na zasunutie sondy 35 mm,
- prevádzková teplota: -20 až +140 °C,



Obr. 6 Vrtuľový anemometer AHLBORN FVAD15S120
Fig. 6 Rotating anemometer AHLBORN FVAD15S120

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Zvukomer TES- 1350A

- Merací rozsah: 35 dB - 130 dB, 20 Hz - 8 kHz,
- Rozlíšenie: 0,1 dB,
- Presnosť: 1 dB,
- Trieda presnosti: 2



Obr. 7 Zvukomer TES - 1350A
Fig. 7 Sound meter TES - 1350A

Diagnostický prístroj ELM 327 V1.5

- Rozhranie: WIFI/ Bluetooth,
- Pripojenie: OBD 2 zásuvka,
- Počet pinov: 16



Obr. 8 Diagnostický prístroj ELM 327 V1.5
Fig. 8 Diagnostic tool ELM 327 V1.5

Ostatné pomôcky:

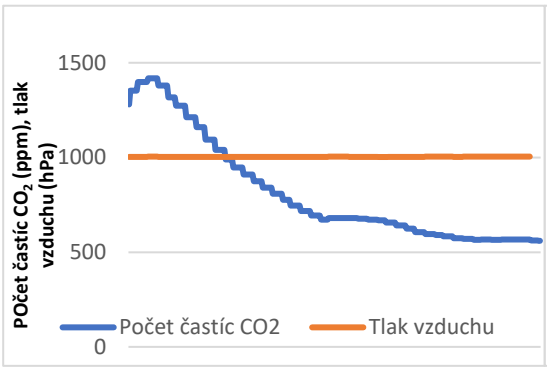
- Mobilná aplikácia Car scanner (diagnostika).

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

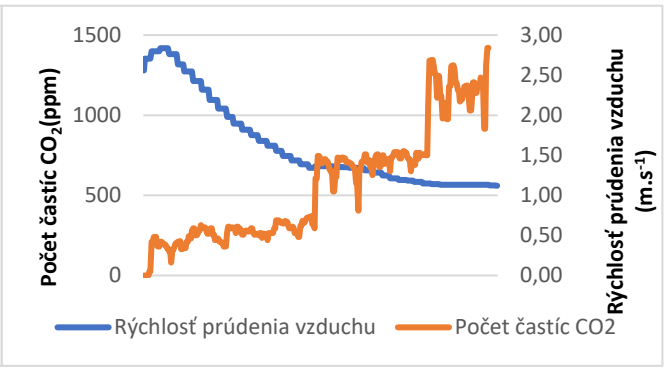
3 Výsledky a diskusia

Meranie č.1

Meranie prebiehalo v premávke na vopred určenej trase mesta Nitra v dĺžke 6 km. Použitý bol klasický kabínový filter značky Starline, ktorý sme najprv vymenili za starý. Použili sme vyššie uvedené meracie prístroje na meranie CO, CO_2, rýchlosti prúdenia vzduchu a teploty vzduchu. Merali sme tieto údaje vo vzdialenosti 5 cm od výduchov vetrania automobilu. Na ovládacom paneli sme nastavili fúkanie priamo do výduchov, kde sme mali prístroje umiestnené, aby výsledky boli čo najpresnejšie. Teplota privádzaného vzduchu bola nastavená na 20 °C. Rýchlosť prúdenia vzduchu sa pohybovala od 0,00 $m.s^{-1}$ do 2,84 $m.s^{-1}$. Tlak vzduchu bol takmer nemenný. Ako vidieť aj na nižšie uvedených obrázkoch 9 a 10, tak s rýchlosťou prúdenia klesal počet častíc CO_2, čo pozitívne prospieva kvalite vnútorného prostredia, tak aj k sústredeniu vodiča. Na obrázkoch 12 a 13 sú uvedené doplňujúce grafy parametrov vozidla počas jazdy.



Obr. 9 Počet častíc CO_2 a tlak vzduchu
Fig.9 Ppm of CO_2 and air pressure

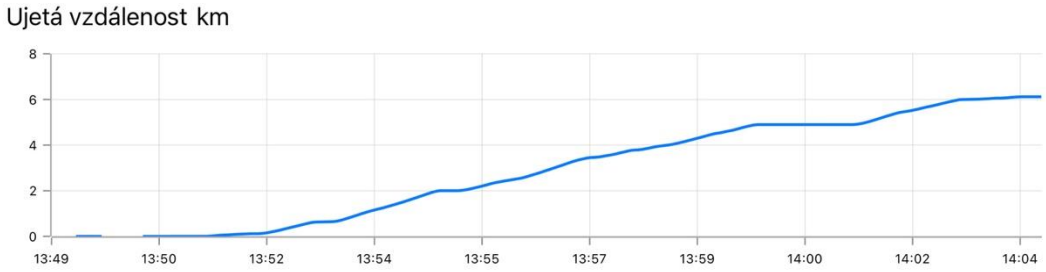


Obr.10 Rýchlosť prúdenia vzduchu a množstvo CO_2
Fig. 10 Speed of air and ppm of CO_2



Obr.11 Kabínový filter meraného vozidla
Fig.11 Cabin filter of measuered car

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



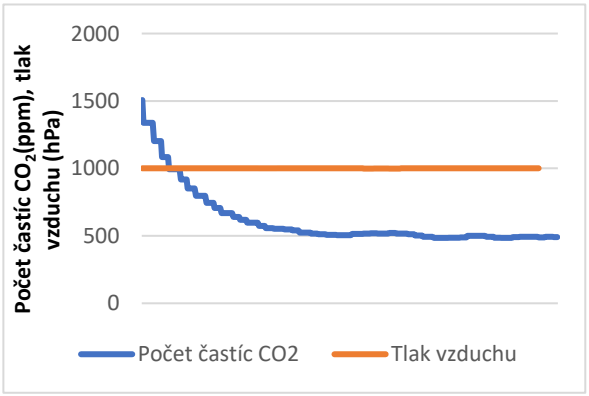
Obr. 12 Prejdená vzdialenosť vozidla počas merania
Fig. 12 Travelled distance of measurement



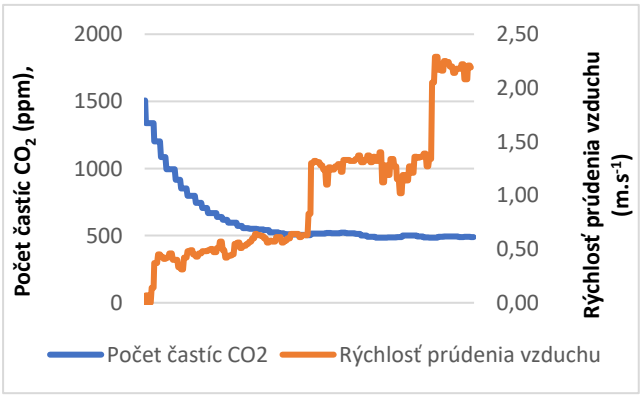
Obr. 13 Zaťaženie motora počas merania
Fig. 13 Load factor of engine while measuring

Meranie č.2

Pred druhým meraním sme vymenili kabínový filter za uhlíkový a vydali sme sa na rovnakú trasu. Ako je vidno na obrázkoch 14 a 15, pri rovnakom zvyšovaní rýchlosti ventilátora sme mohli pozorovať iný priebeh poklesu častíc CO_2 , pri podobných podmienkach. Tlak vzduchu bol takmer nemenný ako v predošlom meraní. Pri tomto meraní sme namerali počet častíc CO 2 ppm.



Obr. 14 Počet častíc CO_2 a tlak vzduchu
Fig. 14 Ppm of CO_2 and air pressure

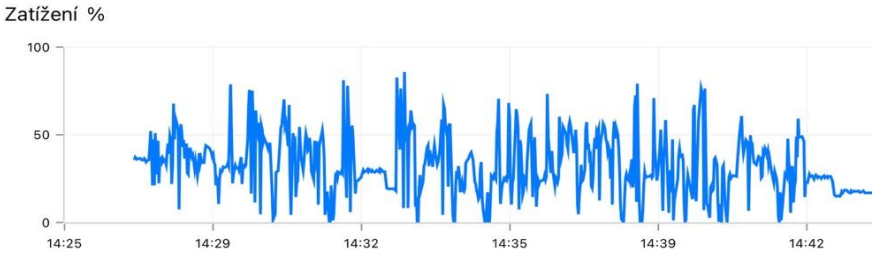


Obr. 15 Počet častíc CO_2 a rýchlosť prúdu vzduchu
Fig. 15 Ppm of CO_2 and speed of air

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 16 Porovnanie filtrov
Fig. 16 Difference between the cabin filters

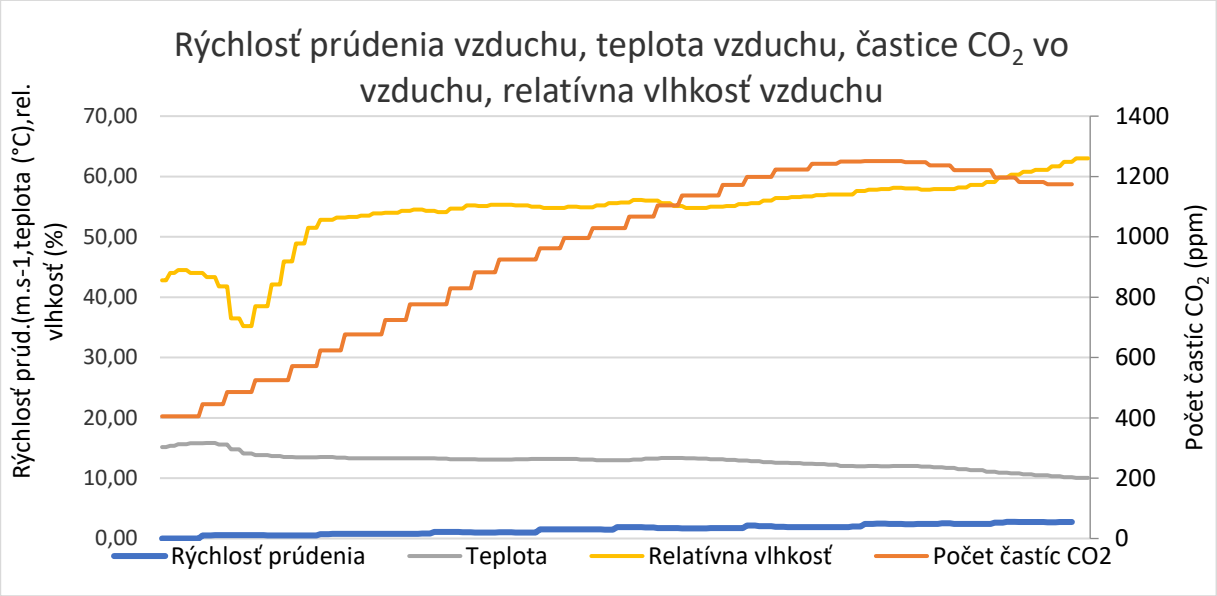


Obr. 17 Zaťaženie motora počas druhého merania
Fig. 17 Load factor of engine on second measurement

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Meranie č.3

Toto meranie sme vykonávali na parkovisku, ale s rozdielom, že sme zapli recirkuláciu vzduchu automaticky s klimatizáciou. Z nameraných hodnôt z grafu možeme odčítať vysoký nárast častíc CO_2, a to skoro až trojnásobok oproti klasickému otvorenému prúdeniu vzduchu do kabíny vozidla. Relatívna vlhkosť vzduchu sa zvyšovala a taktiež môžeme vidieť na nižšie uvedenom obrázku 18, že teplota vzduchu klesala, keďže sme mali zapnutú klimatizáciu.



Obr.18 Graf nameraných hodnôt pri zapnutej klimatizácii a vnútorného okruhu
Fig. 18 Graph of measurement while AC was on and air recyrculating was on



Obr.19 Spôsob merania prúdenia vzduchu, CO_2, relatívnej vlhkosti a tlaku vzduchu
Fig. 19 Measurement of air speed, CO_2, relative humidity and pressure

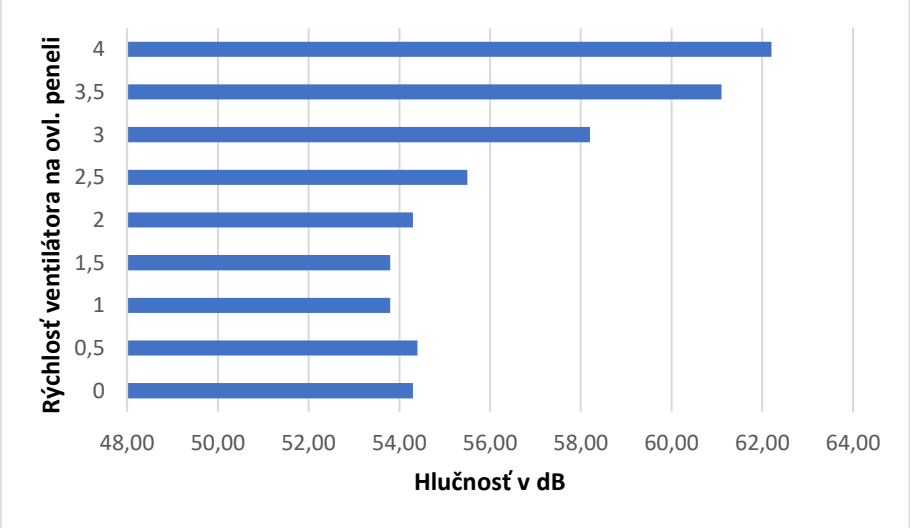
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Meranie č.4

Počas tohto merania sme sa zamerali na hluk v kabíne stojaceho automobilu. Od stavu úplne vypnutého ventilátora sme zvyšovali rýchlosti po 0,5 políčka na ovládacom paneli až po maximálnu hodnotu štyroch políčok. Zaujímavosťou bolo, že hluk v počiatočných rýchlostiach bol väčší, ako v ďalších dvoch vyšších rýchlostiach. Predpokladáme, že to bolo kvôli voľnobežným otáčkam naftového motora, ktorý vykazuje menšiu kultivovanosť, ako keď sa zapne ventilátor a otáčky motora sa musia zvýšiť na vyššiu hodnotu. Postupne, ako sme zvyšovali rýchlosť ventilátora, tak sa hluk zvyšoval, čo sa dalo povšimnúť aj mimo stavu hodnôt merania.



Obr. 20 Meranie hluku v kabíne stojaceho automobilu
Fig. 20 Noise measurement of a parked car

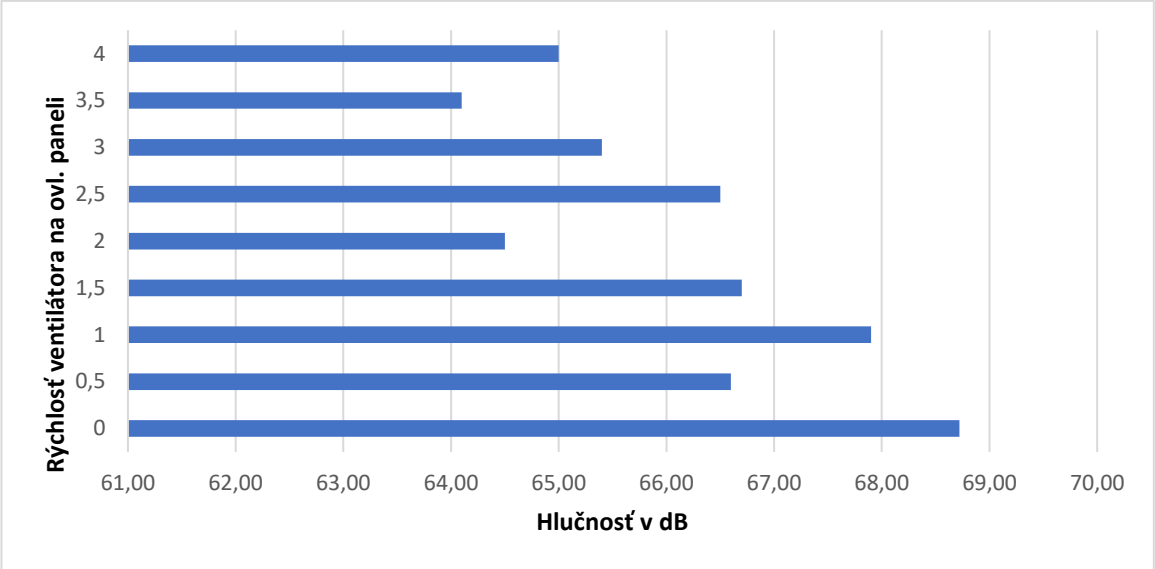


Obr. 21 Namerané hodnoty hluku v kabíne stojaceho automobilu
Fig. 21 Graph of noise measurement of a parked car

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Meranie č.5

Toto meranie hlučnosti v kabíne prebiehalo v premávke, po rovnakej trase ako predošlé merania. Merali sme vždy pri približne rovnakých otáčkach motora (1900 min^{-1}) a rýchlosti vozidla (50 $km.h^{-1}$), pre čo najpresnejšie hodnoty. Namerané hodnoty sú v nižšie uvedenom obrázku 22.



Obr. 22 Namerané hodnoty hlučnosti v premávke
Fig. 22 Graph of cabin noise in traffic

4 Záver

Počas experimentov bolo snahou zaznamenať čo najviac možných hodnôt parametrov vnútorného prostredia, ktoré nás ako vodičov ovplyvňujú v komforte, a tým pádom aj v bezpečnosti celej posádky vozidla. Snažili sme sa zistiť, či je rozdiel medzi klasickým a uhlíkovým filtrom a zistili sme, že hodnoty koncentrácie CO boli totožné, a to 2 ppm. Hodnoty tlaku a relatívnej vlhkosti vzduchu sa nemenili, rozdiel bol iba v priebehu klesania koncentrácie častíc CO_2 v čerstvom vzduchu privádzaného do kabíny automobilu. Najzaujímavejšia nameraná hodnota koncentrácie CO_2 bola, keď sme zapli vnútorný obeh vzduchu a hodnoty týchto častíc dosahovali až 3-násobok hodnoty ppm ako v otvorenom okruhu.

Ďalším parametrom bola hlučnosť v kabíne automobilu. Namerané hodnoty sa pohybovali v príslušných medziach (48 - 69 dB), keďže predpísaná maximálna hlučnosť meraného automobilu bola 71 dB. Zaujímavým faktom pri meraní bolo, že pri vypnutom ventilátore bola hlučnosť menšia ako pri prvom a druhom stupni rýchlosti ventilátora. Tento jav pripisujeme hlučnejšiemu nekultivovanému zvuku od naftového motora na voľnobežných otáčkach, ale akonáhle sa otáčky zvýšili, motor bol kultivovanejší a hlučnosť klesla. Pozorovanie vnútorných parametrov je dôležitá téma z hľadiska komfortu, a s tým spätou bezpečnosťou posádky automobilu.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

5 Literatúra

Autoklimatizace. 2008. In. *schiessl.cz*, [online], ©2008 [cit. 2023-03-23]. Dostupné na: <http://www.schiessl.cz/>.

GARET, J. M. et al. 2019. Thermal Management of Vehicle Cabins, External Surfaces, and Onboard Electronics: An Overview. In *Engineering* [online], vol. 5, pp. 954-969 [cit. 2023-04-01]. ISSN 2095-8099. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/eng.2019.02.009>.

JANCO, M. 2016. Klimatizácia, kúrenie a vetranie v osobnom automobile. In *Autorubik.sk* [online], ISSN 00103063. Dostupné na: <http://www.autorubik.sk/clanky/klimatizacia-kurenie-a-vetranie-v-osobnom-automobile/>.

KAMEŠ, J. 2006. Solární energie a automobil. In *Odborné časopisy* [cit. 2023-03-22], [online]. Dostupné na internete: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/solarni-energie-a-automobil--16195>.

KARLOVARSKÝ, J. 2004. Klimatizace se prosazují, jejich náplň ale čeká revoluce. In *tipcar.cz* [online], [cit. 2023-03-24]. ISSN 00103063. Dostupné na: https://www.tipcars.com/magazin/?text=klimatizace&str=59-20>.

PAVELEK, M. - ŠTETINA, J. 2007. *Experimentální metody v technice prostředí*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o.,. 215 s. ISBN 978-80-214- 3426-4.

THESEUS-FE. 2021. In *theseus-fe.com* [online]. © 2021 [cit.2023-02-23]. Dostupné na: <https://www.theseus-fe.com/application-areas/automotive>.

VITÁZEK, Ivan – TKÁČ, Zdenko – MAJDAN, Radoslav. 2021. Vnútorné prostredie v automobiloch – prvky výbavy a ich hodnotenie. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita. 138 s. ISBN 978-80-552-2424-4.

Súhrn

Príspevok sa zaoberá monitorovaním parametrov v kabíne auta pri rôznych spôsoboch nastavenia klimatizácie a rôznych typoch kabínových filtrov. Klimatizácia v aute je realizovaná ventiláciou pri 3 rôznych rýchlostiach prúdenia. Úlohou klimatizácie je dosiahnutie tepelnej pohody, ale aj docieliť požadovanú kvalitu vzduchu. Kontrolné merania boli realizované s dvoma rôznymi kabínovými filtrami, s jedným klasickým kabínovým filtrom a s jedným uhlíkovým kabínovým filtrom. Vybraným vozidlom pre kontrolné merania je Renault Scenic II. Monitorované parametre sú koncentrácie CO a CO_2 v ovzduší interiéru. Tieto boli merané digitálnymi meracími prístrojmi Testo 330-2 LL a ALMEMO 2590. Namerané údaje ukazujú rozdiely medzi klasickým a uhlíkovým kabínovým filtrom a rozdiel v nastavení klimatizácie. Merali sme aj hluk v kabíne automobilu na parkovisku a v premávke.

Kľúčové slová: tepelná pohoda, emisie, CO, CO_2, kabína automobilu, úroveň hluku

POSÚDENIE AUTOMOBILOV S ALTERNATÍVNYM POHONOM
ASSESSMENT OF AUTOMOBILE WITH ALTERNATIVE POWERTRAIN

ŠTEFAN ŠULAN[1]- IVAN VITÁZEK[2]

Abstract

The aim of this article is to assess the emissions of the same vehicles with the different drives. A vehicle with a conventional powertrain has an internal combustion engine. A vehicle with an alternative powertrain has the same internal combustion engine in combination with an eletric motor. Emissions are measured statically in the laboratory. We used a MAHA MET 6,3 gas analyzer to evaluate the emissions. During measurement, we found that the vehicles have comparable emissions. Different values can be associated with measurement error. From the result, we can say that the hybrid vehicle, despite the simpler combustion engine and battery charging can meet the EURO 6 AP emission standard. With simpler contruction of fuel system, it has potencial to reduce maintenance cost.

Key words: hybrid, alternative powertrain, emissions, internal combustion engine, emissions measurement

1 Úvod

Spaľovacie motory vytvárajú škodlivé znečisťujúce látky, ako sú CO, CO_2, NOx, uhľovodíky, dym atď. Preto je súčasná výroba energie a znižovanie emisií motorov najdôležitejším aspektom výskumu v oblasti spaľovacích motorov. Keďže sú však motory v súčasnosti kalibrované tak, aby boli čo najefektívnejšie a zároveň spĺňali emisné normy, stále existuje kompromis medzi emisným výkonom a účinnosťou. Na zníženie NOx a pevných častíc, sa používajú hlavne riešenia ako je recirkulácia výfukových plynov (EGR), katalyzátory selektívnej katalytickej redukcie (SCR) a filtre pevných častíc (DPF). Vinníkom ale zostáva hlavná znečisťujúca látka CO_2, čo je skleníkový plyn, ktorý je zodpovedný aj za globálne otepľovanie. Úbytok fosílnych palív, rastúce ceny ropy a prísne environmentálne predpisy podnietili intenzívny medzinárodný záujem o vývoj alternatívnych neropných palív pre spaľovacie motory. Využitie obnoviteľných alternatívnych pohonov, ktoré nie sú založené na rope, ako sú biopalivá, zemný plyn (CNG), vodíkové dieselové motory alebo hybridné pohony pomáha skrotiť emisie CO_2. (Salvi, 2013)

Hybridné elektrické vozidlo je kombináciou konvenčného vozidla poháňaného spaľovacím motorom a elektrického vozidla. Na pohon využíva spaľovací motor aj elektromotor. Dve výkonové zariadenia, spaľovací motor a elektromotor, môžu byť z hľadiska toku energie zapojené do série alebo paralelne prípadne sériovo- paralelne. Keď je spaľovací motor a elektromotor zapojené do série, vozidlo je sériový hybrid, v ktorom iba elektromotor dodáva mechanickú silu kolesám. Keď je spaľovací motor a elektromotor zapojené paralelne, vozidlo je paralelný hybrid, v ktorom elektromotor aj spaľovací motor môžu dodávať

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

mechanickú energiu na kolesá. V hybridných vozidlách je stále zdrojom energie kvapalné palivo. Spaľovací motor je hlavný zdroj energie, ktorý zabezpečuje všetku energiu pre vozidlo. Elektromotor zvyšuje účinnosť systému a znižuje spotrebu paliva rekuperáciou kinetickej energie počas rekuperačného brzdenia a optimalizuje činnosť spaľovacieho počas normálnej jazdy úpravou krútiaceho momentu a otáčok motora. Spaľovací motor poskytuje vozidlu predĺžený dojazd, čím prekonáva nevýhody čistého elektromobilu. (Mi, 2017)

Hybridné elektrické vozidlo môžeme chápať ako alternatívny pohonom ktorý nám uľahčuje prechod na plné elektrické vozidla, respektíve na iné bez emisné pohony automobilov. Je dôležité poznať aký dopad majú hybridné vozidlá na prostredie. Preto sme sa zamerali na meranie produkcií emisií vozidla so štandardným spaľovacím motorom a rovnakého spaľovacieho motora s hybridnou technológiou.

2 Materiál a metódy

Meranie prebiehalo v laboratóriu v ústave poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky. Po pristavení vozidla do laboratória sme ho zabezpečili proti nežiaducemu pohybu pomocou ručnej brzdy. Následne sme mohli pripravovať meranie. Pri hybridnom pohone sme museli najskôr nastaviť inšpekčný mód aby sme mohli zvyšovať otáčky na voľnobehu. Tento mód sme zapli pomocou týchto krokov, ktoré sa museli uskutočniť do 60 sekúnd:

1. Mať páku voliča prevodovky v polohe P
2. Zapnú zapaľovanie stlačením tlačidla na naštartovanie dva krát po sebe
3. Zošliapnuť pedál akcelerátora 2x až na podlahu
4. Presunúť páku voliča prevodovky do polohy N
5. Zošliapnuť pedál akcelerátora 2x až na podlahu
6. Presunúť páku voliča prevodovky do polohy P
7. Zošliapnuť pedál akcelerátora 2x až na podlahu
8. Stlačiť brzdový pedál a naštartovať.

Následne sa na informačnom displeji zobrazil kód ktorý znamenal, že je vozidlo v inšpekčnom móde. (Seka.sk, 2023)

Po pripravení vozidla sme mohli začať meranie merať. Najskôr sme spustili software na meranie plynov, ktorý je súčasťou analyzátora plynov MAHA MET 6,3. Následne sme zadali parametre otáčok, pri ktorých chceme uskutočniť meranie a upravili sme hodnoty podľa normy danej výrobcom vozidla. Potom sme mohli zapojiť OBD adaptér na komunikáciu vozidla so softwarom. Pre správnosť merania musel byť spaľovací motor vozidla zohriaty na minimálne 80 °C. Túto teplotu sme zisťovali pomocou externého teplomeru, ktorý sme umiestnili do miesta, ktoré vzniklo vybratím odmerky na meranie množstva oleja v spaľovacom motore. Keď spaľovací motor vozidla bol zohriaty, mohli sme pokračovať ďalej. Software po kalibrácii sondy nám oznámil, aby sme ju umiestnili do výfuku spaľovacieho motora. Po týchto krokoch nasledovalo meranie výfukových plynov. Prvé meranie prebehlo pri zvýšených otáčkach. Pre hybridné vozidlo boli otáčky spaľovacieho motora podľa normy v rozmedzí od 1400 min^{-1} až po 1600 min^{-1}. Pre vozidlo s iba spaľovacím motorom sme kvôli chýbajúcej norme zvolili zvýšené otáčky spaľovacieho motora od 2500 min^{-1} až po 2800 min^{-1}. Tieto otáčky sme museli udržať po dobu 20 sekúnd. Následne sme mohli merať emisie pri voľnobežných otáčkach. Tie boli pre hybridné vozidlo v rozmedzí od 950 min^{-1} až po 1050 min^{-1} a pre vozidlo so štandardným spaľovacím motorom v rozmedzí od 800 min^{-1} až po 900 min^{-1}. Meranie na voľnobežných otáčkach trvalo 40 sekúnd. Po skončení merania sme odstránili sondu z výfuku, odpojili OBD adaptér, odstránili teplomer a vrátili sme odmerku na meranie množstva oleja naspäť na jej miesto. Následne sme mohli vyhodnotiť získane údaje.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Použité meracie zariadenie:
Plynový analyzátor MAHA MET 6,3

Tento analyzátor slúži na meranie emisií, ktoré sa bežne nachádzajú vo výfukových plynoch. Dokáže zmerať obsah CO, CO_2, O_2, HC. Pre správnu funkciu musí byť sonda tohto analyzátora strčená do výfukového potrubia automobilu. Následne sa z plynov odlučuje voda, a tak sa plyny dostanú do meracej komory. Pri meraní CO, CO_2 a HC sa používa infračervená metóda. Pri meraní O_2 analyzátor vyhodnocuje množstvo pomocou elektrochemických článkov. (maha.de, 2023). Technické parametre sú uvedené v *Tab. 1*.

