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 978-80-552-2487-9

doi: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Nitra, April 21, 2022, 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, 21. 4. 2022

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

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:

prof. RNDr. Zuzana Hlaváčová, CSc., prof. Ing. Dušan Hrubý, PhD., doc. Ing. Rudolf Abrahám, PhD., doc. Ing. Vladimír Cviklovič, PhD., doc. Mgr. Peter Hlaváč, PhD., doc. RNDr. Ľubomír Kubík, PhD., doc. Ing. Ondrej Lukáč, PhD., doc. Ing. Radoslav Majdan, PhD., doc. Ing. Martin Olejár, PhD., Ing. František Adamovský, PhD., Ing. Patrik Kósa, PhD., Ing. Jozef Nosian, PhD., Ing. Juraj Tulík, PhD.

Organizačný výbor - Organizing Committee:

doc. Ing. Ján Kosiba, PhD.,
Ing. Katarína Kollárová, PhD.,
Ing. Alena Jančušková,
Ing. František Adamovský, PhD.,
Ing. Matej Michalides
Ing. Vladimír Madola.

Schválila rektorka Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre dňa 5. 4. 2022 ako online zborník prác z vedeckej konferencie.
Approved by the Rector of the Slovak University of Agriculture in Nitra as online criticize Proceedings of scientific conference, April 5, 2022.

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 978-80-552-2487-9

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Názov publikácie: Najnovšie trendy v poľnohospodárstve, v strojárstve a v odpadovom hospodárstve

Name of publication: Recent Advances in Agriculture, Mechanical Engineering and Waste Policy

Autori publikácie: Kolektív autorov

Authors of publication: Team of authors

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

Vydavateľ: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Published by: Slovak University of Agriculture in Nitra

Vydanie: prvé
Edition: first

Rok vydania - Year: 2022

TEXTY NEPREŠLI JAZYKOVOU ÚPRAVOU
THE CONTRIBUTIONS WERE NOT LANGUAGE ADAPTED

ISBN 978-80-552-2487-9

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

OBSAH / CONTENT

BAHELKA M. - HLAVÁČ P.: NÁVRH MERACIEHO ZARIADENIA NA MERANIE REZISTIVITY SYPKÝCH MATERIÁLOV

DESIGN OF A MEASURING DEVICE FOR POWDERY MATERIALS RESISTIVITY MEASUREMENT 1

BENČÍK R. - JANOŠKO I.: POSÚDENIE METÓD BRZDENIA V PODMIENKACH STK

ASSESSMENT OF BRAKING METHODS IN CONDITIONS OF TECHNICAL INSPECTION STATIONS 9

BRUONČ TOMÁŠ – ABRAHÁM RUDOLF – MAJDAN RADOSLAV.: VPLYV POLOHY ŤAŽISKA NA JAZDNÉ CHARAKTERISTIKY VOZIDIEL – TEORETICKÉ VYHODNOTENIE

INFLUENCE OF CENTER GRAVITY LOCATIONONDRIVING CHARACTERISTICS OF CARS – THEORETICAL EVALUATION 19

ČERNÝ A. – VITÁZEK I.: SLEDOVANIE PRIEBEHU TEPLÔT VZDUCHU PRI CHLADENÍ V CHLADIARENSKOM NÁVESE

MONITORING THE AIR TEMPERATURE DURING COOLING IN A REFRIGERATED SEMITRAILER 32

HAZUZA Ľ. – KUNECOVÁ D.: VYŠETRENIE KOVOVÝCH ZLIATIN PRI TEPELNOM ZAŤAŽENÍ

EXAMINATION OF METAL ALLOYS UNDER THERMAL LOAD 42

HERDA M. – HLAVÁČ P.: APLIKÁCIA V PROGRAME #C SHARP NA SPRACOVANIE NAMERANÝCH ELEKTRICKÝCH VELIČÍN

APPLICATION IN THE PROGRAMME #C SHARP FOR THE PROCESSING OF MEASURED ELECTRICAL PROPERTIES 52

HORŇÁK J. – CVIKLOVIČ V.: NÁVRH A REALIZÁCIA ZARIADENIA NA MERANIE CHARAKTERISTÍK SERVOMOTORA

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A DEVICE FOR MEASURING THE SERVOMOTOR CHARACTERISTICS 63

KOLLÁRIK R. – VITÁZEK I.: VPLYV UHLA POZOROVANIA NA VÝSLEDKY TERMOVÍZNEHO MERANIA

EFFECT OF VIEWING ANGLE ON THE INFRARED TEMPERATURE 72

KÖRMÖCZI D. - FARKAS C. - KORZENSZKY P.: METHOD TO CALCULATE ENERGY INDICATORS OF GOLDEN DELICIOUS APPLES UNDER COMPRESSIVE LOAD CONDITIONS 81

ISBN 978-80-552-2487-9 DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

KOSÁR N. – MAJDAN R.: POROVNANIE INTENZITY OSVETLENIA RÔZNYCH ZDROJOV SVETLA PRE AUTOMOBILOVÉ SVETLOMETY

ILLUMINATION COMPARISON OF VARIOUS LIGHT SOURCES FOR CAR HEADLIGHTS..... 89

KOTIAN S. – KAŽIMÍROVÁ V.: HODNOTENIE MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ MATERIÁLOV PRE 3D TLAČ

EVALUATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF 3D PRINTING MATERIALS 99

KOVÁČ M.: FOTOGRAMETRIA

PHOTOGRAMMETRY..... 110

KOVÁČOVÁ I. – KUNECOVÁ D.: PROGRESÍVNE TECHNOLÓGIE PRE PRODUKCIU BIOOLEJOV

PROGRESSIVE TECHNOLOGIES FOR BIOOIL PRODUCTION 115

KRISTEK M. – CVIKLOVIČ V.: APLIKÁCIA NA RIADENIE ROBOTICKÉHO RAMENA V PRIESTORE

APPLICATION FOR CONTROLLING ROBOTIC ARM IN SPACE..... 124

LODUHA S.: ZVÁRACÍ ROBOT

WELDING ROBOT 134

MARTINEC P. – BOŽIKOVÁ M.: HODNOTENIE VYBRANÝCH FYZIKÁLNYCH PARAMETROV DREVA A DREVNÝCH KOMPOZITOV VO VZŤAHU K ICH VYUŽITIU V PRAXI

EVALUATION OF SELECTED PHYSICAL PARAMETERS OF WOOD AND WOOD COMPOSITES IN RELATION TO THEIR USE IN PRACTICE..... 141

MLINARCSIK T. – VACHO L.: MONITOROVANIE ČISTIARNE ODPADOVÝCH VÔD POMOCOU RÁDIOKOMUNIKAČNÝCH SYSTÉMOV

MONITORING OF WASTEWATER TREATMENT PLANS USING RADIO COMMUNICATION SYSTEMS 152

OBERT P. - TÓTH L.: POČÍTANIE OSÔB ZALOŽENÉ NA DETEKCIÍ TVÁRE

COUNTING PEOPLE BASED ON FACE DETECTION 162

OČKAY M. - TÓTH L.: LOKALIZÁCIA A ZÁZNAM PREJDENEJ DRÁHY POHYBUJÚCEHO SA OBJEKTU V INTERIÉRI POMOCOU KAMERY A ALGORITMOV SPRACOVANIA OBRAZU

TRACK LOCATION AND RECORDING OF THE MOVING OBJECT IN THE INTERIOR USING THE CAMERA AND IMAGE PROCESSING ALGORITHMS..... 173

OLEXA M.: ROBOTY FANUC A TVORBA PROGRAMU

FANUC ROBOTS AND PROGRAM DESIGN..... 183

PASTOREK R. – JANOŠKO I.: MODIFIKÁCIA SPRACOVANIA SIGNÁLOV PRE STAND MOTORA S HYDROBRZDOU

MODIFICATION OF SIGNAL PROCESSING FOR HYDROBROST ENGINE STANDARD 190

ISBN 978-80-552-2487-9 DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

PAULEN B. – NECHALA T.: ČISTIČKA VZDUCHU
AIR CLEANER 199
RAPOS R. – JANOŠKO I.: BRZDNÉ VLASTNOSTI VYBRANÝCH DRUHOV PNEUMATÍK
BRAKING CHARACTERISTICS OF THE SELECTED TYRE 203
RÓŽA D. – BILČÍK M.: VYTVORENIE APLIKÁCIE PRE IDENTIFIKÁCIU DÁT Z FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU
DESIGN OF SOFTWARE FOR PROCESSING AND EVALUATION OF DATA FROM A PHOTOVOLTAIC SYSTEM 213
ŠEVČÍK A. – HLAVÁČ P.: SLEDOVANIE VPLYVU TEPLOTY NA VYBRANÉ VZORKY BRZDOVEJ KVAPALINY
MONITORING THE INFLUENCE OF TEMPERATURE ON SELECTED BRAKE FLUID SAMPLES 222
ŠTEFÁK M.: ROBOTY ABB A ICH ČINNOSŤ
ABB ROBOTS AND THEIR OPERATION 232
TOMÁŠIK P.: POPIS ODPADOVÉHO PLASTU TERMOGRAVIMETRICKOU ANALÝZOU
PLASTIC WASTE DESCRIPTION BY THERMOGRAVIMETIC ANALYSIS 239
ZÁHORA S.: ELEKTRICKÉ ZABEZPEČOVACIE SYSTÉMY
ELECTRICAL SECURITY SYSTEMS 248
ZÁŇ M.: NÁVRH PROGRAMU NA SPRACOVANIE DÁT Z TG ANALÝZY
COMPUTER PROGRAM DESIGNED FOR DATA PROCESSING OF TG ANALYSIS 257

ISBN 978-80-552-2487-9 DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

NÁVRH MERACIEHO ZARIADENIA NA MERANIE REZISTIVITY SYPKÝCH MATERIÁLOV
DESIGN OF A MEASURING DEVICE FOR POWDERY MATERIALS RESISTIVITY MEASUREMENT

MÁRIO BAHELKA – PETER HLAVÁČ

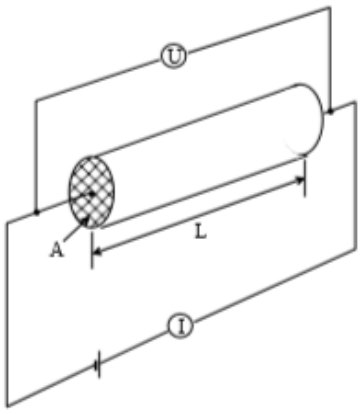
Abstract

This article deals with electrical resistivity and the manner of its measurement. The aim was the creation of a plan and 3D model of device for the resistivity measurement. Another aim was to create a program for resistivity calculation. This programme is also able detect errors of measurement. We have presented short description and instructions about the programmes in which we created the model and calculation program. We have introduced some plan designs of measuring device and its parts for measuring of resistivity. We have solved the problem with warming up of working chamber with the heating patrons. The compression of the material was performed using a torque wrench. We have ensured the measurement of the material resistivity in different distances of chamber by measuring contacts. We have designed the way of chamber´s cleaning from the material residues after the measurement by using the hole in a pedestal with the cleaning spike.

Key words: resistivity of powdery materials, plan of measuring device, programme for calculating of resistivity, powdery materials

1 Úvod

Odpor vodiča závisí od materiálu vodiča. Odpor, ktorý má vodič dĺžky 1 m a prierez 1 mm^2 pri teplote 20 ºC sa nazýva rezistivita materiálu, značí sa ρ (Obr. 1) (Gajdoš, 2013).



Obr. 1 Valcový tvar materiálu pri meraní rezistivity (Gajdoš, 2013)
Fig. 1 Cylindrical shape of the material when measuring resistivity (Gajdoš, 2013)

Prevrátená hodnota rezistivity sa nazýva konduktivita σ (EP, 2020). Pietriková (2007) doplnila že, kryštálová mriežka kovov alebo zliatiny kovov kladie usporiadanému pohybu

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

voľných elektrónov určitý odpor R [Ω]. Odpor vodiča závisí od jeho rozmerov, jeho materiálu, teploty a ďalších činiteľov (Pietriková, 2007).

Pri prechode prúdu vodičom sa v ňom pohybujú voľné elektróny medzi atómami kovu. Tieto atómy nie sú v pokoji, ale kmitajú aj pri bežnej teplote okolo svojich rovnovážnych polôh, a tým brzdia pohyb voľných elektrónov. To sa prejavuje ako elektrický odpor vodiča. Každý vodič kladie elektrickému prúdu odpor, ktorý je prekonávaný elektrickým napätím (EP, 2020).

Odpor (1) možno stanoviť pomocou rozmerov (prierez a dĺžka) a materiálovej konštanty (rezisitivita). Aby sa pri meraní a výpočtoch jednoducho dala zohľadniť geometria usporiadania, používajú sa jednoduché tvary snímačov, napr. valce. Rezistivita sa potom vypočíta z odporu (podľa Ohmovho zákona z pripojeného napätia prechádzajúceho prúdu) a plochy a dĺžky meraného materiálu (2) (Hlaváčová, 2020).

$$R = \rho \frac{l}{S} = \rho \frac{l}{\pi r^2} \tag{1}$$

Kde: ρ – rezistivita, Ω · m
r – polomer valca, m
R – odpor, Ω
l – dĺžka, m
S – obsah, m^2

Where: ρ – resistivity, Ω · m
r – cylinder radius, m
R – resistance, Ω
l – length, m
S – surface, m^2

V prípade, že vyšetrovaný materiál má dvojrozmerný tvar (kváder, valec, vodič a pod.), potom jeho rezistivitu určíme meraním a výpočtom podľa vzťahu (2) (Gajdoš, 2013).

$$\rho = R\frac{S}{L} = \frac{U}{I}\frac{S}{l} \quad [\Omega \cdot \mathrm{m}] \tag{2}$$

Kde: U – napätie, V
I – prúd, A

Where: U – voltage, V
I – current, A

2 Materiál a metódy

Vytvorenie programu na rezistivitu

Na začiatku si vyhľadáme vzorce pre výpočet našej veličiny. Potom naštudujeme doplňujúce výpočty a zistíme ich postupnosť. Následne si načrtneme algoritmus, teda postupnosť krokov a zmysel programu. Potom začneme písať program v programe Delphi7.

Delphi, potomok Pascalu, dávny konkurent Visual Basicu je programovací jazyk, ktorý denne používa na svete široká skupina ľudí. Hoci začiatok vyzeral neisto, dnes je Delphi jedným z najlepších a najpoužívanejších programovacích jazykov na svete (Horník – Hruška, 2003). Objektové programovanie, ktoré Delphi poskytuje, umožňuje omnoho jednoduchšie vytváranie, či už krajších, ale aj oveľa prehľadnejších programov. Delphi je vlastne Pascal obohatený o vizuálne prvky programovania. Taktiež Object Pascal je zdokonalený jazyk Pascalu, pričom sú v tomto jazyku nové rezervované slová a niektoré chyby sú opravené (Horník – Hruška, 2003).

Delphi má dve časti programovania. Je to návrh vizuálnej časti a programovanie v jazyku ObjectPascal. Dizajnérska časť je v Delphi vytvorená jednoducho. Stačí vyberať

komponenty z ponuky a nastavovať ich vlastnosti a priraďovať im udalosti, kedy sa majú spustiť (Horník – Hruška, 2003).

Návrh meracieho zariadenia na meranie rezistivity

Na začiatku si vyberieme výslednú veličinu, ktorú naše zariadenie bude merať. Zo vzorcov na jej výpočet vieme, ktoré veličiny budeme musieť merať na našom zariadení. Naše zariadenie bude musieť zohľadňovať celý vzorec pre výpočet našej veličiny. Najprv si premyslíme, z akých častí sa bude meracie zariadenie skladať. Spravidla má meracie zariadenie nejakú podstavu, na ktorej je uložené. Podstava musí spĺňať potrebné parametre ako je pevnosť, veľkosť alebo aj vodivosť. Podľa potreby si jej tvar prispôsobíme. Meracie teleso alebo teleso, v ktorom budeme meraný materiál mať počas merania, načrtneme v základnom tvare a následne mu pridávame všetky funkcie, ktoré bude nutne potrebovať diery pre medené elektródy alebo aj dieru pre meranie teploty nášho telesa (Bahelka, 2019).

Musíme vymyslieť spôsob, akým budeme teleso zohrievať alebo chladiť. Premyslíme možnosť jeho vyprázdňovania a zároveň aj jednoduché vkladanie materiálu. Zároveň musíme domyslieť aj ako bude pripojené k podstave a k iným potrebným súčiastkam zariadenia (Bahelka, 2019).

Ďalej vytvoríme všetky potrebné telesá, ktoré budú súčasťou zariadenia, ako sú meracie medené elektródy a uzáver. Veko musí spĺňať spravidla možnosť uzavrieť materiál a zároveň aj tesniť. Po vytvorení týchto súčiastok musíme overiť možnosť, že súčiastky do seba zapadnú a v prípade nezhody je treba jednotlivé súčiastky upraviť, prípadne vytvoriť nové pomocné (Bahelka, 2019).

Po vytvorení náčrtov a funkcií jednotlivých častí zariadenia na papier, môžeme začať vytvárať jeho model. Na vytvorenie návrhu použijeme program na kreslenie a vytváranie modelov súčiastok Autodesk Inventor. Program umožňuje vytvárať, dokumentovať a simulovať objekty vrátane ich meraní, zobrazení predpokladaných pohybov a zobrazení zostavenia (Bahelka, 2019).

V programe Autodesk Inventor je možnosť vytvárať zostavy súčiastok. Tie nám umožnia si pozrieť a simulovať možnosti pohybu nášho zariadenia. Ak správne nastavíme všetky väzby, tak zároveň zistíme všetky možnosti pohybov našich súčiastok v zariadení a vieme si ich detailne obzrieť(Bahelka, 2019).

3 Výsledky a diskusia

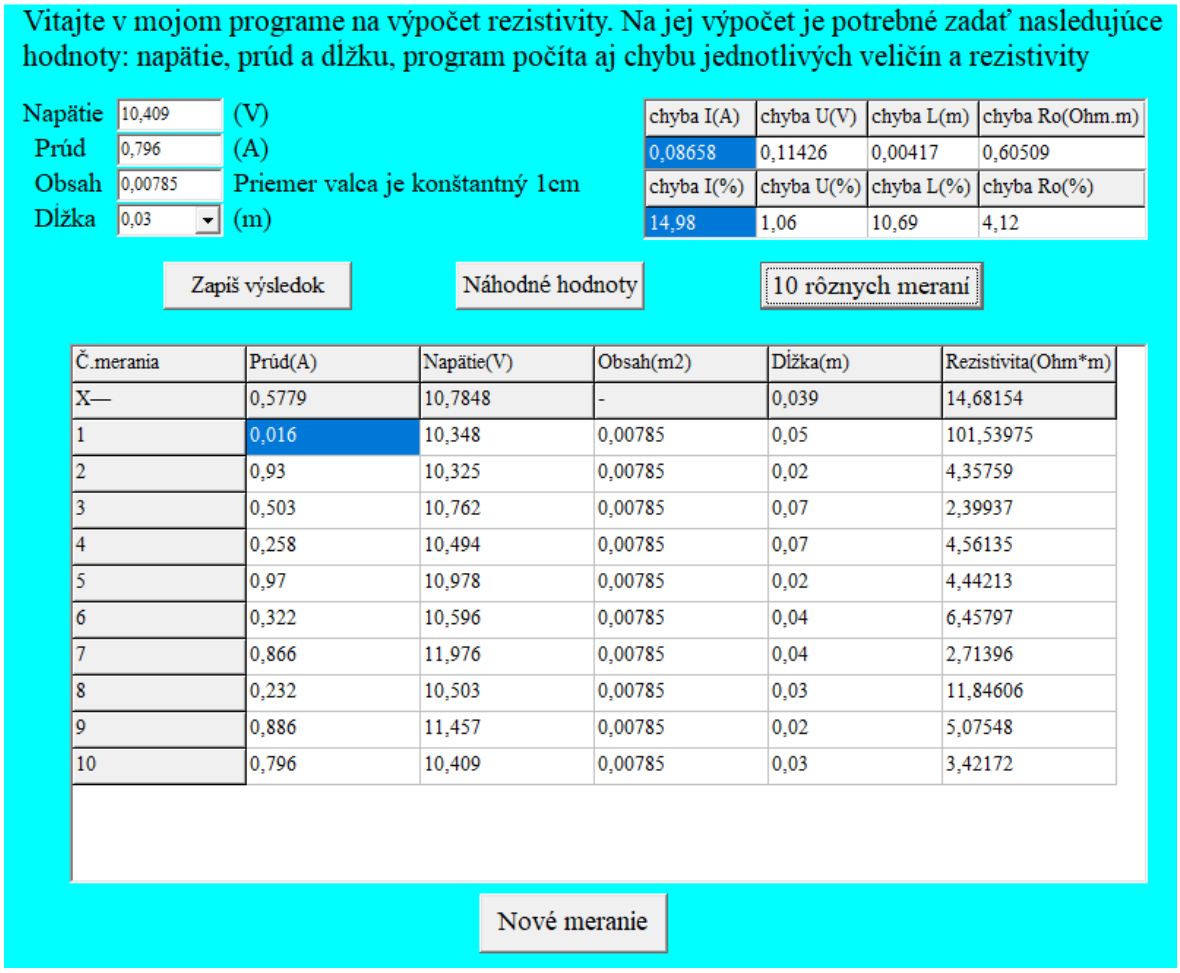
V tejto časti práce sme vytvorili program na počítanie rezistivity, ktorý okrem samotného výpočtu rezistivity určuje aj chybu merania. Taktiež sme vytvorili model meracieho zariadenia na meranie rezistivity sypkých materiálov.

Vytvorenie programu

Vytvorili sme program, ktorý zo zadaných hodnôt obsahu (S) a dĺžky (l) meranej vzorky, pripojeného napätia (U) a prechádzajúceho prúdu (I), dokáže vypočítať hodnotu rezistivity a zároveň ju vpísať do našej tabuľky priamo v programe. Z nameraných hodnôt program dokáže určiť aritmetický priemer veličín. Program dokáže vypočítať absolútnu pravdepodobnú chybu merania a tiež relatívnu pravdepodobnú chybu merania pre všetky veličiny.

Ukážka vytvoreného programu na výpočet rezistisvity aj s aritmetickými priemermi a vypočítanými chybami (Obr. 2).

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 2 Program na počítanie rezistivity
Fig. 2 Resistivity calculation program

Vytvorenie návrhu zariadenia

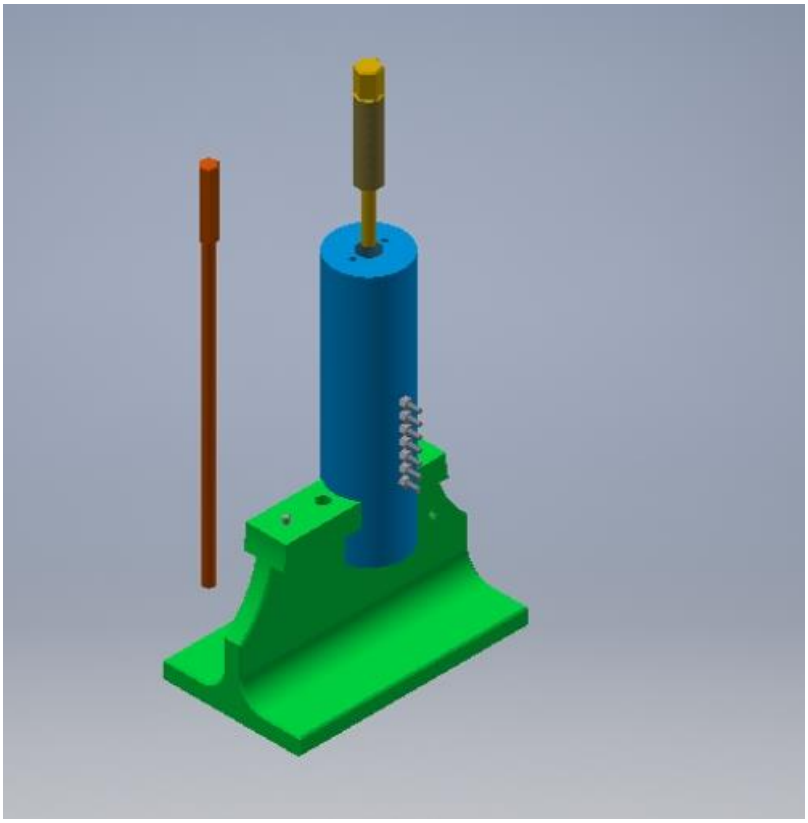
Podstava má mať dĺžku 200 mm, pretože na ňu potrebujeme umiestniť dieru na vysypávanie materiálu. Výška je 125 mm, aby diera absorbovala celý meraný materiál v komore. Dieru umiestnime na vzdialenosť 74,5 mm od kraja podstavy. Diera má 11 mm, čo je o 1 mm viac ako je priemer komory, aby sa uľahčilo vysypávanie materiálu. Na vrch podstavy sme zároveň vyvŕtali dve diery pre bočné dorazy s priemerom 5 mm a umiestnili sme ich tak, aby hlavné teleso na jednej strane bolo pripravené na meranie a na druhej strane podstavy je umožnené vysypávanie materiálu. Nakoniec sme vyvŕtali dieru so závitom M6 pre možnosť zapojenia podstavy na laboratórny zdroj.

Hlavné teleso má výšku 220 mm a priemer 60 mm. V spodnej časti je vybranie v tvare písmená T pre možnosť nasúvania na podstavu hlavného telesa. Komora s priemerom 10 mm pre vkladanie materiálu a meranie materiálu je na osi valca. Na hornej časti je prechodná diera zväčšená o 10 mm na dĺžke 50 mm a je na nej vyrezaný závit M20x1,5. Jemnejší závit ako štandardizovaný je vybratý pre lepšiu manipuláciu s tlakom na vzorku materiálu pomocou tlačnej skrutky. Komora je prechodná, preto bude v priamom kontakte s podstavou hlavného telesa. Dve diery s priemerom 5,1 mm a hĺbkou 165 mm budú určené pre vyhrievacie patróny, ktoré zohrejú celú komoru a materiál v nej, vďaka čomu sa meraná vzorka zohreje na požadovanú teplotu v prijateľnom čase. Zozadu hlavného telesa vyvŕtame dieru s priemerom 3 mm a do hĺbky 24,5 mm pre zavedenie termočlánku na meranie teploty komory. Z prednej strany telesa budú diery so závitom M4 do hĺbky 20 mm a s úzkym predĺžením na konci až

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

do komory telesa. Rozstupy dier budú od spodnej časti komory 10 mm, čo umožní merať prúd a napätie materiálu na rôznych vzdialenostiach

Tlačná skrutka má dĺžku 135 mm. Tlačná časť skrutky je s dĺžkou 45 mm a priemerom 10 mm, aby natesno zaistila steny komory a materiál stlačila na požadovanú silu tlakom. Závitová časť skrutky so závitom M20x1,5 pôjde do diery so závitom na hlavnom telese. Úchyt skrutky je šesťhran na veľkosť 17 mm. Bude sa zaťahovať momentovým kľúčom s možnosťou nastavenia tlaku utiahnutia skrutky. Tento kľúč udáva zároveň možnosť merať prúd a napätie materiálu pri rôznych tlakových zaťaženiach.



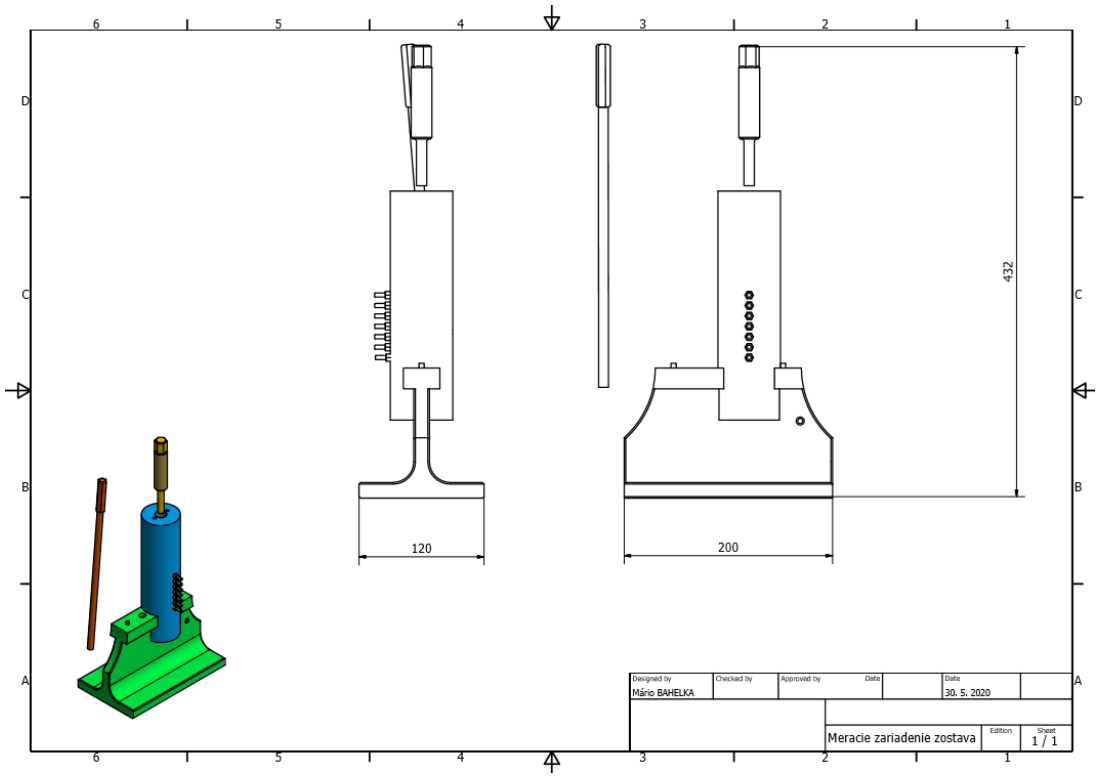
Obr. 3 Výsledný model zariadenia
Fig. 3 The resulting device model

Bočné dorazy sú dva jednoduché valce s priemerom 5 mm a dĺžkou 20 mm so zaoblenými hranami. Slúžia na obmedzenie pohybu hlavného telesa mimo podstavy a zároveň ukazujú aj polohy pre vysypávanie alebo meranie materiálu.

Kontakt je medená závitová skrutka so závitom M4 s šesťuholníkovým úchytom na veľkosť 7 mm. Úzka časť pôjde priamo do komory, kde bude v priamom kontakte s materiálom. Závitová časť pôjde do dier s vyrezaným závitom v hlavnom telese a skrutka sa uťahuje na doraz. Priamo na tejto skrutke sa bude merať výstupné napätie a prúd vzorky materiálu.

Čistiaci tŕň je valcová súčiastka s priemerom 9,5 mm, aby pohodlne prešla komorou pre potreby jej čistenia držať sa bude za šesťhran s rozmerom 12 mm a jeho dĺžka bude 330 mm, aby bez komplikácií v prípade potreby prešiel cez celé meracie zariadenie.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 4 Výkres zostavy zariadenia
Fig. 4 Drawing of the device assembly

Vytvorili sme model zariadenia (Obr. 3), v ktorom dokážeme zmerať veličiny potrebné pre výpočet rezistivity. Jeho celková výška, v nej je započítaný aj priestor pre manipuláciu s tlačnou skrutkou, je 432 mm (Obr. 4). Jeho najväčšia dĺžka je tvorená podstavou, ktorá je 200 mm a šírka zariadenia je tiež daná podstavou a to 120 mm. Pri plnom uzavretí tlačnej skrutky má zariadenie výšku 335 mm.

Naše meracie zariadenie je schopné zohriať vzorku materiálu a zároveň aj kontrolovať jeho teplotu. Na materiál je možné pôsobiť rôznymi tlakmi ktoré umožňuje tlačná skrutka s uťahovaním na nastaviteľný momentový kľúč. Vyriešili sme aj čistenie zbytkov materiálu z komory v hlavnom telese pomocou čistiaceho tŕňa a prechodnej diery v podstave vytvorenej na tento účel.

Existujú zariadenia na meranie rezistivity napr. pôdy (Amzn, 2020; Molec, 2018), tieto zariadenia však nie sú vhodné na smerodajné porovnanie s naším vytvoreným modelom. Tieto zariadenia vyžadujú pri meraní väčšie množstvo vzorky v porovnaní s naším navrhovaným modelom. Náš model má predpoklady byť cenovo dostupnejší ako už vytvorené zariadenia.

4 Záver

V úvodnej časti sme sa venovali rozboru elektrickej veličiny rezistivita, uviedli sme vzorec na jej výpočet a popísali sme všetky veličiny v ňom vystupujúce. Na výpočet rezistivity potrebujeme namerať nasledujúce veličiny: obsah a dĺžku meranej vzorky, pripojené napätie a prechádzajúci prúd.

V prvej časti metodiky sme popísali ako používať program Delphi, táto časť zahŕňa aj popis uvedeného programu. Následne sme v časti metodika opísali spôsob, akým je možné vytvoriť návrh zariadenia a ako sme postupovali. Uviedli sme problémy, ktoré sme vyriešili v našej práci: zahrievanie vzorky a čistenie hlavného telesa.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

V prvej časti výsledkov práce sme opísali vytvorený program na počítanie rezistivity sypkých materiálov. Program dokáže vypočítať absolútnu pravdepodobnú chybu, relatívnu pravdepodobnú (percentuálnu) chybu merania rezistivity a aj chyby všetkých meraných veličín. Ďalej zapisuje všetky zadané hodnoty, ktoré sme uviedli pri výpočte, do tabuľky. Program sme zabezpečili voči chybám. Teda do zapisovacích políčok na čísla program prijme iba čísla, inak vyhodí chybovú hlášku.

V druhej časti výsledkov práce sme popísali časti navrhnutého modelu. Vytvorili sme podstavu zariadenia a opísali jej vlastnosti a uviedli potrebné parametre, ktoré musí spĺňať. Pokračovali sme hlavným telesom, ktoré slúži ako komora na meranie, zapísali sme všetky potrebné otvory a uviedli akým spôsobom sa bude zariadenie cez podstavu vyprázdňovať. Na uzavretie zariadenia sme vytvorili tlačnú skrutku. Táto skrutka má možnosť utiahnutia na potrebnú úroveň čo zabezpečuje, že materiál sa dá stlačiť pod rôznym tlakom alebo iba pod potrebným tlakom na vykonanie merania. Ohrev hlavného telesa sme vyriešili pomocou vyhrievacích patrónov. Ďalej sme opísali modely súčiastok zariadenia ako sú kontakt merania a čistiaci tŕň.

Navrhnutý model môže slúžiť ako predloha pre vytvorenie zariadenia na meranie rezisitivity sypkých materiálov. Spoločne s vytvoreným programom môžu byť využité napríklad pri stanovení optimálneho pomeru sypkých materiálov pri výrobe pevných materiálov (napr. pri lisovaní).

Existujúce zariadenia na meranie rezistivity vyžadujú pri meraní väčšie množstvo vzorky v porovnaní s naším navrhovaným modelom. Náš model má predpoklady byť cenovo dostupnejší ako už vytvorené zariadenia.

5 Literatúra

Amzn. 2020. Amazon. [online] aktualizované 2020 [cit. 2022-03-28]. Dostupné na: < https://www.amazon.com/Megger-4-Terminal-Resistance-Dry-Cell-0-01-200/dp/B005T67JKE >.

BAHELKA, M. 2019. *Návrh meracieho zariadenia na meranie rezistivity sypkých materiálov*- Bakalárska práca. Nitra: SPU v Nitre, 59 s.

EP. 2020. *Encyklopédia poznania.* [online] aktualizované 2020 [cit. 2022-02-14]. Dostupné na: < https://encyklopediapoznania.sk/clanok/8324/elektricky-odpor-oznacovanie-jednotka-vypocet-vodivost-rezistivita-konduktivita-materialu?pdf=true>.

GAJDOŠ, V. 2013. *Elektromagnetické vlastnosti hornín.* Univerzita Komenského v Bratislave. s. 16-17.

HLAVÁČOVÁ, Z. 2019. *Fyzikálne vlastnosti potravín.* Nitra: SPU. 146 s. ISBN 978-80-552-2074-1.

HORNÍK, P. – HRUŠKA, M. 2003. Programujeme v Delphi [online] aktualizované 2003 [cit. 2022-02-18]. Dostupné na: < https://zive.aktuality.sk/clanok/12974/programujeme-v-delphi-1-cast-uvod >.

MOLEC, J. 2018. Meracia technika. [online] aktualizované 2018 [cit. 2022-03-28]. Dostupné na: < https://meraciatechnika.sk/odborne-clanky/merac-zemneho-odporu-rezistivity-pody-sonel-mru-30/>.

PIETRIKOVÁ, A. 2007. *Základy inžinierstva materiálov*. Košice: Elfa. 278 s.

Súhrn

V prezentovanom článku sme sa venovali rezistivite a spôsobu jej merania. Vytvárali sme návrh a 3D model meracieho zariadenia na meranie rezistivity. K nemu sme vytvorili aj program, ktorý vypočíta rezistivitu z nameraných hodnôt a zároveň dokáže vypočítať chyby merania. V metodickej časti sme popísali jednoduchý návod pre program, v ktorom bol program vytvorený. Taktiež sme uviedli krátky opis a návod na program, v ktorom sme vytvárali model. Vo výsledkoch práce sme popísali tvorbu programu a opísali sme jeho funkcie. Ďalej sme uviedli výkresy návrhov jednotlivých častí zariadenia na meranie rezistivity. Pri tvorbe modelu sme riešili niekoľko problémov. Problém so zohrievaním pracovnej komory, v ktorej sa bude meraný materiál nachádzať, sme vyriešili pomocou ohrievacích patrónov. Uťahovanie materiálu potrebnou silou, aby mohlo prebehnúť meranie sme dosiahli pomocou momentového kľúča. Pomocou vytvorených meracích kontaktov sme zabezpečili meranie rezistivity v rôznych vzdialenostiach v komore. Zároveň sme s meracími kontaktmi vyriešili spôsob merania a tiež sme navrhli spôsob čistenia komory od zbytkov materiálov po odmeraní využitím diery v podstave s pomocou čistiaceho tŕňa.

Kľúčové slová: rezistivita sypkých materiálov, návrh meracieho zariadenia, program na počítanie rezistivity, sypké materiály

POSÚDENIE METÓD BRZDENIA V PODMIENKACH STK

ASSESSMENT OF BRAKING METHODS IN CONDITIONS OF TECHNICAL INSPECTION STATIONS

RASTISLAV BENČÍK – IVAN JANOŠKO

Abstract

The paper deals with the control of vehicle brake systems by performing control measurements on a cylinder test brake and using the driving test method. The defined measurement methods were investigated in order to detect the non-corresponding results that can be detected in these methods in order to compare their final evidence. The performed control measurements confirmed the ambiguity of some parameters.

The measurements show that measuring the vehicle by the roller bench method is also able to detect brake defects that are undetectable when checked by the driving test method. It is therefore necessary to carefully choose the test method when testing vehicles.

Key words: brake system, brake system failures, brake control, technical inspection station

1 Úvod

Ľudská túžba po objavovaní nových technických riešení v oblasti dopravy nás posunula k zvýšeniu mobility a zlepšeniu životnej úrovne ľudstva v oblasti cestnej dopravy. Toto zvýšenie mobility prinieslo aj potrebu vykonávať pravidelné kontroly technického stavu vozidiel. V Slovenskej republike upravuje kontrolu technického stavu vozidiel zákon 106/2018 Z.z. Na základe tohto zákona je každý vlastník vozidla povinný podrobiť svoje vozidlo bez vyzvania a na vlastné náklady pravidelnej technickej kontrole v ustanovených lehotách. V Slovenskej republike takéto kontroly vykonávajú školení technici technickej kontroly na staniciach technickej kontroly podľa jednotných metodických pokynov vydaných Ministerstvom dopravy a výstavby Slovenskej republiky. Kontrola vozidla je rozdelená do 10 skupín z ktorej skupina 1 pojednáva o kontrole brzdových sústav vozidiel. V príspevku sa budeme zaoberať práve kontrolou brzdových sústav vozidiel na staniciach technickej kontroly, jednotlivými metódami a postupmi kontrol brzdových sústav vozidiel. (Zákon č. 106/2018 Z. z., Kmeť, M.: 2018, Jablonicky,J.: 2015).

2 Materiál a metódy

2.1 Charakteristika použitého materiálu

Pre experimentálne účely bolo merane bežné vozidlo spadajúce pod povinnosť podrobiť sa technickej kontrole Škoda Octavia (Obr. 1).

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Základné údaje o kontrolovanom vozidle: osobné motorové vozidlo, vyrobené 14.02.2001, stav tachometra 286068km, predné kotúčové brzdy s vnútorným chladením, zadné bubnové brzdy, vozidlo je vybavené proti blokovacím brzdovým systémom, vozidlo má v čase merania pneumatiky o rozmere 195/65 R15 91T výrobca Continental WinterContact.



Obr. 1 Kontrolované vozidlo značky Škoda Octavia
Fig. 1 Inspected vehicle of the Škoda Octavia brand

2.2 Charakteristika meracích zariadení

- Valcová skúšobňa bŕzd značky MAHA IW2 LON, (Obr.2)
- Meradlo na meranie ovládacej sily značky MAHA PK100, (Obr.3)
- Zariadenie na meranie brzdného spomalenia vozidla značky SAMSUNG XCOVER 4S softvérová verzia 2.1.3, (Obr.4)



Obr. 2 Valcová skúšobňa bŕzd značky MAHA IW2 LON
Fig. 2 MAHA IW2 LON cylinder brake tester



Obr. 3 Meradlo na meranie ovládacej sily značky MAHA PK100
Fig. 3 MAHA PK100 control force measuring gauge



Obr. 4 Zariadenie na meranie brzdného spomalenia SAMSUNG XCOVER 4S
Fig. 4 SAMSUNG XCOVER 4S deceleration measuring device

2.3 Charakteristika použitých metód

- metodický pokyn č.11/2021 na vykonávanie kontrol brzdových sústav vozidiel kategórií M1, N1, L5e a L7e na valcových skúšobniach bŕzd,
- metodický pokyn č. 25/2020 na vykonávanie kontroly brzdného účinku a súmernosti pôsobenia prevádzkovej brzdy vozidiel kategórií L, M, N, O, T, R, PS a C jazdnou skúškou pri technických kontrolách,
- metodický pokyn č. 48/2018, ktorým sa stanovujú kontrolné položky týkajúce sa brzdového zariadenia (Kontrolné položky skupiny 1) v znení metodického pokynu 35/2019 s účinnosťou od 1.1.2020 a metodického pokynu č. 55/2020 s účinnosťou od 1.1.2021.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Meranie bŕzd na valcovej skúšobni je rozdelené na:

Predná náprava
- meranie súmernosti pôsobenia prevádzkovej brzdy kde je stanovená maximálna nesúmernosť na 30 % ,
- meranie kolísania brzdnej sily ktorého hodnota je stanovená do 20 %,
- nábeh brzdného účinku nesmie byt oneskorený,
- kolesá nesmú samovoľne pribrzďovať alebo byť trvalo pribrzdené,
- meranie ovládacej sily na brzdový pedál je stanovené do 490 N,

Zadná náprava
- meranie súmernosti pôsobenia prevádzkovej brzdy kde je stanovená maximálna nesúmernosť na 30 %,
- meranie kolísania brzdnej sily ktorého hodnota je stanovená do 20 %,
- nábeh brzdného účinku nesmie byt oneskorený,
- kolesá nesmú samovoľne pribrzďovať alebo byť trvalo pribrzdené,
- meranie ovládacej sily na brzdový pedál je stanovené do 490 N,

Meranie bŕzd pomocou metódy jazdnej skúšky je rozdelené na:

Predná náprava
- meranie súmernosti pôsobenia prevádzkovej brzdy. Vozidlo nesmie vybočovať z priameho smeru jazdy.
- meranie kolísania brzdnej sily, ak je to možné posúdi sa subjektívne,
- nábeh brzdného účinku nesmie byt oneskorený, ak je to možné posúdi sa subjektívne,
- kolesá nesmú samovoľne pribrzďovať alebo byť trvalo pribrzdené, ak je to možné posúdi sa subjektívne,
- meranie ovládacej sily na brzdový pedál nemeria sa,

Zadná náprava
- meranie súmernosti pôsobenia prevádzkovej brzdy. Vozidlo nesmie vybočovať z priameho smeru jazdy,
- meranie kolísania brzdnej sily, ak je to možné posúdi sa subjektívne,
- nábeh brzdného účinku nesmie byt oneskorený, ak je to možné posúdi sa subjektívne,
- kolesá nesmú samovoľne pribrzďovať alebo byť trvalo pribrzdené, ak je to možné posúdi sa subjektívne,
- meranie ovládacej sily na brzdový pedál nemeria sa.

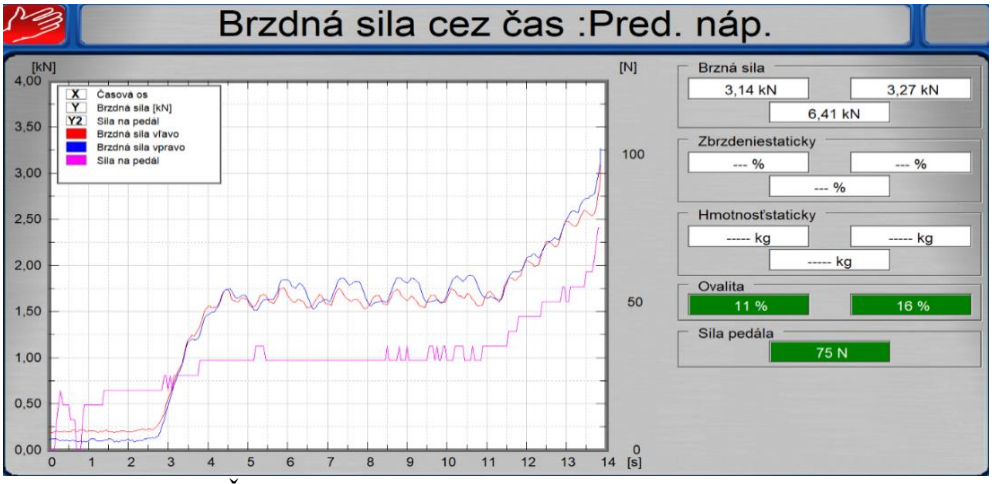
3 Výsledky a diskusia

Ako prvé meranie bola vykonaná kontrola brzdovej sústavy na valcovej stolici MAHA IW2 LON. Na Obrázkoch 5 až 10 sú uvedené namerané výsledky. Obr. 5 a 8 zobrazuje brzdné sily na prednej a zadnej náprave. Obr.6 a 9 prezentuje časovú závislosť brzdnej sily. Obr.7 a 10 zobrazujú rovnomernosť brzdného účinku na prednej a zadnej náprave.