Tab. 1 Technické parametre MAHA MET 6,3
Tab. 1 Technical parameters of MAHA MET 6,3

Plyny	CO	CO_2	HC	O_2
Merací rozsah	0-15% vol	0-20% vol.	0-30000 ppm vol.	0-25% vol.
Meracia presnosť	0,06% vol.	0,5% vol.	12 ppm	0,1% vol.
Metóda merania	infračervená	infračervená	infračervená	elektrochemická
Trieda presnosti	0 (OIML)			
Odchýlka od meracieho rozsahu	±0,6% od konečnej hodnoty meracieho rozsahu			
Napájanie	110-230 V, AC, 50/60 Hz alebo 10-30 V, DC			
Pracovná teplota	+5 °C až +45 °C, odchylka ±2 °C			

Použité vozidlá:
Toyota Yaris cross 1,5 TNGA/hybrid

Toyota uviedla na trh tento model v roku 2021. Je to prvý crossover tejto značky ktorí uviedla na trh. Vozidlo sa dodávalo v klasickej a v hybridnej verzii. V klasickej verzii, ktorú sme pri meraní použili je trojvalcoví spaľovací motor s priamym vstrekovaním a objemom 1490 cm^3 spojený s manuálnou šesť stupňovou prevodovkou. V hybridnej verzií, ktorú sme pri meraní použili, je podobný trojvalcoví spaľovací motor s objemom 1490 cm^3, ale s nepriamym vstrekovaním. Táto verzia mala prevodovku s plynulou zmenou prevodu CVT. V hybridnej verzií sa taktiež nachádza elektromotor s výkonom 59 kW v kombinácií s akumulátorom s kapacitou 4,3 Ah. (Duchoň, 2022). Technické údaje sú uvedené v *Tab. 2*.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Tab. 2 Technické parametre experimentálnych vozidiel (toyotanitra.sk, 2023)
Tab. 2 Technical parameters of experimental vehicles (toyotanitra.sk, 2023)

Parameter	Jednotka	1,5 TNGA Hybrid e-CVT	1,5 TNGA benzín 6 M/T
Kód motora	-	M15A-FXE	M15A-FKS
Počet valcov	-	3 valce v rade	3 valce v rade
Palivový system	-	Nepriame vstrekovanie	Priame vstrekovanie
Zdvihový objem	cm^3	1490	1490
Max. výkon	kW	92	125
Max. krut. moment	Nm	120	153
Max. výkon hybrid. syst.	kW	85	-
Emisná norma	-	EURO 6 AP	EURO 6 AP
Emisie CO2	$g.km^{-1}$	101-113	133-134
Emisie CO	$g.km^{-1}$	157,1	165
Emisie HC	$g.km^{-1}$	13,5	8,3
Emisie NOx	$g.km^{-1}$	7	9,1
Celková hmotnosť	kg	1690	1625
Rozmery DxŠxV	mm	4180x1765x1595	4180x1765x1595
Kombinovaná spotreba	$l.km^{-1}$	4,4-5	5,9
Výkon elektromotora	kW	59	-
Kap. akumulátora	Ah	4,3	-

3 Výsledky a diskusia

Počas merania hybridného vozidla sme merali emisie CO, CO_2, HC. O_2. Hodnota lambdy bola vypočítaná meracím softwarom. Meranie prebehlo pri dvoch rôznych otáčkach. Prvé otáčky, pri ktorých sme merali, sú otáčky pri záťaži a mali hodnotu od 1400 min^{-1} až po 1600 min^{-1}. Tieto otáčky sú dané predpisom od výrobcu vozidla. Namerané hodnoty sú zobrazené v *Tab. 3*. V tejto tabuľke sú zobrazené aj hodnoty, ktoré majú spĺňať podľa normy EURO 6 AP.

Tab. 3 Namerané hodnoty pri zvýšených otáčkach pre hybridné vozidlo
Tab. 3 Measured values at increased rpm for hybrid vehicle

Skúška	Jednotka	Požadovaná min. hodnota	Požadovaná max. hodnota	Nameraná hodnota
Otáčky	min^{-1}	1400	1600	1505
CO	% vol.	-	0,3	0,03
HC	ppm	-	100	23
Lambda	x	0,97	1,03	0,999
O_2	% vol.	-	-	0,03
CO_2	% vol.	-	-	15,46

Druhé otáčky, pri ktorých sme merali, sú taktiež predpísané výrobcom a sú to otáčky na voľnobehu. Hodnota týchto otáčok bola od 950 min^{-1} až po 1050 min^{-1} Namerané hodnoty pri voľnobežných otáčkach sú *Tab. 4*. Ak porovnáme emisie pri voľnobehu a pri zaťažení tak sa

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

líšia iba minimálne. Môžeme povedať, že auto splnilo limity dané normou. Taktiež môžeme usúdiť že tieto výsledky môžu byť spôsobené aj malým nájazdom kilometrov. Vozidlo mala v čase merania, podľa ODO metra, najazdených 251 km.

Tab. 4 Namerané hodnoty pri voľnobežných otáčkach pre hybridné vozidlo
Tab. 4 Measured values at idle rpm for hybrid vehicle

Skúška	Jednotka	Požadovaná min. Hodnota	Požadovaná max. hodnota	Nameraná hodnota
Otáčky	min^{-1}	950	1050	1000
CO	% vol.	-	0,3	0,03
HC	ppm	-	100	24
Lambda	x	0,97	-	0,999
O_2	% vol.	-	-	0,02
CO_2	% vol.	-	-	15,64

Pri meraní vozidla ktoré je poháňané iba štandardným benzínovým motorom sme postupovali rovnako. Nepodarilo sa nám získať normované otáčky, ktoré udáva výrobca, pri ktorých by sme mali merať emisie. Preto sme museli odhadnúť otáčky pri záťaži, pri ktorých sme merali. Tieto otáčky sme zvolili v rozmedzí od 2500 min^{-1} až po 2800 min^{-1}. Výsledky merania môžeme vidieť v *Tab. 5*. Taktiež sa v tabuľke nachádzajú hodnoty ktoré sú dané normou EURO 6 AP.

Tab. 5 Namerané hodnoty pri zvýšených otáčkach pre benzínové vozidlo
Tab. 5 Measured values at increased rpm for petrol vehicle

Skúška	Jednotka	Požadovaná min. Hodnota	Požadovaná max. hodnota	Nameraná hodnota
Otáčky	min^{-1}	2500	2800	2657
CO	% vol.	-	0,3	0,03
HC	ppm	-	100	11
Lambda	x	0,97	1,03	1,001
O_2	% vol.	-	-	0,05
CO_2	% vol.	-	-	15,45

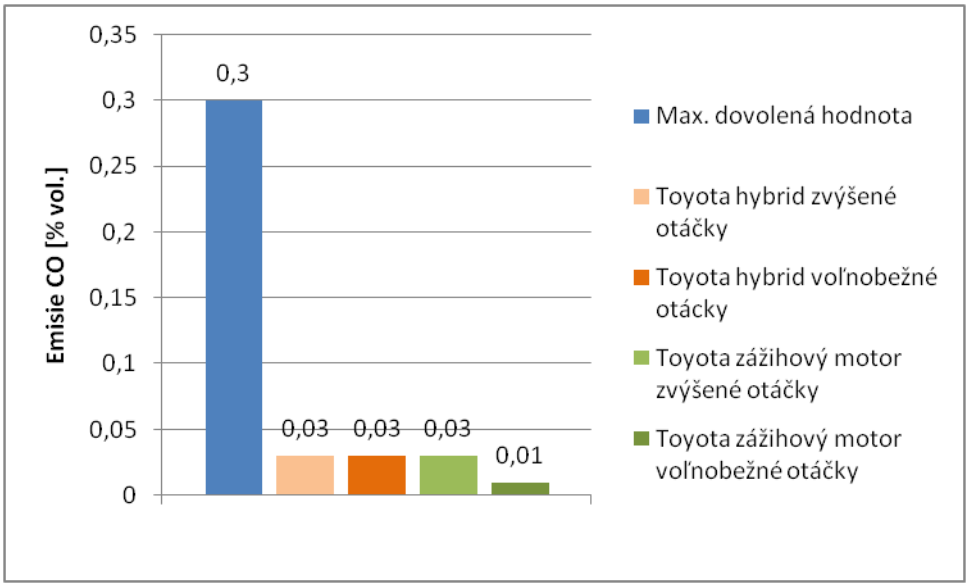
Hodnoty voľnobežných otáčok sme taktiež museli odhadnúť. Zvolili sme hodnoty, ktoré boli najbližšie k aktuálnym hodnotám na otáčkomere. Rozsah sme zvolili od 800 min^{-1} až do 900 min^{-1}. Podobne ako pri hybride sme mali veľmi podobné výsledné hodnoty (*Tab. 6*) bez väčšej zmeny. Taktiež aj toto vozidlo malo malý nájazd, a to podľa ODO metra 247 km.

Tab. 6 Namerané hodnoty pri voľnobežných otáčkach pre benzínové vozidlo
Tab. 6 Measured values at idle rpm for petrol vehicle

Skúška	Jednotka	Požadovaná min. Hodnota	Požadovaná max. hodnota	Nameraná hodnota
Otáčky	min^{-1}	800	900	838
CO	% vol.	-	0,3	0,01
HC	ppm	-	100	8
Lambda	x	-	-	1,000
O_2	% vol.	-	-	0,03
CO_2	% vol.	-	-	15,44

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

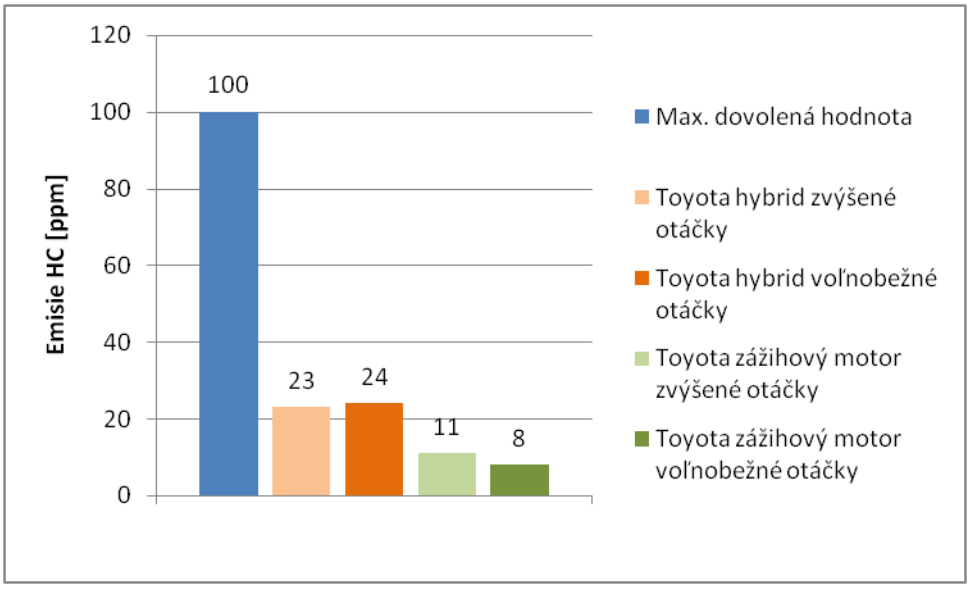
Pri porovnávaní jednotlivých druhov emisií medzi vozidla s hybridným pohonom a s konvenčným pohonom pri statickom meraní sme nezaznamenali žiadny rozdiel. Jednotlivé malé výkyvy mohli byť spôsobené chybou merania. Emisie CO a HC majú určený maximálny limit, ktorý nemôžu prekročiť pri meraní. To sa nám nepodarilo prekročiť ani pri jednom meraní. Emisie CO sme namerali maximálne 0,03% vol. Vozidlo so zážihovým motorom vykázalo menšie hodnoty, čo ale môže byť spôsobené chybou merania. Na Obr. 1 môžeme vidieť porovnanie jednotlivých nameraných hodnôt.



Obr. 1 Namerané hodnoty emisií CO v porovnaní s maximálnou dovolenou hodnotou
Fig. 1 Measured CO emission values compared to the maximum permitted value

Pri meraní emisií HC sme taktiež dosiahli oveľa nižšie emisie, ako je dovolená hodnota daná výrobcom. Emisie HC hybridného vozidla boli pri zvýšených a aj voľnobežných otáčkach o niečo vyššie ako hodnoty namerané pri vozidle so štandardným zážihovým motorom. Túto odchýlku mohla spôsobiť chyba merania, keďže namerané hodnoty sa pohybovali vo veľmi malom rozmedzí. Jednou z príčin, ktoré by mohli spôsobiť zvýšenie hodnôt HC pri hybridnom pohone, mohol spôsobiť aj rozličný systém vstrekovania paliva. Pri štandardnom zážihovom motore výrobca použil priame vstrekovanie paliva do valca. Výrobca uprednostnil priame vstrekovanie hlavne z dôvodu lepšieho rozptýlenia paliva pri vstrekovaní, a tým zlepšil spotrebu paliva a aj účinnosť. Priame vstrekovanie môže spôsobiť zvýšenie usádzania karbónu na sacích ventiloch. Pri nepriamom vstrekovaní sa palivo vstrekuje ešte pred sacie ventily, kde sa zmiešava so vzduchom. Tento druh vstrekovania má vyššiu spotrebu v porovnaní s priamym vstrekovaním. Rozdiely medzi týmito druhmi vstrekovania paliva mohli spôsobiť zvýšenie emisií HC. Tento rozdiel by sa mohol prejaviť hlavne pri statickom meraní emisií, kedy pri hybridnom vozidle nepomáha elektromotor s rozbehom, ale práveže viac zaťažil motor z dôvodu dobíjania batérií, ktoré boli v čase merania takmer vybité. Rozdiel môžeme vidieť na Obr. 2. (Benko, 2018)

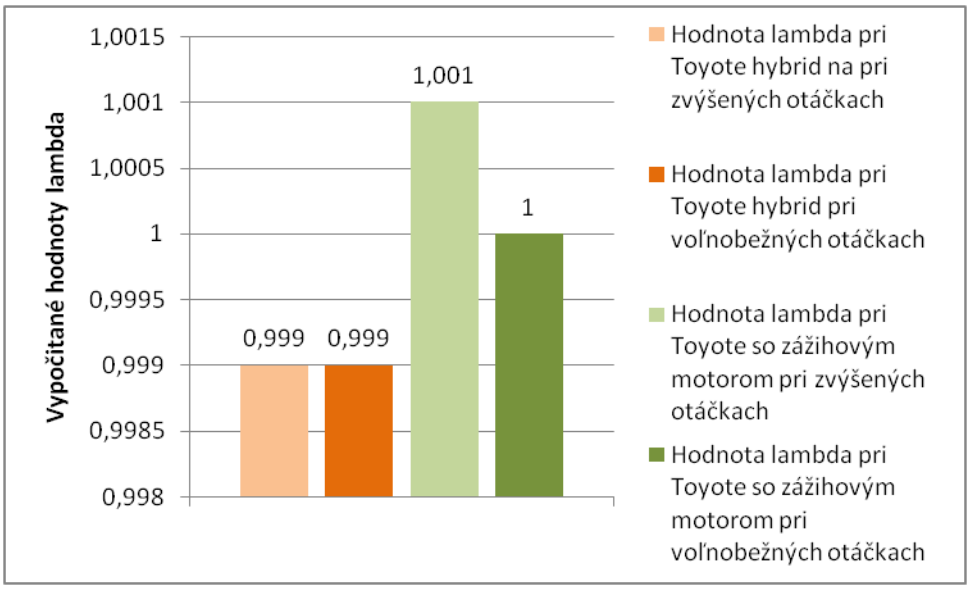
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 2 Namerané hodnoty emisií HC v porovnaní s maximálnou dovolenou hodnotou
Fig. 2 Measured HC emission values compared to the maximum permitted value

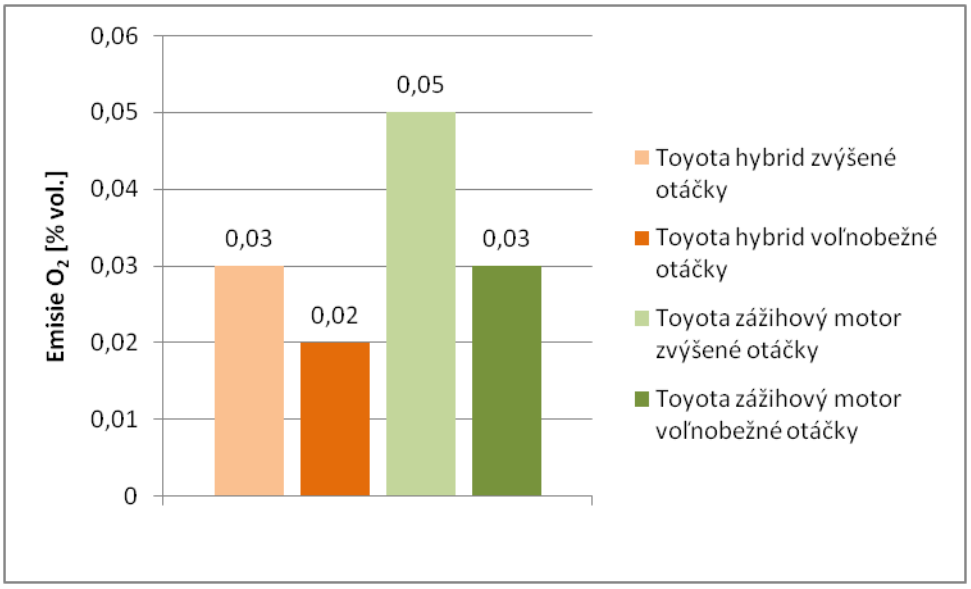
Pre overenie sme spravili meranie mimo predpísaných otáčok. Tam sme motor zaťažili otáčkami 2487 min^{-1}. Pri tomto meraní sme dosiahli opačný výsledok množstva emisií HC, kedy sme pri hybridnom vozidle dosiahli nulové emisie HC a pri zážihovom motore sme namerali hodnotu 8 ppm. Táto hodnota sa stále nachádza v možnej chybe merania.

Pri emisiách O_2 a CO_2 norma neuvádza hodnotu, ktorú by spaľovacie motory nemali prekročiť. Vozidlá vykazovali rovnaké emisie v rámci odchýlky merania. Rovnako aj pri počítaní hodnoty lambda. Táto hodnota by sa mala pohybovať v rozmedzí od 0,97 až po 1,03. Ideálna hodnota sa rovná jednej. Pri meraniach, sme sa pohybovali okolo hodnoty 1 čo vidíme na *Obr. 3*. Ďalšie porovnané hodnoty sú uvedené v *Obr. 4* a *Obr. 5*

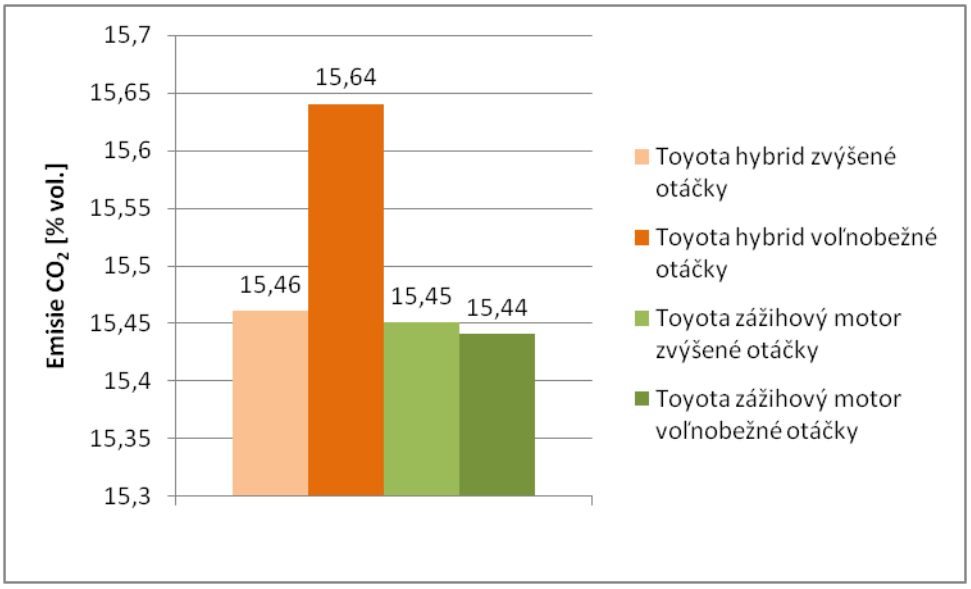


Obr. 3 Namerané hodnoty lambda
Fig. 3 Measured lambda values

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 4 Namerané hodnoty emisií O_2
Fig. 4 Measured O_2 emission values



Obr. 5 Namerané hodnoty emisií CO_2
Fig. 5 Measured CO_2 emission values

Pri statickej skúške sme dosiahli rovnaké množstvo emisií pri hybridnom a konvenčnom pohone rovnakých automobilov. Napriek inej konštrukcií palivovej sústavy spaľovacieho motora pri hybridnom vozidle a faktu, že počas merania bol spaľovací motor zaťažení kvôli dobíjaniu, sme dosiahli porovnateľné výsledky s vozidlom so spaľovacím motorom. Môžeme predpokladať, že pri rôznych režimoch dynamického skúšania by boli výsledky iné. Ako uvádza (Benko, 2017) pri výpočte emisií CO_2 pri hybridnom a konvenčnom pohone automobilu značky Toyota. Výsledky výpočtov vychádzajú v prospech hybridného vozidla, kedy pri nájazde 90000 km hybridné vozidlo vyprodukuje o 34% menej emisií CO_2. Ak porovnáme naše vozidlá s údajmi, ktoré udáva výrobca (toyotanitra.sk, 2023), pri emisiách CO_2 hybridné vozidlo produkuje o 21 g emisií CO_2 menej na jeden kilometer v kombinovanom cykle. Hybridný pohon v kombinácií s nepriamym vstrekovaním môže zlepšiť jeho emisie, kedy mu pomáha pri záťaži, kedy by nebol až tak účinný. Jeho jednoduchšia konštrukcia môže byť predpokladom nižších nákladov, ktoré môžu vzniknúť pri jeho údržbe. Hlavne z dôvodu

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

menšieho usádzania karbónu na sacích ventiloch sa môže predlžiť životnosť takéhoto spaľovacieho motora. A taktiež aj pri väčšom nájazde kilometrov stále spĺňať emisné normy.

4 Záver

Meraním sme sa snažili zistiť aké emisie produkuje vozidlo s hybridným pohonom a konvenčným zážihovým motorom pri statickej skúške. Použitím vozidiel od rovnakého výrobcu, s podobným spaľovacím motorom sme zamedzili rozdielom v emisiách, ktoré by mohli byť spôsobené iným prístupom konštruktérov automobilu. Hlavným rozdielom konštrukcie spaľovacích motorov je palivová sústava. Kde pri hybride zvoli konštruktéri menej efektívnu ale jednoduchšiu nepriamu vstrekovaciu sústavu. Jej nedostatky z oblasti pružnosti a spotreby vynahradí elektromotor. Pri konvenčnom zážihovom motore je priame vstrekovanie, ktoré je efektívnejšie a s menšou spotrebou. Môže mať ale náročnejšiu údržbu.

Počas merania sa neobjavili významné rozdiely v emisiách týchto vozidiel. Môžeme povedať, že obe vozidlá spĺňajú limity normy EURO 6 AP. Pri dynamickej skúške by sme mohli predpokladať výraznejšie zhoršenie emisií konvenčného pohonu. Môžeme predvídať nižšie náklady na budúci servis hybridného vozidla z dôvodu jednoduchšieho palivového systému, ktorý nespôsobuje nadmerné tvorenie karbónu na ventiloch.

5 Literatúra

BENKO, Marek. 2018. Špecifikácia vybraných typov hybridných pohonov: Diplomová práca [online]. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita. 55s. [cit. 2023-03-23]. Dostupné na: <https://opac.crzp.sk/?fn=docview2ChildW1T6TC&record=9DC506D08C724D652A903C05890A&seo=CRZP-Prehliadanie-pr%C3%A1c>.

DUCHOŇ, Jiří. 2022. Toyota Yaris Cross- Velké-malé ambice. In Automobil revue [online]. [cit. 2023-03-22]. Dostupné na: <https://www.automobilrevue.cz/rubriky/presunuto-na-trucker-cz-truck-bus/predstavujeme/toyota-yaris-cross-velke-male-ambice_48829.html>.

MI, Chris- MASRUR, Abul M. 2017. Hybrid Electric Vehicles: Principles and Applications with Practical Perspectives [online], Second Edition. Hoboken: John Wiley & Sons Ltd [cit. 2023-02-13]. 555 s. ISBN 9781118970553. Dostupné na: <https://sci-hub.ru/10.1002/9781118970553>.

MET 6,3. 2023. In Emission tester maha.de [online], [cit. 2023-03-21]. Dostupné na: <https://www.maha.de/en/products/emission-measurement-technology/emission-tester/met-63~p2172>.

SALVI, B. L. 2013. Alternative fuels for transportation vehicles: A technical review. In Renewable and Sustainable Energy Reviews [online], vol. 25, no. 1, pp. 404-419 [cit. 2023-01-25]. ISSN 1364-0321. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.017>.

SEKA. 2023. Inšpekčný mód pre hybridné vozidlá [online]. [cit. 2023-03-22]. Dostupné na: <https://www.seka.sk/storage/app/media/stranky/technici/servisne-informacie/hybrid/TOYOTA-2WD-HYBRID.pdf>.

Yaris Cross. 2023. In toyotanitra.sk [online]. [cit. 2023-03-23]. Dostupné na: <https://www.toyotanitra.sk/sk/imported-article/yaris-cross>.

Súhrn

Cieľom tohto článku je posúdenie emisií tých rovnakých vozidiel s rozdielnym pohonom. Vozidlo s konvenčným pohonom má zážihový spaľovací motor. Vozidlo s alternatívnym pohonom má ten istý spaľovací motor v kombinácií s elektromotorom. Meranie emisií prebieha staticky v laboratóriu. Na vyhodnotenie emisií sme použili plynový analyzátor MAHA MET 6,3. Pri meraní sme zistili, že vozidlá majú porovnateľné emisie pri statickom meraní. Rozdielne hodnoty môžu byť spojené s chybou merania. Výsledkami vieme povedať, že hybridné vozidlo napriek jednoduchšiemu spaľovaciemu motoru a nabíjaní batérií dokáže splniť emisnú normu EURO 6 AP. Jednoduchšou konštrukciou má potenciál znížiť náklady na údržbu.

Kľúčové slová: hybrid, alternatívny pohon, emisie, náklady, meranie emisií

NÁVRH A REALIZÁCIA RIADENIA ROBOTICKÉHO RAMENA
DESIGN AND IMPLEMENTATION OF ROBOTIC ARM CONTROL

DANIEL TAKÁČ[1] – VLADIMÍR CVIKLOVIČ[2]

Abstract

The contribution is focused on the design and realization of control of the robotic arm. The main goal of this work includes the design and construction of an electronics prototype for controlling a robotic arm by means of stepper motors. In the first part of the work, the device itself and the subsequent electrical connection of the circuits in the EAGLE application are analyzed. The next work is to configure the C8051F410 microcontroller, define the ports and set up the SPI communication between the DR8711 controller and the microcontroller in Configuration Wizard 2. The work that needs to be done is to prototype a device that will contain the C8051F410 microcontroller and the DRV8711 controller. Technical documentation for the proposed electronics and firmware for communication with the superior computer is created, making it a functional robotic arm for the implementation of position-oriented work tasks.

Key words: robotic arm, microcontroller, EAGLE, Configuration Wizard 2, Keil uVision 5

1 Úvod

Každé robotické zariadenie potrebuje pre svoju funkčnosť budiče motorov s riadením. Pomocou naprogramovaných aplikácií je možné riadiť rôzne robotické zariadenia v rôznych odvetviach. Aplikácie môžu byť zhotovené na riadenie daných častí robota, napríklad na zváranie, lakovanie alebo rôzne iné aplikácie v priemysle, potravinárstve a poľnohospodárstve. Pohyb robota väčšinou býva realizovaný pomocou elektrického motora. Najlacnejšou alternatívou je krokový motor, ktorý má výhodu presnej kontroly otáčania a nízkej ceny. Za určitých podmienok je možné presne určiť polohu, preto tieto motory nachádzajú uplatnenie v priemyselnej robotike.

Integrované obvody, ktoré sú určené na napájanie krokového motora obsahujú množstvo nastaviteľných parametrov potrebných na optimálne doladenie pre konkrétny typ. Pri použití krokového motora s bipolárnym budením treba dva "H" mostíky na jeden krokový motor. V prípade unipolárneho budenia je nutné mať štyri budiče pre jeden motor, pričom každý budič môže pozostávať s jedného tranzistora (SONAKSHI, 2011).

Cieľom práce je návrh a následná realizácia riadenia už vopred zostaveného robotického ramena. Návrh bude tvoriť prototyp zariadenia na riadenie daného ramena, ktorý bude obsahovať mikrokontrolér C8051F410 a tri ovládače DRV8711 pre tri unipolárne krokové motory. Krokové motory budú v zapojení s bipolárnym budením. Schéma a doska plošného spoja zariadenia bude navrhnutá v aplikácii EAGLE. Pomocou správneho nakonfigurovania vývodov mikrokontroléra v aplikácii Configuration Wizard 2 a nastavenia hodnôt všetkých registrov v DRV8711 bude následne vytvorený program v aplikácii Keil µVision5 na čítanie a

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

zápis do registrov. Komunikácia bude prebiehať s využitím štandardu SPI. Komunikácia s nadradeným systémom bude využívať sériovú linku RS-232 v plne duplexnom režime.

2 Materiál a metódy

Robotické rameno

Ide už vopred zostavené, priemyselne vyrábané zariadenie (*obr. 1*), ktoré je zložené z troch krokových motorov na riadenie troch kĺbov. Rameno taktiež obsahuje jeden solenoid, ktorý plní úlohu otvárania a zatvárania čeľustí.



Obr. 1 Robotické rameno
Fig.1 Robotic arm

Po privedení elektrického prúdu na cievku sa vytvorí elektromagnetické pole, ktoré následne posunie kovový valček a otvorí čeľuste, následne po odpojení napájania sa pomocou vratnej pružiny vrátia čeľuste späť do pôvodnej zatvorenej polohy. Parametre bipolárneho krokového motora sú zobrazené v *tabuľke 1*.

Tab. 1 Parametre krokového motora
Tab. 1 Stepper motor parameters

parameter	označenie	hodnota	jednotka
uhol kroku	α	1,8	°
prevádzkový moment	M_{sv}	1,86	Nm
prevádzková frekvencia	f_{aom}	830	Hz
menovitý prúd	I	7	A

Ovládač DRV8711

DRV8711 (*obr. 2*) je určený na riadenie bipolárneho krokového motora. Robotické rameno obsahuje tri krokové motory, preto treba zrealizovať tri takéto dosky budičov. DRV8711 využíva externé N-kanálové MOSFET tranzistory. Má integrovaný tzv. „mikrokrokový indexer“, ktorý obsahuje krokové režimy od plného kroku až po 1/256 kroku. Tento čip má jednoduché rozhranie krok/smer (STEP/DIR) a PWM, ktoré dáva možnosť jednoduchého prepojenia obvodov s kontrolérom. Komunikácia prebieha prostredníctvom sériového rozhrania SPI. Rozsah napájania tohto ovládača je 8 až 52 V, obsahuje 5 V regulátor s možnosťou pripojenia záťaže do 10 mA. Obsahuje tiež ochranné a diagnostické funkcie (Texas Instruments, 2014).

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 2 Doska ovládača DRV8711
Fig. 2 Driver board DRV8711

Mikrokontrolér C8051F410

Na komunikáciu s ovládačom sme použili mikrokontrolér C8051F410 (*obr. 3*). Na testovanie funkčnosti sa využívala vývojová doska C8051F410-TB od spoločnosti Silicon Laboratories. Tento čip bude taktiež použitý pri návrhu prototypu zariadenia na riadenie krokových motorov. Ide o vysoko integrovaný 8-bitový mikrokontrolér má výkonné jadro 8051 s maximálnou hodinovou frekvenciou 50 MHz. Tento čip obsahuje 32 kB pamäte typu flash, 2,25 kB pamäte SRAM a ďalšie komunikačné rozhrania. Obvod v sebe integruje štyri 16-bitové časovače. Analógové funkcie čipu obsahujú 12-bitový AD prevodník, dva DA prevodníky a dva analógové komparátory. S obsahom monitora napájacieho napätia, nulovania čipu pri zapnutí, časovača Watchdog a interného oscilátora je tento mikrokontrolér samostatným riešením systému na čipe (Silicon Labs, 2022).



Obr. 3 Vývojová doska C8051F410
Fig. 3 Development board C8051F10

3 Výsledky a diskusia

Ako prvá postupová činnosť v práci bola analýza robotického ramena, kde bolo treba označiť výstupné vodiče a zostrojenie schém zapojenia krokových motorov. Po osadení dosiek ovládačov DRV8711, konkrétne troch sa konfigurovali a definovali vývody mikrokontroléra C8051F410 a taktiež nastavenie SPI komunikácie s definovaním štyroch signálov (MISO, MOSI, CS, SCLK). Pre správne riadenie motora bola taktiež potrebná konfigurácia registrov DRV8711.

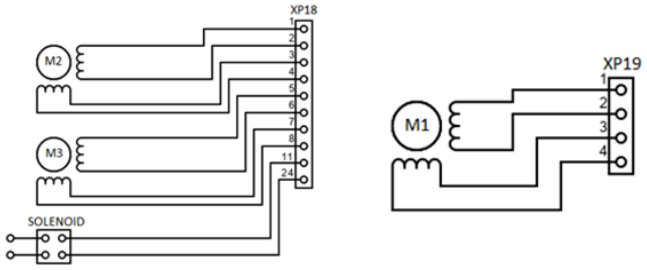
Analýza robotického ramena

Navrhovanie prototypu zariadenia na riadenie robotického ramena prostredníctvom krokových motorov sme začali analýzou robotického zariadenia. Obvod budiča s DRV8711 obsahuje štyri externé MOSFET tranzistory, ktoré zabezpečujú správny prietok prúdu cievkami krokového motora s cieľom zabezpečiť správny smer otáčania. Pre správne zapojenie vodičov do ovládačov riadenia sa vyhotovila technická dokumentácia.

Schémy zapojenia krokových motorov (*obr. 4*) sme zostrojili kvôli jednoduchému zapojeniu k ovládačom DRV8711 pri testovaní funkčnosti programu v ďalších častiach práce

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

a následne k zapojeniu vo finálnom prototype zariadenia. V schéme sa nachádza taktiež jeden elektromagnetický solenoid, ktorý bude mať za úlohu otvárať a zatvárať čeľuste robotického ramena, privedením napájania na svorkovnicu.



Obr. 4 Schémy zapojenia krokových motorov k svorkovniciam
Fig. 4 Wiring diagram of stepper motors to terminal blocks

Konfigurácia

Konfigurácia mikrokontroléra C8051F410 prebiehala v aplikácii Configuration Wizard 2. Po výbere čipu sme nastavili SPI komunikáciu. Parametre sú režim Master v trojvodičovom zapojení. Mikrokontrolér riadi všetky prenosy údajov na zbernici SPI. Prenos bajtu začína zápisom do registra SPI0DAT. Watchdog časovač zatiaľ nebol používaný. Keďže SPI sériová komunikácia obsahuje konkrétne signály (MISO, MOSI, CS, SCLK), bolo treba zadefinovať príslušné vývody.

Prvým krokom pri konfigurácii DRV8711 je požadovaná frekvencia otáčania motora a úroveň mikrokrokovania. Požadovaná frekvencia otáčania motora bola 150 min^{-1}, úroveň mikrokrokovania 1/4 a úplný uhol kroku motora bol 1,8°. Následne sa vypočítala frekvencia kroku podľa vzťahu (1).

$$f_{step}(mikrokroky/sekunda) = \frac{v\left(\frac{rotácia}{minuty}\right).360\left(\frac{°}{rotácia}\right).n_m\left(\frac{mikrokrok}{krok}\right)}{60\left(\frac{sekundy}{minuta}\right).\theta_{step}\left(\frac{°}{krok}\right)} = \frac{150.360.4}{60.1,8} = 2000(mikrokroky/sekunda) \quad (1)$$

kde v je požadovaná frekvencia otáčania motora,
n_m je úroveň mikrokrokovania,
θ_{step} úplný uhol kroku motora,

V krokovom motore sa nastavuje maximálny prúd IFS(2) jedným vinutím. IFS sa vypočítal nasledovne:

$$I_{FS} = \frac{2,75.TORQUE}{256.ISGAIN.R_{SENSE}} = \frac{2,75.100}{256.40.0,01} = 2,68\ A \quad (2)$$

Kde *TORQUE* je krútiaci moment ako podiel k IFS,
R_{SENSE} je snímací odpor,
ISGAIN je zisk.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Tab. 2 Nastavenie registrov
Tab. 2 Register settings

CTRL Register					
bit	**názov**	**veľkosť**	**čítanie/zápis**	**Binárna hodnota**	**popis**
0	ENBL	1	R/W	1	Povoliť motor
1	RDIR	1	R/W	0	Smer nastavený kolíkom DIR
2	RSTEP	1	W	0	Žiadna akcia
6-3	MODE	4	R/W	0010	1/4 krok
7	EXSTALL	1	R/W	1	Vonkajšia detekcia zastavenia
9-8	ISGAIN	2	R/W	11	Zisk 40
11-10	DTIME	2	R/W	11	850 ns mrtvý čas
TORQUE Register					
7-0	TORQUE	8	R/W	0110 0100	nastavuje výstupný prúd v plnom rozsahu pre oba H-mostíky
10-8	SMPLTH	3	R/W	001	100 us
11	Reserved	1	-	-	-
OFF Register					
7-0	TOFF	8	R/W	1111 1111	Nastaví pevný čas vypnutia od 500 ns do 128 us
8	PWMMODE	1	R/W	0	Použije vnútorný indexer
11-9	Reserved	3	-	-	-
BLANK Register					
7-0	TBLANK	8	R/W	1111 1110	minimálny čas otvoreného tranzistora – 5,10 us
8	ABT	1	R/W	0	Zakázať adaptívny čas vypnutia
11-9	Reserved	3	-	-	
DECAY Register					
7-0	TDECAY	8	R/W	HEX 0x10	Nastavuje zmiešaný čas prechodu rozpadu v prírastkoch 500 ns
10-8	DECMOD	3	R/W	101	Vždy použije automatický zmiešaný rozklad
11	Reserved	1	-	-	
STALL Register					
7-0	SDTHR	8	R/W	HEX 0x40	Nastavuje prah detekcie zastavenia
9-8	SDCNT	2	R/W	00	STALLn potvrdil na prvom kroku so spätným EMF pod SDTHR
11-10	VDIV	2	R/W	00	Spätné EMF je delené 32
DRIVE Register					
1-0	OCPTH	2	R/W	01	500 mV- prah OCP
3-2	OCPDEG	2	R/W	10	4 us - čas deglitch OCP
5-4	TDRIVEN	2	R/W	01	500 ns - čas pohonu brány na nízkej strane
7-6	TDRIVEP	2	R/W	01	500 ns - čas pohonu brány na vysokej strane
9-8	IDRIVEN	2	R/W	10	300 mA - špičkový prúd pohonu brány na nízkej strane
11-10	IDRIVEP	2	R/W	10	150 mA - Špičkový prúd pohonu brány na vysokej strane

Pri konfigurácii registrov DRV8711 sme postupovali podľa katalógového listu výrobcu (Texas Instruments, 2014). Nastavovali sme registre podľa vypočítaných hodnôt (tab. 2). Každý

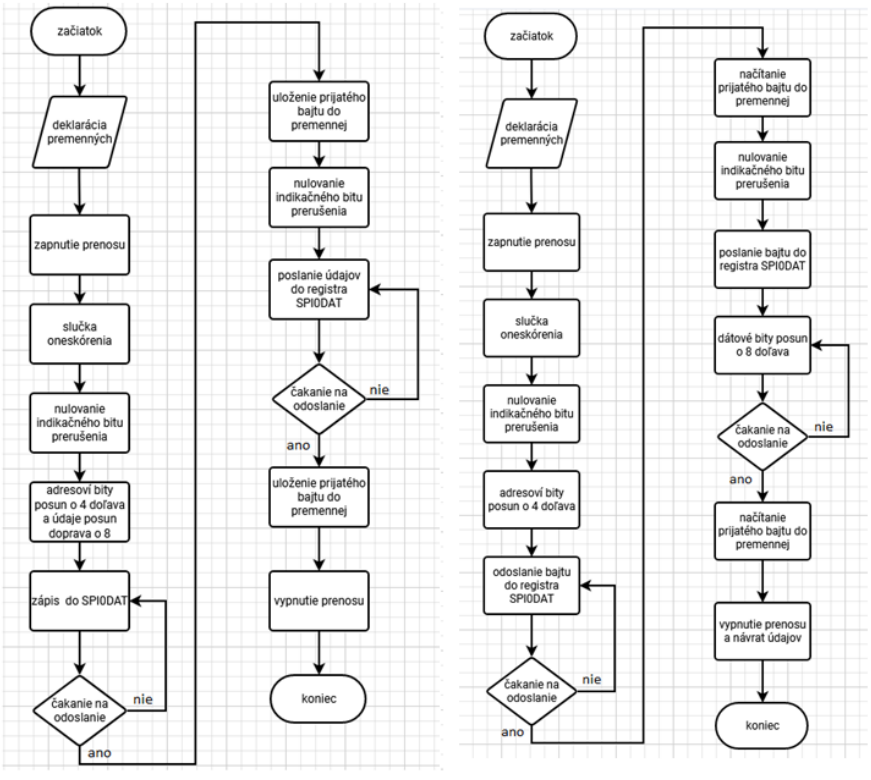
jeden register má vlastnú adresu a 12 bitovú správu. DRV8711 obsahuje konkrétne osem 16-bitových registrov (CTRL, TORQUE, OFF, BLANK, DECAY, STALL, DRIVE, STATUS), pričom status register sa nekonfiguruje.

Pre výsledný zápis jednotlivých registrov bolo potrebné vyskladať jednotlivé bity každého registra, pričom každý z nich obsahoval 12 bitov. Výsledná hodnota registrov sa následne zapísala vo výsledku ako hexadecimálna hodnota, ktorá sa použije pri definovaní registrov v programe v ďalších častiach práce. Výsledné hodnoty registrov v hexadecimálnom čísle boli teda :

- CTRL -> 0xF91 -> adresa 0x00
- TORQUE -> 0x164 -> adresa 0x01
- OFF -> 0x0FF -> adresa 0x02
- BLANK -> 0x0FE -> adresa 0x03
- DECAY -> 0x510 -> adresa 0x04
- STALL -> 0x040 -> adresa 0x05
- DRIVE -> 0x859 -> adresa 0x06

Programovanie

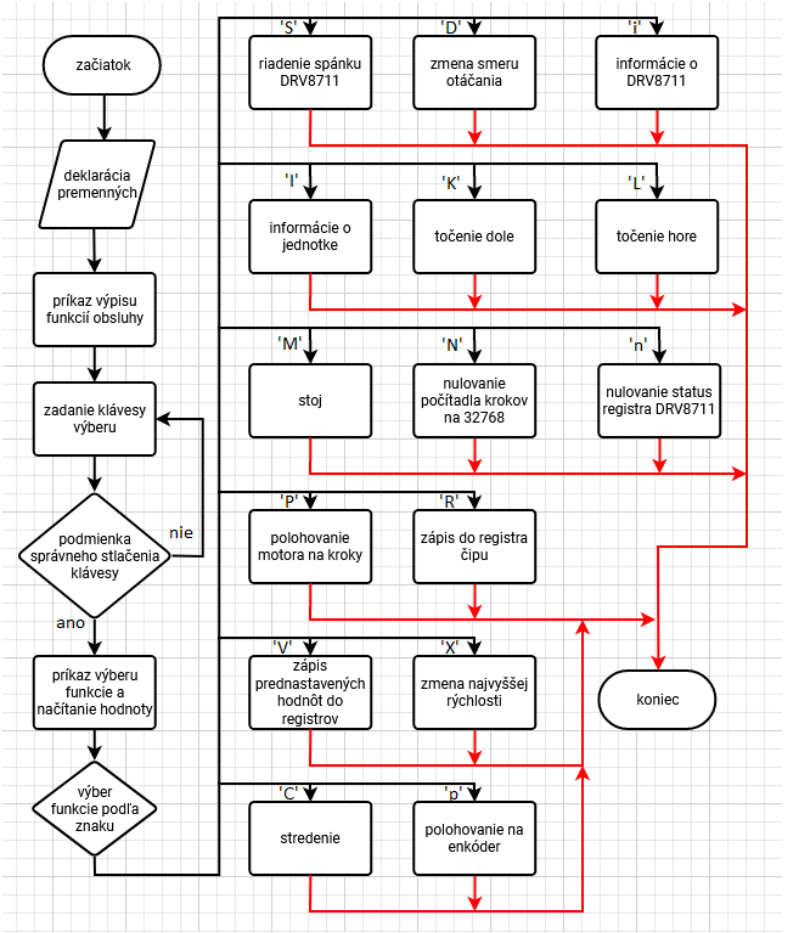
Po vytvorení projektu v aplikácii Keil uVision 5 bolo ako prvé potrebné nahrať existujúci súbor už zmieneného nastavenia čipu C8051F410 z aplikácii Configuration Wizard 2. Ďalšou časťou bolo potrebné definovať všetky registre DRV8711 s ich hodnotami a zadeklarovať si potrebné premenné. Na definovanie registra sme použili príkaz „#define názov registra a jeho hodnota“. Na komunikáciu prostredníctvom SPI bola vytvorená osobitná funkcia.



Obr. 5 Vývojový diagram čítanie a zápis
Fig. 5 Read and write flowchart

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Po zadeklarovaní premenných sa nastaví vývod CS na logickú 1 a po oneskorení sa spustí prenos. Vynuluje sa indikačný bit prerušenia SPI, ktorý je nastavený hardvérom po ukončení prenosu. Na vývojovom diagrame (*obr. 5*) je tiež zobrazené čítanie z registra. Čítanie z registra funguje na podobnom princípe ako zápis. Po deklarácií premenných sa spustí prenos tým, že sa nastaví vývod CS, prebehne slučka oneskorenia prostredníctvom príkazu „for“. Znova prebieha nulovanie indikačného bitu prerušenia, teda SPIF je v logickej 0. Register sa posunie o štyri bity doľava (adresa registra) a nastaví sa najvyšší bit pri čítaní 0x80. Údaje sa následne odošlú do DRV8711. Ak je SPIF v logickej 1, tak prenos prebehol. Následne sa načítajú prijaté údaje z registra SPI0DAT. Na prenos druhého bajtu sa znova nastaví SPIF do logickej 0 do registra SPI0DAT sa pošle hodnota 0xFF, táto hodnota sa používa ak sa číta z SPI. Údaje v pamäti sa posunú o 8 bitov doľava a čaká sa znova na odoslanie a súčasne na prijatie, keďže ide o plne duplexnú komunikáciu. Po načítaní údajov sa komunikácia zo zariadením ukončí, CS sa nuluje. Údaje z funkcie sa vrátia do hlavnej slučky programu pomocou príkazu „return“.



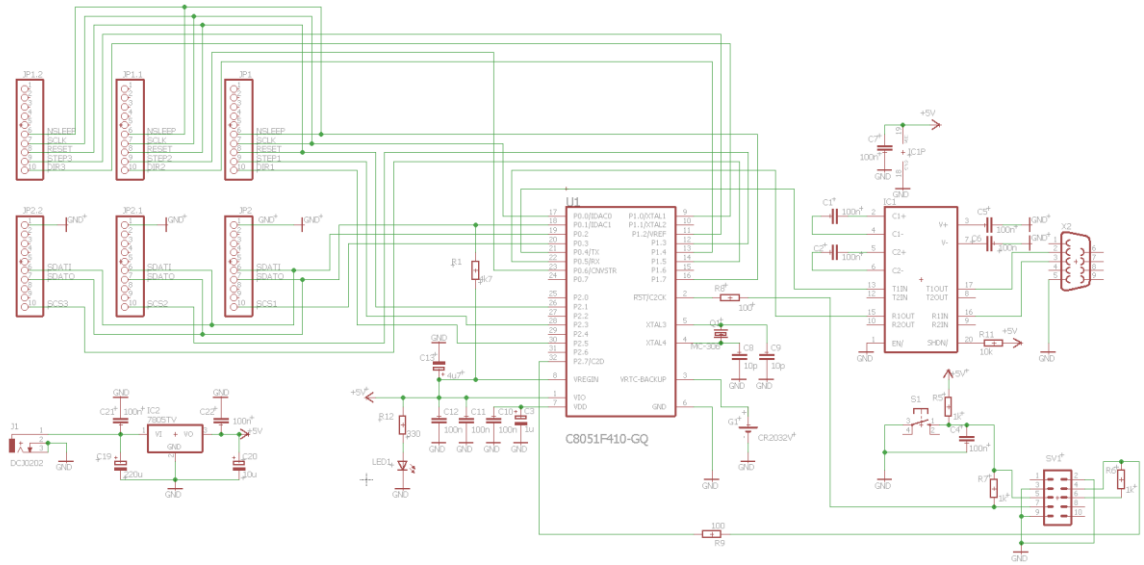
Obr. 6 Vývojový diagram obsluha prijatých informácií cez RS-232
Fig. 6 Flow diagram of handling received information via RS-232

Pre obsluhu všetkých prijatých informácií prostredníctvom štandardu RS-232 *(obr. 6)* sa použil príkaz vetvenia „switch“. Na komunikáciu boli použité funkcie z knižnice stdio.h.

Návrh zariadenia sa realizovalo v aplikácii EAGLE. Ide o nástroj, pomocou ktorého sa dá bezproblémovo a jednoducho vytvárať schéma zapojenia z možnosťou rozmiestnenia súčiastok na doske plošného spoja. Taktiež je tu možnosť vzájomného pospájania súčiastok pomocou funkcie „Net“, rôzne rotácie, či zmena hodnôt alebo názvu, pridanie popisov, poprípade vytvorenia vlastnej súčiastky s potrebnými parametrami a mnoho ďalších funkcií.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

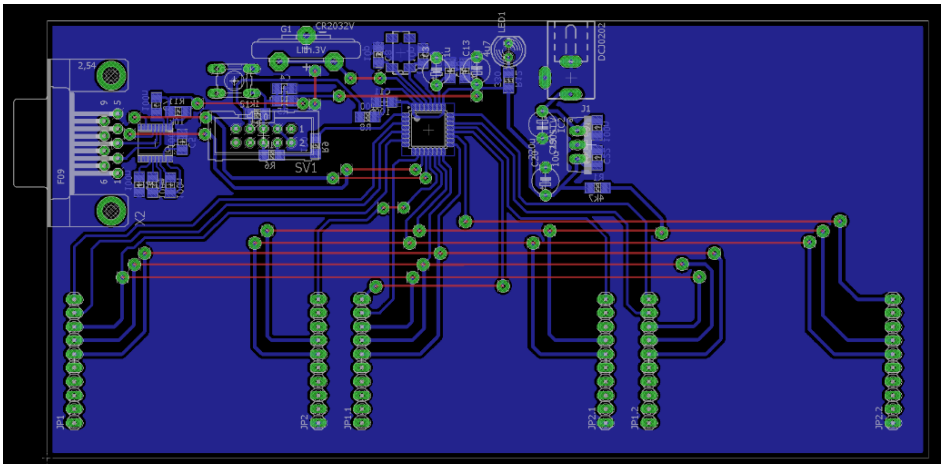
EAGLE obsahuje knižnice, ktoré sa už nachádzajú v softvéri pri inštalácií alebo sa poprípade dajú stiahnuť ďalšie rôzne knižnice.



Obr. 7 Schéma zapojenia prototypu
Fig. 7 Circuit diagram of the prototype

Na *obrázku 7* je zobrazená schéma prototypu zariadenia, ktorá obsahuje mikrokontrolér C8051F410 (U1), ktorý je prepojený s vývodmi kolíkových líšt (JP1, JP2, JP1.1, JP2.1, JP1.2, JP2.2) na pripojenie dosiek ovládačov DRV8711 na riadenie bipolárne zapojených krokových motorov robotického ramena. Pre každý jeden ovládač sú určené dve kolíkové lišty. Použité porty mikrokontroléra na komunikáciu s ovládačmi DRV8711 je možné vidieť na schéme na *obrázku 7*.

Ďalej schéma obsahuje napájací jednosmerný jack konektor (J1), spolu s regulátorom napätia 7805TV (IC2). Zdroj napätia neposkytuje výstup s pevným napätím, kvôli tomu tu je zaradení regulátor, ktorý udržuje konštantne výstupné napätie. Na pravej strane schémy je zobrazený taktiež konektor (X2) pre sériové pripojenie štandardu RS-232. Konektor využíva len 3 výstupy a to zem(GND), TX a RX na príjem a prenášanie údajov cez čip na prenos a príjem údajov (IC1), ktorý je prepojený s mikrokontrolérom C8051F410, taktiež na výstupy TX(P0.4) a RX(P0.5). Schéma obsahuje odľadovací konektor(debug header, SV1), ktorý slúži na odladenie programu, spolu s resetovacím tlačidlom (S1).



Obr. 8 Doska prototypu zariadenia
Fig. 8 Device prototype board

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Po zostrojení schémy zapojenia prototypu, sme následne vytvorili dosku plošných spojov (*obr. 8*). Ide o finálny prototyp zariadenia.

4 Záver

Výsledkom tejto práce je prototyp zariadenia na riadenie už vopred zhotoveného robotického ramena, prostredníctvom krokových motorov. Riadenie zabezpečí trojica dosiek ovládačov DRV8711, ktoré bolo potrebné nakonfigurovať. Tieto ovládače obsahujú MOSFET tranzistory zabezpečujúce správny prietok prúdu podľa požadovaných parametrov použitého krokového motora. Prototyp obsahuje mikrokontrolér C8051F410, ktorý zabezpečí komunikáciu so všetkými ovládačmi pomocou správne nakonfigurovaných portov. Prenos údajov medzi budičmi prebieha cez synchrónne sériovú komunikáciu SPI, ktorá je úplne duplexná. Algoritmus bol naprogramovaný v aplikácii Keil uVision 5. Ovládanie je založené na fyzickej vrstve štandardu RS-232.

5 Literatúra

Silicon Labs. 2022. C8051F410 [online]. [cit. 2023-03-16]. Dostupné na: < https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/C8051F41x.pdf >.

SONAKSHI, Singh. Microcontrollers for Robots. [online]. 2011 [cit. 2023-03-16]. Dostupné na: <https://www.c-sharpcorner.com/UploadFile/5a0e30/microcontrollers-for-robots/>.

Texas Instruments. 2014. DRV8711 Stepper Motor Controller IC [online]. [cit. 2023-03-16]. Dostupné na: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8711.pdf?ts=1679812222953&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FDRV8711%253FkeyMatch%253DDRV8711%2526tisearch%253Dsearch-everything%2526usecase%253DGPN>.

Súhrn

Práca je zameraná na návrh a následne realizáciu riadenia robotického ramena. Medzi hlavný cieľ tejto práce patrí návrh a zostrojenie prototypu elektroniky na riadenie robotického ramena prostredníctvom krokových motorov. V prvej časti práce sa analyzuje samotné zariadenie a následne elektrické zapojenie obvodov v aplikácii EAGLE . Ďalšou častou práce je nakonfigurovanie mikrokontroléra C8051F410, definovanie portov a nastavenie SPI komunikácie medzi ovládačom DR8711 a mikrokontrolérom v aplikácii Configuration Wizard 2. Výsledkom práce je prototyp zariadenia, ktoré obsahuje mikrokontrolér C8051F410 a ovládače DRV8711. Technická dokumentácia k navrhnutej elektronike a firmvér na komunikáciu s nadradeným počítačom je vytvorený, čím je sfunkčnené robotické rameno pre realizáciu polohovo orientovaných pracovných úkonov.

Kľúčové slová: robotické rameno, mikrokontrolér, EAGLE, Configuration Wizard 2, Keil uVision 5

SPRACOVANIE OBRAZU NA PLATFORME ARDUINO

IMAGE PROCESSING ON THE ARDUINO PLATFORM

RENÉ URBÁNEK[1] – LADISLAV TÓTH[2]

Abstract

The publication focuses on image processing on the Arduino platform. The goal was to create and optimize a camera system that detects and signals motion using basic mathematical operations and image processing algorithms. Using the knowledge gained, we created an algorithm that, based on averaging and comparing pixel values, can evaluate whether a change large enough to be evaluated as motion has occurred. This publication describes the working principle of the developed algorithm and the knowledge we gained during testing. By applying this algorithm, we were able to create a reliable camera system that provides visual and audio indication with minimal delay when motion is detected. The testing of the system focused on different types of factors affecting motion detection and the testing proved that the camera system is set up correctly and does not exhibit false alarms.

Key words: Security system, Camera system, Arduino, Microcontroller, Image processing, Movement detection.

1 Úvod

Digitálny obraz získavame konverziou spojitého signálu do digitálneho formátu. Skladá sa z nuly a jednotky. Video je množina časovo závislých obrazov (Krivá, Mikula, Stašová, 2016).

Aby sme dosiali ilúziu pohybu potrebujeme zobraziť minimálne 10 statických obrazov za sekundu. Počet obrázkov za sekundu definujeme parametrom obnovovacia frekvencia (Frame Rate) udáva sa v snímkach za sekundu (fps – Frames per Second). V európskom systéme štandardy PAL (Phase Alternating Line) majú 25 fps. Počet snímok 25 bol zvolený vzhľadom na použitie energetickej siete so striedavým napätím o frekvencií 50hz. V USA a v Japonsku sa z rovnakého dôvodu používa 29,97 snímok za sekundu, pretože miestne elektrárne vyrábajú elektrickú energiu s frekvenciou 60hz (Loveček, Veľas, Ďurovec 2015).

Spracovanie obrazu a digitálne zobrazovanie v súčasnosti patrí k dynamicky sa rozvíjajúcim sa odborom. Spracovanie obrazu je zložitý proces. Presný postup pri spracovaní obrazu neexistuje, keďže každá aplikácia má rozličný cieľ a rozličný postup jeho dosiahnutia. Všeobecný postup spracovania obrazu pozostáva zo: získania obrazu, digitalizácie, predspracovania a segmentácie (Koniar, Štefúnová, 2021).

Európsky program výskumu bezpečnosti zastrešuje niekoľko stoviek bezpečnostných projektov. Jeden z nich je INDECT. Projekt INDECT je inteligentný sledovací a vyhodnocovací systém ktorý je založený na video analýze. Európski vedci a výskumníci vyvinuli softvér na automatické vyhľadávanie a detekciu hrozieb, trestných činov

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

a abnormálneho správania pomocou veľkého počtu kamerových systémov. Hlavným cieľom projektu bolo vyvinúť pokročilé a inovatívne algoritmy na podporu v boji proti terorizmu a iným trestným činnostiam. Tento sledovací systém monitoruje všetky činnosti ľudí na sociálnych sieťach. Zhromažďuje informácie z fotografií a z videí. Systém je prepojený s osobnými údajmi, dokáže rozpoznávať tváre a vyhodnocovať správanie ľudí. Užívateľmi tohto systému by mali byť európske policajné zložky. Systém automaticky upozorňuje operátorov v prípade zistenia hrozby, čo im poskytuje možnosť rozhodnutia o tom, ako v prípade hrozby reagovať. Softvér umožňuje zhromažďovať citlivé informácie, ako sú tváre alebo poznávacie značky, a zobrazovať ich len oprávneným používateľom systému. Proces monitorovania prebieha v súlade so všetkými príslušnými predpismi.

Na tomto projekte spolupracovalo 17 európskych inštitúcií a univerzít. Z českej republiky to bola Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Celková cena projektu bola 15 133 040 Eur, z toho Európska únia dotovala 10 906 984 Eur (Dziech, 2016).

Mojím cieľom bolo pomocou Arduino platformy a teoretických poznatkov o spracovaní obrazu navrhnúť kamerový systém, ktorý na základe nasnímaných obrazov z kamery dokáže detegovať pohyb pomocou spriemerovania a porovnávania hodnôt pixelov. Pri detekcii pohybu poskytuje vizuálnu a zvukovú signalizáciu.

2 Materiál a metódy

Pri riešení problematiky sme použili nasledovný hardvér:

Arduino Mega 2560 R3 je vývojová doska založená na ATmega2560. Má 54 digitálnych vstupov/výstupov pinov. 16 MHz kryštálový oscilátor, USB pripojenie, napájací konektor ICSP header, a resetovacie tlačidlo (Arduino, 2023).

Tab. 1 Technické špecifikácie Arduino Mega 2560 (Arduino, 2023)
Tab. 1 Technical specifications of Arduino Mega 2560 (Arduino, 2023)

Mikrokontrolér	ATmega2560
Prevádzkové napätie	5V
Vstupné Napätie (odporúčané)	7-12V
Vstupné napätie (limit)	6-20V
Digitálne I/0 piny	54 (z toho 15 poskytuje PWN výstup)
Analógové vstupné piny	16
Jednosmerný prúd na I/0 pin	20 mA
Jednosmerný prúd I/0 pre 3,3 V pin	50 mA
Flash pamäť	256 KB, z toho 8 KB využíva bootloader
SRAM	8 kB
EEPROM	4 kB
Clock speed	16 MHz
Zabudovaná LED dióda	13
Dĺžka	101,52 mm
Šírka	53,3 mm
Hmotnosť	37 g

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

ESP32-Cam je malý kamerový modul s čipom ESP32-S. Má integrovaný slot pre kartu SD na ukladanie údajov a zabudovanú RGB LED diódu. Prevádzková teplota produktu je -20 ° C ~ 85 ° C (ESP32-Cam, 2023).