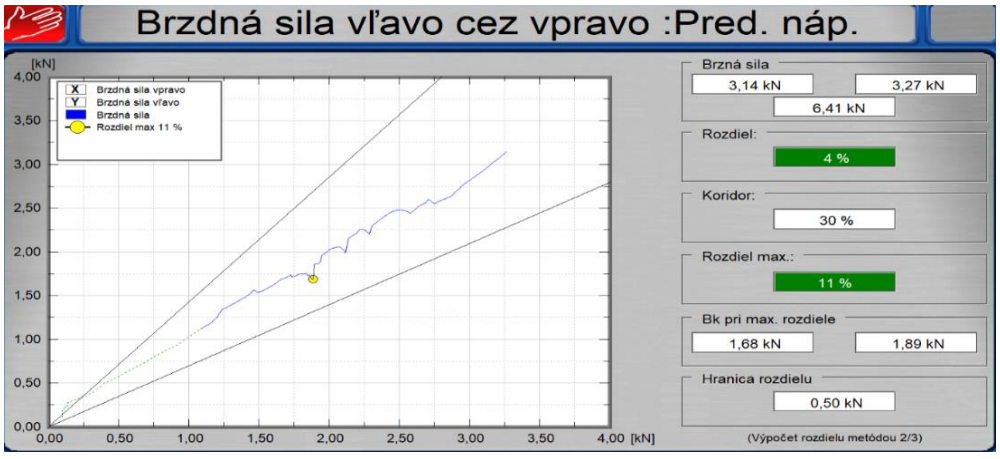
DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 5 Namerané údaje brzdných síl na prednej náprave
Fig. 5 Measured braking force data on the front axle



Obr.6 Časová závislosť brzdnej sily na prednej náprave
Fig. 6 Time dependence of braking force on the front axle

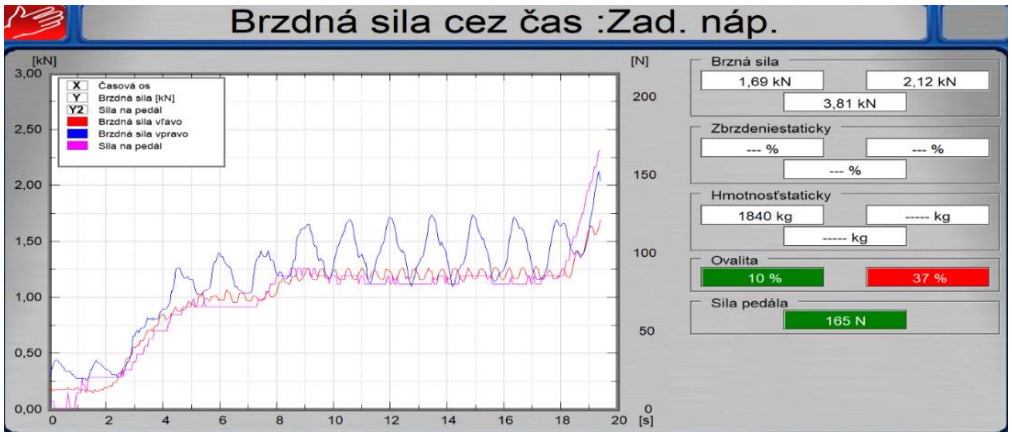


Obr.7 Súmernosť brzdného účinku na prednej náprave
Fig. 7 Symmetry of braking effect on the front axle

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

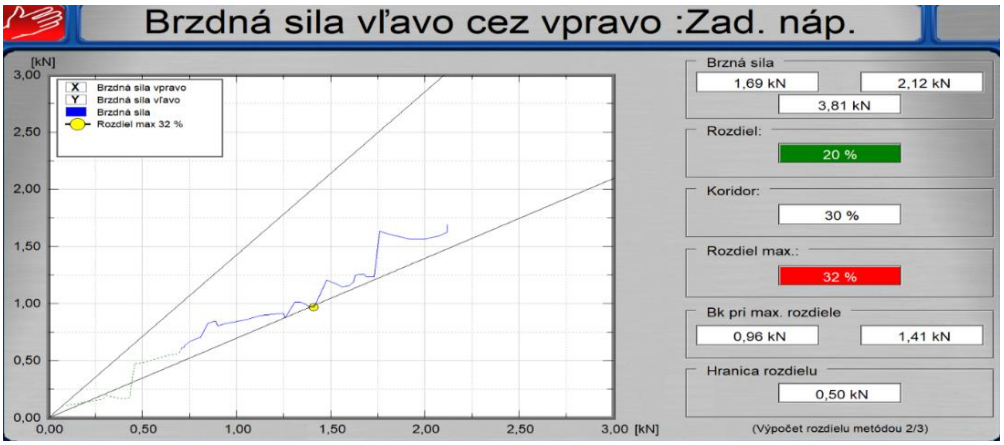


Obr. 8 Namerané údaje brzdných síl na zadnej náprave
Fig. 8 Measured braking force data on the rear axle



Obr.9 Závislosť brzdnej sily na zadnej náprave
Fig. 9 Dependence of braking force on the rear axle

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr.10 Súmernosť brzdného účinku na zadnej náprave
Fig. 10 Symmetry of braking effect on the rear axle

Výpočet zbrzdenia prevádzkovej brzdy metódou priameho vyhodnotenia:

$$z = 10{,}2 \cdot \frac{\sum B_{v_i}}{m_C} \ , \ \% \qquad (1)$$

kde :

$\sum B_{v_i}$ súčet najväčších brzdných síl na obvode všetkých kolies vozidla (N)
m_C najväčšia celková prípustná hmotnosť vozidla v (kg)

Where:

$\sum B_{v_i}$ the sum of the maximum braking forces at the circumference of all the wheels of the vehicle (N)
m_C maximum permissible gross vehicle weight in (kg)

Potom výsledné zbrzdenie po dosadení do (1) bude :

$$z = 10{,}2 \cdot \frac{10220}{1840} = 56{,}7\ \%$$

Miera nesúmernosti pôsobenia prevádzkovej brzdy na prednej náprave: 11 %
Kolísanie brzdnej sily na prednej náprave: 11 % vľavo 16 % vpravo
Miera nesúmernosti pôsobenia prevádzkovej brzdy na zadnej náprave: 32 %
Kolísanie brzdnej sily na zadnej náprave: 10 % vľavo 37 % vpravo

Záver merania na valcovej stolici

Z merania vyplýva že na vozidle sú zistené vážne chyby:

- 1.2.1.b.1 brzdná sila prevádzkovej brzdy na ktoromkoľvek z kolies je v niektorom okamihu merania menšia než 70 % najväčšej zaznamenanej sily na druhom kolese tej istej nápravy
- 1.2.1.e nadmerné kolísanie brzdnej sily v priebehu jednej otáčky kolesa

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Tieto chyby boli zistené na náprave číslo 2 pravé koleso. Nakoľko sa jedná o vážne chyby teda také ktoré majú vplyv na bezpečnosť cestnej premávky je vozidlo na prevádzku v cestnej premávke „Dočasne spôsobilé´´.

Ako druhé meranie bola vykonaná kontrola brzdnej sústavy pomocou metódy jazdnej skúšky za použitia zariadenia na meranie spomalenia SAMSUNG XCOVER 4S. Výsledky merania sú na Obr. 11.



Obr.11 Namerané spomalenie testovaného vozidla Škoda Octavia
Fig. 11 Measured deceleration of the tested Škoda Octavia vehicle

Výpočet zbrzdenia prevádzkovej brzdy metódou jazdnej skúšky podľa vzťahu (2):

$$z = \frac{a}{g} \cdot 100 \quad , \quad \% \tag{2}$$

Kde:

a stredné plné brzdné spomalenie vozidla dosiahnuté prevádzkovou brzdou $(m \cdot s^{-2})$
g tiažové zrýchlenie (9,806 $m \cdot s^{-2}$)

Where:

a mean fully developed vehicle deceleration achieved by the service brake $(m \cdot s^{-2})$
g gravity acceleration (9,806 $m \cdot s^{-2}$)

Potom výsledné zbrzdenie po dosadení do (2) bude :

$$z = \frac{6{,}54}{9{,}806} \cdot 100 = 66{,}69\ \%$$

Záver merania jazdnou skúškou

Počas merania neboli na vozidle zistené žiadne vážne alebo nebezpečné chyby. Vozidlo je na prevádzku v cestnej premávke „Spôsobilé“.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

4 Záver

Príspevok prezentuje problematiku kontrol brzdových sústav vozidiel na staniciach technickej kontroly v Slovenskej republike. Na preverenie danej problematiky sme vykonali merania na skúšobnom vozidle podľa dvoch autorizovaných metodík.

Meranie č.1 bolo vykonané na valcovej skúšobni bŕzd, kde výsledok merania bol, že kontrolované vozidlo *„nespĺňa“* predpísané podmienky na udelenie hodnotenia spôsobilé. Boli zistené vážne chyby na zadnej náprave kde súmernosť pôsobenia prevádzkovej brzdy prekročila maximálnu stanovenú hodnotu 32 % (povolená hodnota 30 %) a nadmerné kolísanie brzdnej sily na pravom zadnom kolese, kde kolísanie prekročilo maximálnu stanovenú hodnotu (20 %) až o 17 %. Vozidlo bolo hodnotené stupňom *„dočasne spôsobilé“*.

Meranie č.2 bolo vykonané zariadením na meranie brzdného spomalenia vozidla značky SAMSUNG XCOVER 4S, kde výsledok merania bol, že kontrolované vozidlo splna predpísané podmienky na udelenie hodnotenia *„spôsobilé“*. Neboli zistené žiadne vážne alebo nebezpečné chyby na kontrolovanom vozidle.

Z uvedených meraní teda vyplýva skutočnosť, že presnosť merania, a teda odhalenia potenciálnych vážnych alebo nebezpečných chýb na kontrolovanom vozidle, je v prípade merania pomocou metódy jazdnej skúšky, nedostatočné, nakoľko by neodhalilo chyby, ktoré pri meraní na valcovej skúšobni bŕzd boli odhalené.

Ako je preukázané v tejto práci STK nie sú schopné plne objektívne posúdiť stav brzdového ústrojenstva pri vozidlách, ktoré nie sú kontrolované za použitia valcovej skúšobne bŕzd. Hlavným dôvodom vykonávania iného druhu merania ako je kontrola na valcovej skúšobni bŕzd je stály pohon 4x4. Vozidlá s pohonom 4x4 je možné podrobiť kontrole na valcovej skúšobni bŕzd, ale je potrebné splniť dve podmienky, vybaviť STK takými valcovej skúšobni bŕzd, ktoré sú schopné merania vozidiel s pohonom 4x4 a zabezpečiť metodické pokyny od výrobcov vozidiel ako vykonať merania vozidiel s pohonom 4x4. Ak budú splnené tieto podmienky podarí sa výrazne znížiť počet vozidiel u ktorých je potrebné vykonať kontrolu pomocou metódy merania jazdnej skúšky.

5 Literatúra

1. JABLONICKÝ, J. - TKÁČ, Z. - KOSIBA, J. - HALENÁR, M. - OPÁLENÝ, P. Possibilities of evaluation of the tractor service brake. In Traktori i pogonske mašine. ISSN 0354-9496, 2015, vol. 20, no. 1, s. 50-54.
2. KMEŤ, Martin. 2018 Technické kontroly automobilov minulosť a súčasnosť. 1. vydanie : Vydala ELEKTO-ENERGO, s.r.o., Bratislava 105 strán ISBN 978-80-973050-0-0
3. MORAVČÍK, Ľ. Skúšanie cestných vozidiel I Schvaľovanie vozidiel. Žilinská univerzita v Žiline, 2020, 310 s, ISBN 978-80-554-1740-0.
4. VERNAREC, J. Konštrukcia a údržba vozidiel. Vydala Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre vo Vydavateľstve SPU, 2006, 134 strán ISBN 80-8069-693-4
5. Zákon č. 106/2018 Z. z. Ministerstva dopravy a výstavby Slovenskej republiky z 14. marca 2018 o prevádzke vozidiel v cestnej premávke a o zmene a doplnení niektorých zákonov.
6. Metodický pokyn č. 48/2018 Z. z. Ministerstva dopravy a výstavby Slovenskej republiky s účinnosťou od 20. 5. 2018 ktorým sa ustanovujú kontrolné položky týkajúce sa brzdového zariadenia. V znení metodického pokynu č. 35/2019 s účinnosťou od 1.1.2020 a metodického pokynu č. 55/2020 s účinnosťou od 1.1.2021.

7. Metodický pokyn č. 25/2020 Z. z. Ministerstva dopravy a výstavby Slovenskej republiky na vykonávanie kontroly brzdného účinku a súmernosti pôsobenia prevádzkovej brzdy vozidiel kategórií L, M, N, O, T, R, PS a C jazdnou skúškou pri technických kontrolách.
8. Metodický pokyn č. 72/2018 Z. z. Ministerstva dopravy a výstavby Slovenskej republiky na vykonávanie kontrol brzdových sústav vozidiel kategórií M1, N1, L5e aL7e, na valcových skúšobniach bŕzd.

Súhrn

Príspevok sa zaoberá kontrolou brzdových sústav vozidiel vykonaním kontrolných meraní na valcovej skúšobní bŕzd a pomocou metódy jazdnej skúšky. Definované metódy merania boli skúmané za účelom zistenia odhalenia nekorešpondujúcich výsledkov, ktoré je možné odhaliť pri týchto metódach s cieľom porovnať ich konečnú preukaznosť. Realizované kontrolné merania potvrdili nejednoznačnosť niektorých parametrov.

Z meraní vyplýva, že meranie vozidla metódou na valcovej stolici je schopné odhaliť aj také poruchy bŕzd, ktoré sú pri kontrole metódou jazdnej skúšky neodhaliteľné. Pri testovaní vozidiel je preto potrebné uvážlivo vybrať skúšobnú metódu.

Kľúčové slová: brzdová sústava, poruchy brzdových sústav, kontrola bŕzd, STK

VPLYV POLOHY ŤAŽISKA NA JAZDNÉ CHARAKTERISTIKY VOZIDIEL – TEORETICKÉ VYHODNOTENIE
INFLUENCE OF CENTER GRAVITY LOCATIONONDRIVING CHARACTERISTICS OF CARS – THEORETICALEVALUATION

TOMÁŠ BRUONČ – RUDOLF ABRAHÁM – RADOSLAV MAJDAN

Abstract

The work presents a determination of the exact position of the center of gravity of three cars with different drive concepts. A four-wheel drive car Volvo V70 AWD, a rear-wheel drive car Mercedes C220 and a front-wheel drive car Skoda Octavia. The achieved results point to the fact that the safest four-wheel drive car with the best weight distribution on the axles is the safest when cornering on a flat road, the second is the Mercedes C220 and the last one is the Skoda Octavia 1.9TDI. When driving uphill (12°) the highest speed reached Volvo, namely 61.22 km.h^{-1} at oversteer skid, then follows Skoda with a value of 59.25 km.h^{-1} at the oversteer skid and the worst value reached Mercedes only 54.09 km.h^{-1} at understeer. These results assume that the ESP traction control system is deactivated.

Key words: automobiles, cornering speed, skid

1 Úvod

Problematika bezpečnosti jazdy vozidiel je veľmi aktuálna a často riešená. Problematika má za úlohu nielen znižovanie počtu poistných udalostí, ale aj znižovanie počtu smrteľných dopravných nehôd (Vlk, 2003). Uvedená problematika rieši bezpečnosť jazdy vozidla pri jazde v zákrute na rovnom a stúpajúcom charaktere vozovky. V prvom rade sa budeme venovať zisťovaniu polohy ťažiska troch vozidiel v nasledovnom zastúpení a to: vozidlo s predným pohonom, vozidlo so zadným pohonom s klasickou koncepciou a vozidlo s pohonom 4x4. Po zistení horizontálno-vertikálnej polohy ťažiska následne pomocou vyjadrenia zistiť výpočtom maximálnu rýchlosť vychádzajúcu z teórie záberovej Kamovej kružnice. Výsledkom bude porovnávacia maximálna rýchlosť pri prejazde zákrutou na rovine, do kopca pri rovnomernom pohybe a pri pohybe zrýchľujúcom.

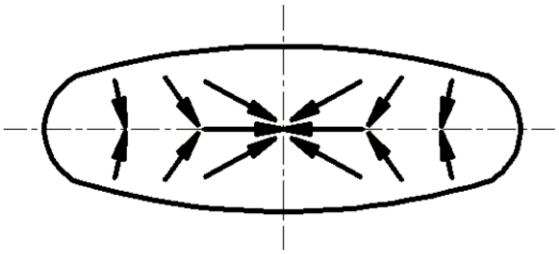
2 Materiál a metódy

Zlepšenie záberu pneumatiky

Styčná plocha pneumatiky s podložkou (Obr.1) sa nazýva stopa pneumatiky. Deformáciou pneumatiky v dotykovej ploche vznikajú v stope sily rôznych smerov, ktoré sú navzájom v rovnováhe, ak neprenáša koleso žiadnu tangenciálnu alebo bočnú silu. Ak prenáša koleso obvodovú alebo bočnú silu, zmení sa vplyvom deformácie rozloženie síl v stope tak,

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

že výsledná sila je rovná súčtu tangenciálnej a bočnej reakcie. Táto sila sa nazýva záberovou alebo adhéznou silou.



Obr. 1 Sily v stope pneumatiky (Semetko a kol, 1985)
Fig. 1 Forces in tire track (Semetko et al.1985)

Záber pneumatiky na ceste je veľmi zložitý jav. Nie je to len jednoduché trenie, ale ovplyvňuje ho aj súdržnosť pneumatiky i podložky. Okrem mikronerovností je podmienená aj makronerovnosťami podložky a účelne vytvorenými výstupkami dezénu pneumatík ako i jeho prisávaním k podložke. Veľkosť záberovej sily tvorí vlastne maximálnu hnaciu F_{hmax} alebo brzdnú silu F_{bmax}, ktorá je priamoúmerná zaťaženiu kolesa Y_ka súčiniteľu priľnavosti μ (nazývaného tiež súčiniteľom záberu, šmykovéhotrenia i adhézie):

$$F_{hmax} = Y_k . \mu, \quad N \tag{1}$$

Kde: Y_k – normálová reakcia pod kolesom, N
μ – súčiniteľ záberu
Where: Y_k – normal reaction under the wheel, N
μ – coefficient of adhesion

Záberová sila môže pôsobiťv ľubovoľnom smere v rovine podložky (Obr.2). V praxiobvykle pôsobí súčasne obvodová i bočná sila. Výsledná záberová sila je ich geometrickým súčtom. Táto výslednica nemôže byť väčšia ako F_{hmax}, daná zaťažením kolesa a súčiniteľom záberu. Geometrickým miestom koncových bodov vektorov záberovej sily je kružnica opísaná zo stredu stopy kolesa polomerom veľkosti $F_v = F_{hmax.}$
Pre danú veľkosť jednej reakcie, napríklad tangenciálnej X_k, môžeme určiť maximálnu veľkosť reakcie v kolmom smere – bočnú reakciu Z_k:

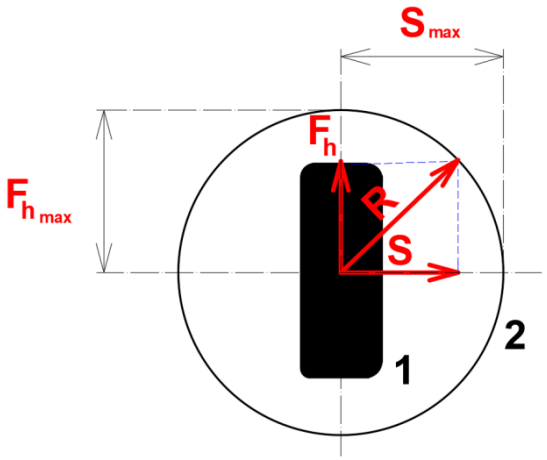
$$Z_k = \sqrt{F_{hmax}^2 - X_k^2}, \quad N \tag{2}$$

Kde: Y_k – normálová reakcia pod kolesom, N
μ – súčiniteľ záberu
Where: Y_k – normal reaction under the wheel, N
μ – coefficient of adhesion

Pre špeciálne tvary dezénu záberová kružnica sa zmení na elipsu s dlhšou osou v tom smere, v ktorom má koleso väčšiu záberovú schopnosť. Zo znázornenia je zrejmé, že ak

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

dosiahne koleso v jednom smere maximálne možný záber, nemá už schopnosť vyvinúť žiadnu reakciu v kolmom smere (Semetko a kol., 2004)



Obr. 2 Záberová Kamova kružnica pneumatiky:1 – pneumatika, 2 – Kamova kružnica stability, S – bočná sila, Fh – hnacia sila, R - výslednica(Semetko a kol., 2004)
Fig. 2 Tire Kam's circle tires: 1 - tire, 2 - Kam's stability circle, S - lateral force, Fh - traction force, R – resultant force(Semetko et al., 2004)

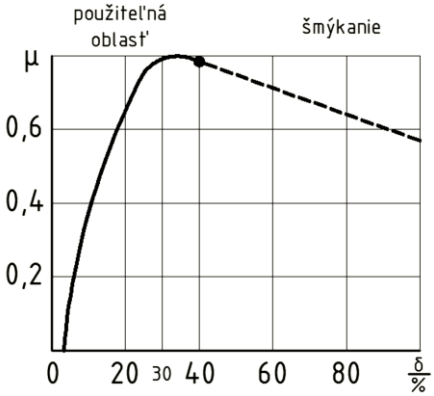
Okamžitá veľkosťsúčiniteľu záberu μ závisí najmä na:
- akosti dotykových plôch pneumatiky a podložky,
- pomeroch v stope, predovšetkým na veľkosti preklzu kolesa δ.

Preklz hnacieho kolesa δ_h alebo brzdiaceho kolesa δ_b môžeme vyjadriť z dynamického polomeru r_da polomeru valenia r_v:

$$\delta_h = \frac{r_d - r_v}{r_d}.100,\% \qquad (3)$$

Kde: r_d – dynamický polomer pneumatiky, m
r_v– polomer valenia, m
Where: r_d – dynamic tire radius, m
r_v - rolling radius, m

Preklz dosahujúci 100% nazývame šmykom kolesa. Záberové podmienky kolesa v šmyku sú horšie ako pred šmykom. Závislosť súčiniteľu záberu μ na preklze δ je uvedená na nasledujúcom grafe:



Obr. 3Zmeny súčiniteľa záberu preklzom (Semetko a kol., 2004)
Fig. 3 Slippage coefficient changes (Semetko et al., 2004)

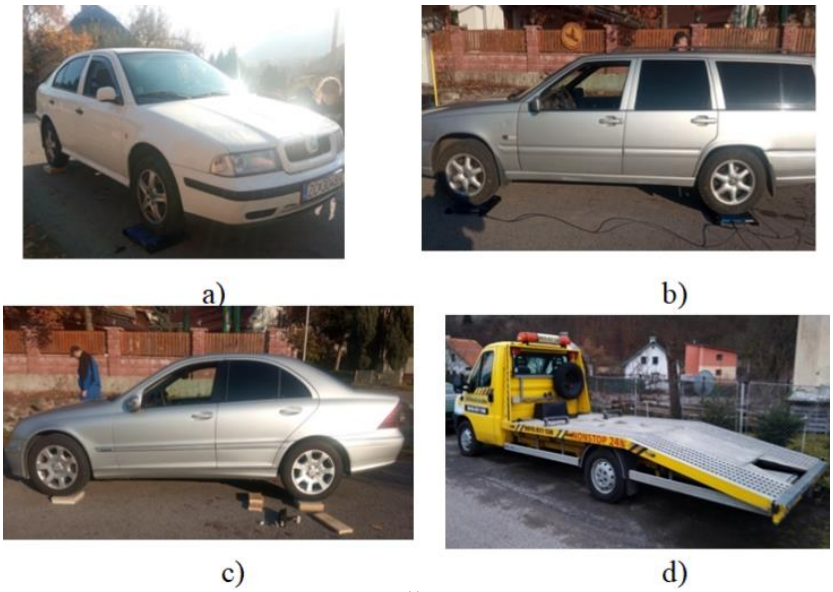
V technických výpočtoch sa počíta s maximálnym súčiniteľom záberu μ, dosiahnuteľným na určitom druhu podložky. Povrch pneumatiky je už vo výrobe vytvorený tak, aby umožňoval maximálny záber. Záberové vlastnosti jednotlivých druhov pneumatík sa prakticky nelíšia na suchej podložke.