Tab. 2 Technická špecifikácia ESP 32CAM (ESP32-Cam, 2023)
Tab. 2 Technical specification of ESP 32CAM (ESP32-Cam, 2023)

Rozlíšenie kamery	1600 x 1200
Frame rate kamery	60FPS pri CIF formáte
Pracovné napätie	2.2V – 3.6V
Prúd v režime spánku	2 µA
Procesor	Dual Core Tensilica LX6 240 MHz s výkonom 600 DMIPS
SRAM	520 kb
Fash	16 MB
Wi-Fi protokoly	802.11 B/G/N/E/I
Bluetooth	2 režimy, tradičný a s nízkou spotrebou
Hmotnosť	12g

Tab. 3 Notebook Dell Latitude E6430
Tab. 3 Notebook Dell Latitude E6430

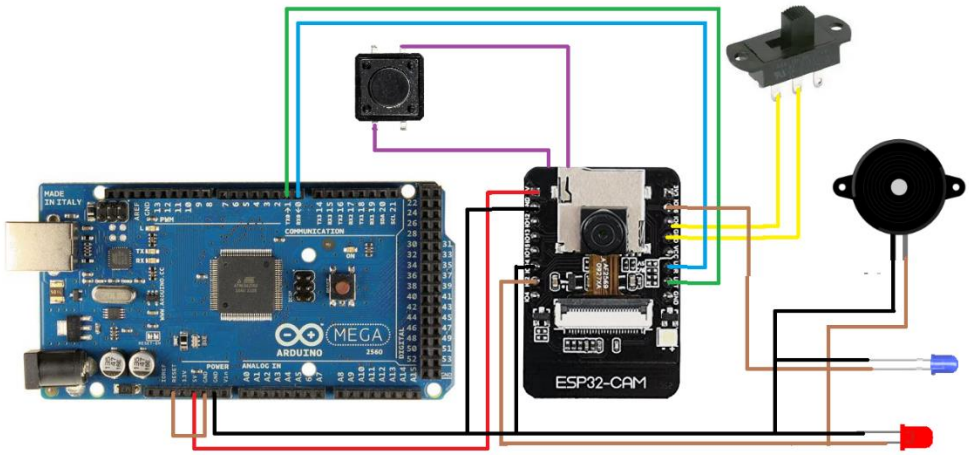
Procesor	Intel(R) core(TM) i7-3540m CPU @ 3.00Ghz 3.00 GHz
Operačný systém	Windows 10 Home x64
Pamäť RAM	8GB DDR3
Disk	A400 240GB, SA400S37/240G

Pri tvorbe kamerového systému boli použité nasledovný softvér:

Používali sme operačný systém Windows 10 Home x64, na ktorom sme mali nainštalovaný sofvér Arduino IDE ver 1.8.15.

Charakteristika pracovných postupov

1) **Zapojenie hardvéru** - Dosku Arduino Mega 2560 R3 sme zapojili s kamerou ESP32-CAM podľa nasledovnej schémy zapojenia

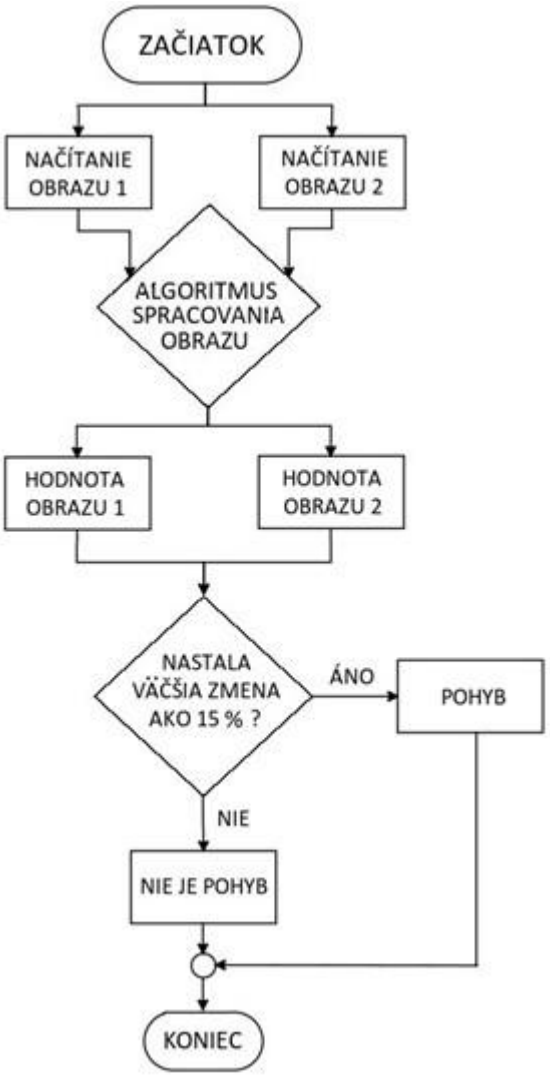


Obr. 1 Schéma zapojenia
Fig. 1 Schematic diagram

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

2) **Výber knižníc k hardvéru** – K realizácií bezpečnostného systému sme použili nasledovné knižnice: esp_camera.h, camera_pins.h , esp_jpg_decode.h.

3) **Vytvorenie algoritmu** - Algoritmus na detekciu pohybu sme vytvorili na základe spriemerovania a porovnávania hodnôt pixelov. Algoritmus pozostáva zo štyroch krokov:
   - **Vstup** – načítanie hodnôt pixelov prvého obrazu,
   - **Vstup** – načítanie hodnôt pixelov druhého obrazu,
   - **Spracovanie obrazu** – spriemerovať hodnoty pixelov v riadku a spriemerované hodnoty prvého a druhého obrazu porovnať,
   - **Výstup** – v prípade veľkej zmeny signalizovať pohyb.



Obr. 2 Vývojový diagram algoritmu
Fig. 2 Algorithm flow chart

4) **Testovanie a dolaďovanie algoritmu** - Testovanie sme uskutočnili v miestnosti, v dobrých svetelných podmienkach. Testovacím objektom bola osoba a bežne dostupné domáce prostriedky. Testovanie prebiehalo sledovaním pohybu objektov v zornom poli kamery. Pohyb bol signalizovaný LED diódou alebo buzzerom. Dolaďovanie systému bolo zamerané na:

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

- **Primárnu senzitivitu** – k akej veľkej zmene hodnôt musí dôjsť v rámci jedného pixelového riadku, aby bol riadok označený za zmenu,
- **Sekundárna senzitivita** – koľko pixelových riadkov musí byť označených za zmenu, aby bol detegovaný pohyb,

5) **Štatistické vyhodnotenie systému** – vyhodnotenie výsledkov testovania v ktorom sme sa zamerali na nasledovné faktory: rýchlosť pohybu, typ pohybu, vzdialenosť od zorného poľa kamery, farba sledovaného objektu a smer pohybu.

Implementácia hardvéru

Pri výbere hardvéru sme hľadali čo najefektívnejšie riešenie. Zamerali sme sa na požiadavky bezpečnostného systému a vzali sme do úvahy: cenu, parametre a veľkosť hardvéru. Napájanie kamery môže byť zrealizované pomocou USB pripojenia alebo pomocou externého zdroja. Externým zdrojom môže byť baterka alebo sieťový napájací adaptér. Pre signalizáciu sme pridali do obvodu aj dve LED diódy. Modrú LED diódu na signalizáciu inicializácie pri zapnutí a reštarte systému, a červenú LED diódu na vizuálnu signalizáciu detekcie pohybu. Na hlasovú signalizáciu detekcie pohybu sme pridali buzzer. Následne sme na 3D tlačiarni vymodelovali krabičku pre náš prototyp bezpečnostného systému.

Použité knižnice

V našom projekte rozhodli pre nasledovné knižnice: esp_camera.h, camera_pins.h, esp_jpg_decode.h. Knižnica esp_camera.h slúži na zadefinovanie základných funkcií, ktoré sú nutné pri prevádzkovaní kamery ESP32-CAM. Knižnica camera_pins.h slúži na zadefinovanie všetkých pinov danej kamery. Knižnica esp_jpg_decode.h zahŕňa v sebe algoritmus na prekonvertovanie formátu JPG na ľubovoľný iný typ.

3 Výsledky a diskusia

Optimalizácia parametrov

Pri optimalizácii sme boli zameraní na to, aby systém fungoval rýchlo, spoľahlivo a efektívne. Pod pojmom rýchlosť sme mysleli, aby systém vyhodnocoval pohyb, na základe čo najmenej matematických operácii. Spoľahlivosť systému spočíva v tom, aby zariadenie detegovalo každý pohyb a zároveň nevykazoval falošný poplach. Na detekciu pohybu vplývajú rôzne rušivé faktory, ktoré znižujú účinnosť systému. Na to, aby sme zariadenie mohli považovať za efektívne, bolo potrebné, aby si náš kamerový systém vedel poradiť s čo najväčším počtom rušivých faktorov.

Prvoradé pre nás bolo optimalizovať primárnu senzitivitu systému. To znamená, že bolo nutné zistiť, aká veľká zmena hodnôt musí nastať v riadku, aby sme vyhlásili daný riadok za zmenu. Ďalším krokom bolo dolaďovanie sekundárnej senzitivity. Sekundárna senzitivita spočíva v určení koľko pixelových riadkov sa musí zmeniť v obraze, aby sme mohli vyhlásiť, že nastal pohyb. Väčšina systémových parametrov je do veľkej miery závislá na prostredí, v ktorom je aplikovaný kamerový systém. Vzhľadom na nejednotnosť nastavenia určitých parametrov, ako je napríklad citlivosť, nie je možné definovať konkrétny postup ako optimalizovať ideálne hodnoty kamier pre detekciu pohybu. Nastavenie parametrov je individuálna pre každý algoritmus.

Testovanie systému

Pred testovaním vplyvov rôznych faktorov na kamerový systém, sme chceli zabezpečiť jednotné pracovné podmienky. Aby sme vylúčili rušivé účinky, vzhľadom na výsledky testovania, všetky testy detekcie pohybu sme vykonávali v interiéri so stabilnými

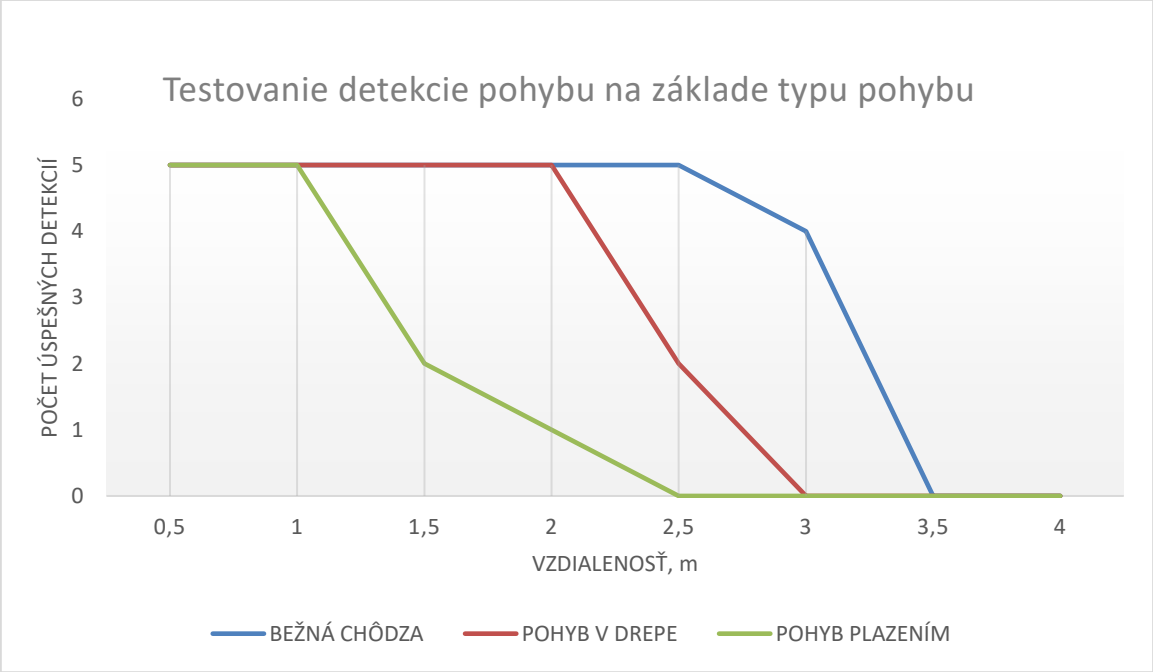
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

podmienkami osvetlenia, čím sme zabezpečili optimálne podmienky pre testovanie kamerového systému. Testovanie bolo zamerané na faktory, ktoré môžu ovplyvňovať účinnosť kamerového systému pri detekcii pohybu. Konkrétne sme sa zamerali na: smer pohybu objektu, typ pohybu objektu, rýchlosť pohybu objektu, a svetelné podmienky. Pri testovaní sme sa zamerali zvlášť na každý jeden ovplyvňujúci faktor. Samotné testovanie prebiehalo individuálne, v závislosti od toho, aký vplyv sme testovali.

Výsledky testovania detekcie

Súčasťou testovania bolo zhodnotenie úspešnosti detekcie pri rôznych vplyvoch na zariadenie. Tabuľkové a grafické hodnoty výstižne poukazujú na účinky jednotlivých faktorov na vytvorený kamerový systém.

Testovanie detekcie pohybu na základe typu pohybu - Pri testovaní detekcie pohybu sa osoba pohybovala bežnou chôdzou, priemernou rýchlosťou 1 m/s. Pokiaľ ide o pohyb samotný, zistilo sa, že kamerový systém najefektívnejšie pracuje, ak sa objekt pohybuje v smere, v ktorom je kamera nasmerovaná. Pri pohybe osoby v smere kamery systém detegoval pohyb takmer vždy. Pri pohybe kolmým smerom, bola úspešnosť detekcie najvyššia v úplnej blízkosti pred záberom kamery, pretože takýto pohyb vytvára najväčšiu zmenu v zornom poli záberu. Čím bol skúmaný objekt v pohybe ďalej od zorného poľa záberu, tým bola úspešnosť nižšia, pretože v takom prípade je systém obmedzený vzdialenosťou do troch metrov, inak už nie je schopný detegovať pohyb osoby. V rovnakých vzdialenostiach, kde bezpečnostný systém detegoval pohyb bežnou schôdzou, sa pri zmene pohybu na plazenie alebo na pohyb v drepe účinnosť detekcie znížila. Pohyb v drepe pred kamerou pokrýval menšiu plochu v zábere, ako pri normálnej chôdzi a tým pádom v maximálnej detekčnej vzdialenosti nám už nesignalizoval pohyb. Najhoršie výsledky sme dostali testovaním osoby, keď sa pohybovala plazením.



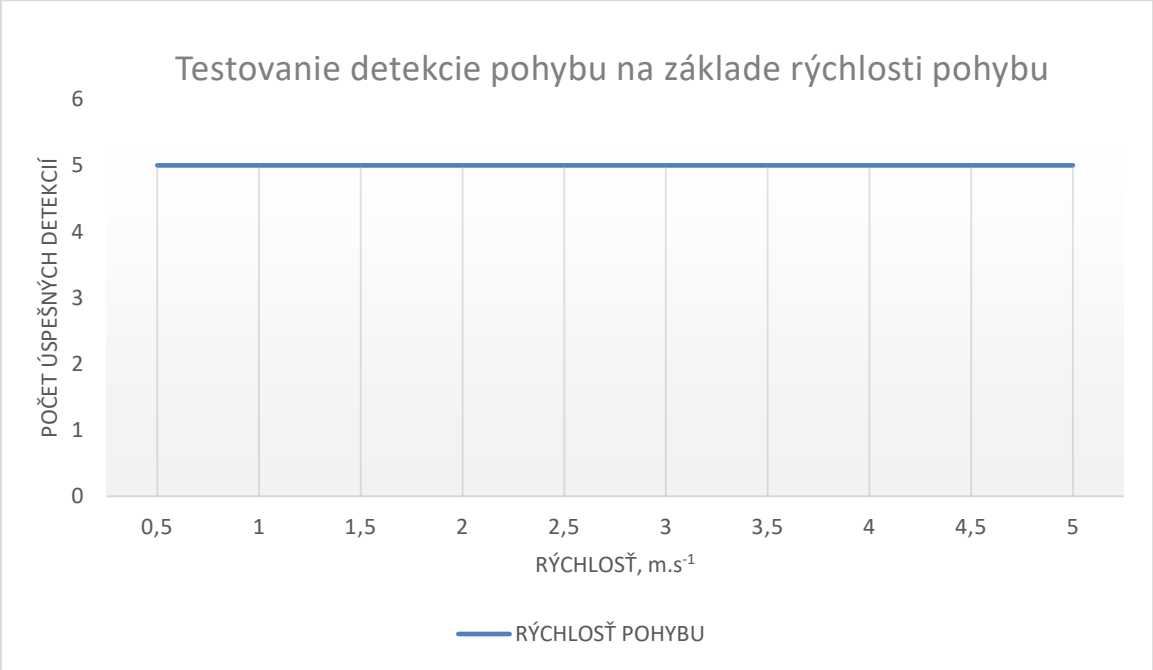
Obr. 3 Testovanie detekcie pohybu na základe typu pohybu
Fig. 3 Testing move detection based on movement type

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Tab. 4 Testovanie detekcie pohybu na základe typu pohybu
Tab. 4 Testing move detection based on movement type

	0,5 m	1 m	1,5 m	2 m	2,5 m	3 m	3,5 m
Bežná chôdza	5	5	5	5	5	4	0
Pohyb v drepe	5	5	5	5	2	0	0
Pohyb plazením	5	5	2	1	0	0	0

Testovanie detekcie pohybu na základe rýchlosti pohybu – Pri detekcii pohybu zohráva dôležitú úlohu rýchlosť pohybujúceho sa objektu. Testovaným objektom bola osoba a vykonávala od veľmi pomalých pohybov až po rýchly beh. Testovanie detekcie sme uskutočnili kolmo na smer kamery, v konštantnej vzdialenosti dva metre od kamery. Cieľom testovania bolo zistiť, či je možné cez zorné pole záberu, kolmo prejsť tak, aby kamera nedetegovala pohyb. Vyhodnotením testovania sme zistili, že kamera má postačujúci uhol záberu a sníma dostatočný počet snímok za sekundu nato, aby nebolo možné v reálnom čase prebehnúť kolmo cez zorné pole kamery bez toho, aby systém detegoval pohyb. Takú veľkú rýchlosť pohybu, aby si systém pohyb nevšimol, sme dosiahli jedine kopaním futbalovej lopty pred kamerou v tej istej vzdialenosti. Avšak táto rýchlosť je mnohonásobne vyššia, než je človek schopný dosiahnuť tým, že prebehne pred kamerou.



Obr. 4 Testovanie detekcie pohybu na základe rýchlosti pohybu
Fig. 4 Testing move detection based on movement speed

Tab. 5 Testovanie detekcie pohybu na základe rýchlosti pohybu
Tab. 5 Testing move detection based on movement speed

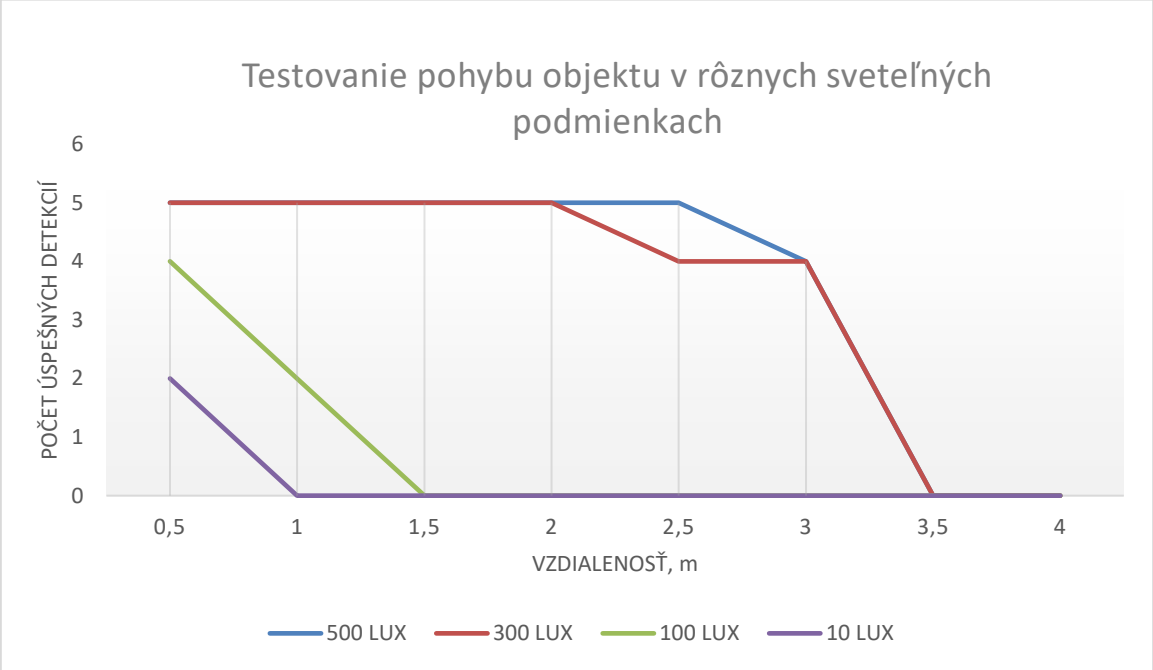
$m.s^{-1}$	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Rýchlosť pohybu	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Po vyhodnotení rýchlych pohybov sme sa zamerali na pomalé hodnoty. Zisťovali sme, ako sa naše zariadenie správa, keď sa pred ním pohybuje predmet alebo osoba s veľmi malou rýchlosťou. Testovaním sa preukázalo, že sú potrebné extrémne pomalé pohyby na to, aby

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

systém nedokázal rozpoznať zmenu. Bežné pohyby človeka sú dostatočne rýchle na to, aby ju systém dokázal zaznamenať.

Testovanie pohybu objektov v rôznych svetelných podmienkach - Posledný skúmaný parameter je detekcia pohybu v rôznych svetelných podmienkach. Väčšinu testov sme uskutočnili v miestnosti jasne osvietenej denným svetlom (500 lux). Avšak rozhodli sme sa systém otestovať aj v horších svetelných podmienkach ako: umelo osvietené prostredie žiarovkou (300 lux), znížené svetelné podmienky – západ slnka (100 lux) a nočné svetlo vyžarujúce z mesiaca (10 lux). Pri porovnávaní výsledkov testovania v prostredí osvetlenom denným slnečným svetlom a v umelo osvetlenom prostredí sme nepociťovali veľký rozdiel, keďže žiarovka v miestnosti testovania bola dostatočne silná. Naproti tomu, pri západe slnka nastalo výraznejšie zhoršenie svetelných podmienok a tým pádom klesala aj efektívnosť detekcie systému. Kamerový systém už nebol schopný detegovať pohyb v takých vzdialenostiach ako pri dennom svetle. Pri nočnom osvetlení, iba v tesnej blízkosti zorného poľa, dokázal zaznamenať pohyb objektu. V znížených svetelných podmienkach je systém nepoužiteľný, lebo nedochádza k dostatočným zmenám pixelových hodnôt a systém nedokáže správne vyhodnotiť pohyb.



Obr. 5 Testovanie pohybu objektov v rôznych svetelných podmienkach
Fig. 5 Testing the move of objects in different lighting conditions

Tab. 6 Testovanie pohybu objektov v rôznych svetelných podmienkach
Tab. 6 Testing the move of objects in different lighting conditions

	0,5 m	1 m	1,5 m	2 m	2,5 m	3 m	3,5 m
500 lux	5	5	5	5	5	4	0
300 lux	5	5	5	5	4	4	0
100 lux	4	2	0	0	0	0	0
10 lux	2	0	0	0	0	0	0

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Vyhodnotenie systému

Na základe tabuľkových hodnôt a grafov môžeme vyhodnotiť, že niektoré faktory vplývali viac, niektoré menej na kamerový systém. Najväčší vplyv na detekciu pohybu sme pociťovali pri testovaní svetelných podmienok. V nedostatočnom osvetlení, zariadenie nedokáže rozpoznať pohyb. Najmenší vplyv na naše zariadenie malo testovanie detekcie pohybu na základe rýchlosti pohybu. Vyhodnotením testovania sme zistili, že kamera má postačujúci uhol záberu a sníma dostatočný počet snímok za sekundu nato, aby sa nedalo pred kamerou prebehnúť tak rýchlo aby nedetegoval pohyb. Po celkového vyhodnotenia na základe výsledkov testovania, môžeme vyhlásiť že vytvorený bezpečnostný systém je na jednoduché používanie dostatočne spoľahlivý.

Vytvorený kamerový systém bol navrhnutý na jednoduché používanie, napríklad na signalizáciu vstupu zákazníka do obchodu. Na navrhnutý účel pracuje dostatočne spoľahlivo a efektívne. Napriek tomu má svoje nedostatky.

Nedostatky systému sú nasledovné:

- pri znížených svetelných podmienkach stráca svoju efektivitu,
- bezpečnostný systém nie je použiteľný v exteriéri,
- výpadok energie by spôsobilo vypnutie systému.

Nedostatky bezpečnostného systému by bolo možné v budúcnosti ošetriť. V exteriéri je veľa rušivých faktorov, ktoré by nám mohli spôsobovať falošné poplachy. Falošný poplach by nám vyvolali rôzne vplyvy, ako pohybujúce sa autá v pozadí monitorovaného priestoru, rôzne zvieratá alebo počasie. Zníženie falošných poplachov by sa dalo zabezpečiť pridaním ďalších senzorov, napríklad HC-SR501 PIR infračerveným senzorom pohybu alebo ultrazvukovým senzorom HC-SR04, ktoré by plnili úlohu viacnásobnej kontroly. Ak by kamera vyhodnotila, že nastala dostatočná zmena pixelov, tak by senzory overovali či ozaj došlo k pohybu. Tým by sme docielili to, že kamerový systém by bolo možné používať aj v exteriéri.

Na kamerovom systéme by sa v budúcnosti dali uskutočniť aj rôzne iné vylepšenia, napríklad pri detegovaní pohybu by mohol systém nasnímaný obraz preposlať na emailovú adresu, čím by sme docielili, že užívateľ by bol informovaný o tom, aký pohyb nastal. Ďalším zaujímavým nápadom je informovať používateľa o prípadnej hrozbe prostredníctvom SMS správy. Prípadne, kamerový systém by sme mohli vylepšiť pomocou dvoch servomotorov. Prvý servomotor by slúžil na to, aby sa kamera vedela pohybovať v X-ovej osi. Druhý servomotor by slúžil na pohyb kamery v Y-ovej osi. Následne, ak je kamera schopná otáčania, tým pádom je možná aj implementácia trackingu. Kamerový systém poskytuje množstvo možností a vylepšení rôznymi spôsobmi. Realizácia závisí len od kreativity, požiadaviek a vedomostí.

4 Záver

Pri testovaní kamerového systému bolo preukázané, že pomocou Arduino platformy a dostatočných vedomostí, pokiaľ ide o spracovania obrazu, je možné vytvorenie účinného kamerového systému za relatívne nízku cenu. Výrobná cena systému nepresiahla sumu 70 eur, vrátane všetkých použitých komponentov. Vytvorený kamerový systém funguje na základe počítania a spriemerovania pixelových hodnôt. Počas vytvorení prototypu bol dôkladne testovaný. Testovanie bolo zamerané na nasledovné faktory: rýchlosť pohybu, typ pohybu, vzdialenosť od zorného poľa kamery, farba sledovaného objektu a smer pohybu. Pri testovaní sme dostali jednoznačné tabuľkové a grafické výsledky, ktoré výstižne poukazujú na

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

účinky jednotlivých faktorov na vytvorený kamerový systém. Na základe týchto výsledkoch môžeme vyvodiť záver, že zariadenie pracuje spoľahlivo, je nastavené správne a nevykazuje falošné poplachy.

5 Literatúra

Arduino,2023. [online], [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3

DZIECH, Andrej 2016. Final Report Summary - INDECT (Intelligent Information System Supporting Observation, Searching and Detection for Security of Citizens in Urban Environment). [online], [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: https://cordis.europa.eu/project/id/218086/reporting

ESP32-Cam, 2023. [online], [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: https://www.laskakit.cz/user/related_files/esp32-cam_product_specification.pdf

KONIAR, Dušan – ŠTEFÚNOVÁ, Silvia. 2021. Základy spracovania obrazu s praktickými úlohami. Žilina: Žilinská univerzita. 237s. ISBN 978-80-554-1796-7.

KRIVÁ, Zuzana – MIKULA, Karol – STAŠOVÁ, Oľga. 2016. Spracovanie obrazu vybrané kapitoly z prednášok. Bratislava: STU. 149s. ISBN 978-80-227-4535-2.

LOVEČEK, Tomáš – VEĽAS, Andrej – ĎUROVEC, Martin. 2015. Poplachové systémy. Žilina: Žilinská univerzita. 230s. ISBN 978-80-554-1144-6.

Súhrn

Publikácia je zameraná na spracovanie obrazu na platforme Arduino. Cieľom práce bolo vytvoriť a optimalizovať kamerový systém, ktorý pomocou základných matematických operácií a algoritmov spracovania obrazu, deteguje a signalizuje pohyb. Pomocou nadobudnutých poznatkov sme vytvorili algoritmus, ktorý na základe spriemerovania a porovnania hodnôt pixelov dokáže vyhodnotiť či nastala dostatočne veľká zmena, aby bola vyhodnotená ako pohyb. Publikácia opisuje princíp fungovania vytvoreného algoritmu a poznatky, ktoré sme získali počas testovania. Aplikáciou tohto algoritmu sme dokázali vytvoriť spoľahlivý kamerový systém, ktorý v prípade detekcie pohybu poskytuje vizuálnu a zvukovú signalizáciu s minimálnym oneskorením. Testovanie systému bolo zamerané na rôzne druhy faktorov ovplyvňujúce detekciu pohybu a testovaním bolo dokázané, že kamerový systém je nastavený správne a nevykazuje falošné poplachy.

Kľúčové slová: Bezpečnostný systém, Kamerový systém, Arduino, Mikrokontrolér, Spracovanie obrazu, Detekcia pohybu.

NÁVRH MODELU AUTOMATIZOVANEJ VÝROBNEJ LINKY NA KŔMNE ZMESI INTERNATIONAL STUDENT
DESIGN OF A MODEL OF AN AUTOMATED PRODUCTION LINE FOR FEED COMPOUNDS

DANIEL VLČÁK[1] – PATRIK KÓSA[2]

Abstract

Transport sypkých komodít je nevyhnutnou súčasťou pri výrobe kŕmnych zmesí. Vytvorený model znázorňuje problematiku prepravy a premiešania sypkých materiálov. Cieľom tejto práce je navrhnúť automatizovaný model miešacieho zariadenia, ktorý bude konštrukčne jednoduché a nenáročné na obsluhu.

Výsledkom bude funkčný automatizovaný celok ovládaný vývojovou doskou. Zariadenie na premiešavanie je navrhnuté tak aby bola rýchlosť a kvalita zmiešania surovín čo najvyššia. Model dokazuje jednoduchosť pri výrobe a údržbe keďže má minimálny počet mechanických častí a jeho obsluha nevyžaduje odborné znalosti.

Vďaka znalostiam z konštrukcie a návrhu zmenšenej verzie takéhoto miešacieho zariadenia bude možné použiť získané poznatky pre návrh funkčného zariadenia určeného do priemyslu v poľnohospodárstve, ale aj do iných odvetví výroby.

Kľúčové slová: Preprava, dopravníky, automatizácia

1 Úvod

Pri výrobe kŕmnych zmesí je okrem spracovania dôležitá najmä doprava komodít na dané miesto určenia. Keďže sa materiál prepravuje niekedy aj 4 krát, záleží na rýchlosti a kvalite prepravy. Preto sa časom vyvinuli rôzne druhy prepravy ktoré majú svoje špecifické určenie. Pri výbere spôsoby dopravy je potrebné zvážiť niekoľko faktorov ktoré sú rozpísané nižšie.

Voľba spôsobu dopravy a dopravného zariadenia závisí od:

- Fyzikálno-mechanických vlastností dopravovaného materiálu,
- dopravnej vzdialenosti,
- požadovanej výkonnosti,
- zdroja energie.

Dopravu môžu zabezpečovať:

- Mobilné dopravné prostriedky,
- stacionárne dopravné prostriedky(Opáth, 2008).

Manipulovať so zrnom potrebujeme vo zvislom aj vodorovnom smere. V obmedzenom rozsahu sa dajú pre vodorovnú dopravu použiť dopravníky pneumatické, ktoré využívajú ako nosné médium vzduch (Maleř, 1990). Avšak na prepravu a manipuláciu sa používa široká škála iných typov dopravníkov. Zahŕňajú mobilné a stacionárne pásové dopravníky, žľabové dopravníky, reťazové dopravníky (redlery), korčekové dopravníky a závitovkové dopravníky (Angelovič, 2006). S pravidla na využívajú najmä pásové, korčekové a závitovkové dopravníky. Nepoškodzujú prepravované komodity a umožňujú bezprachovú

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

prepravu. Medzi špeciálny typ dopravníkov patria hrablicové dopravníky. Používajú na dopravu materiálu, u ktorého poškodzovanie častíc nie je problémom. Používajú sa hlavne na dopravu stebelnatých materiálov s ktorými sa môžeme stretnúť pri zbere krmovín (Angelovič, 2011).

Nakoľko sú parametre prepravovaných materiálov veľmi dôležité, je potrebné ich zachovávať. Zrno obilnín získané od kombajnu vyžaduje čistenie. Tento proces oddeľuje vlhké a nežiadúce nečistoty od zŕn. Nasleduje sušenie. Znížením obsahu vlhkosti semien v dôsledku odstránenia vlhkých, zelených úlomkov rastlín sa súčasne odstránia rôzni škodcovia a hmyz, čím sa podstatne zníži riziko zníženia kvality produktu (Pospíšil, 2015). Pri skladovaní obilnín by sa teda malo zamedziť zvyšovaniu vlhkosti a pod. Pri skladovaní by si mali zachovať svoj zdravotný stav a biologickú kvalitu (Jech, 1988). Jeden z najefektívnejších spôsobov skladovania je uloženie komodít do vežových skladov.

Zrno sa skladuje pri násypnej výške nad 10m, čo podstatne znižuje nároky na zastavanú plochu. Pri naskladňovaní vežových zásobníkov sa zrno vyklápa do podúrovňového príjmového koša. Pod príjmovým košom je umiestnený pásový dopravník, ktorý dopravuje zrno ku korčekovému dopravníku, ktorý je spravidla zabudovaný do konštrukcie (Maleř 1990). Ďalším faktorom je rýchly zber plodiny z poľa. Rýchly zber zrnín je podmienený:

- Dostatočne výkonným a prevádzkovo spoľahlivým parkom obilných kombajnov,
- dostatočne výkonnými príjmovými zásobníkmi na zrno,
- dostatočne výkonnými a prevádzkovo spoľahlivými linkami na ošetrenie pozberaných zrnín,
- nezávadnými skladmi s dostatočnou kapacitou (Maleř, 1990).

Ako bolo uvedené, dopravníky tvoria nevyhnutnú súčasť procesu už priamo pri zbere krmovín. Preto si niektoré z nich podrobne rozoberieme v ďalších častiach.

2 Materiál a metódy

V praxi sa na prepravu komodít používajú rôzne druhy dopravníkov. Z konštrukčného hľadiska dopravníkové systémy delíme na:

- Valčekové,
- šmykové,
- závesné,
- vibračné,
- pásové,
- článkové,
- žľabové.

Nakoľko sme pri návrhu použili žľabové dopravníky, budeme sa im podrobne venovať v ďalších odsekoch.

Žľabové dopravníky sú kombináciou pásových, článkových a šmykových dopravníkov. Umožňujú prepravu materiálu v rôznych smeroch, uhloch stúpania a majú možnosť uzatvorenej konštrukcie.

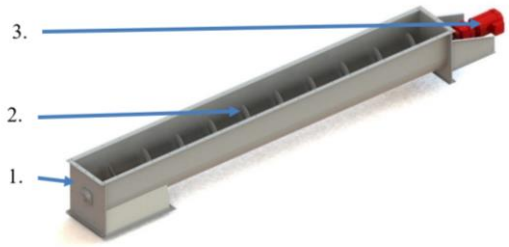
Delíme ich na:

- pásové,
- reťazové,
- závitovkové.

Závitovkové dopravníky

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Sú určené na menšie vzdialenosti a prepravu sypkých materiálov. Vyznačujú sa mechanickou spoľahlivosťou, jednoduchosťou a poskytujú uzavretú konštrukciu zamedzujúcu úniku prachových častíc. Majú vysokú odolnosť a jednoduché implementovanie do výrobného procesu. Na *Obr.1* môžeme vidieť konštrukciu jednoduchého žľabového dopravníku využívajúceho skrutkovicu a motor ako pohonný mechanizmus na prepravu komodity.



Obr. 1 Závitovkový dopravník (1. - žľab, 2. - skrutkovica, 3. - motor)
Fig. 1 Screw conveyor (1. - traffic jam, 2. - helix, 3. - motor)
(www.alprime.eu)

Charakteristika postupu vypracovania modelu:

- Štúdium dostupných metód prepravy komodít.
- Zvolenie optimálneho typu dopravníkového systému.
- Vyhotovenie testovacieho modelu a následné testovanie.
- Návrh a vyhotovenie funkčného modelu.
- Návrh automatizovaného systému pre riadenie modelu.
- Testovanie a optimalizácia jednotlivých jednotiek

Použité zariadenia a softvér:

- 3D tlačiareň Prusa i3 MK3S
- Materiály ABS(Gembrid) a PETG(C-Tech)
- CAD/CAM softvér SolidWorks
- CAD/CAM softvér Autodesk Eagle

3 Výsledky a diskusia

Po zvolení optimálneho typu dopravníka sme navrhli a zostrojili testovací model. Testovaním sme zistili funkčnosť zariadenia ako aj potrebnú silu a otáčky pre motor. Nakoľko sa motory s týmito parametrami nevyrábajú, použili sme motor s nižšími otáčkami čo má za následok horšie fungovanie dopravníka ale je postačujúce pre demonštráciu.

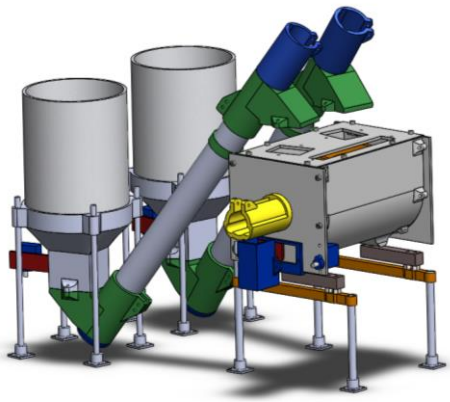
Následne sme navrhli vertikálne premiešavacie zariadenie a zostrojili funkčný model kompatibilný s dopravníkom. Otáčky motora boli nedostačujúce a preto sme sa rozhodli použiť horizontálny premiešavací systém. Vďaka nemu stúpla efektivita premiešavania niekoľkonásobne. Prispôsobili sme skrutkovicu pre FDM tlač rozdelením na 3 sekcie aby bolo v prípade nutnosti možné zmeniť dĺžku dopravníka.

Jedným z hlavných aspektov bola aj kontrola množstva vstupných komodít k čomu nám poslúžili 2 váhové senzory zapojené do prevodníkov. Tieto tenzometre fungujú na princípe lineárnej zmeny odporu pri zaťažení. Kombináciou dvoch senzorov s kapacitou 1kg sme dosiahli celkovú kapacitu ktorá postačuje pri plnom naplnení miešacieho zariadenia.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Pre vyprázdnenie miešacieho zariadenia používame servomotor ktorý poháňa mechanickú klapku na výstupe. Testovaním v programe SolidWorks sme namerali jednotlivé dĺžky pák potrebných pre správne fungovanie klapiek.

Celý model (*Obr.1*) sa nám podarilo zautomatizovať pomocou nami vyrobenej dosky ktorá funguje ako modul pre pripojenie vstupov a výstupov riadiacej dosky Arduino UNO. Obsahuje ovládače motorov, DC-DC menič napätia, vstupy pre meranie hmotnosti ale aj výstupy pre servomotory, hnacie motory, displej pre zobrazenie dát a ovládacie tlačidlá.



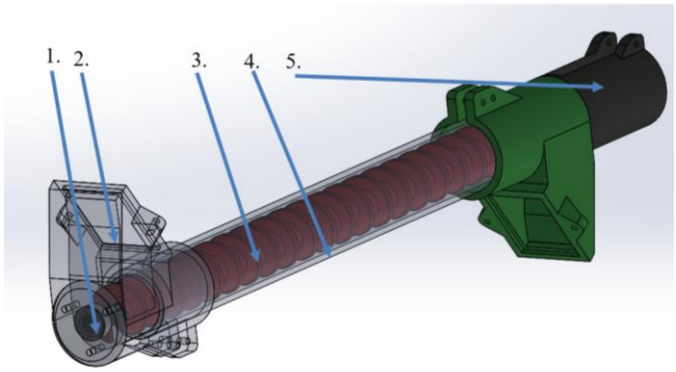
Obr. 2 Miešacie zariadenie
Fig. 2 Mixing device

Najväčším problémom bola voľba správneho materiálu keďže sa jedná o zmenšený model. Aby sa nám podarilo čo najlepšie simulovať správanie sa sypkých materiálov v reálnej mierke, otestovali sme niekoľko komodít z rôznou zrnitosťou a tvrdosťou. Ako najlepšie riešenie je polohrubá múka v kombinácii s vibračnými motormi ktoré zabezpečujú lepší zosuv komodít. Aby sme mohli sledovať efektivitu a kvalitu premiešavania, potrebujeme práškové farbivo pridané do jedného zo zásobníkov na komodity.

Závitovkový dopravník sa vyznačuje svojou jednoduchosťou najmä kvôli minimálnemu počtu mechanických častí. Obsahuje žľab, dve ložiská, skrutkovicu, motor a spojku hriadele. Medzi dôležité parametre patrí vzdialenosť steny žľabu od skrutkovice(*Obr.2*), ktorá definuje maximálny priemer prepravovaného materiálu. So zväčšujúcim sa priemerom klesá schopnosť prepravy materiálu s nižším priemerom zŕn. Tento problém sa dá čiastočne odstrániť zvýšením otáčok skrutkovice čo sme zistili pri testovaní prvého modelu.

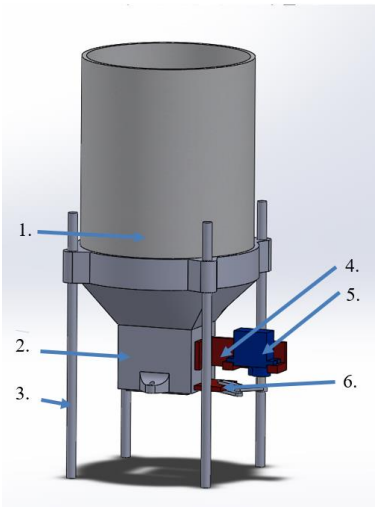
Aby sa skrutkovica otáčala v požadovanej línii, použili sme ložiská 688ZZ. Domec ložiska sa nachádza na začiatku a konci skrutkovice.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 3 Zostava dopravník (1. - ložisko 688ZZ, 2. - domec ložiska, 3. - skrutkovica, 4. - dopravný žľab, 5. - uchytenie motora)
Fig. 3 Assembly of conveyor (1. - bearing 688ZZ, 2. - bearing housing, 3. - helix, 4. - transport tube, 5. - motor holder

Zásobníky (*Obr.3*) pozostávajú z nosných tyčí, spojovacieho dielu pre dopravník a plastovej trubice pre uskladnenie komodity. Na zásobníku sa nachádza klapka pre uzatvorenie vstupu ovládaná servomotorom.

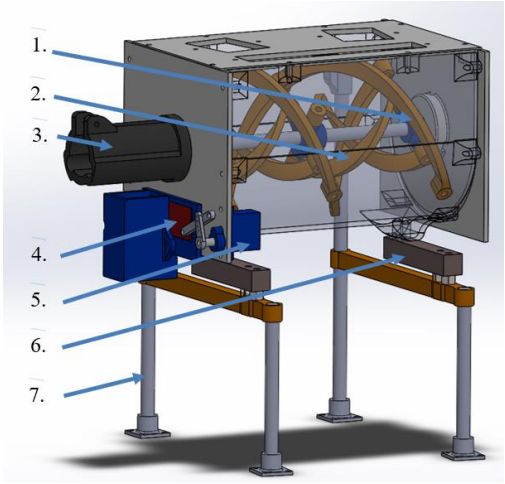


Obr. 4 Zostava zásobníka (1. - zásobná trubica, 2. - adaptér pripojenia dopravníku, 3. - stojka, 4. - držiak servomotoru, 5.- servomotor, 6.- klapka s uzatváracím mechanizmom)
Fig. 4 Assembly of reservoir (1. - supply tube, 2. - conveyor adapter, 3. - stand, 4. - servomotor holder, 5. - servomotor, 6. - shutter with closing mechanism)

Miešacie zariadenie (*Obr.4*) je zložené zo žľabu, hmotnostných senzorov, nosných tyčí na ktorých je umiestnený montážny diel pre dopravníky, predného a zadného čela ktoré sú zároveň aj domcami pre ložiská a umožňujú montáž motoru. Veko zabraňuje úniku prachových častíc a igelitové vrecká spojenie zariadenia a dopravníkov bez ovplyvnenia na meraní hmotnosti.

Rotor sme vyrobili na princípe skrutkovice. Na hnanej hriadeli sme umiestnili 2 protichodné skrutkovice na vonkajšom a strednom priemere rotoru uchytením dištančných tyčí. Okrem premiešavania sme tak dosiahli aj cirkuláciu komodít spredu dozadu čím sa zvýšila efektivita. Zároveň toto riešenie zabezpečilo jednoduchosť riadenia premiešavacieho cyklu nakoľko nie je potrebné meniť smer otáčania počas chodu.

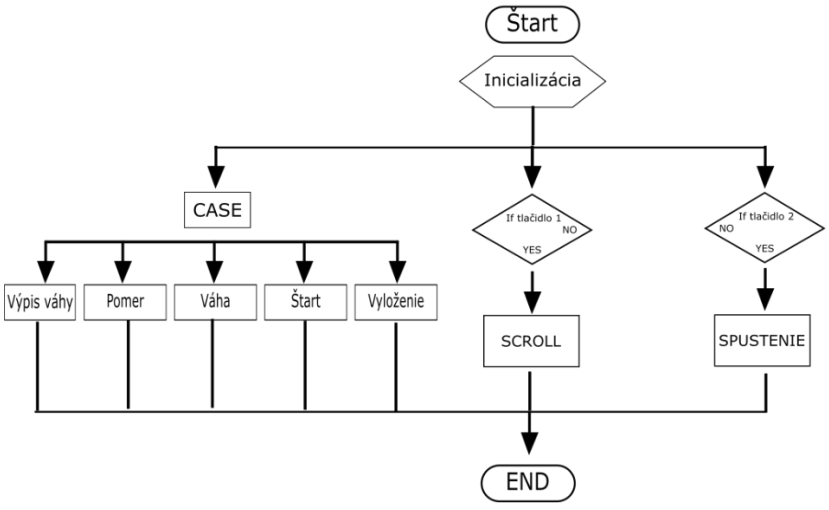
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 5 Miešacie zariadenie (1. - vonkajšia skrutkovica, 2. - vnútorná skrutkovica, 3. - uchytenie motora, 4. - klapka s mechanizmom, 5. - servo motor, 6. - váhový senzor, 7. - stojka)

Fig. 5 Mixing mechanism (1. - outer helix, 2. - inner helix, 3. - motor holder, 4. - shutter with mechanism, 5. - servo motor, 6. - weight sensor, 7. - stand)

Riadenie modelu zabezpečuje vývojová doska Arduino Uno a modul pre pripojenie vstupno-výstupných periférií. Vďaka programu (*Obr.5*) máme možnosť zvoliť výpis aktuálnej váhy na obrazovku, nastaviť vstupné premenné, spustiť cyklus miešania a cyklicky vypúšťať obsah miešacieho zariadenia.



Obr. 6 Vývojový diagram programu

Fig. 6 Flowchart of the programme

Program je zložený z jednotlivých častí, ktoré sú zobrazené na *Obr. 3*. Pri spustení programu prebehne inicializácia premenných a vstupno-výstupných periférii. Zároveň je to priestor pre programátora, kde je možné nastaviť kalibračné hodnoty pre správne fungovanie programu. Súčasťou inicializácie je aj časť programu, priraďujúca vstupy a výstupy k pinom na základnej doske. Nasleduje kalibrácia váhových senzorov na nulovú hodnotu a výpis štartu programu na displej.

V hlavnej sekcii programu sa nachádza jadro, tvorené troma časťami:

- case,
- button 1,
- button 2.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Príkaz case obsahuje časti menu v ktorom je možné sa pohybovať pomocou tlačidiel. V skutočnosti sa nachádza pod podmienkou tlačidla 2. Skladá sa z týchto častí:

- Výpis váhy – na displej sa vypíše aktuálna hodnota hmotnosti na váhových snímačoch.
- pomer – nastavenie požadovaného pomeru premiešavaných komodít
- váha – nastavenie požadovanej hmotnosti zmesi
- štart – spustenie programu, následne vypisuje aktuálny stav procesu
- vyloženie – vypustenie 100g zamiešanej zmesi.

Tlačidlo 1 zabezpečuje pohyb vo výberovom menu. Tlačidlo 2 zabezpečuje výber v menu a následné nastavenie premenných, obsahuje väčšinu programu. Pre správne fungovanie programu sme použili funkciu prerušenia čím sa zamedzilo zamŕzanie pri stlačení tlačidiel.

Koniec programu obsahuje vypnutie a uzatvorenie všetkých zariadení okrem váhových snímačov. Vypisuje ukončenie programu a následné inštrukcie pre prípadné pokračovanie.

Celý program obsahuje kontrolné body, používané pre odstraňovanie chýb. Jednotlivé sekcie programu sú zasielané pomocou sériovej linky na PC. Dôležitou časťou je aj podmienka v programe, zamedzujúca spustenie jednotlivých programov, ak nie je zariadenie úplne vyprázdnené.

4 Záver

Cieľom práce bolo demonštrovať fungovanie skrutkových dopravníkov ako aj spôsob premiešavania komodít horizontálnym miešacím systémom. Riešili sme problematiku návrhu takýchto zariadení ako aj spôsob automatizácie a riadenia. Meraním a pozorovaním by sme chceli poukázať na dôležitosť jednotlivých aspektov týchto mechanizmov.
Jedným z najdôležitejších zistení je rýchlosť otáčania skrutkovice a vzdialenosť skrutkovice od žľabu. Skrutkové dopravníky potrebujú optimálne stúpanie skrutkovice pre svoje správne fungovanie. Ďalej je dôležité podotknúť na vlhkosť materiálu použitého v systéme. Ak nie je dostatočne vysušený, môže zablokovať dopravníky čo ma za následok veľmi komplikované odstránenie tejto poruchy. Môže slúžiť študentom pre vzdelávanie v oblasti programovania a testovania použitej elektroniky. Podarilo sa dosiahnuť uspokojivé výsledky plne funkčného automatizovaného systému. Ďalším krokom pri navrhovaní by bolo zjednodušenie elektrickej schémy, softvéru a rozšírenie o automatizované baliace zariadenie.

5 Literatúra

ANGELOVIČ, Marek a Ján JOBBÁGY. Mechanizácia rastlinnej výroby. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2010. ISBN 978-80-552-0453-6.

JECH, Ján, ARTIM, Jozef. a kol., 1998. Skúmanie technologickej energetickej efektívnosti kvality produktu pri pozberovom spracovaní osív zrnín, SPU Nitra, 1998, s.75-88.

MALEŘ, Josef. Posklizňová úprava a skladování zrna. Praha: Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství, 1990. Vědeckotechnický rozvoj v zemědělství 1990/25.

NOZDROVICKÝ, Ladislav a Branislav ŽIDEK. Vývojové trendy v pozberovej úprave zrnín (čistenie, triedenie, sušenie, skladovanie): zborník referátov a diskusných príspevkov z vedeckého seminára konaného na Katedre strojov a výrobných systémov Slovenskej

poľnohospodárskej univerzity v Nitre, dňa 12 apríla 2005. Nitra: Agentúra Slovenskej akadémie pôdohospodárskych vied, 2006. Zborník, č. 54. ISBN 80-89162-25-8.

OPÁTH, Rudolf, Viera KAŽIMÍROVÁ, Pavol TÓTH a Ľubomír BOTTO. Výrobné systémy 2. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2008. ISBN 978-80-552-0005-7.

POSPÍŠIL, Richard. 2015. Pozberové spracovanie obilia. In, roč.2015, č.35, s.13.

Súhrn

The transport of bulk commodities is an essential part of the production of feed mixtures. The created model illustrates the issue of transportation and mixing of loose materials. The aim of this work is to design an automated model of the mixing device, which will be structurally simple and easy to operate.

The result will be a functional automated unit controlled by a development board. The mixing device is designed so that the speed and quality of mixing the raw materials is as high as possible. The model proves simplicity in production and maintenance as it has a minimal number of mechanical parts and its operation does not require specialist knowledge.

Thanks to the knowledge from the construction and design of a reduced version of such a mixing device, it will be possible to use the acquired knowledge for the design of a functional device intended for the agricultural industry, but also for other branches of production.

Kľúčové slová: transport, automation, conveyors

Touto cestou by som chcel poďakovať vedúcemu bakalárskej práce Ing. Patrikovi Kósovi, PhD. za odbornú pomoc a cenné rady, ktoré mi napomohli pri vypracovaní mojej práce.

Tento článok bol financovaný z projektu KEGA: Inovácia študijných programov využitím nových metód vzdelávania a progresívnych výrobných technológií č.003SPU-4/2021.

VPLYV RÝCHLOSTI POHYBU OBJEKTU NA PRESNOSŤ JEHO SNÍMANIA PROSTREDNÍCTVOM PRIEMYSELNEJ KAMERY S VYUŽITÍM PLC
THE EFFECT OF THE SPEED OF THE OBJECT'S MOVEMENT ON THE ACCURACY OF ITS IMAGE CAPTURE USING AN INDUSTRIAL CAMERA AND A PLC

RADOVAN ZABKO[1] – MARTIN OLEJÁR[2]

Abstract

The work is focused on determine the effect of the speed of the object´s rotational movement on the accuracy of its image capture using an industrial camera and a PLC. For the measurement, we first had to construct set of devices, which consists of a PLC, an industrial camera, a servo converter and a synchronous motor. The flange with the QR code, which represents the image capture object, is fixed to the shaft of the synchronous motor. To obtain optimal results, we have created three programs for capturing the object. The first program is based on the principle of setting the motor position at which the object is captured. Further, the deviation limit is also set, which can be the maximum position for image capture. The second program is based on the use of a timer, where the cycle time is automatically calculated based on the entered parameters of speed and motor position. The third program is based on the principle of using the synchronization of the industrial camera with the synchronous motor, where all important time parameters are calculated. Based on these parameters, a perfect image capture of the object is created. The measured results show that the method of synchronizing the camera with the motor axis is the most efficient and reliable method of capturing the object in terms of non-error rate capture.

Key words: Industrial camera, PLC, Synchornous motor, QR code

1 Úvod

Keďže celosvetový priemysel neustále prechádza inováciou a zvyšujú sa požiadavky na jeho zlepšenie v oblasti automatizácie technologických procesov, tak v súčasnosti je stále viac technologických procesov kontrolovaných prostredníctvom bezpečnostných a priemyselných kamier. Táto inovácia je veľmi dôležitá v oblasti rozvoja automatizácie z takého dôvodu, že technologický proces je nepretržite pod kontrolou a pri vzniknutej poruche je možné sa spätne pozrieť na vzniknutý problém. Na druhej strane sa tieto kamery využívajú aj na snímanie konkrétnych súčastí technologických procesov, ako napríklad otáčky, teplotu a podobne. Veľkým prínosom je, že získané hodnoty prostredníctvom týchto kamier sú zabezpečované v reálnom čase.

Využitím spojenia priemyselných kamier a PLC je realizovaný veľký prínos pre automatizáciu z dôvodu, že snímané hodnoty z technologických procesov dokážeme nie len ukladať a vizualizovať, ale aj riadiť. Riadenie je realizované programom, ktorý dokáže meniť aktuálne snímané hodnoty technologického procesu na nastavené hodnoty. Program je potrebné vytvoriť pre daný technologický proces a následne ho nahrať do pamäte PLC.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Táto práca taktiež využíva priemyselnú kameru, pričom jej úlohou bude zistiť aký má vplyv zvyšovanie rýchlosti pohybu objektu na presnosť jeho snímania prostredníctvom tejto kamery a PLC. Na získanie optimálnych výsledkov budú merania prebiehať pri rovnakých laboratórnych podmienkach. Merania budú zabezpečené prostredníctvom programov, pričom pri každom programe bude snímanie realizované inou metódou. Výsledkom budú grafické závislosti z nameraných hodnôt, na základe ktorých bude možné porovnať, ktorá z týchto troch metód riadenia snímania je najefektívnejšia a najpresnejšia.

2 Materiál a metódy

Na zistenie vplyvu rýchlosti objektu na presnosť jeho snímania boli použité viaceré zariadenia. Ako snímaný objekt bol použitý QR kód umiestený na hriadeli synchrónneho motora, čím bol zabezpečený pohyb snímaného objektu. Celá zostava bola riadená prostredníctvom PLC. Synchrónny motor bol riadený prostredníctvom servo meniča.



Obr. 1 Umiestnenie priemyselnej kamery voči QR kódu
Fig. 1 The location of the industrial camera in front of the QR code

Na splnenie cieľa boli vytvorené tri programy, prostredníctvom ktorých bol zabezpečený pohyb snímaného objektu a taktiež aj spúšťanie snímania. Snímanie bolo pri každom programe založené na inej metóde. Prvou metódou je snímanie zabezpečené nastavením pozície motora, pri ktorej má byť QR kód zaznamenaný a nastavením maximálnej hranice odchýlky, do akej môže byť QR kód zaznamenaný. Druhou metódou je snímanie zabezpečené nastavením periódy časovača, na základe ktorého dochádza k snímaniu QR kódu v požadovanej polohe po uplynutí nastaveného času. Čas periódy pre časovač je automaticky vypočítavaný z nastavenia požadovanej pozície a rýchlosti motora. Treťou metódou je vytvorenie synchronizácie medzi kamerou a osou motora, pričom v programe sú prepočítavané odchýlky pozície a času, na základe ktorých je nastavovaný dôležitý parameter v kamere. Na základe tohto parametru dochádza k presnému snímaniu v požadovanej polohe. Pri vytvorení synchronizácie je potrebné nastaviť taktiež aj časové synchronizovanie viacerých parametrov v prostredí automation studio. Pri meraniach boli použité rovnaké podmienky a nastavenia kamery. Postup pri jednotlivých meraniach sa nachádza nižšie.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Metodika merania prostredníctvom spôsobu snímania nastavením pozície motora a odchýlky

- Počet meraní bude 8, pričom pri každom meraní sa bude zvyšovať nastavenie hranice snímania od 45° po 360° (krok zvyšovania bude 45°)
- V každom meraní bude snímanie v rýchlostiach od 1000 po 40000 jednotiek za sekundu (krok zvyšovania bude 1000)
- Pri každej rýchlosti bude vykonaných 100 otáčok na základe ktorých budú vyhodnotené výsledky merania pre túto metódu
- Toto meranie bude vykonané v 10 ms a 6 ms cyklickej triede

Metodika merania prostredníctvom spôsobu snímania nastavením časovača

- Perióda časovača bude nastavená na základe zvolenej pozície a rýchlosti
- V každom meraní bude snímanie v rýchlostiach od 1000 po 40000 jednotiek za sekundu (krok zvyšovania bude 1000)
- Pri každej rýchlosti bude vykonaných 100 otáčok na základe ktorých budú vyhodnotené výsledky merania pre túto metódu
- Toto meranie bude vykonané v 10 ms a 6 ms cyklickej triede

Metodika merania prostredníctvom spôsobu snímania nastavením synchronizácie priemyselnej kamery s osou motora

- Zvolenie miesta kde bude QR kód snímaný (od 0° po 360°)
- V každom meraní bude snímanie v rýchlostiach od 1000 po 40000 jednotiek za sekundu (krok zvyšovania bude 1000)
- Pri každej rýchlosti bude vykonaných 100 otáčok na základe ktorých budú vyhodnotené výsledky merania pre túto metódu
- Meranie bude vykonávané len v 0.4 ms cyklickej triede z dôvodu synchronizácie kamery s motorom

Použité prístroje

- Priemyselná kamera B&R s označením VSS112R22.053P-000
- PLC B&R s označením X20CP0484-1
- Servo menič ACOPOS B&R s označením 8V1016.50-2
- Synchrónny motor B&R s označením 8LVA23.B1015D100-0
- Napájací zdroj Elko DR 60-24
- Ochranný prúdový istič OEZ LSN B6

Nastavenie kamery

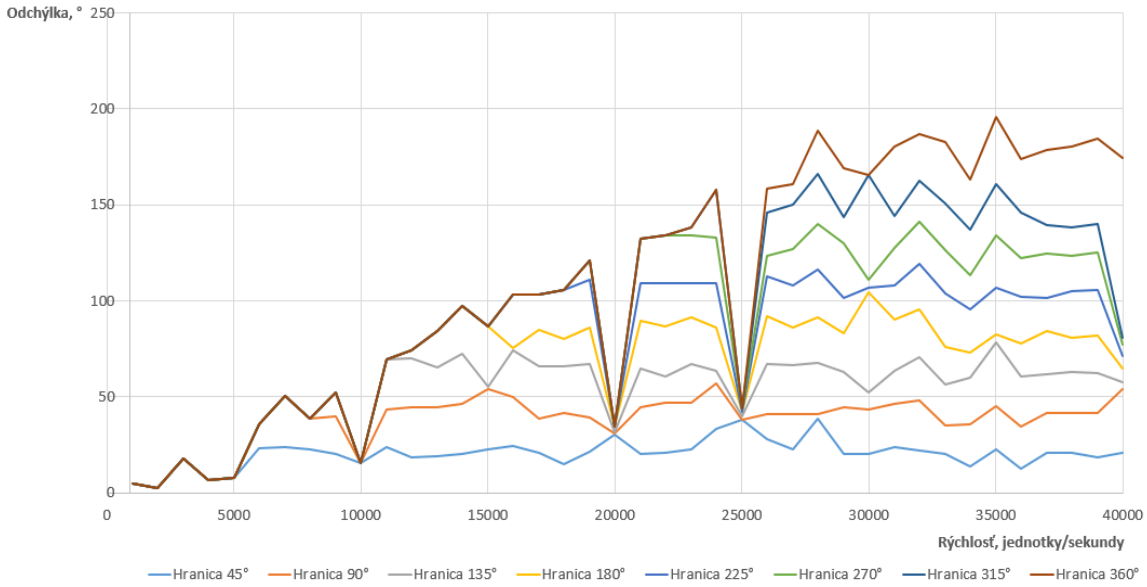
- Vzdialenosť medzi kamerou a snímaným QR kódom – 2200 mm
- Zaostrenie – 22000 µm
- Čas expozície - 200 µs
- Led osvetlenie – farba červená
- Počet LED – všetkých 16 LED
- Počet hľadaných výsledkov – 1

3 Výsledky a diskusia

Výsledky merania sa rozdeľujú do troch kategórií na základe použitej metódy snímania QR kódu pri meraní.