Použité vozidlá a meracie pomôcky

Použité pomôcky sú nasledovné. Na obr. 4 sú uvedené použité vozidla a v tab. 1 ich technické parametre a na obr. 5 sú uvedené pomôcky na zisťovanie presnej polohy ťažiska vozidiel.

Tab. 1 Technické parametre experimentálnych vozidiel
Tab. 1 Technical parameters of experimentally vehicles

Typ vozidla / Parameter	**VolvoV70 AWD**	**Mercedes C-220**	**Škoda Octavia**
Rok výroby	1997	2004	1998
Výkon/otáčky, kW/min^{-1}	166/5700	110/4200	81/4150
Celková hmotnosť, kg	2120	2020	1845
Okamžitá hmotnosť, kg	1793	1670	1371
Prevádzková hmotnosť, kg	1597	1465	1300
Rázvor, m	2,755	2,716	2,517
Rozmery (d/š/v), m	4,722/1,761/1,464	4,528/1,728/1,455	4,511/1,731/1,429
Pneumatiky	205/55R16	205/55R16	195/65R15
Zdvihový objem valcov, cm^3	1984	2148	1896
Hnaná náprava	Predná+zadná	zadná	predná
Hmotnosť prednej nápravy, kg	972	910	835
Hmotnosť zadnej nápravy, kg	821	760	536
Hmotnosť LP/PP kolesa, kg	464,5/445,5	502,5/469,5	427,2/407,8
Hmotnosť LZ/PZ kolesa, kg	387,5/372,5	424,5/396,5	274,3/261,7



Obr. 4 Použité experimentálne vozidlá: a) Škoda Octavia, b) Volvo V70 AWD, c - Mercedes C220, D - Odťahové vozidlo Fiat Ducato
Fig. 4 Used experimental vehicles: a) Škoda Octavia, b) Volvo V70 AWD, c - Mercedes C220, D - Tow truck Fiat Ducato

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



a) b)

Obr. 5 Použité váhy s indikátorom: a)Tenzometrické váhy značky DiniArgeo do 3000kg, b) Indikátor DFWKXP

Fig. 5 Used scales with indicator: a) Tensometric scales of the DiniArgeoup to 3000kg brand, b) DFWKXP indicator

Uhlomer typu Mini Digital Protraktor na obr. 6 má magnetickú schopnosť upevnenia na magnetických častiach. Uhlomer ma funkciu nulovania a LCD displej pre ľahké odčítanie nameraných údajov (Banggood. 2021).A má nasledovne parametre:

Rozsah merania: 4 x 90°
Presnosť merania : ± 0,1°
Typ batérie: 3V CR2032 X3
Pracovná teplota: 0°C - 40°C
Relatívna vlhkosť: 40 % - 80 %



Obr. 6 Digitálny uhlomer s magnetickým upevnením

Fig.6 Digital protractor with magnetic mounting

Použité výpočty

Výpočet parametrov *c, d, c´, d´, L´*

Výpočet pozdĺžnych súradníc ťažiska *c* vieme vypočítať podľa nasledovného vzorca:

$$c = \frac{m_2 .L}{m_c}, m \qquad (4)$$

Kde: m_c– celková hmotnosť automobilu, kg
L – rázvor automobilu na podložku, m
m_2 – hmotnosť zadnej nápravy automobilu na rovine, kg

Where: m_c- total weight of the car, kg
L - wheelbase of the car on the pad, m
m_2- weight of the rear axle of the car on the plane, kg

Po vypočítaní *c* vieme následne zistiť dĺžku *d* pomocou vzorca:

$$d = L - c\,, m \qquad (5)$$

Po vypočítaní *d* si vypočítame *L´* nasledovne:

$$L' = L.cos\alpha, m \qquad (6)$$

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Pre zistenie pozdĺžnej súradnice ťažiska je potrebné zistiť parametre c a respektíve c', a d, a odmerať statický polomer zadnej pneumatiky v zaťaženom stave podľa schémy na obr. 7. Ďalej si vypočítame súradnicu d' pomocou nasledovnej rovnice:

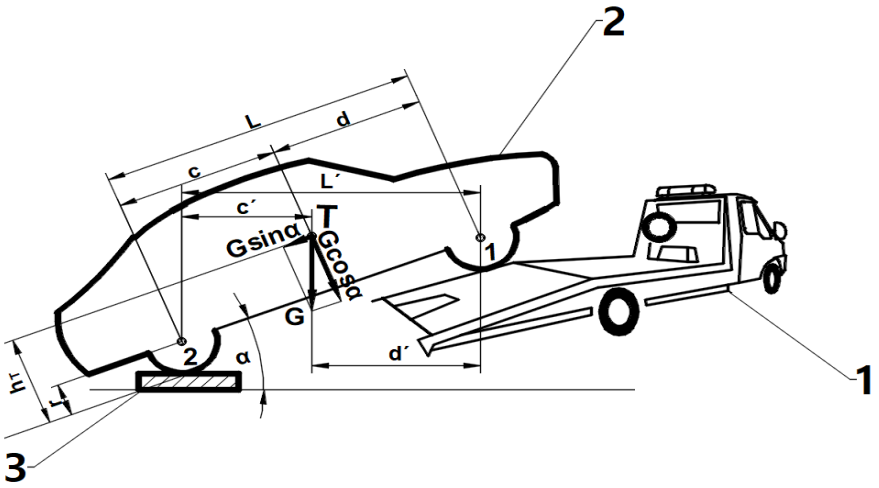
$$d' = \frac{m_2'.L'}{m_c}, m \qquad (7)$$

kde: L' – priemet rázvoru automobilu v naklonenej polohe na podložku, m
m_2' – hmotnosť zadnej nápravy automobilu pri zdvihnutej prednej náprave o uhol α, kg
α – uhol pozdĺžneho naklonenia vozidla, °

Where: L' - projection of the wheelbase of the car an inclined positionon the base, m
m_2' – weight of the rear axle of the car with the front axle raised by an angle α, kg
α –angle of longitudinal inclination of the car, °

Po vypočítaní d' vieme následne zistiť dĺžku c' pomocou vzorca podľa obr. 7:

$$c' = L' - d', m \qquad (8)$$



Obr. 7 Rozmerová schéma vozidiel pre presné zistenie polohy ťažiska: 1 – odťahové vozidlo, 2 – experimentálne vozidlo, 3 – tenzometrická váha
Fig. 7 Dimensional diagram of vehicles for precise determination of the position of the center of gravity: 1 - towing vehicle, 2 - experimental vehicle, 3 - strain gauge

Výpočet polohy ťažiska v horizontálnom a vertikálnom smere h_T, z

Výšku ťažiska h_T osobného automobilu určíme podľa vzťahu:

$$h_T = \frac{c - (\frac{c'}{\cos\alpha})}{\tan\alpha} + r_2, \quad m \qquad (9)$$

kde: α – uhol pozdĺžneho naklonenia automobilu, °
r_2 – statický polomer zadného kolesa, m
c – vzdialenosť ťažiska od osi zadnej nápravy, m
c' – priemet vzdialenosti ťažiska od osi zadnej nápravy pri zdvihnutej prednej náprave o uhol α, m

Where: α - angle of longitudinal inclination of the car, °

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

r_2– static radius of the rear wheel, m
c - distance of the center of gravity from the axis of the rear axle, m
c'– projection of the distance of the center of gravity from the axis of the rear axle with the front axle raised by an angle α, m

Posledným krokom pri určovaní polohy ťažiska je zistenie jeho vertikálnej polohy. Vyosenie ťažiska je ovplyvnené hmotnosťou vodiča a konštrukciou automobilu. A jeho výpočet je nasledovný:

$$z = \frac{B.m_L - m_c.\left(\frac{B}{2}\right)}{m_c},\ m \qquad (10)$$

Kde: B – rozchod kolies automobilu, m
m_L – hmotnosť ľavej strany automobilu, kg
m_c – celková hmotnosť automobilu, kg
Where: B - wheelbase of the car, m
m_L- weight of the left side of the car, kg
m_c – total weight of the car, kg

3 Výsledky a diskusia

Vzorový výpočet parametrov polohy ťažiska Volvo V70 AWD
Výpočet pozdĺžnych súradníc ťažiska c vieme vypočítať podľa nasledovného vzorca 4:

$$c = \frac{m_2 .L}{m_c} = \frac{821.2{,}755}{1793} = 1{,}494m$$

Po vypočítaní c vieme následne zistiť dĺžku d pomocou vzorca 5:

$$d = L - c = 2{,}755 - 1{,}494 = 1{,}261m$$

Po odmeraní uhla pozdĺžneho náklonu α si vypočítame L' podľa vzorca 6:

$$L' = L.cos\alpha = 2{,}755.cos11{,}85 = 2{,}696m$$

Pre zistenie pozdĺžnej súradnice ťažiska je potrebné zistiť parametre c' a d', a odmerať statický polomer zadnej pneumatiky v zaťaženom stave. Podľa vzorca 7 si ako prvé vypočítame súradnicu d' pomocou nasledovnej rovnice:

$$d' = \frac{m_2'.L'}{m_c} = \frac{854{,}25.2{,}696}{1793} = 1{,}285m$$

Po vypočítaní d' vieme následne zistiť dĺžku c' pomocou vzorca 8:

$$c' = L' - d' = 2{,}696 - 1{,}285 = 1{,}412m$$

Ďalej si podľa vzorca 9 vypočítame výšku ťažiska h_T:

$$h_T = \frac{c - \left(\frac{c'}{\cos\alpha}\right)}{\tan\alpha} + r_2 = \frac{1{,}494 - \left(\frac{1{,}412}{cos11{,}85°}\right)}{tan11{,}85°} = 0{,}543m$$

Za posledné si vypočítame podľa vzťahu 10 vybočenie ťažiska z pozdĺžnej roviny automobilu *z*:

$$z = \frac{B.m_L - m_c.\left(\frac{B}{2}\right)}{m_c} = \frac{1{,}525.927 - 1793.\left(\frac{1{,}525}{2}\right)}{1793} = 0{,}0259m$$

Vzorový výpočet maximálnej rýchlosti na rovine v jazde do zákruty pre Volvo V70pri *nedotáčavom* šmyku, pri polomere zákruty 50m a súčiniteli trenia 0,4 podľa momentovej podmienky:

$$v = \sqrt{\frac{(m_{1p}.9{,}81.f.m_c.cos\alpha_{pp}) + (m_{1l'}.9{,}81.f.cos\alpha_{pl'}.L - F_n.c).r}{m_c.c}} = \tag{10}$$

$$= \sqrt{\frac{(469{,}5.9{,}81.0{,}6.1793.cos22) + (502{,}5.9{,}81.0{,}6.cos17.2{,}755 - 1366{,}25.1{,}4935).50}{1793.1{,}4935}} =$$

$$15{,}6672\ m.s^{-1} = 56{,}419km.h^{-1}$$

pričom moment nedotáčania F_n bude:

$$F_n = \frac{m_c.9{,}81.c - \left(m_c.9{,}81.\frac{L}{2}\right)}{c} = \frac{1793.9{,}81.1{,}4935 - (1793.9{,}81.1{,}3775)}{1{,}4935} = 1366{,}25\ N$$

Kde: m_c – celková hmotnosť vozidla, kg
f – súčiniteľ trenia
α_{pp} – uhol natočenia pravého riadiaceho kolesa v zákrute s polomerom 50m, °
m_{1p} – hmotnosť predného pravého kolesa, kg
$m_{1l'}$ - hmotnosť predného ľavého kolesa, kg
$\alpha_{pl'}$ –uhol natočenia ľavého riadiaceho kolesa v zákrute s polomerom 50m, °
L – rázvor náprav, m
c – vzdialenosť ťažiska od stredu zadnej nápravy, m
r – polomer zákruty, m
F_n – sila nedotáčavosti pôsobiaca v ťažisku vozidla, N

Where: m_c – total vehicle weight, kg
f – coefficient of friction
α_{pp} – angle of rotation of the right steering wheel in a bend with a radius of 50m, °
m_{1p} – front right wheel weight, kg
$m_{1l'}$– front left wheel weight, kg
$\alpha_{pl'}$ – angle of rotation of the left steering wheel in a bend with a radius of 50m, °
L – wheelbase, m
c – distance of the center of gravity from the center of the rear axle, m
r – turning radius, m
F_n – understeer force acting at the center of gravity of the vehicle, N

Vzorový výpočet maximálnej rýchlosti na rovine v jazde do zákruty pre Volvo V70 pri *pretáčavom* šmyku, pri polomere zákruty 50m a súčiniteli trenia 0,6podľa momentovej podmienky:

$$v = \sqrt{\frac{\frac{(m_2.9{,}81.f.L)}{d.F_p}.r}{m_c}},\quad m.s^{-1} = \sqrt{\frac{\frac{821.9{,}81.0{,}4.2{,}755}{1{,}2615.1617{,}53}.50}{1793}} = 18{,}423m.s^{-1} = 66{,}323km.h^{-1}$$

pričom moment pretáčania F_p bude:

$$F_p = \frac{m_c.9{,}81.\frac{L}{2} - (m_c.9{,}81.d)}{d} = \frac{1793.9{,}81.1{,}3755 - (1793.9{,}81.1{,}2615)}{1{,}2615} = 1617{,}53\ N$$

Kde: F_p– sila pretáčavosti pôsobiaca v ťažisku vozidla, N
d –vzdialenosť ťažiska od stredu prednej nápravy, m
m_2 – hmotnosť zadnej nápravy, kg

Where: F_p –over steer force acting at the center of gravity of the vehicle, N
d – distance of the center of gravity from the center of the front axle, m
m_2 –rear axle weight, kg

Vzorový výpočet maximálnej rýchlosti do kopca so sklonom 6° pri jazde do zákruty pre Volvo V70 pri *nedotáčavom* šmyku, pri polomere zákruty 50m a súčiniteli trenia 0,6 podľa Kamovej kružnice priľnavosti:

$$v = \sqrt[4]{\frac{1}{\frac{m_1^2}{r^2.(m_1^2.9{,}81^2.f^2 - m_c^2.9{,}81^2.f_v^2 + m_c^2.sin\alpha^2)} - \frac{S^2.c_x^2.\rho^2}{4.(m_1^2.9{,}81^2.f^2 - m_c^2.9{,}81^2.f_v^2 + m_c^2.sin\alpha^2)}}}\ m.s^{-1}$$

$$= \sqrt[4]{\frac{1}{\frac{972^2}{50^2.\left(972^2.9{,}81^2.0{,}6^2 - 1793^2.9{,}81^2.0{,}6^2 + \frac{1793^2.sin6^2}{2}\right)} - \frac{2{,}58^2.0{,}31^2.1{,}28^2}{4.(972^2.9{,}81^2.0{,}6^2 - 1793^2.9{,}81^2.0{,}02^2 + 17563{,}04)}}} =$$

$$= 18{,}34\ m.s^{-1} = 66{,}02 km.h^{-1}$$

Kde: m_1 – hmotnosť prednej nápravy, kg
f_v – súčiniteľ valivého odporu
α–uhol stúpania, °
S – čelná plocha vozidla, m^2
c_x – súčiniteľ odporu vzduchu
ρ – hustota vzduch, $kg.m^{-3}$
f – súčiniteľ trenia

Where: m_1 – weight of front axle, kg
f_v – rolling resistance factor
α – angle of inclination, °
S – vehicle front area, m^2
c_x – air resistance coefficient
ρ – air density, $kg.m^{-3}$
f – coefficient of friction

Vzorový výpočet maximálnej rýchlosti do kopca so sklonom 6° v jazde do zákruty s polomerom zákruty 50m pre Volvo V70 pri *pretáčavom* šmyku, a súčiniteli záberu 0,65 podľa Kamovej kružnice priľnavosti:

$$v = \sqrt[4]{\frac{1}{\frac{m_2^2}{r^2.\left(m_2^2.9{,}81^2.f^2 - m_c^2.9{,}81^2.f_v^2 + \frac{m_c^2.sin\alpha^2}{2}\right)} - \frac{S^2.c_x^2.\rho^2}{4.\left(m_2^2.9{,}81^2.f^2 - m_c^2.9{,}81^2.f_v^2 + \frac{m_c^2.sin\alpha^2}{2}\right)}}}, m.s^{-1}$$

$$= \sqrt[4]{\frac{1}{\frac{821^2}{50^2.\left(821^2.9{,}81^2.0{,}65^2-(1793^2.9{,}81^2.0{,}4^2)+\frac{1793^2.sin6^2}{2}\right)}-\frac{2{,}58^2.0{,}31^2.1{,}28^2}{4.(821^2.9{,}81^2.0{,}65^2-(1793^2.9{,}81^2.0{,}02^2)+17563{,}04)}}} =$$

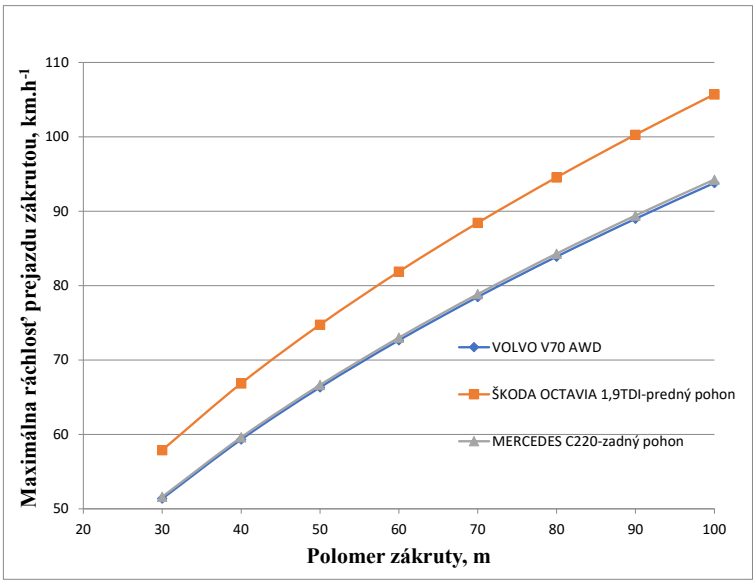
$$= 17{,}61\, m.s^{-1} = 63{,}51 km.h^{-1}$$

Kde: m_2 – hmotnosť zadnej nápravy, kg
Where: m_2 – weight of rear axle, kg

Tab. 2 Podkladová tabuľka pre obr.8 a 9 pre súčiniteľ adhézie 0,4
Tab. 2 Background table for Figures 8 and 9 for an adhesion factor of 0,4

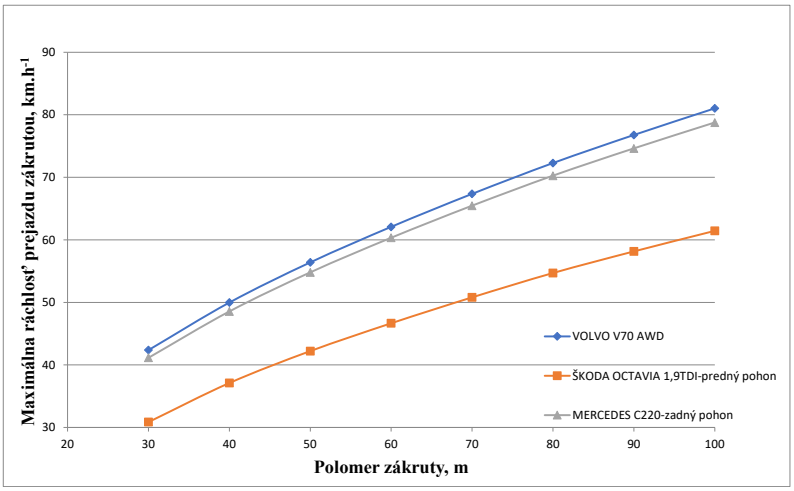
polomer zákruty, m		30	40	50	60	70	80	90	100
vytočenie pravého kolesa, °		38	28	22	18	16	14	12	11
vytočenie ľavého kolesa,°		25	20	17	15	13	11	10	9
Volvo V70 AWD	v_{tmax}, m.s^{-1}	20,34	23,48	26,25	28,76	31,06	33,21	35,22	37,13
	v_{tmax}, km.h^{-1}	73,21	84,54	94,51	103,54	111,83	119,55	126,80	133,66
	v-pretáčavosť, m.s^{-1}	14,27	16,48	18,42	20,18	21,80	23,30	24,72	26,05
	v-pretáčavosť, km.h^{-1}	51,37	59,32	66,32	72,65	78,47	83,89	88,98	93,79
	v-nedotáčavosť, m.s^{-1}	11,77	13,88	15,67	17,25	18,71	20,08	21,33	22,51
	v-nedotáčavosť, km.h^{-1}	42,38	49,98	56,40	62,09	67,36	72,29	76,78	81,04
Mercedes C220	v_{tmax},m.s-^{1}	19,56	22,59	25,26	27,67	29,89	31,95	33,89	35,72
	v_{tmax}, km.h^{-1}	70,43	81,33	90,93	99,61	107,59	115,02	121,99	128,59
	v-pretáčavosť, m.s^{-1}	11,43	13,49	15,22	16,76	18,19	19,52	20,73	21,88
	v-pretáčavosť-km.h^{-1}	41,15	48,56	54,81	60,34	65,47	70,27	74,63	78,77
	v-nedotáčavosť, m.s^{-1}	8,33	9,88	11,18	12,32	13,39	14,38	15,28	16,13
	v-nedotáčavosť-km.h^{-1}	29,99	35,59	40,26	44,37	48,19	51,77	55,00	58,07
Škoda Octavia	v_{tmax}, m.s^{-1}	21,58	24,92	27,86	30,52	32,97	35,24	37,38	39,40
	v_{tmax}, km.h^{-1}	77,69	89,71	100,30	109,87	118,68	126,87	134,57	141,84
	v-pretáčavosť, m.s^{-1}	16,08	18,57	20,76	22,74	24,57	26,26	27,86	29,36
	v-pretáčavosť, km.h^{-1}	57,90	66,86	74,75	81,88	88,44	94,55	100,28	105,71
	v-nedotáčavosť, m.s^{-1}	8,57	10,31	11,73	12,96	14,11	15,20	16,16	17,07
	v-nedotáčavosť, km.h^{-1}	30,87	37,12	42,22	46,67	50,81	54,70	58,16	61,45

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 8 Maximálna rýchlosť na rovine pri prejazde zákrutou z hľadiska pretáčavého šmyku a momentovej podmienky

Fig. 8 Maximum speed on the plane when cornering in terms of oversteer and torque conditions



Obr. 9Maximálna rýchlosť na rovine pri prejazde zákrutou z hľadiska nedotáčavého šmyku a momentovej podmienky

Fig. 9 Maximum speed on the plane when cornering in terms of understeer and torque conditions

Z vyššie uvedeného vyplýva, že z hľadiska bezpečnosti pretáčavého šmyku najlepšie vychádza Škoda Octavia podľa obr.8 a z hľadiska nedotáčavého šmyku podľa obr. 9 vychádza Volvo V70 AWD. Treba však poznamenať skutočnosť, že tá rýchlosť, ktorú vozidlo dosiahne ako prvú je tásmerodajná a potom môžeme skonštatovať, že z hľadiska rovnomerného pohybu v rôznom polomere zákruty bez hnacej sily na kolesách je na tom najlepšie pohon 4x4 automobilu Volvo V70 AWD. Dosiahnuté výsledky korešpondujú so skúsenosťami vodičov, že najlepšie sa javí, čo sa bezpečnosti týka, pohon na všetky kolesá, ale to platí vtedy ak sa zákrutou prechádza s vyradeným rýchlostným stupňom. V uvedených dosiahnutých výsledkoch treba vyzdvihnúť fakt, že vozidlá zo zadným pohonom sa svojou bezpečnosťou približujú vozidlám 4x4, čo je zjavné aj z obr.8, resp. 9.