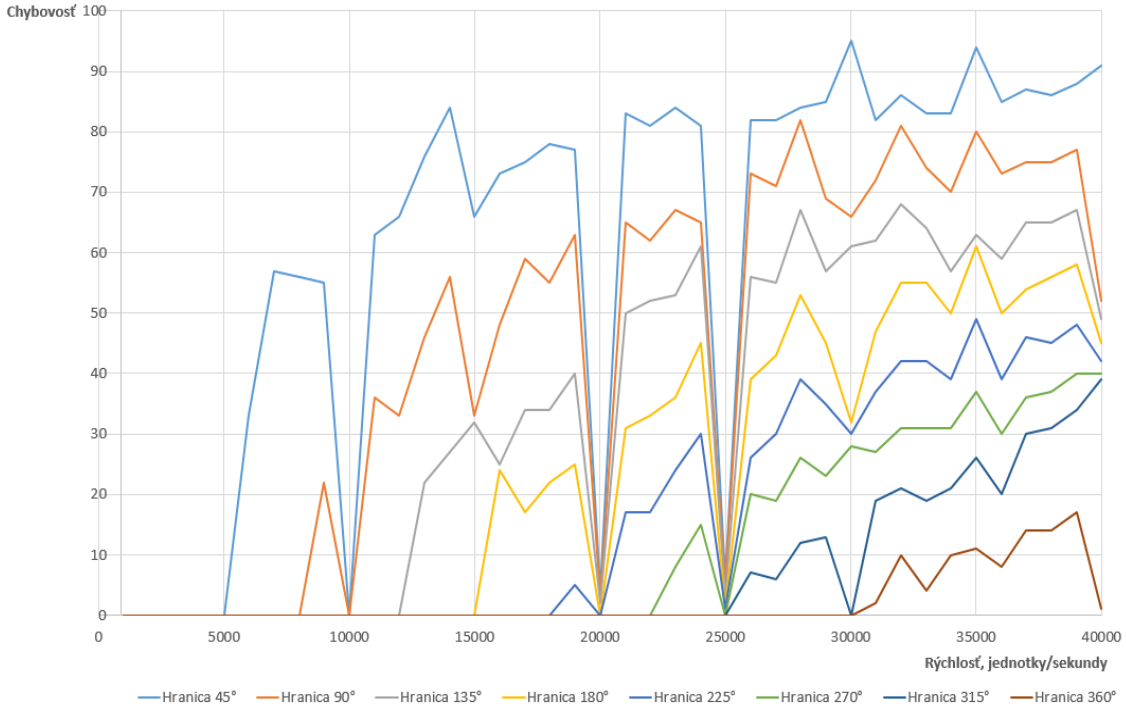
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Prvou kategóriou sú výsledky merania pri použití programu s nastavením pozície snímania na základe polohy motora a nastavenie hranice odchýlky. Výsledky merania s použitím 10 ms a 6 ms cyklickej triedy sa nachádzajú nižšie na obrázku číslo 2 až 5.



Obr. 2 Grafická závislosť veľkosti odchýlky pri použití nastavenia hranice odchýlky v rozmedzí 45° až 360° pri nastavení cyklickej triedy programu 10 ms

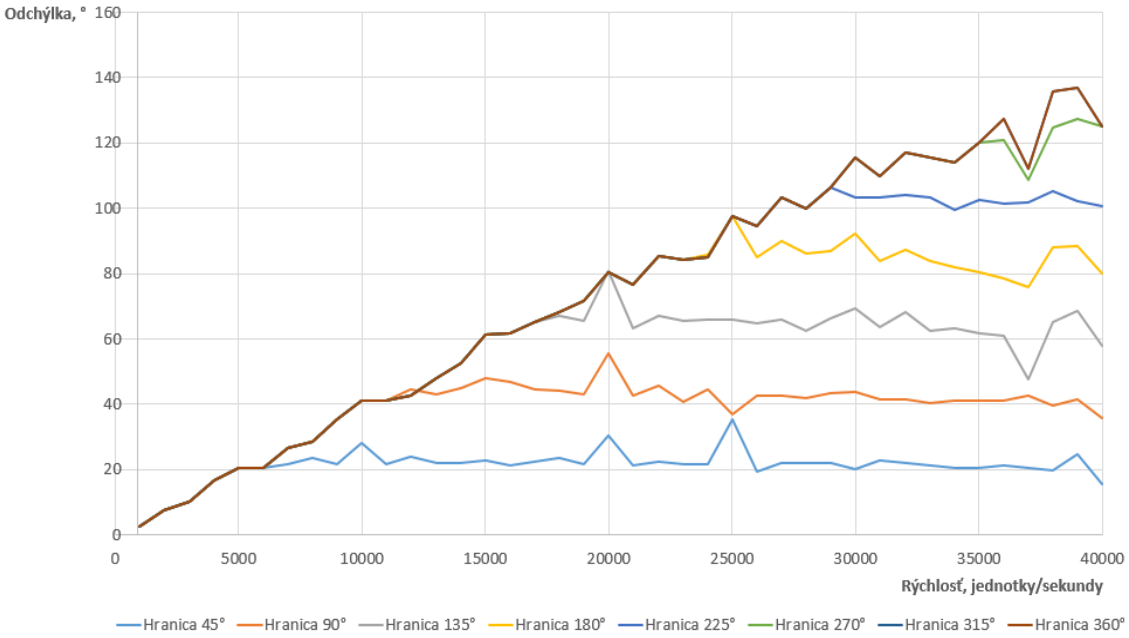
Fig. 2 Graphical dependence of deviation size when using deviation limit setting between 45° and 360° when program cyclic class is set to 10 ms



Obr. 3 Grafická závislosť chybovosti pri použití nastavenia hranice odchýlky v rozmedzí 45° až 360° pri nastavení cyklickej triedy programu 10 ms

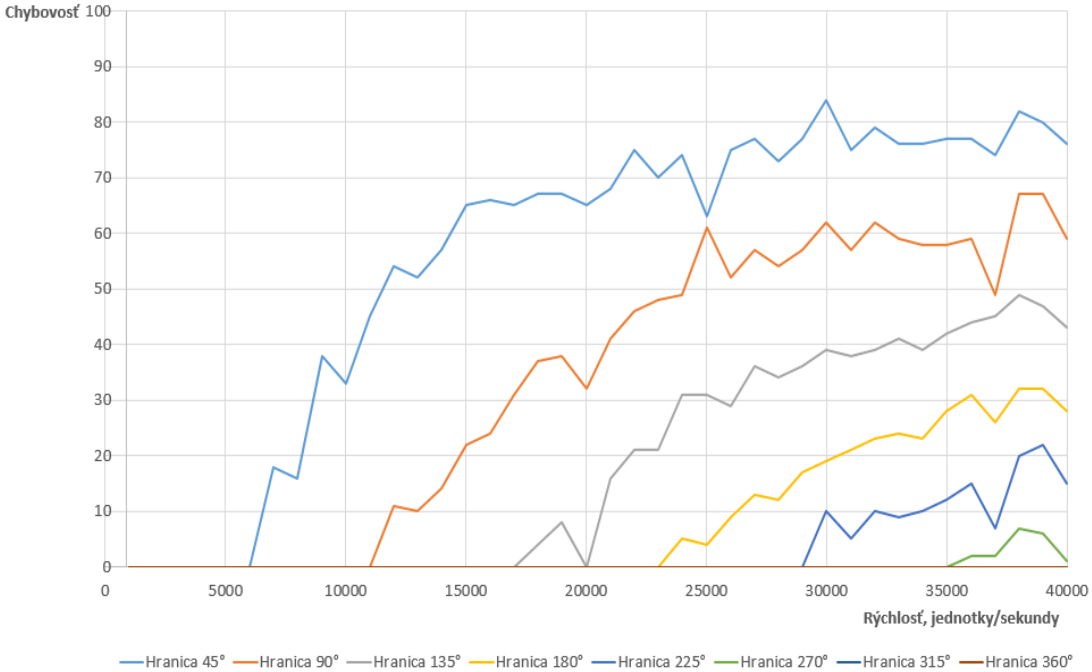
Fig. 3 Graphical dependence of error rate when using deviation limit setting between 45° and 360° when program cyclic class is set to 1 0ms

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 4 Grafická závislosť veľkosti odchýlky pri použití nastavenia hranice odchýlky v rozmedzí 45° až 360° pri nastavení cyklickej triedy programu 6 ms

Fig. 4 Graphical dependence of deviation size when using deviation limit setting between 45° and 360° when program cyclic class is set to 6 ms



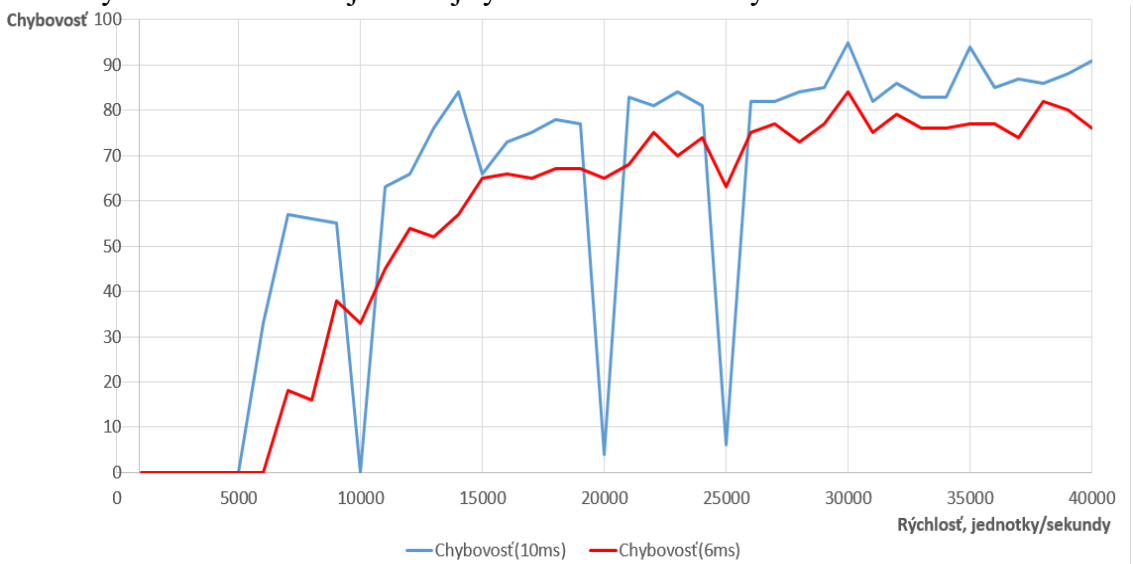
Obr. 5 Grafická závislosť chybovosti pri použití nastavenia hranice odchýlky v rozmedzí 45° až 360° pri nastavení cyklickej triedy programu 6 ms

Fig. 5 Graphical dependence of error rate when using deviation limit setting between 45° and 360° when program cyclic class is set to 6 ms

Na porovnanie tejto metódy pri použití odlišných cyklických tried je vytvorené porovnanie jednotlivých výsledkov z dôvodu zistenia, či s použitím rýchlejšej cyklickej triedy dochádza k zlepšeniu nameraných výsledkov a schopnosti snímania objektu bez chýb a odchýlky vo vyšších rýchlostiach.

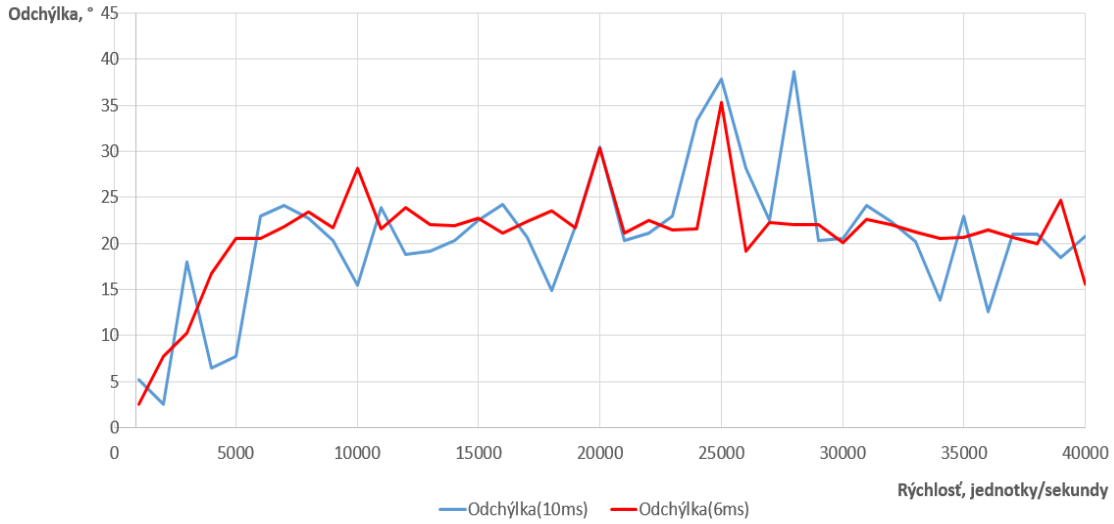
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Porovnaním výsledkov pri použití 10 ms a 6 ms cyklickej triedy vyplýva, že pri 6 ms je možné zaznamenávať objekt s nižšou chybovosťou a taktiež aj odchýlkou. Porovnanie je vyobrazené nižšie na obrázkoch číslo 6 a 7. K veľkým poklesom pri 10ms cyklickej triede programu dochádzalo z vytvorenia čiastočnej časovej synchronizácie kamery s osou motora.



Obr. 6 Grafická závislosť porovnania chybovosti vzhľadom na nastavenie cyklu programu pri hranici odchýlky 45°

Fig. 6 Graphical dependence of the error rate in consideration of setting the program cycle whilst the deviation limit 45°

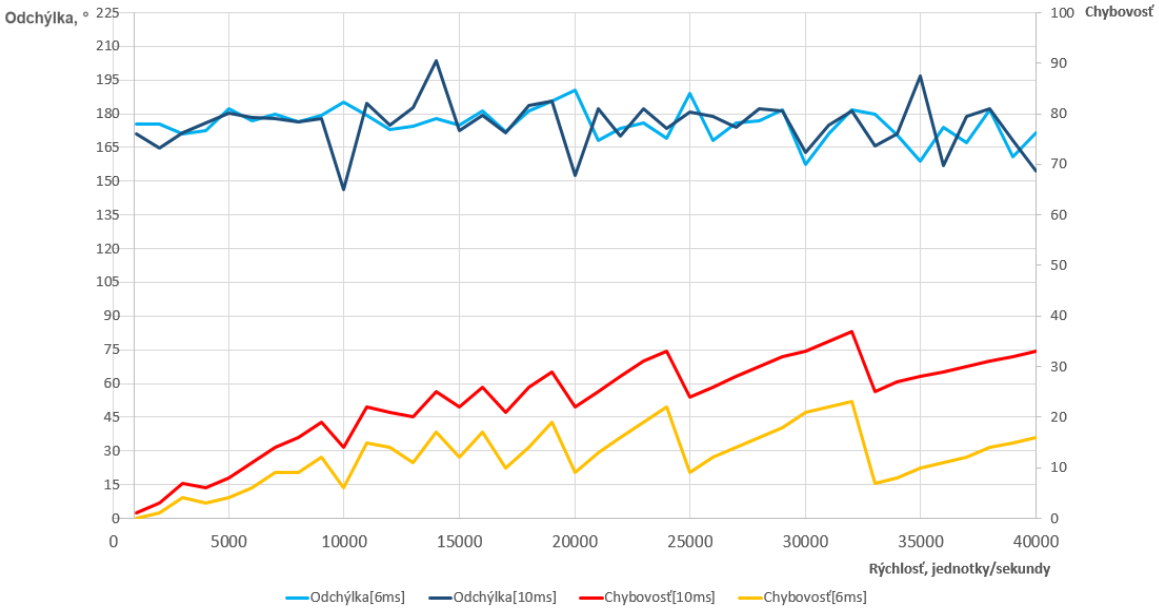


Obr. 7 Grafická závislosť porovnania veľkosti odchýlky vzhľadom na nastavenie cyklu programu pri hranici odchýlky 45°

Fig. 7 Graphical dependence of deviation size in consideration of setting the program cycle whilst the deviation limit 45°

Druhou kategóriou sú výsledky merania pri použití programu s nastavením pozície snímania na základe periódy časovača. Výsledky merania s použitím 10 ms a 6 ms cyklickej triedy sa nachádzajú nižšie na obrázku číslo 8.

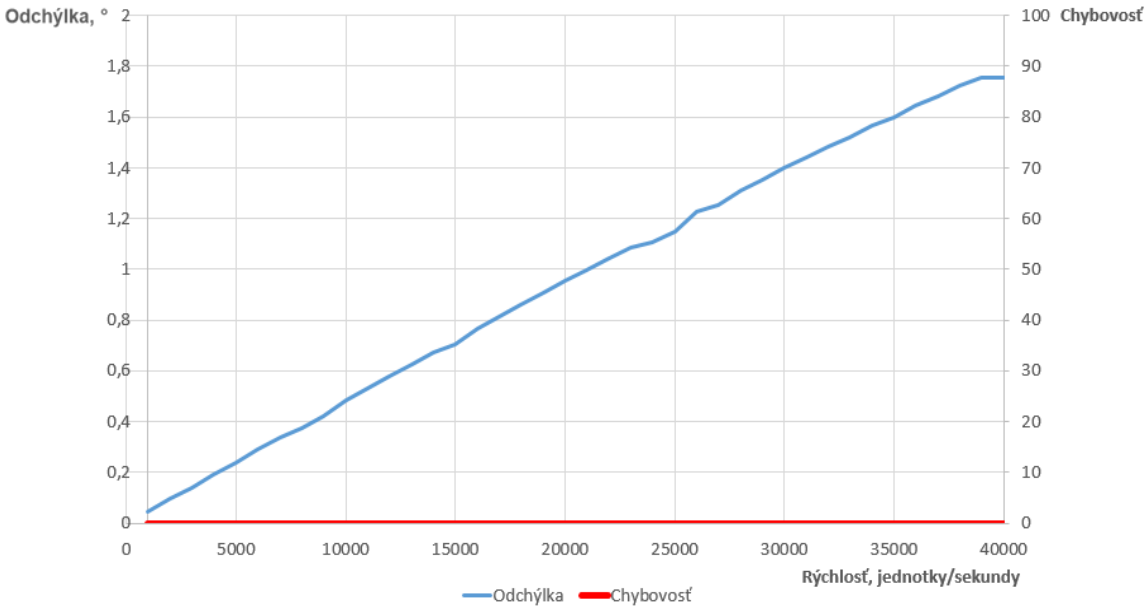
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 8 Grafická závislosť porovnania chybovosti a veľkosti odchýlky vzhľadom na nastavenie cyklickej triedy programu

Fig. 8 Graphical dependence of considering the error rate and the size of deviation in consideration of setting the program cycle

Porovnanie výsledkov pri použití 10 ms a 6 ms cyklickej triedy určuje, že pri 6 ms je možné zaznamenávať objekt s nižšou chybovosťou a ustálenejšou odchýlkou. Odchýlka je v priemere pri všetkých nastavených rýchlostiach okolo 180°.Taktiež z porovnania vyplýva, že pri tejto metóde dochádzalo len k minimálnej synchronizácii kamery s osou.
Treťou kategóriou sú výsledky merania pri použití programu s nastavením synchronizácie medzi kamerou a osou motora.



Obr. 9 Grafická závislosť chybovosti a veľkosti odchýlky pri použití synchronizácie priemyselnej kamery s osou synchrónneho motora

Fig. 9 Graphical dependence of error rate and size of deviation in using of the synchronization between industry camera with the synchronous motor axis

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Výsledky pre toto meranie sú zobrazené na obrázku číslo 9. Výsledkom je nulová chybovosť pri všetkých rýchlostiach. Veľkosť odchýlky lineárne narastá so stúpajúcou rýchlosťou. Odchýlka je aj pri 40 otáčkach za sekundu len okolo 1,8°.

4 Záver

Hlavné výsledky práce sú rozdelené do troch skupín podľa použitej metódy programu pri snímaní skúmaného objektu. Prvou skupinou výsledkov je vytvorený program na snímanie QR kódov, ktorý je založený na snímaní meraného objektu na základe pozície motora a nastavenej maximálnej hranice odchýlky. Výsledky pri meraní tejto metódy pre 10ms cyklickú triedu programu sa nachádzajú na obrázku číslo 2 a 3. Vo vytvorených grafických závislostiach je možné vidieť, že vždy pri každom piatom meraní dochádza k vytvoreniu čiastočnej synchronizácie, takže pri týchto rýchlostiach (najmä pri 20000 a 250000 jednotiek za sekundu) dosahuje nižšiu chybovosť a veľkosť odchýlky. Pri nastavení 6ms cyklickej triedy už k vytvoreniu synchronizácie nedochádza. Porovnaním meraní pri 10 ms a 6 ms cyklickej triede je možné skonštatovať na základe grafických závislostí, ktoré je možné vidieť na obrázku číslo 6 a 7, že pri 6 ms cyklickej triede je možné snímať s menšou chybovosťou a ustálenou odchýlkou. Z tohto porovnania vyplýva, že nastavením rýchlejšej cyklickej triedy, je možné dosiahnuť nižšiu chybovosť a odchýlky od meranej pozície. Druhá skupina výsledkov je tvorená z programu, ktorý je založený na snímaní skúmaného objektu prostredníctvom nastavenia časovača. Vždy po uplynutí nastavenej periódy dochádza k snímaniu QR kódu. Výsledky merania pri nastavenej 10 ms a 6 ms cyklickej triede sú zobrazené na obrázku číslo 8. Táto grafická závislosť zobrazuje lineárne narastajúcu chybovosť so zvyšujúcou sa rýchlosťou a priemernú odchýlku merania okolo 180°. Porovnaním výsledkov pre 10 ms a 6 ms cyklickú triedu je možné vidieť, že priebehy priemernej odchýlky sú takmer rovnaké okolo 180°, pričom pri 6 ms cyklickej triede je odchýlka ustálenejšia. Priebeh chybovosti je rovnaký s rozdielom, že pre 6 ms cyklickú triedu je chybovosť nižšia. Z tohto porovnania vyplýva, že použitím rýchlejšej cyklickej triedy programu dochádza k zníženiu chybovosti pri meraní.

Tretia skupina výsledkov je zložená z vytvorenia kompletnej konfigurácie kamery a softvéru, kvôli zabezpečeniu časovej synchronizácie kamery s osou motora. Výsledky merania je možné vidieť na obrázku číslo 9. Z tohto grafu je možné vidieť, že aj pri najvyššej nastavenej rýchlosti 40 000 jednotiek za sekundu dokáže byť QR kód snímaný s nulovou chybovosťou. Odchýlka narastá lineárne, pričom aj pri najvyššej rýchlosti je maximálna odchýlka menej ako 1,8°.

Porovnaním všetkých troch metód je možné skonštatovať, že metóda s nastavením časovača je najmenej presná metóda. V praxi nie je moc použiteľná, keďže chybovosť je dosť vysoká, ale najmä odchýlka je veľmi veľká aj pri nastavení rýchlejšej cyklickej triedy. Môže byť použitá len s nastavenou čo najrýchlejšou cyklickou triedou programu, a je vhodná len pri nižších rýchlostiach snímania. Metóda s nastavením pozície je o niečo presnejšia, v praxi je použiteľnejšia. Je s ňou možné merať QR kód až 5 otočení o 360° za sekundu s nulovou chybovosťou a pomerne nízkou odchýlkou. Metóda s nastavením synchronizácie je najpresnejšia metóda, s ktorou je možné snímať až 40 otočení za sekundu s nulovou chybovosťou a takmer zanedbateľnou odchýlkou od nastavenej pozície snímania objektu. Túto metódu je možné v praxi využívať v rôznych automatizovaných technologických procesoch, pričom aj v technologických procesoch, kde sú veľmi náročné požiadavky na presné a rýchle snímanie objektov.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

5 Literatúra

Daily automation. 2012. Základy PLC [online]. [cit.20230-3-30]. Dostupné na : <https://www.dailyautomation.sk/plc_zaklady/>.

Koniar, Dušan – Štefúnová, Silvia. *Základy spracovania obrazu s praktickými úlohami.* 2021. EDIS. 237 s. ISBN 9788055417967

Olejár, Martin – Cviklovič, Vladimír. 2020. Aplikačné programovanie. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita. Prvé vydanie. 232 s. ISBN 978-80-552-2177-9

Olejár, Martin – Cviklovič, Vladimír. 2020. Riadenie pohonov prostredníctvom PLC. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita. Tretie vydanie. 193 s. ISBN 978-80-552-2155-7

Securia Pro. Porovnanie kamerových systémov [online]. [cit. 2023.3.30]. Dostupné na : <https://www.securiapro.sk/clanok/porovnanie-kamerovych-systemov/?gclid=CjwKCAjwx46TBhBhEiwArA_DjMX3TQIS9LPhMSLOy8XhT379B_Ddo4iFkEGgvkBNey5FpN-QUusKlxoCo-cQAvD_BwE>.

Súhrn

Cieľom tejto práce je zistenie vplyvu rýchlosti rotačného pohybu objektu na presnosť jeho snímania prostredníctvom priemyselnej kamery a PLC. Na meranie sme najprv museli zostaviť meraciu zostavu, ktorá sa skladá z PLC, priemyselnej kamery, servo meniča a synchrónneho motora. Na hriadeli synchrónneho motora je upevnená príruba s QR kódom, ktorý predstavuje objekt snímania. Na získanie optimálnych výsledkov sme vytvorili tri programy, na základe ktorých bude objekt snímaný. Prvý program je založený na princípe nastavenia pozície motora, pri ktorej má byť objekt snímaný. Ďalej sa ešte nastavuje aj hranica odchýlky, do akej maximálne môže byť objekt zaznamenaný. Druhý program je založený na použití časovača, kde je automaticky vypočítaný čas cyklu na základe zadanej rýchlosti a pozície motora. Tretí program je založený na princípe použitia synchronizácie priemyselnej kamery s motorom, kde sú nastavené a prepočítavané všetky dôležité časové parametre, čím sa zabezpečí bezchybné zaznamenávanie objektu. Z nameraných výsledkov vyplýva, že metóda synchronizácie kamery s osou motora je z hľadiska bezchybnosti pri snímaní najefektívnejšou a najspoľahlivejšou metódou snímania objektu.

Kľúčové slová: PLC, Priemyselná kamera, Synchrónny motor, QR kód

Implementácia technológií Priemyslu 4.0 do výučby inžinierskeho študijného programu "Riadiace systémy vo výrobnej technike", KEGA 006SPU-4/2021.

VPLYV PNEUMATÍK NA HLUČNOSŤ V INTERIÉRI AUTOMOBILU
INFLUENCE OF TIRES ON NOISE IN CAR INTERIOR

TOMÁŠ ZÁHORA[1] – RADOSLAV MAJDAN[2]

Abstract

The paper presents a comparison of noise in interior of car with winter tires of two manufacturers at speed from 70 km . h^{-1} to 30 km . h^{-1}. Experiments were realised at two car weights. First weight was characterised by car with driver and front-seat passenger. The second one was car with additional weight simulating passengers on rear seats and luggage in the car trunk. Experimental measurements were carried out at air temperature of –1 °C. The results of experimental measurements verified the assumption, that an increase in the car weight increases tire rolling resistance and noise level in car interior. In case of Matador tires, the average increase in noise level reached value of 1.47 dB in range from 1.36 dB to 1.96 dB. In case of Nordexx tires, the average increase reached value of 1.51 dB in range from 0.64 dB to 2.87 dB.

Key words: rolling resistance, wheels, road, car velocity, noisemeter.

1 Úvod

Hluk z dopravy sa stal veľkým spoločenským problémom, ktorého význam neustále narastá s nárastom počtu dopravných prostriedkov. Znečistenie ovzdušia a hluk sú dva najvážnejšie nežiaduce vplyvy dopravy najmä v mestskom prostredí (Nejadkoorki a kol., 2010). Hluk sa v súčasnosti považuje za vážny zdravotný problém pretože spôsobuje poruchy spánku a zhoršuje kvalitu života (Williams a Mc Creae, 1975 a Lercher, 1995). Vplyv hluk na človeka sa môže ďalej prejavovať zvýšenou mrzutosťou, ale aj zhoršením sluchu a môže tiež spôsobovať kardiovaskulárne ochorenia (Mansouri, 2006).