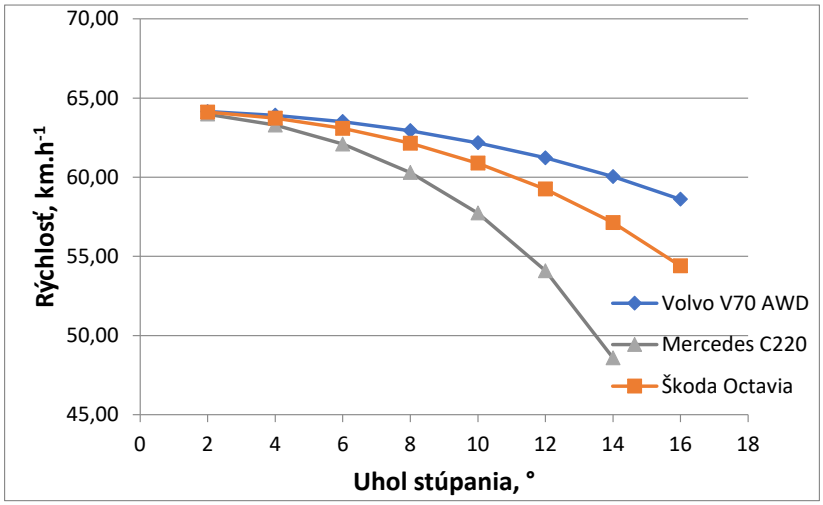
DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Tab.3 Podkladová tabuľka pre obr. 10 maximálnych rýchlostí so zohľadnením hnacej sily do kopca s rôznym stúpaním pri polomere zákruty 50m

Tab. 3 The background table for Fig. 10 maximum speeds taking into account the driving force uphill with different inclines at a bend radius of 50m

stúpanie,°	2	4	6	8	10	12	14	16
v_{max}, Volvo V70 AWD, km.h^{-1}	64,15	63,91	63,51	62,93	62,18	61,22	60,04	58,60
v_{max}, Mercedes C220, km.h^{-1}	63,98	63,29	62,09	60,29	57,74	54,09	48,59	38,39
v_{max}, Škoda Octavia, km.h^{-1}	64,11	63,73	63,09	62,15	60,89	59,25	57,13	54,39

Zobrazené výsledky v tab. 3 a na obr. 10 sú prezentované kombinovane. Kombinácia predpokladá u vozidiel Volvo V70AWD a Škoda Octavia vznik nedotáčavého šmyku a na druhej strane Mercedes C220 so zadným pohonom je náchylný k pretáčavému šmyku. Uvedené výsledky rýchlostí nepredpokladajú, že vozidlá majú aktívny systém ESP, ktorý by dané rýchlosti upravil na o niečo vyššie hodnoty. Na záver konštatujeme, že najbezpečnejšie vozidlo z hľadiska prejazdu zákrutou je Volvo s pohonom na obidve nápravy. Treba však poznamenať, že vozidlo Volvo V70 AWD má pri rýchlosti nad 30km.h^{-1} prostredníctvom odstredivej spojky pohon 4x4 vypnutý a preto sme aj výsledky uvažovali tak, aby aj vozidlo Volvo 4x4 bolo pri vyššej rýchlosti nedotáčavé. Pri rýchlosti do 30km.h^{-1} by sme z údajov Kammových postupov výpočtu uvažovali tú hodnotu rýchlosti v pretáčavosti, resp. nadotáčavosti, ktorá by dosahovala nižšie hodnoty. Ak by sme porovnávali vozidlo so stálym pohonom 4x4 (Subaru, Lada Niva a pod.) tak by sme podľa uvedeného postupu v predošlej vete zistili maximálne rýchlosti do kopca a do zákruty.



Obr. 10 Maximálna rýchlosť do kopca pri prejazde zákrutou s polomerom 50m podľa Kamovej kružnice

Fig. 10 Maximum speed uphill when passing a curve with a radius of 50m according to Kam's circle

4 Záver

Na záver konštatujeme, že vozidlá z hľadiska prejazdnosti zákrutou majú rozdielne vlastnosti. Najlepšie vo všetkých výpočtoch obstálo Volvo V70 AWD. V jednom prípade z hľadiska nedotáčavého šmyku vyšlo najlepšie vozidlo Škoda Octavia 1,9 TDI, ale tento výsledok musíme konfrontovať z výsledkami na nedotáčavosť a tam Octavia vyšla najhoršie, keďže má najľahšiu zadnú nápravu zo všetkých troch vozidiel. Treba aj poznamenať, že vozidlá Volvo a Mercedes majú pri prejazde zákrutou na neutrále veľmi podobné jazdné

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

maximálne rýchlosti, čo nás oprávňuje vyzdvihnúť pohon klasickej koncepcie a vlastnosťami sa približuje k vozidlám 4x4, ale to platí len v prípade jazdy do zákruty bez použitia hnacej sily na zadnej náprave. Tento stav v praxi nastane iba vtedy ak pri počiatočnom šmýkaní vozidla do pretáčavého šmyku vodič dá nohu z plynového pedálu preč a nebezpečenstvo havárie koriguje správnym riadením kolies prednej nápravy.

Literatúra

LIPAVSKÝ, Václav. 2020. *Ako jazdiť s pohonom 4x4. Už dávno nejde o rýchlosť, prioritou je bezpečnosť.* [online]. 2020 [cit. 2022-01-15]. Dostupné na: <https://www.topspeed.sk/poradna/ako-jazdit-s-pohonom-4x4-uz-davno-nejde-o-rychlost-prioritou-je-bezpecnost/18184>.

MOKŘÍŠ, Jakub. 2021. *Co je pohon 4x4, 4WD, AWD a jejichprincipfungování.* [online]. 2021 [cit. 2022-01-17]. Dostupné na: <https://www.portalridice.cz/clanek/co-je-pohon-4x4-4wd-awd-a-jejich-princip-fungovani>.

OLŠIAK, Martin. 2021. *Meranie zbrzdenia vozidiel 4x4 od 1.1.2021.* [online]. 2021 [cit. 2022-01-18]. Dostupné na: <https://stknigol.sk/2021/02/04/meranie-zbrzdenia-vozidiel-4x4-od-1-1-2021/>.

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

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

VAVERKA, Lukáš. 2019. *Neníčtyřkolkajako 4x4. Výrobcipoužívajíšestrůznýchkoncepcí pohonu všech kol.* [online]. 2019 [cit. 2022-01-16]. Dostupné na: <https://autobible.euro.cz/pohon-4x4-princip-druhy-vyhody/>.

VLK, František. 2000. *Koncepce motorových vozidel*. Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK. 366 s. ISBN 80-238-5276-0.

VLK, František. 2003. Dynamika motorových vozidel. 2. Vydanie. Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK. 432s. ISBN 80-239-0024-2.

Súhrn

Práca sa venuje zisteniu presnej polohy ťažiska troch automobilov s rôznou koncepciou pohonu. Použité vozidlá boli Volvo V70 AWD s4x4 pohonom, Mercedes C220 s klasickou koncepciou pohonu a Škoda Octavia s predným pohonom. Dosiahnuté výsledky poukazujú na skutočnosť, že najbezpečnejší pri jazde do zákruty je pohon 4x4 s lepšie rozloženou hmotnosťou na nápravách na rovnej vozovke, druhý je Mercedes C220 a posledná skončila Škoda Octavia 1,9TDI. Pri jazde do kopca napr. 12° je opäť s najvyššou rýchlosťou Volvo AWD konkrétne 61,22 $km.h^{-1}$pri nedotáčavom šmyku, potom nasleduje na nedotáčavý šmyk Škoda Octavia s hodnotou 59,25 $km.h^{-1}$ a najhoršie do kopca dopadol Mercedes na pretáčavý šmyk pri max rýchlosti iba 54,09 $km.h^{-1}$. Uvedené dosiahnuté výsledky predpokladajú deaktiváciu systému ESP kontroly trakcie v zákrute.

Kľúčové slová: automobil, rýchlosť do zákruty, šmyk

SLEDOVANIE PRIEBEHU TEPLÔT VZDUCHU PRI CHLADENÍ V CHLADIARENSKOM NÁVESE
MONITORING THE AIR TEMPERATURE DURING COOLING IN A REFRIGERATED SEMITRAILER

ALAN ČERNÝ[1] – IVAN VITÁZEK[2]

Abstract

This article deals with the monitoring of air temperature parameters in the space of a refrigerated semitrailer. Cooling in the trailer is realized by means of a cooling unit located in the front part of the trailer. The cooling unit is driven electrically or by a diesel engine. The subject of the research was the temperature differences in the front and rear of the trailer in different cases of cooling. The selected semitrailer was Schmitz Cargobull and the refrigeration unit was Carrier Vector 1850 MT. The monitored parameters were measured using a temperature recorder Carrier Transicold datacold located in front side of trailer, which detected temperature differences in different parts of the refrigerated trailer. The measured data show us the temperature differences in the front and rear of the trailer. With the help of reported data it is possible to obtain data on uniformity or uneven cooling temperatures of the goods in different parts of refrigerated semitrailer, which may affect the quality of transported goods.

Key words: cooling, air condition, temperature, refrigerated semitrailer

1 Úvod

Rýchlokaziace sa potraviny musia pre zabezpečenie predĺženia doby spotreby pri dodržaní ich kvality a bezpečnosti prejsť procesom chladenia, mrazenia, alebo rýchleho zmrazenia a následne zodpovedajúceho uskladnenia a prepravy. Týka sa to hlavne potravín, ktoré pri nedodržaní teplotných podmienok, ktoré stanovuje legislatíva a nariadenia, môžu podliehať k nezvratným zmenám na kvalite a zdravotnej nezávadnosti. Preto je kladený veľký dôraz na technické vybavenie skladov a prepravných prostriedkov. Takéto priestory musia byť vybavené izotermickým priestorom a odpovedajúcim chladiacim zariadením. Taktiež je potrebné zabezpečenie neustáleho monitorovania teploty v uskladňovanom priestore v sklade, alebo v chladiacom dopravnom prostriedku (Vitázek, 2000).

Dopravné prostriedky rýchlo-zmrazených potravín musia byť vybavené zapisovacími prostriedkami na monitoring teploty vzduchu, ktorej sú potraviny vystavené, v častých a pravidelných intervaloch. Zmrazené potraviny musia mať zabezpečené meranie teploty, ktoré poskytuje presný záznam teploty vzorky pomocou určeného zariadenia. Meradlá musia byť na začiatku a pravidelne monitorované (Vitázek, Tkáč, 2020).

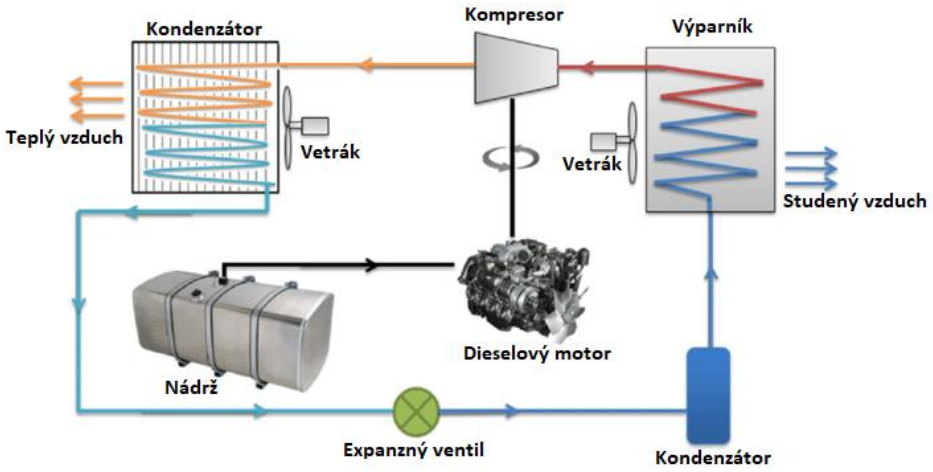
2 Materiál a metódy

Úlohou chladiaceho zariadenia ja schladiť výrobky a udržať ich pri teplote nižšej ako je teplota okolitého prostredia. Chladenie je možné definovať ako proces odoberania tepla

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

z okolitého prostredia. Najstaršími a najznámejšími chladiacimi látkami sú ľad, voda a vzduch. Na začiatku minulého storočia si ľudia začali byť vedomí činnosti baktérií, enzýmov atď. a objavili, že rast týchto mikroorganizmov je priamo úmerný teplote, a že pri nižších teplotách, napr. +10 °C, je ich rast veľkou mierou obmedzený. Tento poznatok viedol k používaniu chladenia ako spôsobu, ako uchovávať potraviny (Vitázek, 2000).
Systém chladenia sa skladá zo štyroch základných zložiek:
1. Kompresor:
Kompresor je jadrom chladiaceho zariadenia, odsáva pary chladiva z výparníka a stláča ich na tlak potrebný v kondenzátore.
2. Kondenzátor:
Kondenzátor odvádza teplo v množstve, ktoré sa rovná súčtu tepla absorbovaného výparníkom a tepla vyprodukovaného kompresnou činnosťou kompresora. Vplyvom odvedeného tepla sa mení skupenstvo chladiva z plynného na kvapalné.
3. Expanzný ventil:
Expanzný ventil zaisťuje odpovedajúci rozdiel tlaku medzi vysokotlakovou a nízkotlakovou časťou systému.
4. Výparník:
Výparník je miesto, kde je teplo prenášané z prostredia do chladiva. Mení sa pritom skupenstvo chladiva z kvapalného na plynné (Vitázek, Tkáč, 2017).

Cyklus je možné zhrnúť takto: plynné chladivo je odvádzané kompresorom, stláčané a prevádzané do kondenzátora, tu je ochladzované a skvapalňované. Chladivo je vedené z kondenzátora k expanznému ventilu, kde dochádza k zníženiu tlaku, ďalej je vedené do výparníka, kde prijíma teplo z okolitého prostredia potrebné na zmenu skupenstva (Auto-klima.sk).



Obr. 1 Schéma činnosti chladiaceho zariadenia
Fig. 1 Schematic function of refrigerated device

2.1 Funkcia chladiarenského návesu

Hlavným účelom chladiaceho návesu nie je chladiť náklad vo vnútri, ale udržiavať ho na požadovanej teplote. Steny návesu sú izolované penovou izoláciou a v okolí dverí sa používa odolné tesnenie, ktoré pomáha udržať požadovanú teplotu (chlad) vo vnútri návesu. V niektorých prípadoch strecha chladiarenského návesu používa reflexný materiál, ktorý pomáha znižovať absorpciu tepla zo slnka. Chladiace zariadenie musí tiež odvádzať teplo z vnútra návesu, ako aj všetko teplo, čo vnikne do návesu pri otvorení dverí. To sa dosahuje pomocou výparníka, ktorý je pripevnený k prednej časti návesu (Gnap, 2004).

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Chladiarenský systém zvyčajne používa štvorvalcový dieselový motor na poskytnutie energie pre pohon kompresora, hoci emisné normy a rastúce náklady na palivo vedú k prechodu na batériové, elektrické, alebo hybridné chladiace jednotky.

Novšie chladiarenské návesy ponúkajú viac-teplotné chladenie v jednom návese. Tento systém využíva jeden zdroj energie a pohyblivé deliace priečky nachádzajúce sa v návese na vytvorenie až troch teplotných zón na prepravu až troch druhov nákladu s rôznymi teplotnými požiadavkami (Partnership.com).

2.2 Typy výrobkov prepravovaných v chladiarenských zariadeniach

Každý výrobok, ktorý sa môže poškodiť vysokou alebo nízkou teplotou, sa prepravuje v chladiarenských návesoch. Kým potraviny podliehajúce skaze sa vždy prepravujú v chladiarenských návesoch, mnohé výrobky, ktoré nenájdeme vo svojich chladničkách, tiež vyžadujú kontrolu teploty.

Materiály vyžadujúce kontrolu teploty pri preprave:

- lieky,
- nebezpečný materiál,
- objemové tekutiny,
- sviečky,
- kvety,
- farby a pod.

Hoci sa chladiarenské návesy často používajú na udržiavanie nižších teplôt, používajú sa aj na ohrev vzduchu. V zime sa používajú chladiace boxy na ochranu produktov citlivých na teplotu pred zamrznutím (Coyote.com).

2.3 Meranie teplotných rozdielov

Meranie teplotného priebehu vzduchu pri rôznych podmienkach bolo realizované pri teplote okolitého vzduchu 15 °C. Teplota vo vnútri chladiarenského návesu bola totožná s teplotou vonkajšieho prostredia. Merania sme uskutočňovali na návese značky Schmitz Cargobull, na ktorom bol osadený chladiarenský agregát značky Carrier Vector 1850 MT (Multi-temperature). Názov multi-temperature nám hovorí o tom, že náves obsahuje dva výparníky v prednej a zadnej časti a strednú deliacu priečku, čo nám napovedá, že v návese vieme teda prevážať tovar dvoch rôznych teplôt.



Obr.2 Meraný chladiarenský náves
Fig. 2 Measured refrigerator semitrailer

2.4 Meracie prístroje

Z hľadiska zabezpečenie nezávadnosti potravín a zabezpečenia zdravia spotrebiteľa je nutné monitorovanie teploty. Výsledkom nedodržania teploty môže byť škodlivý vplyv na kvalitu potravín vrátane ich možného znehodnotenia.

V dlhých prepravných prostriedkoch (nad 6 metrov) sa odporúča zabezpečiť vzduchové potrubie tak, aby chladiaci vzduch prúdil až k zadnej časti vozidla. V prepravnom priestore sa odporúča umiestniť dva snímače. Jeden meria teplotu vracajúceho sa vzduchu a druhý je umiestnený v stropnom potrubí, v druhej až tretej štvrtine dĺžky vozidla. Rozdiely medzi týmito dvoma teplotami informujú o činnosti chladiaceho zariadenia. V prípade, ak sú rozdiely veľké alebo kolísavé, znamená to nedostatočné chladenie, nesprávne uloženie paliet, alebo dlho otvorené dvere. Záznamník teploty môže byť umiestnený v kabíne vodiča, alebo z vonkajšej strany blízko chladiaceho zariadenia (Gnap, Rovnaňíková, 2016).

Na obrázku 3 je možné vidieť záznamník teploty od spoločnosti Carrier Transicold umiestnený na čelnej strane návesu vpravo dolu.



Obr. 3 Záznamník teploty Carrier Transicold datacold
Fig. 3 Temperature recorder Carrier Transicold datacold



Obr. 4 Ovládací panel Carrier Transicold Logicold na nastavovanie požadovaných teplôt a funkcií v návese
Fig. 4 Carrier Transicold Logicold device for setting the required temperatures and functions in the trailer

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

3. Výsledky a diskusia

Meranie č.1

Meranie bolo realizované na chladiarenskom návese odstavenom na parkovisku. Počas merania prevládalo oblačné počasie bez zrážok, s teplotou vzduchu 15 °C. Počiatočná teplota v prednej časti návesu bola 15,2 °C a v zadnej časti 13,1 °C. Chladiace zariadenie sme uviedli do činnosti, nastavili na chladenie predným výparníkom, bez deliacej priečky. Požadovaná teplota vo vnútornom priestore bola nastavená na -20 °C a v presných časových intervaloch 5 minút boli odčítavané hodnoty teploty v prednej a zadnej časti návesu. Zariadenie bolo nastavené na „štart-stop" cyklus, čo znamená, že zariadenie sa vypne pri dosiahnutí nastavenej teploty a znova zapne, keď rozdiel vnútornej aktuálnej teploty vo vnútri návesu a nastavenej teploty dosiahne aspoň 2 °C.

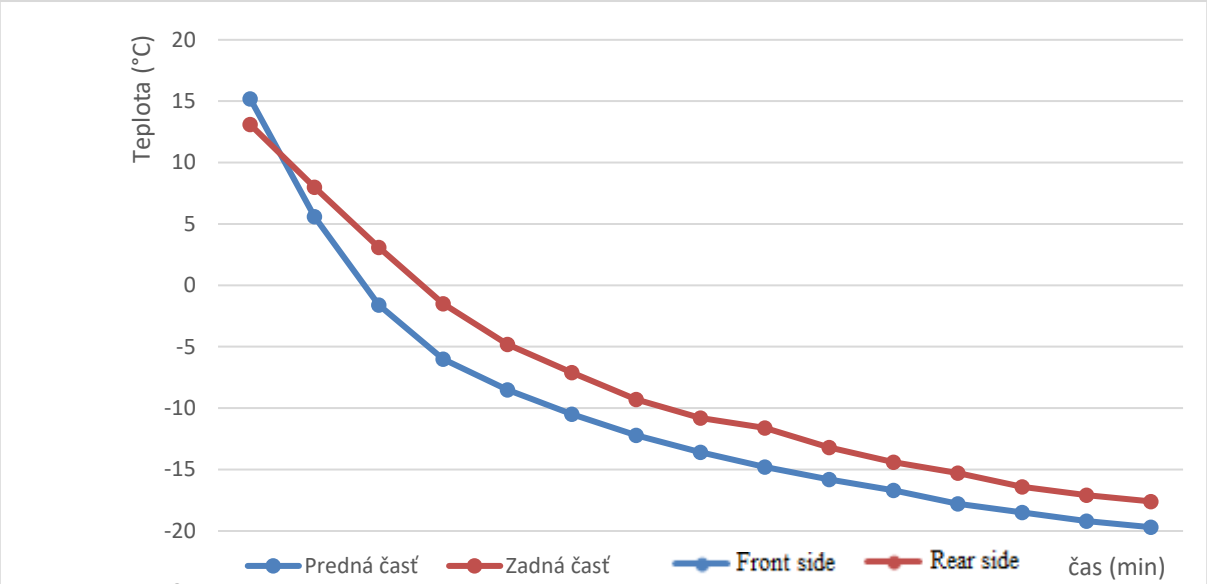


Obr. 5 Predný výparník v chladiarenskom návese
Fig. 5 Front evaporator in refrigerated trailer

Grafické vyhodnotenie nameraných hodnôt

V grafickom spracovaní nameraných hodnôt sú znázornené priebehy teplôt v prednej a zadnej časti chladiarenského návesu v závislosti na čase. Ako vyplýva z grafu, tak vychladenie priestoru návesu nastalo po 70 minútach od zapnutia zariadenia, kde teplota v prednej časti dosiahla -19,7 °C a zariadenie prestalo pracovať (funkcia „štart-stop"). V zadnej časti sme v tom čase mali dosiahnutú teplotu -17,6 °C. Keďže náves nebol predelený deliacou priečkou, tak za niekoľko minút nastalo premiešanie vnútorného vzduchu a teploty vo vnútri návesu sa vyrovnali.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Predná časť	15,2	5,6	-1,6	-6	-8,5	-10,5	-12,2	-13,6	-14,8	-15,8	-16,7	-17,8	-18,5	-19,2	-19,7
Zadná časť	13,1	8	3,1	-1,5	-4,8	-7,1	-9,3	-10,8	-11,6	-13,2	-14,4	-15,3	-16,4	-17,1	-17,6

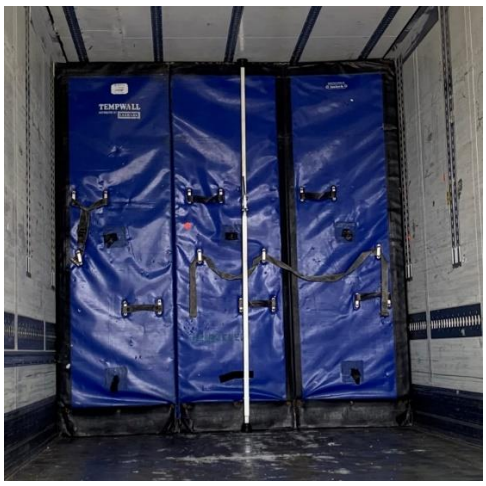
Obr. 6 Priebeh teploty pri chladení s použitím predného výparníku bez deliacej priečky
Fig. 6 Cooling heat transfer using a front evaporator without a partition

Meranie č.2

Meranie prebiehalo pri rovnakých podmienkach ako v prvom prípade. Pred začatím merania sme do stredu návesu umiestnili deliacu priečku a zapli sme predný aj zadný výparník. Počiatočná teplota v prednej časti návesu bola 15,4 °C a v zadnej časti 13,9 °C. Teplotu sme nastavili na -20 °C a v stanovených časových intervaloch 5 minút zaznamenávali namerané teploty v prednej a zadnej časti návesu. Zariadenie bolo nastavené na „štart-stop" cyklus, čo znamená, že kompresor sa vypne pri dosiahnutí nastavenej teploty.



Obr. 7 Umiestnenie zadného výparníka
Fig. 7 location of Rear evaporator

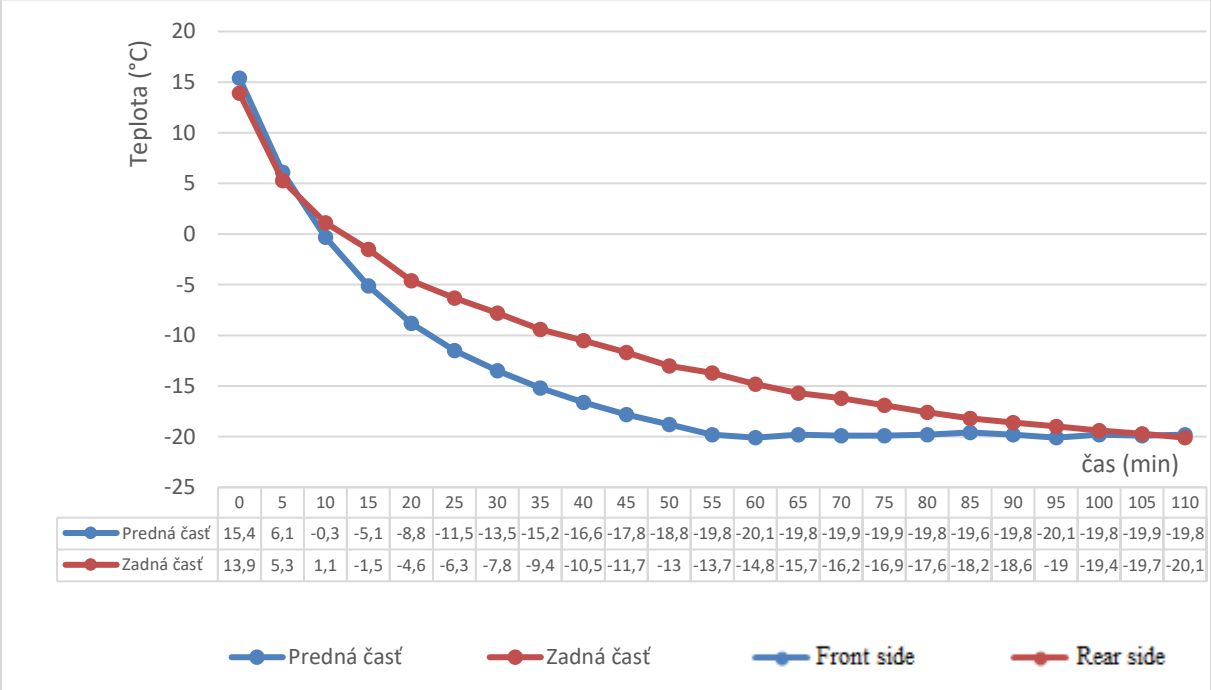


Obr. 8 Deliaca priečka
Fig. 8 partition

Grafické vyhodnotenie nameraných hodnôt

V grafickom spracovaní nameraných hodnôt sú znázornené priebehy teplôt v prednej a zadnej časti návesu v závislosti na čase. Ako je vidieť z grafického priebehu, tak teplota -20 °C v prednej časti návesu bola dosiahnutá už po 55 minútach, ale zariadenie pracovalo ďalej,

keďže teplota v zadnej časti návesu bola -13,7 °C. K dochladeniu zadnej časti návesu prišlo až po 110 minútach od naštartovania, keď sa zariadenie vyplo. Dôvodom, prečo sa zadná strana dochladila až po 45 minútach, je nižší chladiaci výkon.



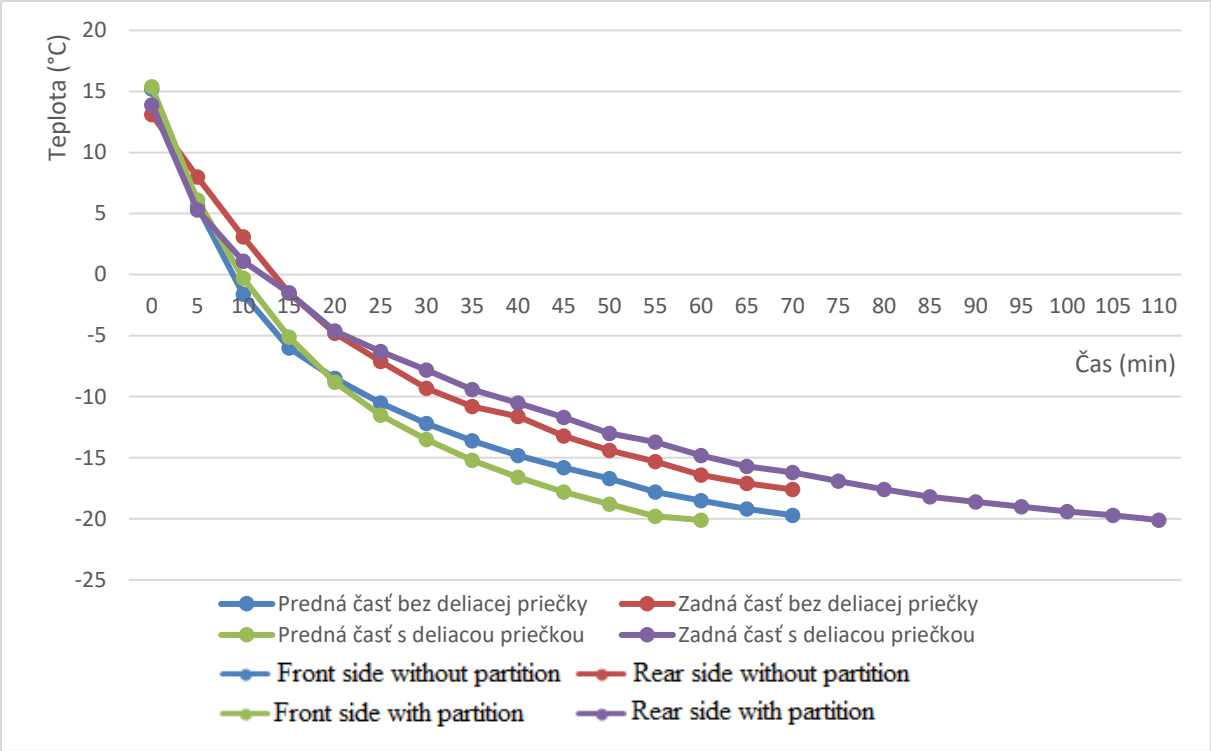
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110
Predná časť	15,4	6,1	-0,3	-5,1	-8,8	-11,5	-13,5	-15,2	-16,6	-17,8	-18,8	-19,8	-20,1	-19,8	-19,9	-19,9	-19,8	-19,6	-19,8	-20,1	-19,8	-19,9	-19,8
Zadná časť	13,9	5,3	1,1	-1,5	-4,6	-6,3	-7,8	-9,4	-10,5	-11,7	-13	-13,7	-14,8	-15,7	-16,2	-16,9	-17,6	-18,2	-18,6	-19	-19,4	-19,7	-20,1

Obr. 9 Priebeh teploty pri chladení s použitím oboch výparníkov a deliacou priečkou
Fig. 9 Heat course during cooling using both evaporators and a partition

Vyhodnotenie meraní

V grafickom spracovaní nameraných hodnôt sú znázornené priebehy teplôt v oboch možnostiach chladenia. Z grafu je možné vyčítať, že ako prvá dosiahla prednastavenú teplotu za 55 minút predná časť s deliacou priečkou, keďže predný výparník nevychladzoval celý náves, ale iba jeho prednú časť po deliacu priečku umiestnenú v strednej časti návesu. Náves s použitím iba predného výparníka zvládol vychladiť na požadovanú teplotu vzduchu -20 °C za 70 minút, pričom teplota v zadnej časti bola -17,6 °C. Za niekoľko minút sa ale vzduch vo vnútri návesu premieša a teploty sa vyrovnajú. Zariadenie bolo nastavené na „štart-stop“ a po dosiahnutí nastavenej teploty sa samočinne vyplo. Najdlhšie trvalo vychladiť zadnú časť pri použití zadného výparníka s deliacou priečkou, a to za čas 110 minút od zapnutia zariadenia. Dôvodom je menší chladiaci výkon tohto výparníka.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 10 Výsledné porovnanie priebehu teploty pri oboch možnostiach
Fig. 10 The resulting comparison of the temperature course in both options

4 Záver

Základnou podmienkou pri preprave chladených tovarov je dodržiavanie požadovanej teploty počas celej doby prepravy. V príspevku sú uvedené výsledky meraní priebehu dosiahnutia požadovanej teploty v chladiarenskom návese pri využití rôznych možností činnosti výparníkov. Zariadenie umožňuje zapojiť dva výparníky a rozdeliť chladiaci priestor deliacou priečkou.

Na meranie sledovaných parametrov sme použili vstavaný merací prístroj Carrier Transicold datacold, ktorý slúži aj ako záznamník teplôt pri preprave. Merania boli uskutočnené v reálnych podmienkach. V grafoch si môžeme všimnúť, že čím nižšia bola východzia teplota, tým boli menšie teplotné rozdiely v časových intervaloch. Dosiahnutie požadovanej teploty vzduchu je jednoznačne dosiahnuteľné za kratší čas pri použití jedného, a to predného výparníku. Pri použití oboch výparníkov sme požadovanú teplotu -20 °C v prednej časti návesu dosiahli za 55 minút, pričom v zadnej časti bola ešte len teplota -13,7 °C. Je to len z toho dôvodu, že predný výparník ochladzoval menší priestor. Dôvodom, prečo pri použití oboch výparníkov a deliacej priečky máme veľké rozdiely teplôt je ten, že zadný výparník má menší výkon ako hlavný predný výparník. Z hľadiska spotreby a časovej náročnosti je výhodnejšie v tomto prípade použiť iba jeden výparník na celý náves, pokiaľ sa prevåža tovar s rovnakou teplotou.

Po vykonaní kontrolných meraní je viditeľné, že ochladiť vzduch v priestore pri použití oboch výparníkov je časovo náročnejšie, ako pri použití iba predného hlavného výparníka. V grafe č.3 je možné vidieť, že dosiahnutie požadovanej teploty -20 °C v zadnej časti návesu pri použití oboch výparníkov s deliacou priečkou si vyžadovalo podstatne dlhší čas.

Pri preprave tovaru s jednotnou teplotou je výhodnejšie použiť chladenie s hlavným predným výparníkom. Pokiaľ by sme použili chladenie pomocou oboch výparníkov bez použitia deliacej priečky, tak by sa síce urýchlilo vychladenie návesu, ale nedochádzalo by

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

k dostatočnej cirkulácii vzduchu v návese. V jednotlivých častiach návesu by mohlo dochádzať k väčším teplotným rozdielom, ako pri použití iba predného výparníka. Je preto zrejmé, že pri preprave tovaru jednotnej teploty je výhodnejšie chladenie iba predným výparníkom, a to už len z dôvodu spotreby, alebo lepšej cirkulácie vzduchu v naloženom návese. Teplotné rozdiely po vychladení návesu v prednej a zadnej časti môžu byť až 3 °C, záleží to najmä na uložení tovaru a teplote tovaru. Spätné zapnutie zariadenia pri funkcii „štart-stop" dochádza pri rozdiele teploty väčšej ako 2 °C, prípadne tento rozdiel je možné kedykoľvek zmeniť na ovládacom paneli zariadenia. Dôležité je tiež poznamenať potrebu vychladiť náves pred nakládkou a potrebná je aj správna teplota nakladaného tovaru. Pri nesprávnej teplote tovaru by dochádzalo k niekoľkohodinovému predĺženiu vychladenia návesu, čo by mohlo mať za následok poškodenie tovaru. Ďalším experimentom a ich vyhodnoteniu bude venovaná pozornosť v diplomovej práci.

5 Literatúra

AUTO-KLIMA.SK. [B. r]. Ako chladiace zariadenie pracuje. [Online]. [cit. 2022-03-25]. Dostupné na: <http://www.auto-klima.sk/index.php?menu=ako_funguje_chladenie>.

COYOTE.COM. [B. r]. Answer to 10 essential refrigerated truckload questions [Online]. [cit. 2022-03-25]. Dostupné na: <https://resources.coyote.com/source/refrigerated-truckload-101#reefer%20trailer>.

GNAP, Jozef. 2004. Medzinárodná cestná nákladná doprava. 2. preprac. vyd. Žilina, 2004. 222 s. ISBN 80-8070-278-0.

GNAP, Jozef – ROVŇANÍKOVÁ, Dominika. 2016. Monitorovanie teploty v ložnom priestore nákladného vozidla. [Online]. [cit. 2022-03-26]. Dostupné na: <http://www.svetdopravy.sk/monitorovanie-teploty-v-loznom-priestore-nakladneho-vozidla/>.

PARTNERSHIP.COM. [B. r]. All about refrigerated freight. [Online]. [cit. 2022-03-25]. Dostupné na: <https://www.partnership.com/blog/post/refrigerated-freight-shipping-and-reefer-best-practices>.

VITÁZEK, Ivan – TKÁČ, Zdenko. 2017. Teplotechnika a hydrotechnika. Príklady a experimentálne merania. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita. 124 s. ISBN 978-80-552-1663-8.

VITÁZEK, Ivan – TKÁČ, Zdenko. 2020. Teplotechnika a hydrotechnika. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita. 160s. ISBN 978-80-552-2160-1.

VITÁZEK, Ivan. 2000. Chladenia a chladiarenstvo a sušenie a sušiarenstvo. 2. nezmen. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita. 123 s. ISBN 80-7137-711-2.

Súhrn

Príspevok sa zaoberá monitorovaním parametrov teploty vzduchu v priestore chladiaceho návesu. Chladenie v návese je realizované pomocou chladiaceho agregátu umiestneného v prednej časti návesu. Chladiaci agregát je poháňaný elektricky, alebo dieselovým motorom. Predmetom skúmania boli teplotné rozdiely v prednej a zadnej časti návesu pri rôznych prípadoch chladenia. Vybraný náves bol značky Schmitz Cargobull

a chladiaci agregát bol Carrier Vector 1850 MT. Monitorované parametre boli merané pomocou záznamníka teplôt Carrier Transicold datacold umiestneného na čelnej strane návesu, ktorý detekoval teplotné rozdiely v rôznych častiach chladiaceho návesu. Namerané údaje nám ukazujú teplotné rozdiely v prednej a zadnej časti návesu. Pomocou vykazovaných údajov je možné získať údaje o rovnomernosti, resp. nerovnomernosti teplôt chladenia tovaru rôznych častiach chladiarenského návesu, čo môže pôsobiť na kvalitu prevážaného tovaru.

Kľúčové slová: chladenie, klimatizácia, teplota, chladiarenský náves

Poďakovanie: Príspevok je publikovaný vďaka riešeniu projektu KEGA č. 029SPU-4/2019 Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky.

VYŠETRENIE KOVOVÝCH ZLIATIN PRI TEPELNOM ZAŤAŽENÍ
EXAMINATION OF METAL ALLOYS UNDER THERMAL LOAD

ĽUBOMÍR HAZUZA – DANIELA KUNECOVÁ

Abstract

The aim of the work was to energetically evaluate selected industrial waste by TGA and DSC methods. Measurements by TGA analysis were performed with temperature changes by increasing the temperature by 10 °C.min^{-1} and with DSC analysis by decreasing the temperature by -2 °C.min^{-1}. In the TGA analysis, the measurements were performed in an inert atmosphere using carrier nitrogen, while in the DSC analysis only nitrogen was used. The measurements showed that the TGA analysis showed the largest increase in the material 16MnCr5 at 850 °C by more than 1 mg and in the material RSt 443 it was at a temperature of about 750 °C by about more than 0.9 mg, while the weight increase material may be related to the impurity content of the material. The results of DSC measurements showed that the change in mechanical properties of 16MnCr5 occurred at -27°C, while that of RSt443 there was a change at -25 °C.

Key words: thermal analysis, TGA, DSC

1 Úvod

Termická analýza je obecný termín, ktorý zahŕňa rôzne druhy techník zaznamenávajúcich fyzikálne a chemické zmeny vznikajúce v látke ako funkciu teploty (Prosr a kol., 2013). Termické metódy analýzy možno teda všeobecne definovať ako metódy analýzy, pri ktorých sa študuje vplyv tepla na vzorku s cieľom poskytnúť kvalitatívne alebo kvantitatívne analytické informácie (Fifield, Kealey, [s.a.]).

Pomocou týchto metód sa merajú fyzikálne a chemické vlastnosti materiálov ako funkcia teploty a času, kedy sú skúšobné vzorky vystavené preddefinovanému teplotnému programu (ohrev či chladenie) v špeciálnej cele pri predpísaných atmosférických podmienkach (vzduch, inertná atmosféra) a pritom sa graficky zaznamenávajú teplotné alebo časové zmeny sledovaného parametra. Z týchto závislostí, ktoré sú charakteristické pre správanie každého materiálu, možno následne vysledovať:

- štruktúrnu zmenu (teplotu skleného prechodu, topenia/kryštalizáciu, sieťovanie, vyparovanie, sublimáciu, fázový prechod v pevnom stave),
- mechanické vlastnosti (elastické chovanie, tlmenie),
- teplotné vlastnosti (rozťažnosť, špecifickú tepelnú kapacitu, teplotu topenia/kryštalizáciu, koeficient rozťažnosti),
- chemické reakcie (rozklad a teplotnú stabilitu v rôznych plynných prostrediach, chemické reakcie v roztokoch alebo plynnej fáze, reakcie plynmi, dehydratáciu (Ústav fyziky a materiálového inženýrství).

K základným metódam termickej analýzy patria:

- termogravimetria (TG) – sledovanou veličinou je zmena hmotnosti analyzovanej vzorky v závislosti na teplote alebo čase,

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

- derivačná termogravimetria (DTG) – zisťuje prvú deriváciu zmeny hmotnosti,
- diferenčná termická analýza (DTA) – sledovanou veličinou je teplotný rozdiel medzi analyzovanou vzorkou a referenčnou látkou,
- derivačná diferenčná termická analýza (DDTA) – sleduje prvú deriváciu teplotného rozdielu medzi vzorkou a referenčnou látkou,
- diferenčná kompenzačná kalorimetria (DSC) – meranou veličinou je reakčná entalpia. Delí sa na DSC s kompenzáciou príkonu a na DSC tepelného toku.
- termodilatometrická analýza (TD) – sleduje zmeny objemu,
- simultánna termická analýza (STA) – využíva súčasne dve metódy pre štúdium fyzikálnych vlastností,
- elektrotermická analýza (ETA) – meria zmeny elektrickej vodivosti v závislosti na teplote,
- detekcia uvoľnených plynov (EGD) – registruje uvoľňovanie plynov z analyzovanej vzorky,
- analýza uvoľnených plynov (EGA) – určuje plynné zložky, stanovuje i chemické zloženie plynných zmesí,
- diferenčná tlaková analýza – meria rozdiel tlaku v komôrke s analyzovanou vzorkou a porovnávacou vzorkou,
- diferenčná Calvetova kalorimetria – zaznamenáva tepelnú vodivosť v kalorimetri,
- termomechanické merania – metódy skúmajúce mechanické vlastnosti vzorkou,
- emanačná termická analýza – meria sa rýchlosť uvoľňovania inertných plynov (Pinkas, Losos, [s.a.]).

TGA

Túto techniku definovala ICTAC (International Confederation for Thermal Analysis nad Calorimetry) ako techniku, pri ktorej sa zmena hmotnosti látky meria ako funkcia teploty, zatiaľ čo je látka podrobená programu kontrolovanej teploty (Mackenzie, 1983).

Existujú 3 bežne využívané termogravimetrické režimy:

- izotermický – zaznamenáva sa hmotnosť vzorky pri konštantnej teplote ako funkcia času,
- kvaziizotermický – konštantná teplota je udržiavaná po dobu, kedy dochádza k zmene hmotnosti,
- dynamický – teplota sa mení podľa dopredu určeného programu (Wendlandt, 1986).

Zmeny sa vyjadrujú v závislosti na teplote m = f (T) resp. čase m = f (t) termogravimetrickými krivkami (Pinkas, Losos, [s.a.]. Zmeny hmotnosti sú výsledkom odparovania, rozkladného procesu alebo chemickej reakcie. Hmotnosť materiálov sa môže pri ich zahrievaní meniť dvomi spôsobmi. Môže dochádzať:

- k znižovaniu hmotnosti v dôsledku uvoľňovania plynnej zložky

$$mAB\ (s) = mA\ (s) + mB\ (g)$$

- k nárastu, ak materiál po reakcii s plynnou fázou reaguje

$$mA\ (s) + mB\ (g) = mAB\ (s)$$

Termogravimetrickú analýzu ovplyvňuje rada faktorov, ktoré je potrebné pred spustením experimentu zvážiť:

- konštrukcia a materiál zariadenia: tepelné zdroje, druhy termočlánkov, ich umiestnenie a upevnenie, systém zaznamenávania termoanalytických kriviek, mechanizmus váh a pod.
- experimentálne podmienky: rýchlosť zahrievania a rýchlosť záznamu krivky – všeobecne sa využíva rýchlosti 2 – 10 °C za minútu, zväčšovaním rýchlosti zahrievania sa zvyšuje i počiatočná a koncová teplota zlomu. Nižšia rýchlosť ohrevu a pomalé

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

zaznamenávanie krivky umožňuje klasifikovanie následných reakcií. Rýchlosť zahrievania vzorky závisí na hmotnosti vzorky, geometrii vzorky, atmosfére reakčného priestoru. Zvýšenie hmotnosti spôsobí vyššie teploty začiatku reakcie, u reakcií prebiehajúcich tesne za sebou v malom teplotnom rozsahu môže spôsobiť horšie rozpoznanie prítomnosti medziproduktu.

- vlastnosti vzorky: z hľadiska veľkosti častíc je priebeh reakcie rýchlejší použitím jemnejších častíc, sú reaktívnejšie a znižujú počiatočnú a konečnú teplotu. Naopak použitím hrubších častíc reakcia prebieha pomalšie a môžu vznikať i medziprodukty, ktoré by v prípade rýchlejšej reakcie vymizli. Tepelnú vodivosť a dobu reakcie ovplyvňuje zhutnenie vzorky a jej kontakt s kelímkom. Zhutnenie môžeme vykonať napr. jemným poklepom na pevnú dosku. Dôležitú úlohu zohráva tiež tvar, veľkosť a materiál nosičov, s ktorými príde vzorka do kontaktu, ako sú nádobky alebo držiaky vzorky. Nosiče vzoriek môžu byť misky alebo kelímky rôznej veľkosti v závislosti na hmotnosti vzorky. Ako materiál nosičov slúži Al_2O_3, platina, striebro, zlato a pod. (Pinkas, Losos, [s.a.].

Výsledkom termografickej analýzy je gravimetrická krivka vyjadrujúca závislosť hmotnosti na teplote a čase (Kalous, 1975). Štandardne sa TG-krivka znázorňuje v percentách pôvodnej hmotnosti voči teplote. Na TG-krivke pozorujeme:

- oblasti bez zmien – plato (oblasť termickej stability),
- oblasti so zmenami hmotnosti (úbytok alebo nárast),
- dielčí hmotnostný úbytok,
- celkový hmotnostný úbytok (Brown, 1998).