Maffei a Massimiliano (2014) uvádzajú, že vzhľadom na zaťaženie životného prostredia hlukom z prevádzky cestných vozidiel je potrebné zohľadňovať určité stratégie na celosvetovej úrovni. Jedná sa predovšetkým o kontrolu akustickej zhody nových vozidiel, kontrolu trhu s náhradnými dielmi pre automobily, ktoré priamo ovplyvňujú úroveň hluku dopravných prostriedkov (ako sú napríklad výfukové systémy) a periodické technické kontroly zamerané na úroveň hluku automobilov. V prípade náhradných dielov a komponentov pre vozidlá by bolo prínosné zaviesť používanie štítkov určujúcich ich kvalitu z pohľadu vplyvu na hlučnosť ako je to napríklad v prípade pneumatík. V súčasnosti je každá pneumatika dodávaná na trh spolu s energetickým štítkom, ktorý obsahuje okrem informácií o spotrebe paliva a jazdných vlastnostiach tiež informáciu o hlučnosti pneumatiky.

Cieľom príspevku bolo porovnanie hlučnosti v interiéry vybraného typu osobného automobilu so zimnými pneumatikami od dvoch výrobcov pri rôznych hmotnostiach automobilu. Zvolené boli dva typy zimných pneumatík od výrobcov Matador a Nordexx. Z dôvodu určenia vplyvu valivého odporu pneumatík na hlučnosť v interiéri vozidla, merania boli uskutočnené pri dvoch hmotnostiach automobilu. Experimenty boli realizované pri rýchlostiach od 30 km . h^{-1} do 70 km . h^{-1}. Experimentálne merania boli vykonané podľa normy ISO 5128:1980.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

2 Materiál a metódy

2.1 Postup meraní

Na meranie bolo použité motorové vozidlo Fiat Brava 1,9 TD so vznetovým motorom. Jedná sa o štandardné päť dverové osobné vozidlo roku výroby 1998. Technické parametre vozidla sú výška 1420 mm, šírka 1741 mm, dĺžka 4187 mm, prevádzková hmotnosť 1255 kg a najväčšia technicky prípustná celková hmotnosť 1720 kg.

Na odpor valenia vplýva kvalita povrchu, po ktorom sa vozidlo pohybuje, koeficient trenia pneumatík a hmotnosťou vozidla. Nakoľko experimentálne merania boli vždy vykonávané na rovnakom úseku vozovky, jej vplyv na valivý odpor bol tiež vždy rovnaký. Zmena odporu valenia bola preto dosiahnutá zmenou hmotnosti vozidla. Cieľom práce bolo overiť predpoklad, že zvýšený valivý odpor vedie k zvýšenému hluku vozidla vplyvom zvýšenej hlučnosti pneumatík. Z tohto dôvodu boli vykonané aj merania s vozidlom s dvomi hmotnosťami:

- bez prídavnej záťaže, vo vozidle sa nachádzal vodič a spolujazdec (70 kg + 60 kg), ktorý zaznamenával všetky sledované a merané údaje,
- s prídavnou záťažou, vo vozidle bola okrem vodiča a spolujazdca aj dodatočná záťaž, ktorá simulovala takmer maximálne prevádzkové zaťaženie vozidla, resp. obsadenie motorového osobného vozidla maximálnym počtom cestujúcich. Na zadných sedadlách vozidla sa nachádzali dlaždice (30 x 6,5 kg) s celkovou hmotnosťou 195 kg. V batožinovom priestore sa nachádzali štyri kolesá (disky s pneumatikami), ktorých celková hmotnosť bola 51,2 kg, obr. 1.



Obr. 1 Vozidlo Fiat Brava a umiestnenie prídavnej záťaže.
Fig. 1 Fiat Brava car and location of additional weight.

Pri meraniach boli vo vozidle vypnuté všetky potencionálne zdroje hluku ako napríklad rádio, ventilácia a podobne. Meranie hluku začalo po dosiahnutí rýchlosti vozidla 70 km . h^{-1}, pri vypnutom motore a zaradenom neutrále. Následne bol meraný hluk v interiéry vozidla v závislosti od rýchlosti vozidla až po rýchlosť 30 km . h^{-1}. Údaje boli zaznamenané každých 10 km . h^{-1}. Každé meranie bolo opakované 3 krát. Pred každým meraním bola zaznamenaná vonkajšia teplota vzduchu, poveternostné podmienky, stav vozovky, stav pneumatík a teplota pneumatík. Meranie bez prídavnej záťaže bolo vykonané iba s vodičom a so spolujazdcom. Nakoľko experimentálne merania boli zamerané na monitorovanie vplyvu pneumatík na hlučnosť v interiéry automobilu, meranou veličinou bol hluk, ktorý bol ovplyvnení:

- odporom valenia.
- odporom vzduchu.

Odpor vzduchu bol eliminovaným obmedzením rýchlosti na 70 km . h^{-1}. Hlučnosť pri rýchlosti pod 30 km . h^{-1} nebola hodnotená pretože pri rýchlostiach menších ako 30 km . h^{-1} sa vozidlo bežne v cestnej premávke nepohybuje.

Experimentálne merania nebolo možné realizovať na verejnej komunikácii z bezpečnostného hľadiska a preto sa vykonávali na neverejnej, uzavretej komunikácii

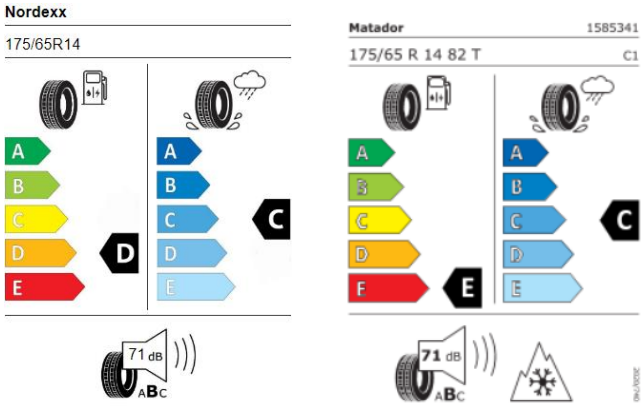
DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

v mestskej časti Nitra – Janíkovce. Použitý úsek bol pri meraní využitý v celej jeho dĺžke 1,19 km.

Namerané hodnoty boli následne štatisticky spracované a prezentované vo forme tabuliek a grafických závislostí. Z vykonaných experimentálnych meraní bola vytvorená fotodokumentácia a záznam o poveternostných podmienkach v danej lokalite.

2.2 Použité pneumatiky

Experimentálne merania boli zamerané na zimné pneumatiky určené pre osobné automobily pričom pneumatiky mali totožný rozmer 175/65R14 82T a hlavné technické parametre. Pneumatiky boli použité od výrobcov nižšej cenovej kategórie, konkrétne od výrobcu Matador a Nordexx. Technické parametre pneumatík sú: typ osobné, obdobie zimné, rýchlostný index T (190 km . h^{-1}), index nosnosti 82 (475 kg), aktuálna výška dezénu 7 mm v prípade typu Nordexx WINTERSAFE 2 a 5 mm v prípade pneumatík Matador MP54 Sibir Snow. Ostatné údaje sú zrejmé zo štítkov pneumatík na *obr. 2*.



a) b)

Obr. 2 Štitky použitých pneumatík: a) Nordexx, b) Matador.
Fig. 2 Label of tires: a) Nordexx, b) Matador

.

2.3 Popis prístrojov

Pri vykonávaní experimentálnych meraní vplyvu pneumatík na hlučnosť v interiéri vozidla je potrebné použiť prístrojové vybavenie, ktoré je určené na meranie a zaznamenávanie meraných parametrov:

- hlukomer pre meranie hluku v interiéri vozidla.
- digitálny teplomer na meranie vonkajšej teploty vzduchu a teploty pneumatík.
- mobilná aplikácia využívajúca systém GPS pre monitorovanie rýchlosti vozidla v km . h^{-1}.

Hlukomer, 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, teploty vozovky a teploty pneumatík, *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, 2023).

Mobilná aplikácia Speedometer využívajúca systém GPS. Slúži na monitorovanie aktuálnej rýchlosti vozidla v km . h^{-1}. Nakoľko počas experimentálnych meraní je zapaľovanie

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

vypnuté, teda ukazovateľ rýchlosti vo vozidle Fiat Brava nie je v tomto čase funkčný. Z tohto dôvodu bola pri experimentálnom meraní použitá mobilná aplikácia, ktorá pomocou systému GPS zobrazovala aktuálnu rýchlosť vozidla v reálnom čase, *obr. 3 c*). Popis aplikácie: 3 grafické režimy zobrazovania aktuálnej rýchlosti, maximálna dosiahnutá rýchlosť, prejdená vzdialenosť, priemerná rýchlosť, možnosť uloženia záznamu, aktuálne dostupný signál GPS a história.



a) b) c)

Obr. 3 Meracie prístroje: a) hlukomer Brüel & Kjaer Typ 2240 (BKSV, 2013), b) digitálny teplomer EMOS E2157, c) užívateľské rozhranie aplikácie Speedometer (autor).
Fig. 3 Measurement instrument: noise meter Brüel & Kjaer Typ 2240 (BKSV, 2013), digital thermometer EMOS E2157 (EMOS, 2023), user interface of application Speedometer (author).

2.4 Umiestnenie hlukomera a podmienky merania

Nakoľko experimentálne merania 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 5128:1980. Podľa uvedeného štandardu by mal byť mikrofón, ktorý je určený na meranie hluku umiestnený na mieste vodiča, nakoľko najčastejšie sa vo vozidle nachádza iba samotný vodič (HMR.ARAIINDIA, 2004). Taktiež vytvorenie, resp. dodržanie hygienických podmienok pre vodiča je veľmi dôležité, aby sa vodič dokázal koncentrovať a nedochádzalo k jeho únave počas vedenia motorového vozidla.

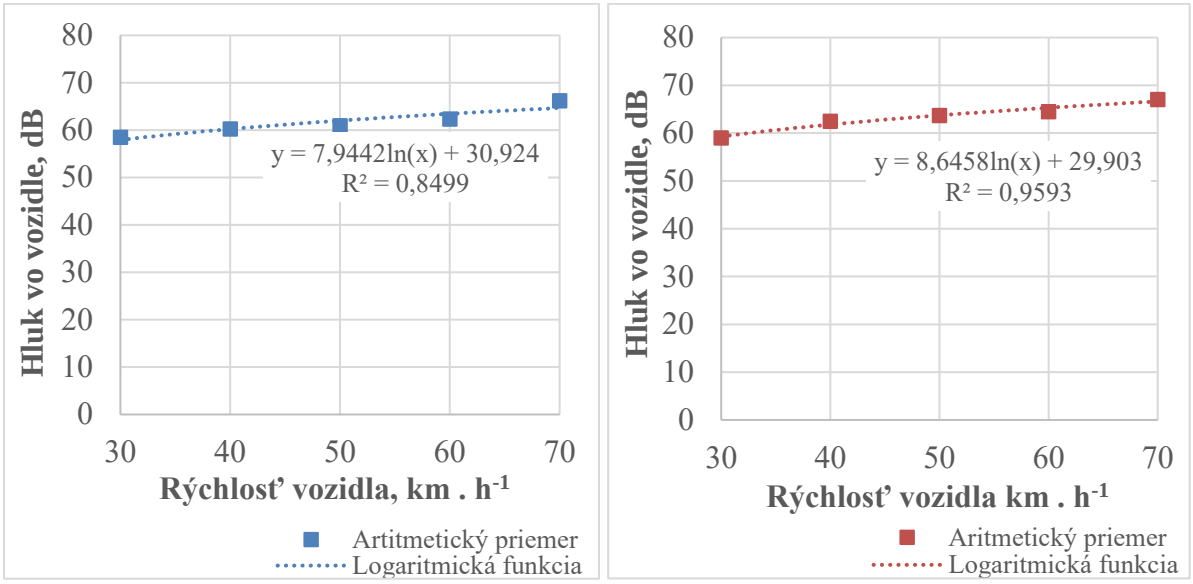
Experimentálne meranie pri vonkajšej teplote vzduchu –1°C bolo vykonané dňa 18.12.2022 v čase od 14:00 do 16:00. Teplota vozovky bola v čase experimentálneho merania +1°C. Teplota pneumatík sa v priebehu meraní nemenila, zostala na hodnote 14 °C. Poveternostné podmienky boli nasledovné: rýchlosť vetra 0,2 – 0,9 m . s^{-1} s nárazmi 0,4 – 0,1 m . s^{-1}, jasná obloha, bez zrážok. Vozovka, na ktorej sa vykonávalo experimentálne meranie bola bez znečistenia, vody, ľadu a snehu. Celkové podmienky boli priaznivé, nakoľko bolo slnečné počasie a bezvetrie.

Priemerná hodnota hluku v interiéri stojaceho vozidla s vypnutým motorom bola nameraná 23,48 dB. Hluk v interiéri vozidla bol monitorovaný po dobu 60 sekúnd, v stave vypnutého motora a elektronického príslušenstva vozidla.

3 Výsledky a diskusia

Graf na *obr. 4* znázorňuje hodnoty aritmetických priemerov vypočítaných z nameraných hodnôt troch meraní hlučnosti vozidla bez prídavnej záťaže a s prídavnou záťažou s pneumatikami Matador. Obsahuje logaritmickú funkciu trendovej čiary a modelovú rovnicu, z ktorej bola vypočítaná modelová hodnota hlučnosti v interiéri vozidla v závislosti na rýchlosti vozidla.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

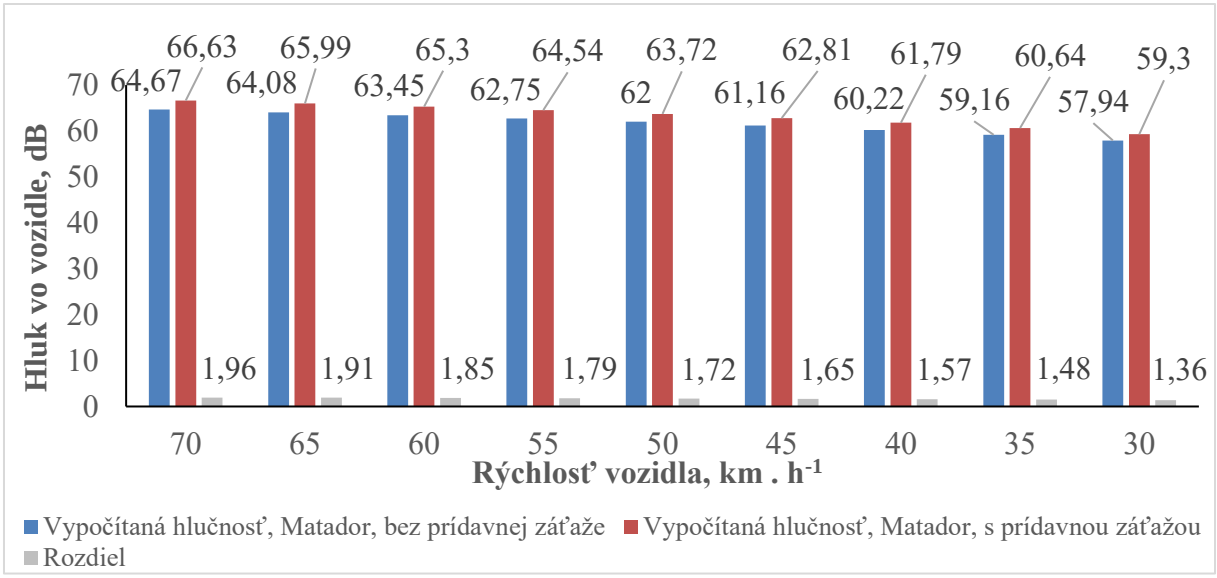


a) b)

Obr. 4 Pneumatiky Matador: a) vozidlo bez prídavnej záťaže, b) vozidlo s prídavnou záťažou

Fig. 4 Matador tires: a) car without additional weight, b) car with additional weight.

Graf na *obr. 5* znázorňuje výsledky modelového výpočtu hlučnosti vozidla s pneumatikami Matador, pomocou rovnice z logaritmickej trendovej funkcie uvedenej na obr. 4 pre vozidlo s prídavnou záťažou a bez nej v rozsahu rýchlostí od 70 km . h^{-1} do 30 km . h^{-1}. Taktiež je na *obr. 5* znázornený rozdiel medzi hodnotami hluku v interiéri vozidla s prídavnou záťažou a bez prídavnej záťaže, ktorého priemerná hodnota je 1,47 dB.



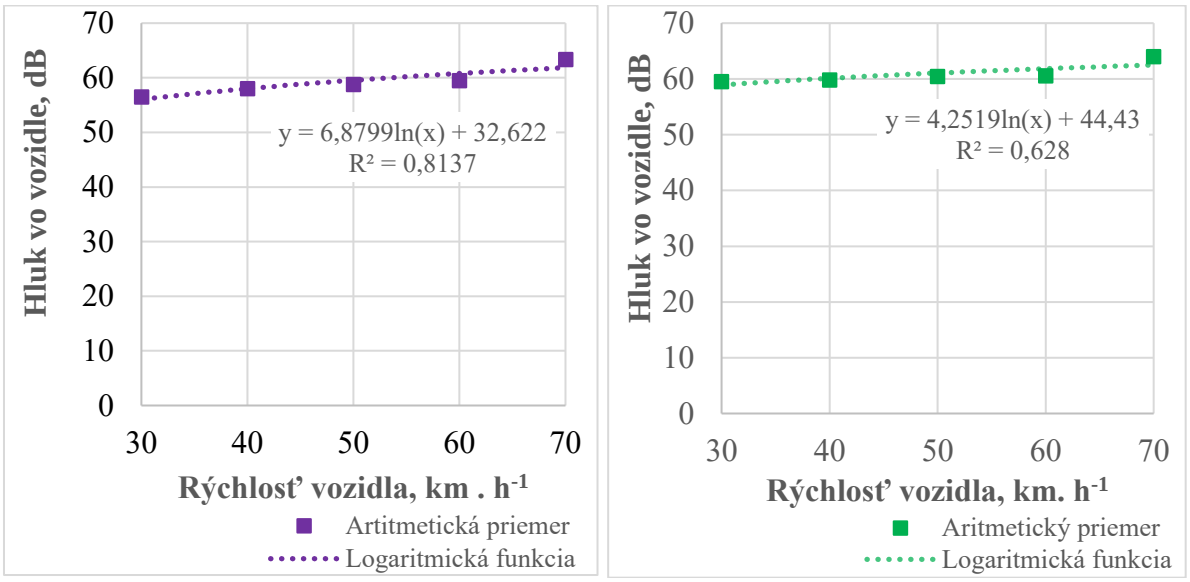
Obr. 5 Porovnanie hlučností vozidla s pneumatikami Matador s použitím vozidla bez prídavnej záťaže a s prídavnou záťažou.

Fig. 5 Noise comparison of car with Matador tires using car with and without additional weight.

Graf na *obr. 6* znázorňuje hodnoty aritmetických priemerov nameraných hodnôt troch meraní hlučnosti vozidla bez prídavnej záťaže a s prídavnou záťažou s pneumatikami Nordexx.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Obsahuje logaritmickú funkciu trendovej čiary a modelovú rovnicu, z ktorej bola vypočítaná modelová hodnota hlučnosti v interiéri vozidla v závislosti na rýchlosti vozidla.

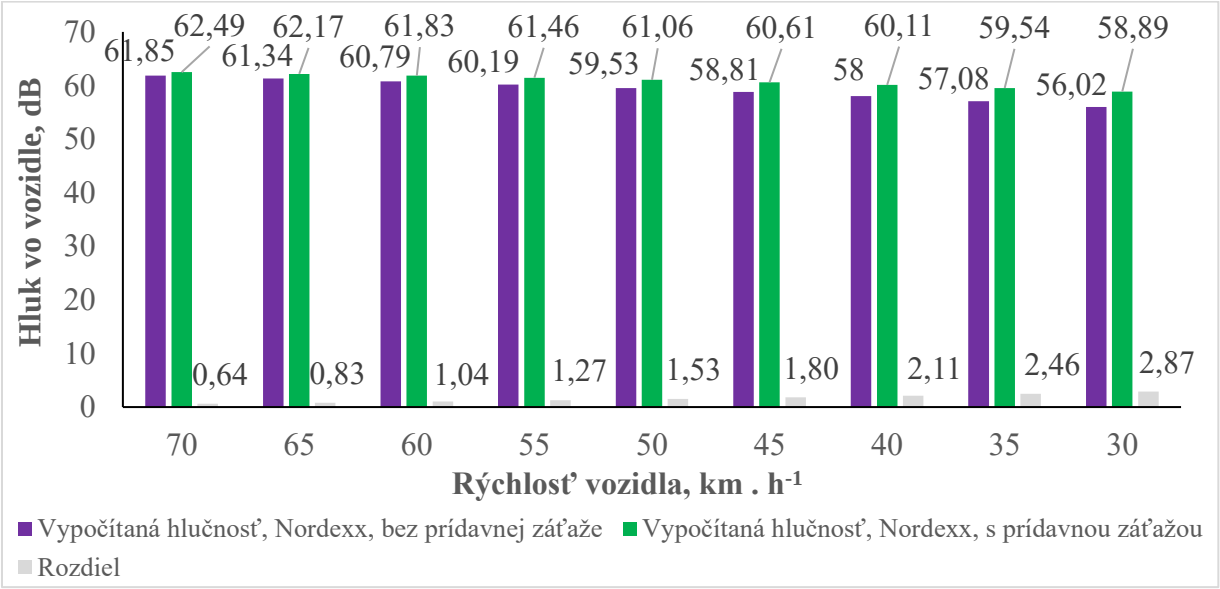


a) b)

Obr. 6 Pneumatiky Nordex: a) vozidlo bez prídavnej záťaže, b) vozidlo s prídavnou záťažou

Fig. 6 Nordex tires: a) car without additional weight, b) car with additional weight.

Graf na *obr. 7* znázorňuje modelový výpočet hlučnosti vozidla s pneumatikami Nordexx, pomocou rovnice z logaritmickej trendovej funkcie uvedenej na *obr. 6* pre vozidlo s prídavnou záťažou a bez nej v rozsahu rýchlostí od 70 km . h^{-1} do 30 km . h^{-1}. Taktiež je na obr. 7 znázornený rozdiel medzi hodnotami hluku v interiéri, pri vozidle s prídavnou záťažou a bez prídavnej záťaže, ktorého priemerná hodnota je 1,51 dB.



Obr. 7 Porovnanie hlučností vozidla s pneumatikami Nordexx s použitím vozidla bez prídavnej záťaže a s prídavnou záťažou.

Fig. 7 Noise comparison of car with Nordexx tires using car with and without additional weight.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Vplyv rýchlosti a hmotnosti vozidla na hlučnosť hodnotil aj Gökdag (2012). Pri náraste rýchlosti automobilu zaznamenal nárast jeho hlučnosti rovnako ako aj pri náraste jeho hmotnosti podobne ako v prípade experimentov prezentovaných v tomto príspevku. Maffei a Massimiliano (2014) sa tiež venovali experimentálnemu určeniu vplyvu rýchlosti vozidla na jeho hlučnosť. Z uvedených závislostí autori vyjadrili vplyv pneumatík na celkovú hlučnosť vozidla. Dijkink a Keulen (2004) uvádzajú, že na úroveň hluku najviac vplývajú interakcie medzi pneumatikami a podložkou pri rýchlostiach od 30 km . h^{-1} do 50 km . h^{-1}. V prípade našich experimentov sme zvolili podobný rozsah rýchlostí, pri ktorých boli realizované experimentálne merania.

4 Záver

Príspevok bol zameraný na experimentálne určenie hlučnosti zimných pneumatík vplyvom rýchlosti vozidla a jeho hmotnosti. Zvolené boli rýchlosti vozidla od 70 km . h^{-1} do 30 km . h^{-1}. Pri vyšších rýchlostiach ako 70 km . h^{-1} sa v značnej miere začína prejavovať vplyv odporu vzduchu a pri rýchlostiach nižších ako 30 km . h^{-1} sa vozidlá využívajú len zriedkavo. Na overenie vplyvu valivého odporu pneumatík na hlučnosť vozidla boli zvolené dve hmotnosti vozidla. Prvá hmotnosť vozidla bez prídavnej záťaže bola tvorená len hmotnosťou vozidla, vodiča a spolujazdca. Druhá hmotnosť bola vytvorené hmotnosťou prvého vozidla a prídavnou záťažou simulujúcou batožinu v kufri a cestujúcich na zdaných sedadlách.

Z nameraných údajov hlučnosti pri každých 10 km . h^{-1} vo zvolenom rozsahu rýchlostí boli vypočítané priemerné hodnoty a z nich modelové logaritmické funkcie. 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 zvýšenej hmotnosti vozidla sa zvyšuje úroveň jeho hlučnosti z dôvodu zvýšeného valivého odporu pneumatík.

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_AIV9kiRBR0csQE2EAYYAiABEgJUFfD_BwE/ [cit. 2023-01-29].

Gökdag, 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*.

Lercher P. 1995. Environmental noise and health: an integrated research perspective. Environ Int 1995, 22: 117-129.

Maffei, Luigi & Masullo, Massimiliano. (2014). Electric Vehicles and Urban Noise Control Policies. Archives of Acoustics. 39.

Mansouri N., Pourmahabadian M., Ghasemkhani M. 2006. Road traffic noise in downtown area of Tehran. Iran J Environ Health Sci Eng 2006, 3: 267-272.

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.

Súhrn

Príspevok prezentuje porovnanie hlučností v interiéri vozidla so zimnými pneumatikami od dvoch výrobcov pri rýchlostiach od 70 km . h^{-1} do 30 km . h^{-1}. Experimenty boli realizované pri dvoch hmotnostiach automobilu a to s vodičom a spolujazdcom, teda bez prídavnej záťaže a s prídavnou záťažou simulujúcou pasažierov na zadných sedadlách a batožinu v kufri vozidla. Experimentálne merania boli realizované pri teplote vzduchu – 1°C. Výsledky experimentálnych meraní potvrdzujú predpoklad, že so zvyšujúcou sa hmotnosťou vozidla sa zvyšuje valivý odpor pneumatík čo sa prejavuje zvýšením hlučnosti v interiéri vozidla. V prípade pneumatík Matador dosiahol nárast hlučnosti priemernú hodnotu 1,47 dB v rozsahu od 1,36 dB až 1,96 dB a v prípade pneumatík Nordexx 1,51 dB v rozsahu od 0,64 dB do 2,87 dB.

Kľúčové slová: valivý odpor, kolesá, vozovka, rýchlosť vozidla, hlukomer.

APLIKÁCIA NA IDENTIFIKÁCIU DYNAMICKÝCH SYSTÉMOV Z PRECHODOVEJ CHARAKTERISTIKY
APPLICATION FOR THE IDENTIFICATION OF DYNAMIC SYSTEMS FROM TRANSITION CHARACTERISTICS

MILAN ZAŤKO[1] – MARTIN OLEJÁR[2]

Abstract

The article focuses on developing an application for identifying dynamic systems from their transient characteristics using the #C programming language. The goal of the project is to create an application that imports and processes input transient characteristic data from Microsoft Excel after being launched. The theoretical part of the work describes the theory of the types of dynamic systems encountered in identifying dynamic systems from transient characteristics. Specifically, the work focuses on first-order, second-order, higher-order, and damped oscillatory dynamic systems. The practical part involves creating the application itself in the Microsoft Visual Studio 2022 development environment, which can calculate all necessary coefficients and determine the type of dynamic system from the input data, and plot a graph of the resulting transfer function.

Key words: dynamical systems, #C, transition characteristics, order of systems, transfer function

1 Úvod

Identifikácia regulovanej sústavy má za účel získať matematický popis (model) sústavy vo forme prenosovej funkcie. Identifikácia dynamického systému z prechodovej charakteristiky môže byť náročný proces, ktorý vyžaduje široké znalosti matematických a štatistických techník. Avšak, ak sa správne vykoná, môže poskytnúť cenné informácie o správaní systému a umožniť nám predpovedať jeho chovanie v rôznych podmienkach a pri rôznych vstupoch. (Lennart, 1998)

Pri identifikácii sa môžeme stretnúť s rôznymi typmi dynamických systémov. Táto práca sa zaoberá konkrétne s dynamickým systémom prvého rádu, druhého rádu, vyššieho rádu a s dynamickým systémom s tlmene kmitavou prechodovou charakteristikou. Cieľom práce je vytvoriť aplikáciu, ktorá dokáže identifikovať dynamický systém na základe poskytnutých vstupných údajov.

2 Materiál a metódy

V tejto časti práce si popíšeme použitý postup identifikácie dynamických systémov z prechodovej charakteristiky a vytvorené jednotlivé funkcie v aplikácii #C sharp.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Dynamický systém prvého rádu

Tento typ dynamického systému má vlastnosť nulovej doby prieťahu, kedy odozva sústavy neobsahuje inflexný bod, teda neexistuje prechod z konvexnej na konkávnu funkciu alebo naopak.