DSC

DSC je technika tepelnej analýzy, ktorá zahŕňa meranie teplotného rozdielu medzi vzorkou a referenčným materiálom ako funkciu teploty, zatiaľ čo vzorka aj referenčná látka sú vystavené programu s riadenou teplotou. Táto technika sa používa najmä na kvalitatívne a kvantitatívne stanovenie zmeny teploty v zmysle exotermickej, endotermickej a tepelnej kapacity. Základným princípom zapojeným do DSC je, že táto technika sa používa na štúdium toho, aký je vplyv zahrievania na polyméry/vzorky. Skúma tepelné prechody alebo vzorky pri zahrievaní.

Rozlišujeme dva základné typy diferenčnej skenovacej kalorimetrie:

- tepelný tok DSC – je to technika, pri ktorej sa teplota vzorky a referencie mení v špecifickom programe. Rozdiel teplôt medzi vzorkou a referenčnou vzorkou sa meria ako funkcia tepla.
- kompenzáciu výkonu DSC – je to technika, pri ktorej sa meria rozdiel tepelnej energie aplikovanej na vzorku za jednotku času medzi vzorkou a referenciou ako funkcia teploty (Höhne et. al., 2003).

  K základným faktorom, ktoré determinujú výsledky analýzy DSC patrí:
  - výber referenčnej látky,
  - vplyv prostredia, v ktorom sa látka nachádza,
  - rýchlosť zmeny teploty (Global Eco Trade Joanna Pasicka)

Výsledok experimentu DSC sa zobrazí vo forme grafu alebo krivky, ktorá je známa ako krivka DSC. Tento graf je vykreslený medzi tepelným tokom a teplotou alebo časom.

Hlavným cieľom diplomovej práce bolo vyšetrenie kovových zliatin pri tepelnom zaťažení. Cieľ práce bol realizovaný meraním vybraného priemyselného odpadu prostredníctvom termogravimetrickej analýzy a diferenčnej skenovacej kalorimetrie.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

2 Materiál a metódy

Pri meraní boli použité materiály z mäkkej nelegovanej ocele, ktoré poznáme pod označením RSt443 a RSt443NZ a povrchovo kalená oceľ označená ako 16MnCr5M.

Tab. 1 Charakteristika ocele RSt443 a RSt443NZ
Tab. 1 Characteristic properties of steel RSt443 and RSt443NZ

Mechanické vlastnosti v pozdĺžnom a priečnom smere pohybu	LG (RSt443)	LG (RSt443NZ)
Pevnosť v ťahu R_m N/mm^2	290 - 390	≤ 400
Tvrdosť podľa Vickersa HV 10	91 - 122	≤ 125
0,2 medza pevnosti $R_{p0,2}$ N/mm^2	-	≤ 300
Predĺženie pre lomení A_5 %	-	-
Predĺženie pre lomení A_{10} %	≥ 36	≥ 30

Tab. 2 Chemické zloženie ocele RSt443 a RSt443NZ
Tab. 2 Chemical composition of steel RSt443 and RSt443NZ

Rozbor odliatku	%	C	Si	Mn	P	S	Al	N
	od	0,05		0,55			0,090	0,003
	do	0,08	0,05	0,70	0,02	0,015	0,160	0,006
Zákazník si vyhradzuje právo na overenie daných hodnôt pomocou analýzy daného produktu Obsah Al rozpustného v kyseline								

Tab. 3 Charakteristika ocele triedy 16MnCr5
Tab. 3 Characteristic properties of steel 16MnCr5

Pevnostné vlastnosti: (predĺženie a priečne)	GKZ	GKZ550	GKZ+K	GKZ+LG	GKZEW+LG	U
Pevnosť v ťahu	≤ 400	≤ 550	438 - 601	≤ 440	≤ 420	≤ 600
0,2 medza klzu Rp0,2 N/mm2	≤ 280	≤ 400	≤ 450	≤ 320	≤ 320	≤ 450
Predĺženie pri pretrhnutí A5 %	≥ 37	≥ 30	-	≥ 35	≥ 35	≥ 20
Predĺženie pri pretrhnutí A10 %	≥ 29	-	≥ 22	≥ 27	≥ 27	-
Tvrdosť podľa Vickersa	≤ 125	≤ 175	137 - 187	≤ 137	≤ 132	≤ 190

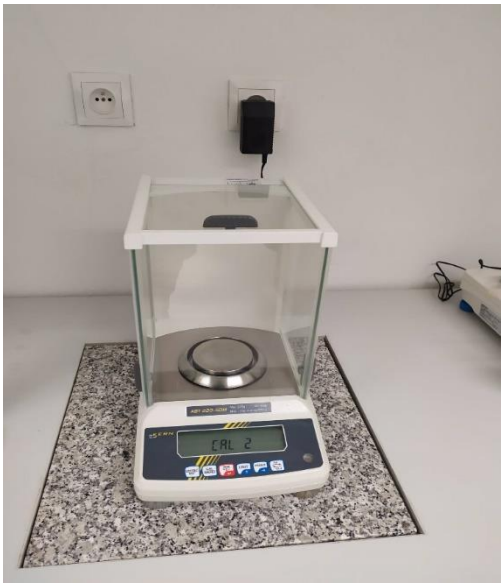
DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Tab. 4 Chemické zloženie ocele triedy 16MnCr5
Tab. 4 Chemical composition of steel 16MnCr5

Rozbor odliatku	%	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni	Al	N
	od	0,14		1,00			0,85			0,020	0,0036
	do	0,18	0,10	1,20	0,020	0,008	1,05	0,10	0,10	0,050	0,0080
Vyhradenie si práva kontroly hodnôt pomocou kusovej výroby. Dané cieľové hodnoty sú potom analyzované podľa daných dodacích podmienok -+ polovica prípustných medzných odchýlok pre analýzu produktu. Pevnosť stanovenia bola dohodnutá medzi daným výrobcom a nami. Žiadna jednotlivá hodnota nesmie prekročiť stanovené hodnoty alebo klamať. Odber vzoriek v časti 18. Obsah Al rozpustného v kyseline.											

Postup merania TGA

Na stanovenie termogravimetrickej analýzy sme použili prístroj TGA/DSC 1 STAR. Pred začatím merania sme si prostredníctvom váh KERN ABT 220 - 5DM (Obr. 1) odvážili prázdne keramické nádobky a vzorky daných materiálov. Namerané hmotnosti vzoriek materiálov sme pred začatím merania zadali do prístroja, aby prístroj vedel, s akou hmotnosťou pracuje a tiež aby hodnoty z merania boli presné. Do prístroja TGA sme pred spustením merania pustili pomocný plyn a to nosný dusík. Následne sme vzorky materiálov v keramickej nádobe vložili do prístrojov. Pri metóde merania TGA sme nastavili teplotu ohrevu danej vzorky a dobu, počas ktorej sa daná vzorka materiálu bude ohrievať. Zvolili sme lineárny nárast teploty a to od 25 °C do 950 °C. Rast danej teploty sme nastavili na 10 °C za minútu. Následne sme pomocou software STARe spustili meranie. Po konci merania sme zistili hodnoty, s ktorými sme ďalej pracovali a vyhodnocovali.



Obr. 1 Analytická váha Kern ABT
Fig. 1 Analytic scale Kern ABT

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 2 Zariadenie na stanovenie termogravimetrickej analýzy (TGA)
Fig. 2 Equipment for determining Thermogravimetring analysis (TGA)

Postup merania DSC

Pred začatím merania sme si pripravili vzorky daných materiálov, ktoré sme si odvážili prostredníctvom váh KERN ABT 220 - 5DM. Následne sme si pomocou váh KERN ABT 220 - 5DM odvážili aj prázdne keramické nádobky. Následne sme vzorky materiálov v keramickej nádobe vložili do prístrojov. Pri prístroji DSC, ktorý sme použili na zmrazenie daných vzoriek, sme ako pomocný plyn použili iba dusík. Nastavili sme teplotu schladenia danej vzorky a to od -20 °C do -70 °C. Pokles danej teploty sme nastavili o -2 °C za minútu. Následne sme pomocou software STARe spustili meranie. Po skončení merania sme zistené hodnoty spracovali a následne vyhodnotili.



Obr. 3 Zariadenie na stanovenie diferenčnej skenovacej kalorimetrie (DSC)
Fig. 3 Equipment for determining Differential scanning calorimetry (DSC)

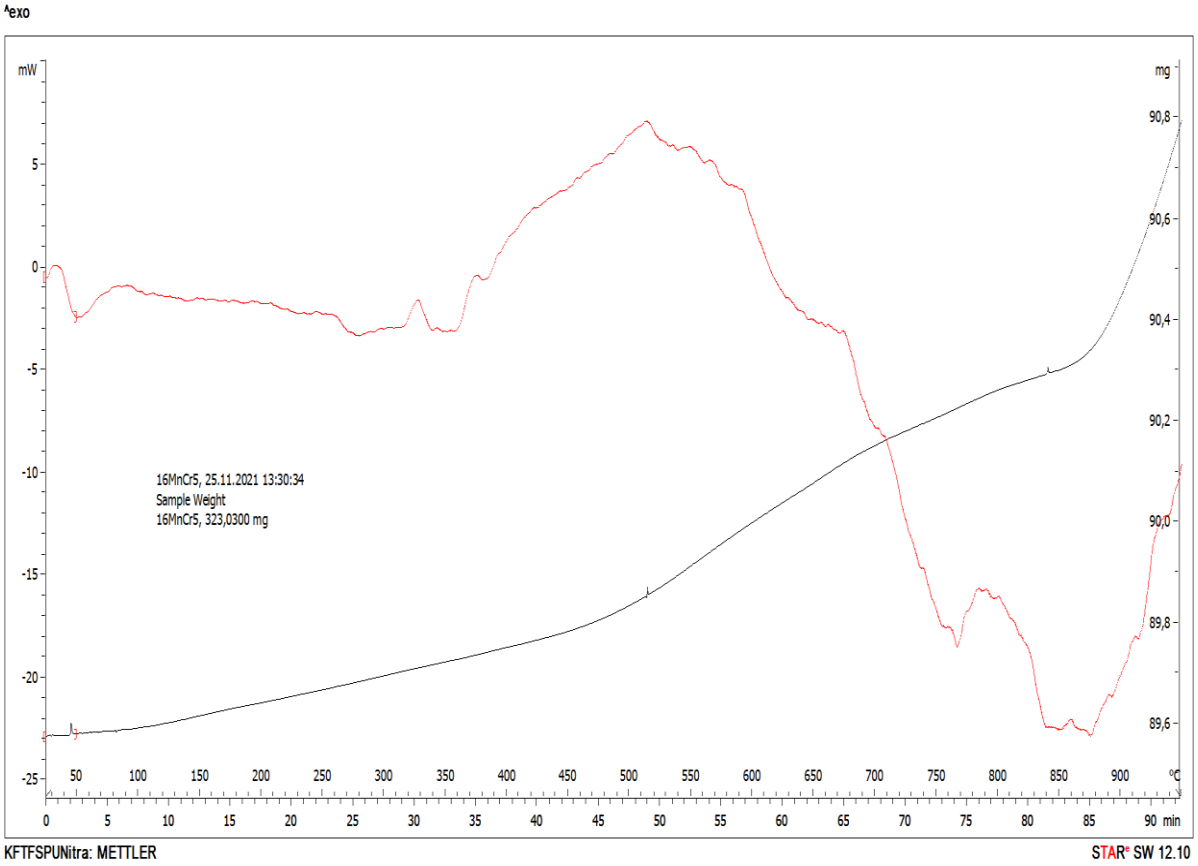
DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

3 Výsledky a diskusia

Na základe výsledkov meraní boli vytvorené grafy, v ktorých sa zmenila hmotnosť daných materiálov v závislosti od teploty.

Merania prebiehali pri zmenách teploty nasledovne:

- zvýšením teploty o 10 °C.min^{-1} pri analýze TGA
- zníženie teploty o -2 °C.min^{-1} pri analýze DSC

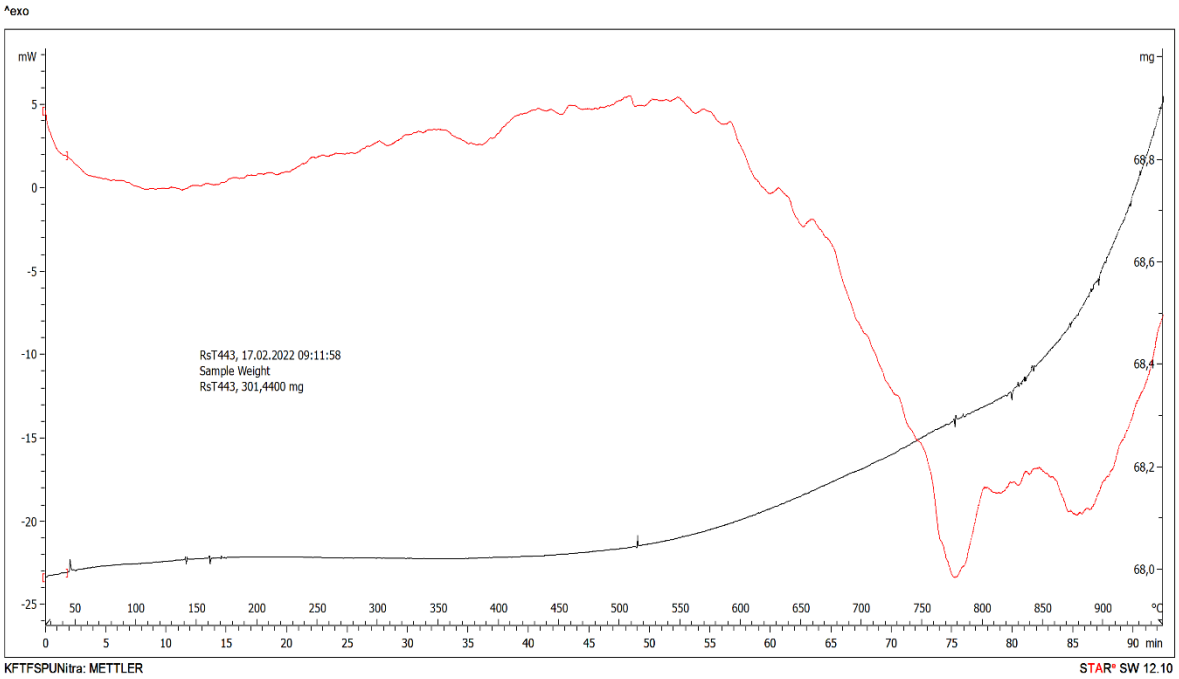


Obr. 4 TGA krivka ocele triedy 16MnCr5 pri rýchlosti ohrevu o 10°C/min^{-1}

Fig. 4 Curve of TGA at steel 16MnCr5 at speed of heat 10°C/min-^{1}

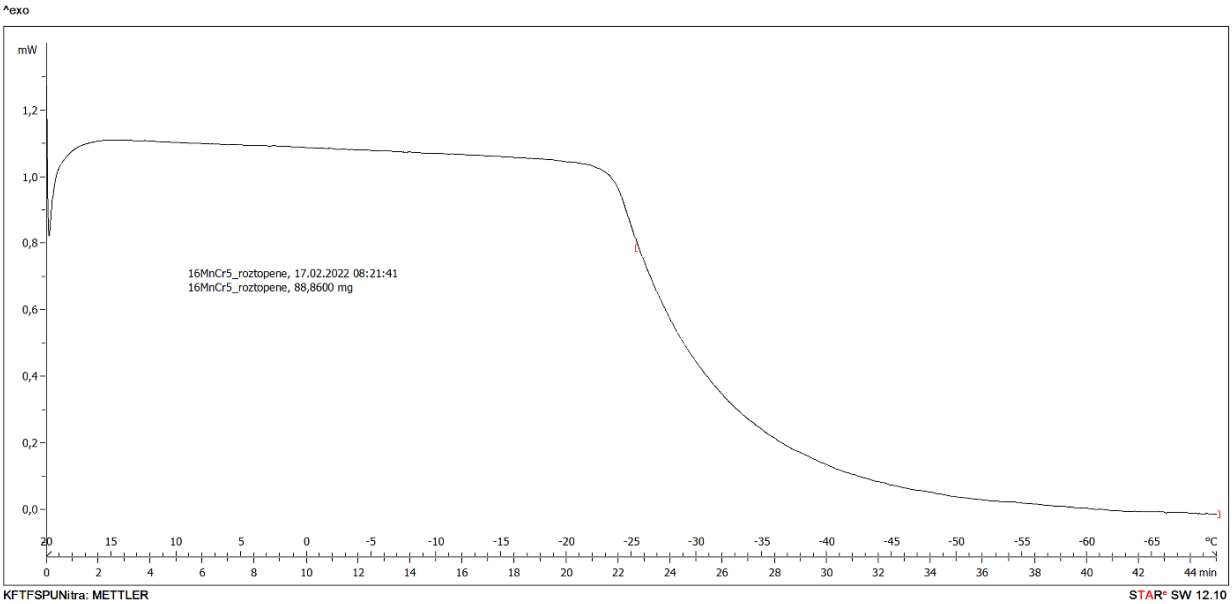
Skúmaná vzorka pri danom meraní mala hmotnosť 32,303 mg. Na obrázku č. 4 môžeme vidieť danú analýzu TGA, ktorá zobrazuje zmenu danej hmotnosti materiálu v závislosti na teplote. Na danej krivke ide o rozklad vzorky, kde os X nám znázorňuje čas v (min) a rastúcu teplotu v (°C), os Y nám znázorňuje zmenu hmotnosti v (mg) v závislosti od zmeny teploty. Po dosiahnutí teploty 500 °C dochádza k taveniu daného materiálu, v dôsledku čoho nastáva zmena jeho vlastností. Tavenie prebehlo pri dosiahnutí teploty okolo 850 °C, pričom hmotnosť materiálu sa zvýšila o viac ako 1 mg, čo mohlo byť spôsobené obsahom nečistôt v danom materiáli.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 5 TGA krivka ocele RSt 443 pri rýchlosti ohrevu 10°C/min^{-1}
Fig. 5 Curve of TGA at steel RSt 443 at speed of heat 10°C/min^{-1}

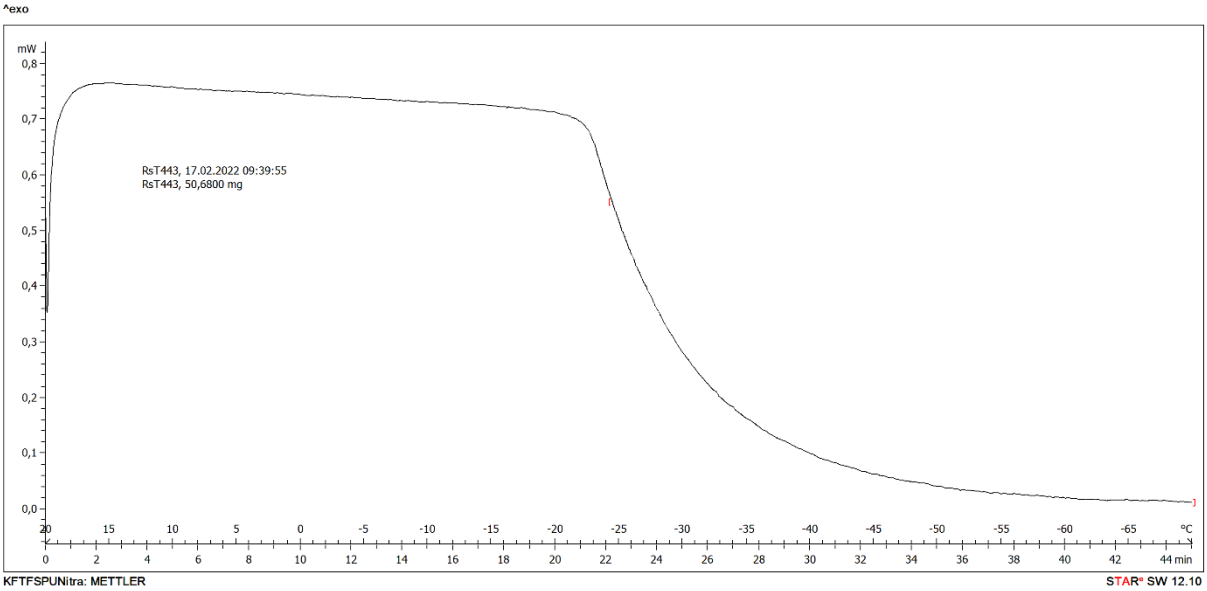
Pri danom meraní mala skúmaná vzorka hmotnosť 8,144 mg. Na obrázku č.5 vidíme analýzu TGA, zobrazujúcu zmenu danej hmotnosti materiálu v závislosti na teplote. Na danej krivke sa jedná o rozklad vzorky, kde os X nám znázorňuje čas v (min) a rastúcu teplotu v (°C), os Y zobrazuje zmenu hmotnosti v (mg) v závislosti od zmeny teploty. Z merania vyplýva, že materiál si zachováva svoje vlastnosti do teploty okolo 550 °C, kedy začal mäknúť. Následne po jej dosiahnutí príde k jeho taveniu. Tavenie prebehlo pri teplote okolo 750 °C a prišlo k nárastu hmotnosti materiálu o viac ako 0,9 mg, čo môže byť spôsobené, že materiál obsahuje určité množstvo nečistôt.



Obr. 6 DSC krivka ocele triedy 16MnCr5 pri rýchlosti ochladenia o -2 °C/min^{-1}
Fig. 6 DSC curve of steel 16MnCr5 at cooling speed -2 °C/min^{-1}

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Skúmaná vzorka vážila 32,303 mg. Na obrázku č. 6 môžeme vidieť danú analýzu DSC, ktorá zobrazuje zmenu štruktúry materiálu. Na danom grafe nám os X znázorňuje čas v (min) a klesajúcu teplotu v (°C), os Y nám znázorňuje tepelný tok vzorkou v mW. Vplyvom danej rýchlosti ochladenia prišlo k zhoršeniu pevnosti a pružnosti daného materiálu, v dôsledku čoho sa stal materiál krehkejším. K zmene štruktúry a vlastnostiam daného materiálu prišlo pri teplote -27 °C.



Obr. 7 DSC krivka ocele RSt pri rýchlosti ochladenia o -2 °C/min^{-1}
Fig. 7 DSC curve of steel RSt at cooling speed -2 °C/min^{-1}

Skúmaná vzorka pri meraní mala hmotnosť 8,144 mg. Na obrázku č.7 vidíme analýzu DSC, ktorá zobrazuje zmenu daných vlastností materiálu.. Na danej krivke ide nám, os X znázorňuje čas v (min) a klesajúcu teplotu v (°C), os Y zobrazuje tepelný tok vzorkou v mW.. Zmena štruktúry meranej vzorky nastala pri teplote -25°C, v dôsledku čoho prišlo k zhoršeniu mechanických vlastností daného materiálu (pevnosti a pružnosti), čím sa materiál stal krehkejším.

4 Záver

Z meraní vyplynulo, že pri analýze TGA prišlo k najväčšiemu nárastu materiálu 16MnCr5 pri teplote 850 °C a to o viac ako 1 mg a u materiálu RSt 443 to bolo pri teplote okolo 750 °C približne o viac ako 0,9 mg. Merania ukázali, že materiál 16MnCr5 nemení svoje vlastnosti do teploty 500 °C a materiál RSt 443 do teploty okolo 550 °C. Po dosiahnutí týchto teplôt prichádza k taveniu, v dôsledky čoho materiál mení svoje vlastnosti. Pri analýze DSC boli skúmané vzorky materiálov ochladzované rýchlosťou ochladenia o -2 °C/min^{-1}. Výsledky meraní ukázali, že k zmene mechanických vlastností materiálu 16MnCr5 prišlo pri teplote -27 °C, zatiaľ čo pri materiáli RSt443 prišlo k zmene pri teplote -25 °C.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

5 Literatúra

BROWN, Michael. 1998. Handbook of Thermal Analysis and Calorimetry. Elsevier B.V.