Všeobecný Laplaceov tvar:

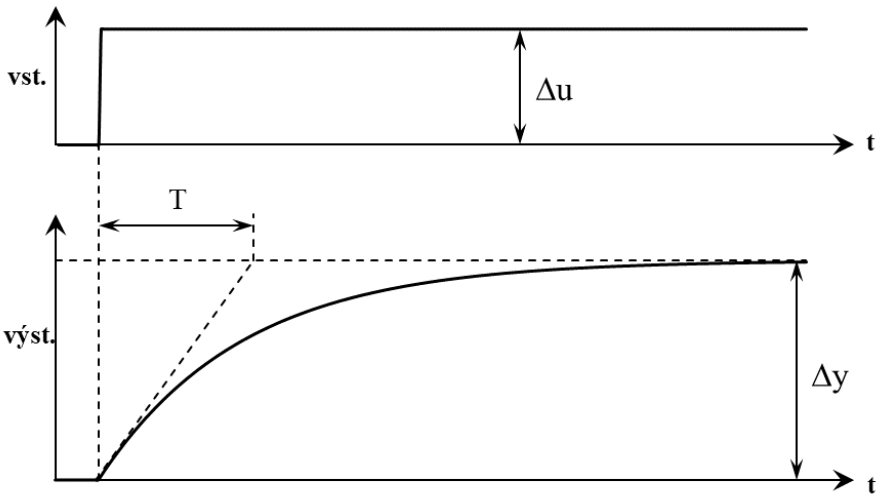
$$G_S(s) = \frac{K_s}{T_1 s + 1} \tag{1}$$

Kde: $G_s(s)$ – prenosová funkcia regulovanej sústavy
K_S – zosilnenie regulovanej sústavy
T_1 – časová konštanta regulovanej sústavy, s
Where: $G_s(s)$ – the transfer function of the regulated system
K_S – the gain of the regulated system
T_1 – the time constant of the regulated system, s

Všeobecný tvar pre zosilnenie regulovanej sústavy:

$$K_S = \frac{\Delta y}{\Delta u} \tag{2}$$

Kde: Δy – ustálená hodnota výstupnej veličiny
Δu – hodnota jednotkového skoku
Where: Δy – steady value of the output variable
Δu – the value of the unit step



Obr. 1 Princíp identifikácie systému prvého rádu
Fig. 1 The principle of identification of a first-order system

Dynamický systém druhého rádu

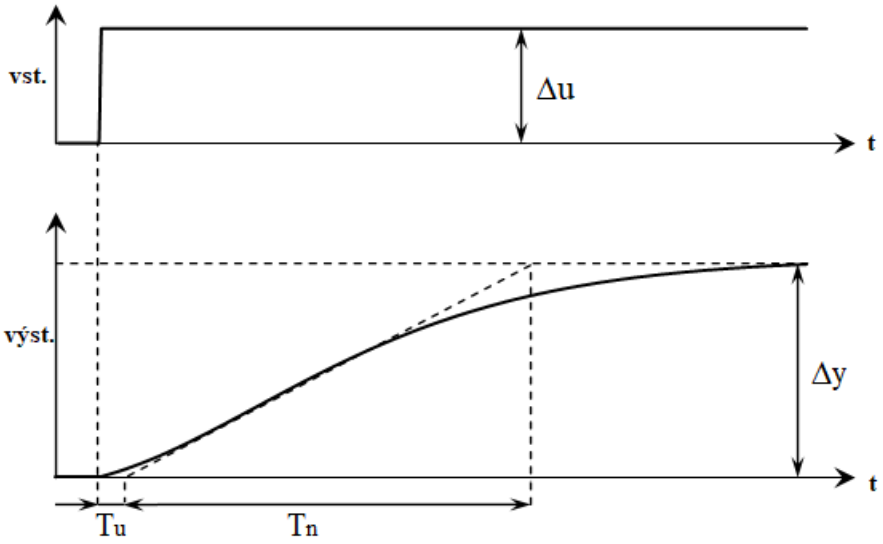
Tento typ dynamického systému sa vyznačuje malou dobou prieťahu, čo znamená, že pomer doby prieťahu k dobe nábehu je menej ako 0,1 (Tu / Tn < 0,1). Okrem toho obsahuje inflexný bod v odozve sústavy, čo znamená, že dochádza k prechodu z konvexnej na konkávnu funkciu alebo naopak.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Všeobecný Laplaceov tvar so zotrvačnosťou 2. rádu:

$$G_S(s) = \frac{K_S}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} \tag{3}$$

Kde: $G_s(s)$ – prenosová funkcia regulovanej sústavy
K_S – zosilnenie regulovanej sústavy
T_1 T_2 – časové konštanty regulovanej sústavy, s
Where: $G_s(s)$ – the transfer function of the regulated system
K_S – the gain of the regulated system
T_1 T_2 – the time constants of the regulated system, s



Obr. 2 Princíp identifikácie systému druhého rádu
Fig. 2 The principle of identification of a second-order system

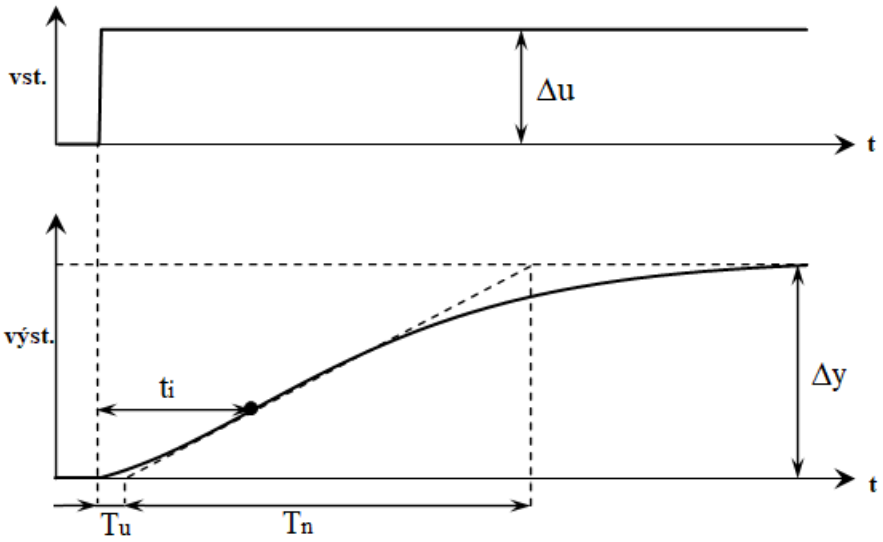
Dynamický systém vyššieho rádu

Tento typ dynamického systému sa vyznačuje veľkou dobou prieťahu, čo znamená, že pomer doby prieťahu k dobe nábehu je viacej ako 0,1 (T_u / T_n > 0,1). Okrem toho obsahuje inflexný bod v odozve sústavy, čo znamená, že dochádza k prechodu z konvexnej na konkávnu funkciu alebo naopak.

Všeobecný Laplaceov tvar so zotrvačnosťou n. rádu:

$$G_S(s) = \frac{K_S}{(T_1 s + 1)^n} \tag{4}$$

Kde: $G_s(s)$ – prenosová funkcia regulovanej sústavy
K_S – zosilnenie regulovanej sústavy
T_1 – časová konštanta regulovanej sústavy, s
n – hodnota rádu regulovanej sústavy
Where: $G_s(s)$ – the transfer function of the regulated system
K_S – the gain of the regulated system
T_1 – the time constant of the regulated system, s
n – the value of the order of the regulated system



Obr. 3 Princíp identifikácie systému vyššieho rádu
Fig. 3 The principle of identification of a higher-order system

Dynamický systém s tlmene kmitavou prechodovou charakteristikou

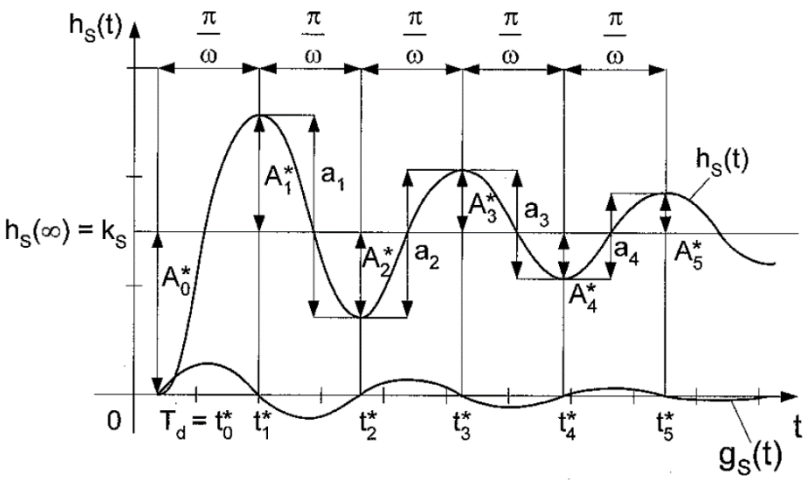
Tento typ dynamického systému sa vyznačuje s tlmene kmitavou prechodovou charakteristikou. Pomocou vizuálnej identifikácii je možné vidieť, že daný systém má oscilujúcu charakteristiku a obsahuje viacero miestnych extrémov, teda bodov, kde funkcia mení svoju monotónnosť z rastúcej na klesajúcu alebo naopak.
Matematickou identifikáciou je možné zistiť, že daná prechodová charakteristika má väčšie množstvo inflexných bodov, to znamená, že tu dochádza k viacerým prechodom z konvexnej na konkávnu funkciu alebo naopak.

Všeobecný Laplaceov tvar so zotrvačnosťou 2. rádu:

$$G_s(s) = \frac{K_s}{T_0^2 s^2 + 2\xi_0 T_0 s + 1} \tag{5}$$

Kde: $G_s(s)$ – prenosová funkcia regulovanej sústavy
K_S – zosilnenie regulovanej sústavy
T_0 – časová konštanta regulovanej sústavy, s
ξ – koeficient tlmenia
Where: $G_s(s)$ – the transfer function of the regulated system,
K_S – the gain of the regulated system
T_0 – the time constant of the regulated system, s
ξ – the damping coefficient

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 4 Princíp identifikácie systému s tlmene kmitavou prechodovou charakteristikou (zdroj: Balátě, 2003)

Fig. 4 The principle of identification of a system with a damped oscillatory characteristic (source: Balátě, 2003)

Dopravné oneskorenie

Vyššie spomenuté dynamické systémy reagovali na vstupné signály okamžite a bez akéhokoľvek oneskorenia. Avšak existujú prípady, kedy k takémuto oneskoreniu dochádza. Táto situácia sa nazýva oneskorenie prenosu a vyskytuje sa vtedy, keď výstupná veličina reaguje na zmenu vstupnej veličiny až po určitom tzv. dopravnom oneskorení.

Dopravné oneskorenie T_D v regulovaných sústavách znamená, že reakcia výstupnej (regulovanej) veličiny na zmenu vstupnej (akčnej) veličiny nastáva s určitým oneskorením.

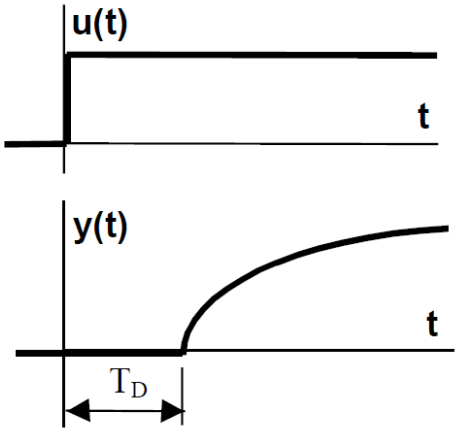
Laplaceov tvar s dopravným oneskorením:

$$G_{SD}(s) = G_S(s) \,.\, e^{-T_D s} \tag{6}$$

Kde $G_{SD}(s)$ – výsledná prenosová funkcia regulovanej sústavy
$G_s(s)$ – prenosová funkcia regulovanej sústavy
T_D – dopravné oneskorenie regulovanej sústavy, s

Where: $G_{SD}(s)$ – the resulting transfer function of the regulated system
$G_s(s)$ – the transfer function of the regulated system
T_D – the transport delay of the regulated system, s

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 5 Princíp dopravného oneskorenia T_D (zdroj: Švarc, 2002)
Fig. 5 The principle of transport delay T_D (source: Švarc, 2002)

Import údajov z programu Microsoft Excel

Jadrom tejto funkcie je knižnica Microsoft Office Interop Excel, ktorá umožňuje načítať excel súbor. Funkcia bola upravená tak, aby dokázala rozpoznať aj staršie verzie excelu. Po spustení aplikácie si používateľ vyberie cestu k excel súboru, v ktorom sa nachádzajú požadované údaje na výpočet. Pri importovaní údajov sa aplikácia pomocou podmienky uistí, že sú importované iba číselné údaje v prípade, že by sa v prvom riadku nachádzali nejaké textové údaje.

Výsledkom tejto funkcie je jedno dvojrozmerné pole s údajmi, ktoré je následne pomocou cyklu roztriedené na dve jednorozmerné polia – pole X a pole Y. Pole X predstavuje časové údaje charakteristiky a pole Y predstavuje namerané údaje.

Dopravné oneskorenie

Táto funkcia slúži na určenie dopravného oneskorenia.
Hlavnou časťou tejto funkcie je cyklus while, ktorý kontroluje namerané údaje v poli Y, pokiaľ nebude platiť podmienka, že hodnota Y je väčšia ako 0. Následne sa pomocou cyklu for určí hodnota dopravného oneskorenia.

Princíp funkcie pre výpočet prvej derivácie:

Odčítať druhú nameranú hodnotu Y od prvej nameranej hodnoty Y a odčítať druhú časovú hodnotu X od prvej časovej hodnoty X. Následne sa tieto hodnoty vydelia Y / X, a získame hodnotu prvej derivácie. Výsledkom tejto funkcie je jednorozmerné pole – pole der (prvá derivácia).

Princíp funkcie pre výpočet druhej derivácie:

Na začiatku je vytvorená podmienka, ktorá skontroluje, či sa prvá derivácia rovná nule. Ak táto podmienka platí, algoritmus zapíše do druhej derivácie hodnotu 0. V prípade, že táto podmienka neplatí, nasleduje výpočet druhej derivácie podobným spôsobom ako pri výpočte prvej derivácie:

Odčítať druhú hodnotu prvej derivácie od prvej hodnoty prvej derivácie a odčítať druhú časovú hodnotu X od prvej časovej hodnoty X. Následne sa tieto hodnoty vydelia v pomere – derivácia / X, a získame hodnotu druhej derivácie. Výsledkom tejto funkcie je jednorozmerné pole – pole der2 (druhá derivácia).

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Identifikácia inflexného bodu

Funkcia bola vytvorená na lokalizovanie inflexného bodu. Táto funkcia dokáže zistiť počet inflexných bodov vo vstupnej prechodovej charakteristike a uložiť si súradnice každého z nich. Na základe počtu inflexných bodov funkcia určí, o aký typ dynamického systému ide. Funkcia pracuje s poľom druhej derivácie z predošlej funkcie. Algoritmus kontroluje každé číslo z poľa druhej derivácie a určuje jeho polaritu, či je kladné alebo záporné. Ak je číslo kladné, algoritmus si pri kontrolovanom čísle uloží číslo 1 a ak je kontrolované číslo záporné, algoritmus si pri danom čísle uloží -1. Následne algoritmus kontroluje tieto uložené čísla a spočíta počet prechodov z -1 na 1 alebo z 1 na -1.

3 Výsledky a diskusia

Aplikáciu sme vytvorili vo vývojovom prostredí Microsoft Visual Studio 2022. V nasledujúcej kapitole uvádzame výsledky práce, ktoré sme dosiahli.

Výsledky práce

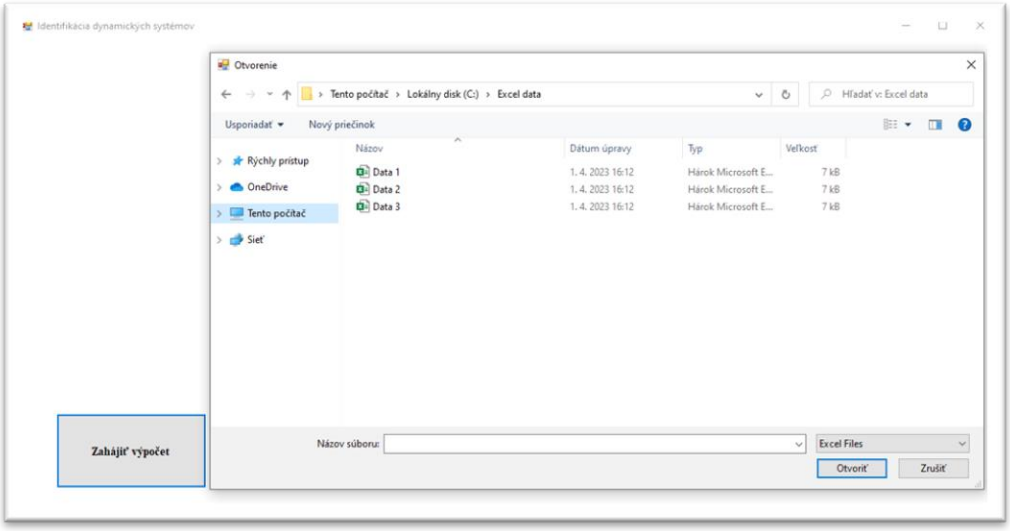
Aplikácia dokáže z načítaných vstupných údajov vypočítať všetky potrebné koeficienty a určiť o aký typ dynamického systému sa jedná a vykresliť graf z výslednej prenosovej funkcie.



Obr. 6 Grafické rozhranie aplikácie
Fig. 6 The graphical interface of the application

Po kliknutí na tlačidlo "Zahájiť výpočet" aplikácia požiada používateľa, aby si zvolil, ktorý excelovský súbor chce použiť na identifikáciu.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 7 Aplikácia vyžaduje o vybratie príslušného excel súboru
Fig. 7 The application requires the selection of the appropriate excel file

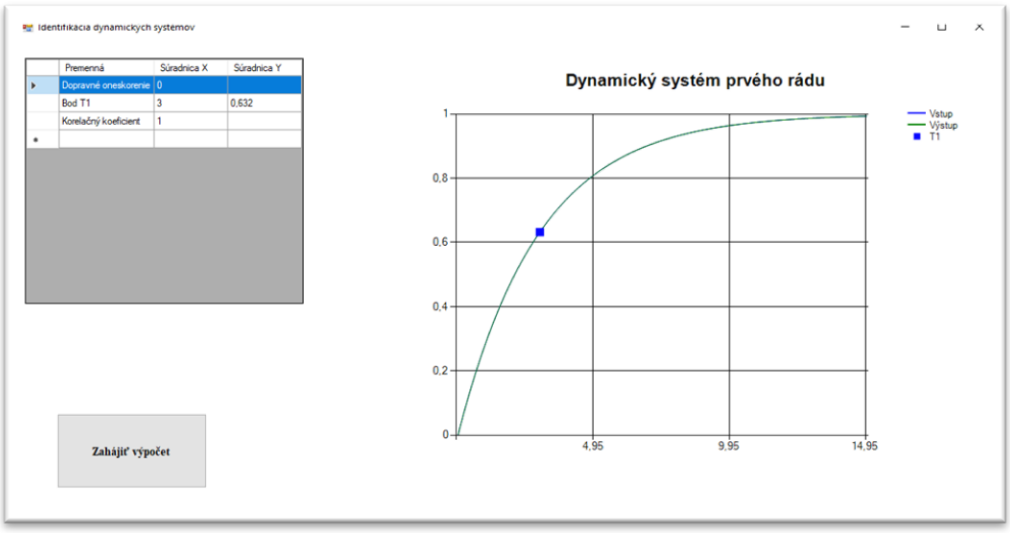
Výsledky z identifikácie pre všetky typy dynamických systémov:

Dĺžka trvania identifikácie závisí od typu dynamického systému, pretože každý typ dynamického systému sa počíta inak. Ďalším faktorom, ktorý ovplyvňuje dĺžku trvania identifikácie je počet nameraných údajov. To znamená, že čím viac údajov musí aplikácia spracovať, tým dlhšie bude trvať identifikácia.

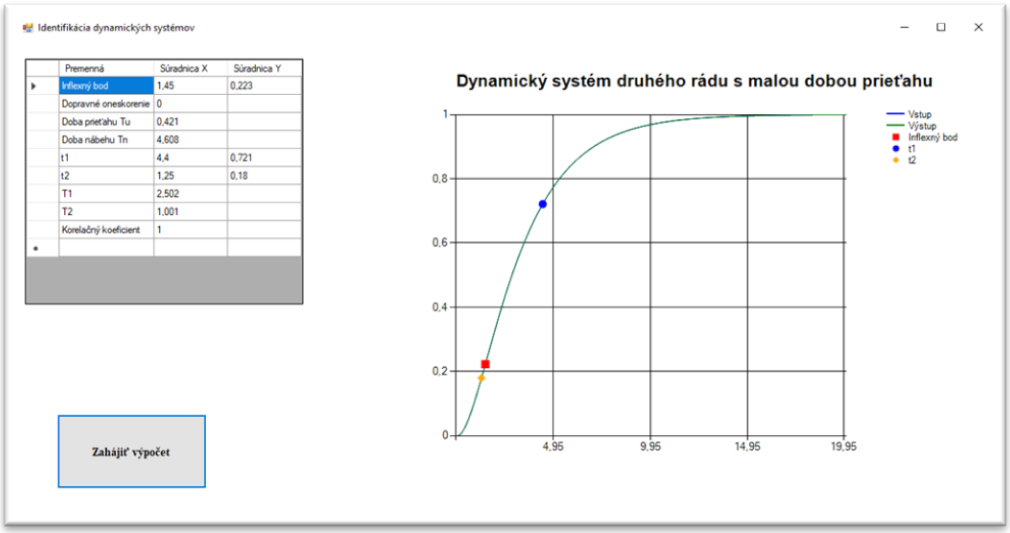
Tab. 1 Dĺžka trvania identifikácie
Tab. 1 Duration of identification

Typ dynamického systému	Počet nameraných údajov	Približný čas identifikácie [s]
1. rád	300	20
2. rád	400	25
4. rád	1000	55
S kmitavou prechodovou charakteristikou	2000	150

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

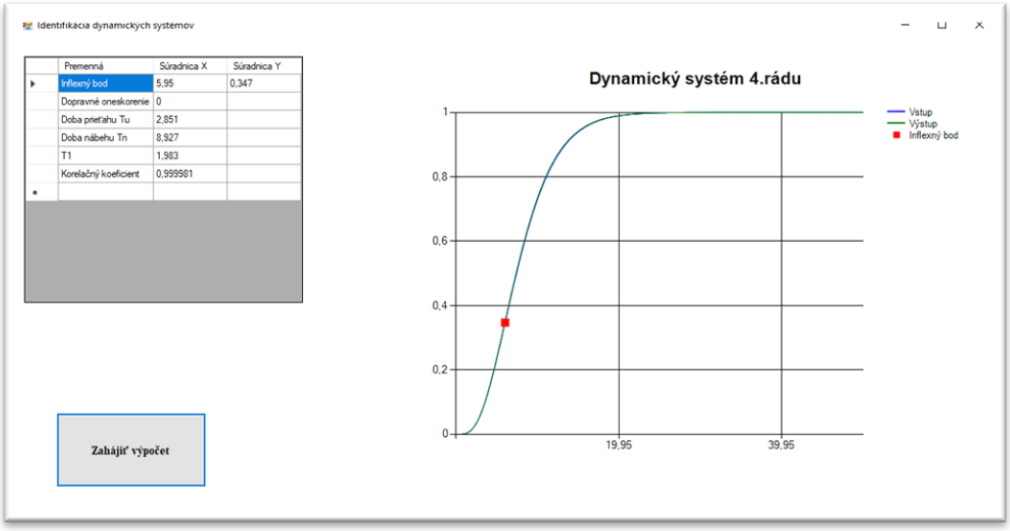


Obr. 8 Identifikovaný dynamický systém 1. rádu
Fig. 8 Identified dynamical system of the 1st order

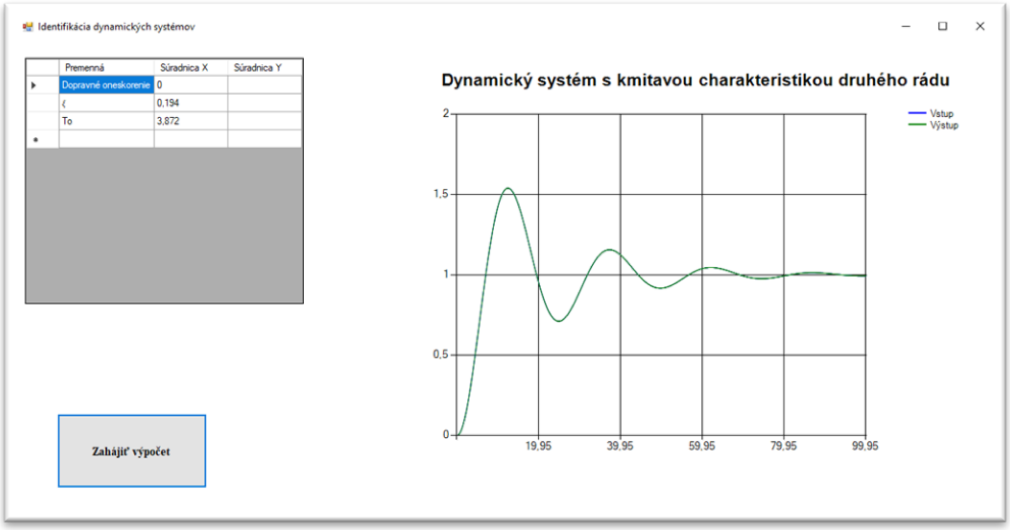


Obr. 9 Identifikovaný dynamický systém 1. rádu
Fig. 9 Identified dynamical system of the 2nd order

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968



Obr. 10 Identifikovaný dynamický systém 4. rádu
Fig. 10 Identified dynamical system of the 4th order



Obr. 11 Identifikovaný dynamický systém s tlmene kmitavou prechodovou charakteristikou
Fig. 11 Identified dynamic system with a damped oscillating transition characteristic

Metóda vyhodnotenia pomocou korelačného koeficientu

Táto metóda slúži na vyhodnotenie výstupných údajov. Na výpočet korelačného koeficientu sa používa knižnica MathNet Numerics Statistics. Táto funkcia vyvolá pole s výstupnými hodnotami a porovná ho s polom s vstupnými údajmi, čím je hodnota korelačného koeficientu bližšie k hodnote 1, tým sú porovnávané údaje zhodnejšie.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Tab. 2 Hodnoty korelačného koeficientu
Tab. 2 Correlation coefficient values

Hodnota korelačného koeficientu	Význam väzby medzi vstupom a výstupom
$0 \leq \lvert r \rvert < 0,3$	Medzi vstupom a výstupom je nulový stupeň väzby
$0,3 \leq \lvert r \rvert < 0,5$	Medzi vstupom a výstupom je mierny stupeň väzby
$0,5 \leq \lvert r \rvert < 0,7$	Medzi vstupom a výstupom je významný stupeň väzby
$0,7 \leq \lvert r \rvert < 0,9$	Medzi vstupom a výstupom je vysoký stupeň väzby
$\lvert r \rvert \geq 0,9$	Medzi vstupom a výstupom je veľmi tesná väzba

Filtrácia

Táto práca sa nezaoberala filtráciou vstupných údajov. V práci sme pracovali iba so simulovanými údajmi. V praxi môžu byť vstupné namerané údaje zašumené, čo môže byť spôsobené kvantizačným šumom. Preto je potrebné nájsť riešenie filtrácie vstupných údajov pre použitie aplikácie v praxi. Chceli by sme poukázať na jedno z možných riešení, a to pomocou príkazu "envelope" v programe Matlab. Táto funkcia by mohla vytvoriť tzv. obálku pre vrchnú a spodnú časť zašumených údajov, na ktorú by následne mohol byť aplikovaný Kalmanov filter na ich filtráciu. Treba si však uvedomiť, že toto riešenie je len teoretické.

4 Záver

V úvodnej časti práce sme sa zaoberali základnou definíciou identifikácie dynamických systémov z prechodovej charakteristiky.

V časti materiály a metódy sme podrobne opísali použitý postup identifikácie dynamických systémov z prechodovej charakteristiky, ktorým sme postupovali počas celej práce. Následne sme charakterizovali najdôležitejšie vytvorené funkcie, ktoré tvoria podstatu našej aplikácie.

V časti výsledky a diskusia sme prezentovali našu vytvorenú aplikáciu, ktorá bola vytvorená vo vývojovom prostredí Microsoft Visual Studio 2022. V tejto časti sme tiež uviedli výsledky jednotlivých identifikácií.

Záverom konštatujeme, že sa nám podarilo vytvoriť aplikáciu, ktorá dokáže z načítaných vstupných údajov vypočítať všetky potrebné koeficienty a určiť, o aký typ dynamického systému sa jedná a vykresliť graf z výslednej prenosovej funkcie. Keďže sme v práci pracovali iba so simulovanými údajmi, je potrebné nájsť riešenie filtrácie pre použitie aplikácie v praxi, ako sme spomínali v sekcii Filtrácia.

5 Literatúra

A tour of the C# language. 2023 [online] Microsoft. [cit. 2023-03-26]. Dostupné na: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/tour-of-csharp/>.

Balátě, Jaroslav. 2003. *Automatické Řízení*. 1.vyd. Praha: Nakladatelství BEN. 663 s. ISBN 80-7300-020-2.

C# (C-Sharp). 2022 [online] TechTarget, aktualizované 2022. [cit. 2023-03-26]. Dostupné na:< https://www.techtarget.com/whatis/definition/C-Sharp>.

C# Tutorial. 2022 [online] W3Schools. [cit 2023-03-26], Dostupné na: <https://www.w3schools.com/cs/index.php>.

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968

Fikar, Miroslav – Mikleš, Ján. 1999. *Identifikácia systémov*. 1.vyd. Bratislava: Vydavateľstvo STU. 114 s. ISBN 80-227-1177-2.

Hejlsberg, Anders – Wiltamuth, Scott. 2003. *The C# Programming Language*. Boston: Addison-Wesley, 432 s. ISBN 978-03-211-5491-0.

It's how you make software. 2022 [online] Microsoft. [cit 2023-03-26]. Dostupné na:<https://visualstudio.microsoft.com/#vs-section>.

Lennart, Ljung. 1998. *System Identification: Theory for the User*. 2.vyd. b. m. Pearson. 640 s. ISBN 978-01-365-6695-3.

Söderström, Torsten – Stoica, Petre. 1989. *System Identification*. New York: Prentice Hall. 637 s. ISBN 978-01-388-1236-2.

Stack Overflow, 2023 [online] [cit 2023-03-26]. Dostupné na: <https://stackoverflow.com>.

Švarc, Ivan. 2002. *Základy automatizace*. Učební texty. Brno: VUT.

Súhrn

Článok je zameraný na vytvorenie aplikácie na identifikáciu dynamických systémov z prechodovej charakteristiky s využitím programovacieho jazyka #C. Cieľom práce je vytvoriť aplikáciu, ktorá po spustení importuje a ďalej spracováva vstupné údaje prechodovej charakteristiky z programu Microsoft Excel. V teoretickej časti práce je popísaná teória k typom dynamických systémov, s ktorými sa stretávame pri identifikácii dynamických systémov z prechodovej charakteristiky. Konkrétne sa práca venuje dynamickým systémom prvého rádu, druhého rádu, vyššieho rádu a s dynamickým systémom s tlmene kmitavou prechodovou charakteristikou. Praktická časť sa venovala vytváraniu samotnej aplikácie vo vývojovom prostredí Microsoft Visual Studio 2022, ktorá dokáže z načítaných vstupných údajov vypočítať všetky potrebné koeficienty a určiť o aký typ dynamického systému sa jedná a vykresliť graf z výslednej prenosovej funkcie.

Kľúčové slová: dynamické systémy, #C, prechodové charakteristiky, rád sústavy, prenosová funkcia

Graphic Design and Creation

RECENT ADVANCES IN AGRICULTURE, MECHANICAL ENGINEERING AND WASTE POLICY

doc. Ing. Ján Kosiba,. PhD.
Ing. František Adamovský, PhD.
Ing. Rastislav Kollárik
Ing. Vladimír Madola

April, 2023

DOI: https://doi.org/10.15414/2023.9788055225968