FIFIELD. F. W. – KEALEY, D. [s.a.]. Principles and Practice of Analytical Chemistry.

Global Eco Trade Joanna Pasicka. Analýza chemického zloženia. [online] [cit.2022-02-02]. Dostupné na: < http://www.globalecotrade.sk/index.php?option=com_content&view=article&id=129&Itemid=590&lang=sk >.

HöHNE, G.W.H. – HEMMINGER, W.F. – FLAMMERSHEIM, H.J..2003. Differencial Scanning Calorimetry. Heidelberg – Springer. ISBN 978-3-642-05593-5.

KALOUS, V. 1975. Metody založené na měření teploty. Praha: SNTL, 24-26 p.

MACKENZIE, R. C.. 1983. Nomenclature in Thermal analysis. In Treatise on Analytical Chemistry. New York: John Wiley & Sons. Vol. 12, pp. 1-16.

PINKAS, Jiří – LOSOS, Zdeněk, [s.a.]. Úloha 8. Termická analýza. Brno: Mendelova univerzita. Ústav chémie.

PROSR, Pavel – POLANSKÝ, Radek – STEINER, František. 2013. Možnosti využití strukturálních analýz při diagnostice epoxidových laminátů. In: DPS. č. 3 [online] [cit. 2021-05-15]. Dostupné na: <https://www.dps-az.cz/mereni/id:5219/moznosti-vyuziti-strukturalnich-analyz-pri-diagnostice-epoxidovych-laminatu>

WENDLANDT, Wesley William. 1986. Thermal Analysis: Fundamentals and Applications Polymer Science. New York: Wiley. 814 s., ISBN 04-718-8477-4.

Súhrn

Cieľom práce bolo vyšetrenie kovových zliatin pri tepelnom zaťažení metódami TGA a DSC. Merania prostredníctvom TGA analýzy sa realizovali pri zmenách teploty a to zvýšením teploty o 10 °C.min^{-1} a pri analýze DSC znížením teploty o -2 °C.min^{-1}. Pri TGA analýze merania prebiehali v inertnej atmosfére použitím nosného dusíka, zatiaľ čo pri analýze DSC bol použitý len dusík. Z meraní vyplynulo, že pri analýze TGA prišlo k nárastu hmotnosti materiálu 16MnCr5 pri teplote 850 °C a to o viac ako 1 mg a u materiálu RSt 443 to bolo pri teplote okolo 750 °C približne o viac ako 0,9 mg, pričom nárast hmotnosti materiálu mohol súvisieť s obsahom nečistôt v materiáli. Výsledky meraní prostredníctvom DSC ukázali, že k zmene mechanických vlastností materiálu 16MnCr5 prišlo pri teplote -27°C, zatiaľ čo pri materiáli RSt443 prišlo k zmene pri teplote -25 °C.

Kľúčové slová: termická analýza, TGA, DSC

APLIKÁCIA V PROGRAME #C SHARP NA SPRACOVANIE NAMERANÝCH ELEKTRICKÝCH VELIČÍN
APPLICATION IN THE PROGRAMME #C SHARP FOR THE PROCESSING OF MEASURED ELECTRICAL PROPERTIES

MAREK HERDA – PETER HLAVÁČ

Abstract

Presented article is focused on creating an application for processing electrical properties using the programming language #C Sharp. The aim of this work is to compare the individual electrical properties of different fluids between the measured values of the conductivity meter and the values obtained from the measurements of various authors in order to quickly read the differences, compliances, or determine the quality of the fluids. In the theoretical part, the work shows the used electrical properties, compared fluids for processing and the programming language #C Sharp. The practical part was focused on creating an application in the development environment Microsoft Visual Studio 2019, where we were able to create a dependence of conductivity or resistivity on temperature in order to compare the measured liquids with fluids from different authors. These comparisons allow us to obtain additional information.

Key words: electrical properties, #C, conductivity, resistivity, influence of temperature, comparison

1 Úvod

V súčasnosti je meranie konduktivity a rezistivity veľmi dôležité pre zisťovanie viacerých faktorov, či už kvality kvapaliny alebo jej zloženia. Aj malé množstvo rozpustených látok a chemikálií môže zvýšiť elektrickú vodivosť kvapaliny. V niektorých prípadoch je možné, že znečistenie kvapaliny povedie k vyššej hodnote elektrickej vodivosti, preto aj meranie vzoriek pomocou konduktivity a rezistivity nám dokáže povedať dodatočné potrebné informácie predtým ako dané kvapaliny spracujeme (Senzorex, 2019).

Ako prvé čím sme sa zaoberali sú použité elektrické vlastnosti konduktivita a rezistivita, informácie o porovnávaných kvapalinách pripravených na spracovanie z nameranými hodnotami a nakoniec sme si rozšírili poznatky o vybratom programovacom jazyku #C sharp. Cieľom práce bolo porovnávanie rôznych vzoriek konduktivít a rezistivít za účelom rýchleho odhalenia kvality alebo poruchy kvapalín.

Elektrické vlastnosti

Elektrické vlastnosti sa často využívajú vo vodárenstve, zdravotníctve, potravinárskom priemysle, chemickom priemysle, drevárskom priemysle a v chemickej analýze. Meranie vodivosti kvapalín je využívané v mnohých odvetviach. Konduktometria je jednou z najpoužívanejších a najspoľahlivejších metód (Vyskočil, 2012).

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Predstavujú dôležitú fyzikálno-chemickú vlastnosť potravinárskych výrobkov a používa sa na určenie zmien výživných látok, ako sú vitamíny, minerály, mastné kyseliny a bielkoviny (Colombié et al., 2007).

Konduktivita

Konduktivita je elektrická vodivosť vodiča jednotkovej dĺžky a jednotkovej dĺžky prierezu. Závisí od teploty a odporu. Konduktivita sa určuje meraním rýchlosti elektrického prúdu medzi dvoma kovovými platňami. Tieto kovové platne sa nazývajú elektródy a sú od seba vzdialené určitú vzdialenosť. Látka, ktorá je dobrým vodičom má vysokú hodnotu konduktivity, a naopak látka zle vodiaca má malú hodnotu konduktivity. Prúd sa meria článkom, ktorý je tvorený dvoma elektródami a vložený do vzorky. Konduktivita sa mení teplotou (Colombié et al., 2007).

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \tag{1}$$

Kde: σ – konduktivita, $S \cdot m^{-1}$;
ρ – rezistivita, $\Omega \cdot m$
Where: σ – conductivity, $S \cdot m^{-1}$;
ρ – resistivity, $\Omega \cdot m$;

Rezistivita

Rezistivita je to odpor vodiča jednotkovej dĺžky a jednotkového plochy prierezu. Je to materiálová konštanta, ktorá charakterizuje elektrickú vodivosť látky, označuje sa ρ. Je definovaná ako schopnosť materiálov odolávať prechodu elektrického prúdu. Látka, cez ktorú prechádza prúd ľahko je rezistivita malá, naopak pri latke, cez ktorú prechádza prúd ťažko je rezistivita veľká. Rezistivita sa mení pri rôznych teplotách a závisí od použitého elektrického poľa. Konduktivita a rezistivita sú navzájom opačné. Pri nízkej rezistivite je konduktivita vyššia a naopak pri vysokej rezistivite je konduktivita nižšia (Webster – Eren, 2014).

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \tag{2}$$

Kde: σ – konduktivita, $S \cdot m^{-1}$;
ρ – rezistivita, $\Omega \cdot m$;
Where: σ – conductivity, $S \cdot m^{-1}$;
ρ – resistivity, $\Omega \cdot m$;

Koeficient regresných rovníc pre konduktivitu

Konduktivita kvapalín exponenciálne narastá so zvyšujúcou sa teplotou. Koeficienty regresných rovníc sú čísla, ktorými sa násobia premenné v rovnici získané pomocou exponenciálnej trendovej spojnice. Poukazujú nato, ako dobre sa body zhodujú s čiarou alebo krivkou. Rovnica spoľahlivosti R^2, by mala dosahovať čo najvyššiu hodnotu pre väčšiu presnosť (Siegel, 2016).

$$\sigma = Ae^{B\frac{t}{t_0}} \tag{3}$$

Kde: A – koeficient regresnej rovnice, $\mu S \cdot cm^{-1}$;
B – koeficient regresnej rovnice, 1;
σ – konduktivita, $\mu S \cdot cm^{-1}$;
t – teplota, °C;
t_0 – 1 °C.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Where: A – regression equation coefficient, $\mu S \cdot cm^{-1}$;
B – regression equation coefficient, 1;
σ – conductivity, $\mu S \cdot cm^{-1}$
t – temperature, °C
t_0 – 1 °C.

Koeficient regresných rovníc pre rezistivitu

Pri všetkých kvapalinách rezistivita exponenciálne klesá s rastúcou teplotou. Koeficient je možné získať nameranými hodnotami a vytvorením grafu pomocou exponenciálnej trendovej spojnice. Predstavujú bodové odhady, ktoré sa vynásobia hodnotami premenných na predpovedanie závislej premennej. Je dôležité, aby rovnica spoľahlivosti R^2, ktorá je v rozmedzí od 0 – 1 dosahovala čo najvyššiu hodnotu, čo nám umožní presnejší graf (Siegel, 2016).

$$\rho = Ce^{-D\frac{t}{t_0}} \quad (4)$$

Kde: C – koeficient regresnej rovnice, Ω.cm;
D – koeficient regresnej rovnice, bezrozmerné číslo, 1;
ρ – rezistivita, Ω.cm;
t – teplota, °C;
t_0 – 1 °C.

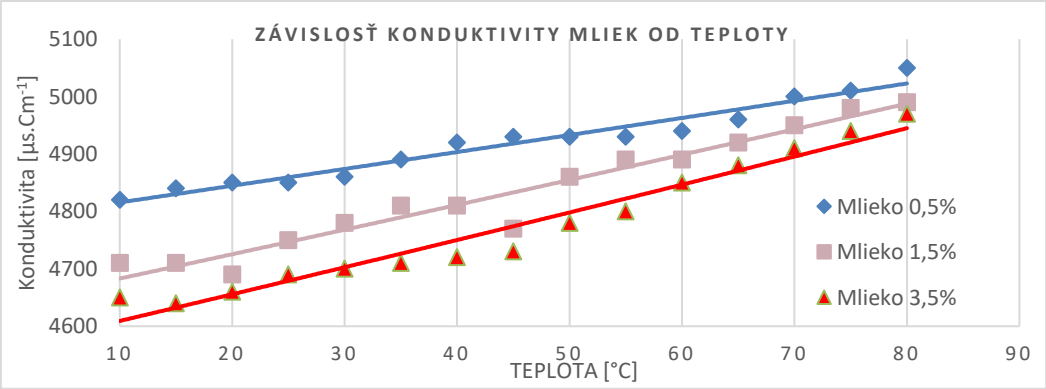
Where: C – regression equation coefficient, Ω.cm;
D – regression equation coefficient, 1;
ρ – resistivity, Ω.cm;
t – temperature, °C
t_0 – 1 °C.

Charakteristika porovnávaných kvapalín na spracovanie

V tejto podkapitole sa zaoberáme kvapalinami odmeranými inými autormi, ktoré je možné porovnať s nameranými hodnotami. Pre ukážku sme uviedli vzorku mlieka.

Mlieko

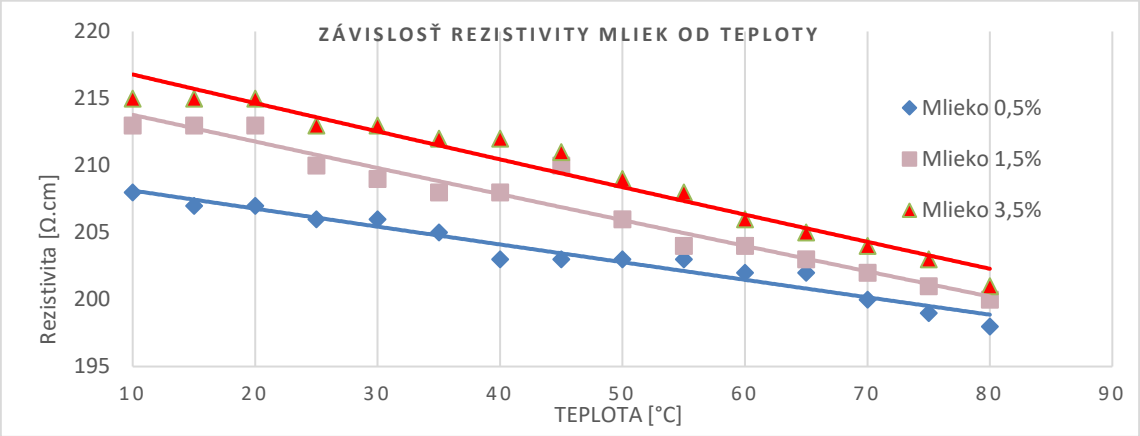
Mlieko je biela koloidná suspenzia sekretovaná mliečnou žľazou cicavcov. Mlieko je schopné viesť elektrický prúd pomocou zlúčenín soli.



Obr. 1 Závislosť konduktivity mliek od teploty (Puskás, 2018)
Fig. 1 Temperature dependence of milk conductivity (Puskás, 2018)

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Vplyv elektrickej vodivosti na mlieko je zapríčinené zastúpením iónov soli, hlavne sodíka, draslíka. Laktóza v mlieku má veľmi malý vplyv pri meraní elektrickej vodivosti mlieka (Mabrook – Pretty, 2003).
V grafe závislosti konduktivity mliek od teploty (Obr. 1), Puskás (2018) zistil, že mlieko z menším percentuálnym obsahom tuku má väčšiu konduktivitu a naopak mlieko z väčším percentuálnym tukom má hodnotu konduktivity nižšiu. Konduktivita mliek sa pri narastajúcej teplote zväčšuje a rozdiely konduktivít sa zmenšujú (Puskás, 2018).



Obr. 2 Závislosť rezistivity mliek od teploty (Puskas, 2018)
Fig. 2 Temperature dependence of milk resisitivty (Puskás, 2018)

Rovnako ako pri konduktivite, sa v grafe závislosti rezistivity mliek od teploty (Obr. 2) pohybujú hodnoty približne v rovnakom exponenciálnom poklese. Puskás (2018) zistil, že mlieko s väčším percentálnym obsahom tuku má väčšiu hodnotu rezistivity a naopak pri menšom percentuálnom obsahu tuku má mlieko rezistivitu menšiu (Puskás, 2018).

Porovnávané kvapaliny aj od iných autorov

Aj iný autori sa zaoberali meraním konduktivity a resistivity od teploty a to pre víno (Herda, 2020), voda (Roberge, 2008),(Gajdoš, 2019), biopalivo (Doboš, 2017), olej (Lindner, 2022), minerálne vody (Provazníková, 2013), pivo (Gajdoš, 2019), energetické nápoje (Feješ, 2021), etanol (Lopušan, 2021), destilát (Lopušan, 2021).

2 Materiál a metódy

V tejto časti práce charakterizujeme použité zariadenia, aplikáciu #C sharp a pracovné postupy.

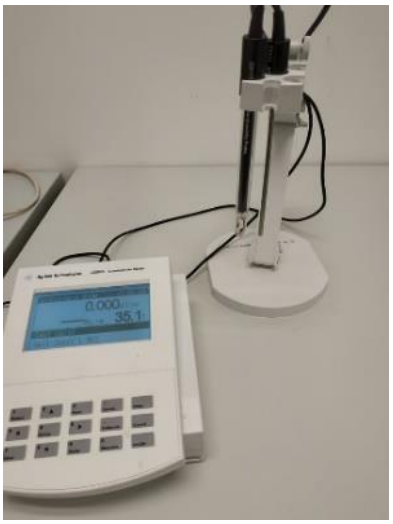
Charakteristika použitých prístrojov

Meranie konduktivity a rezistivity kvapalín je vykonávané pomocou konduktometra Agilent Technologies 3200C a držiaka elektród Agilent Technologies 3200 EA. Pomocou aplikácie #C Sharp .NET Framework vytvárame aplikáciu pre spracovanie nameraných elektrických veličín.

Konduktometer Agilent 3200C

Konduktometer Agilent 3200C je stolný analytický prístroj (Obr. 3), ktorý je určený na vysoko presné meranie konduktivity a rezistivity. Môže súčasne merať teplotu, konduktivitu a rezistivitu (Agilent, 2013).

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 3 Konduktometer Agilent 3200C
Fig. 3 Agilent 3200C conductivity meter

Agilent 3200EA slúži ako držiak elektród pre Agilent 3200C. Podporuje až 5 elektród počas meracích úloh. Príslušenstvo sa skladá zo základne a pružného ramena (Agilent, 2013).

Tab. 1 Technické údaje konduktometra Agilent 3200C (Agilent, 2012)
Tab. 1 Technical data of Agilent 3200C conductivity meter (Agilent, 2012)

Rozmery	(dĺžka x šírka x výška, mm): 190 x 190 x 105
Hmotnosť	1 kg
Rozsah merania	
Konduktivita	0 $\mu S \cdot cm^{-1}$ – 2000 $mS \cdot cm^{-1}$
Rezistivita	5,00 Ω·cm – 100,0 MΩ·cm
Teplota	(-5,0 – 110,0) °C
Presnosť	
Konduktivita	± 0,5 %
Rezistivita	± 0,5 %
Teplota	0,1 °C
Pracovné podmienky	
Teplota prostredia	(0 – 40) °C
Napájanie	(100 – 240) V AC, 1 A
Výstup	9 V DC, 1 A

Programovací jazyk #C sharp

Programovací jazyk #C sharp NET Framework je univerzálny objektovo orientovaný programovací jazyk, ktorý je určený na vytváranie windows aplikácií. Bol navrhnutý tímom ľudí s vedúcim projektu Andersom Hejlsbergom v roku 2000, ktorý pracuje pre Microsoft. Je jednoduchý, moderný a typovo bezpečný programovací jazyk, ktorý kombinuje vysokú produktivitu jazykov a to C a C++ (Hejlsberg, 2004).

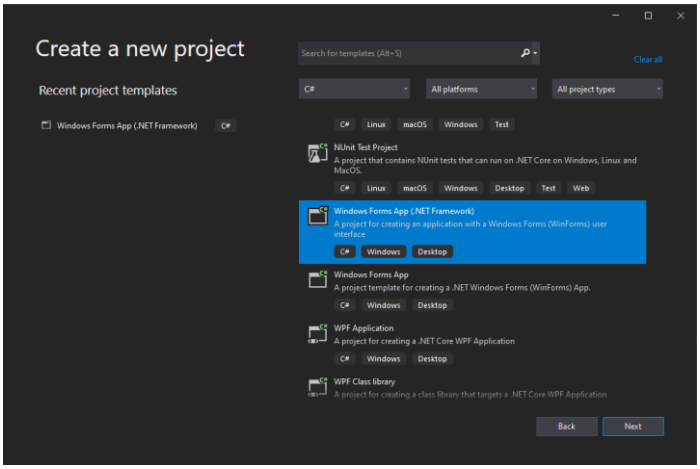
DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Charakteristika pracovných postupov

Aplikáciu vytvárame pomocou programu Visual Studio 2019, kde v nasledujúcich podkapitolách uvádzame ako budeme postupovali pri vytváraní a vylepšovaní aplikácie na spracovanie elektrických veličín konduktometra. V celej časti programu sme použijeme iba jeden programovací jazyk a to #C sharp .NET Framework.

Vytvorenie projektu

Ako prvé si vytvoríme nový projekt vo Visual Studio a zvolíme použitie komponentu .NET Framework (Obr. 4), ktorý nám umožní vytvorenie aplikácie s možnosťou pracovaním s Windows Forms.

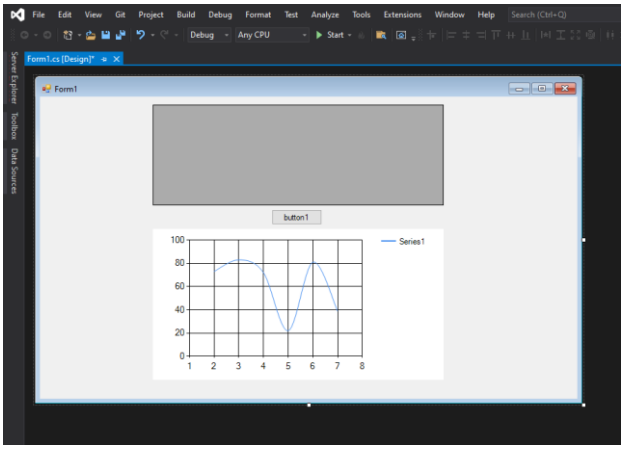


Obr. 4 Vytvorenie projektu vo Visual Studio 2019
Fig. 4 Project creation in Visual Studio 2019

V ďalšej časti len zadáme názov programu a klikneme vytvoriť projekt. Ak je daný projekt vytvorený, môžme sa začať pohybovať v pracovnom prostredí Visual Studio.

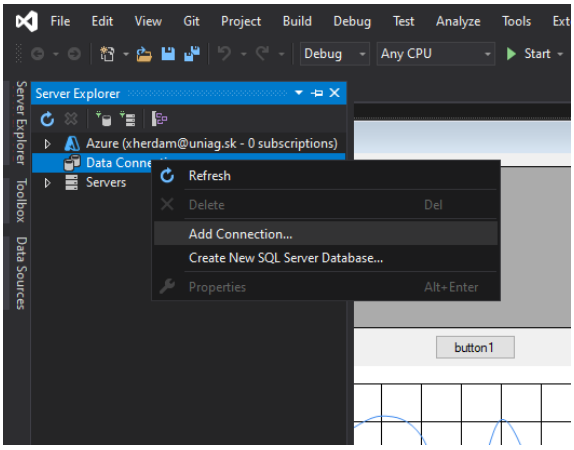
Pridanie prvkov z toolboxu do formulára

Pridáme si tri prvky z toolboxu do windows formulára (Obr. 5), a to tabuľka údajov (datagridview), graf (chart) a tlačidlo (button). Tabuľka údajov nám umožňuje vpisovanie hodnôt do jednotlivých polí mriežky, graf nám umožní zobraziť jednotlivé hodnoty krivkami na Y-novej a X-ovej osi, ktoré boli vpísané do tabuľky údajov a to všetko vykonáme pomocou tlačidla.



Obr. 5 Windows formulár Form1
Fig. 5 Windows form Form1

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



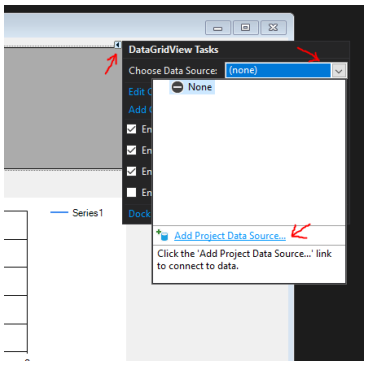
Obr. 6 Vytvorenie databázy
Fig. 6 Database creation

Vytvorenie databázy a tabuľky

Pre vloženie tabuľky do tabuľky údajov vo formulári si najprv vytvoríme databázu v položke „Server Explorer/Data Connections/Add Connection“, ako môžeme vidieť na (Obr. 6). Po vytvorení databázy pridáme novú tabuľku (Table), ktorú budeme môcť vložiť do tabuľky údajov (datagridview).

Prepojenie datagridview s databázou

Našou ďalšou úlohou je prepojenie tabuľky údajov(datagridview) s databázou, čo dosiahneme pomocou karty úloh (Datagridview Tasks), kde si zvolíme zdroj údajov (Obr. 7).



Obr. 7 Pridanie údajov zdroja projektu
Fig. 7 Add project data source

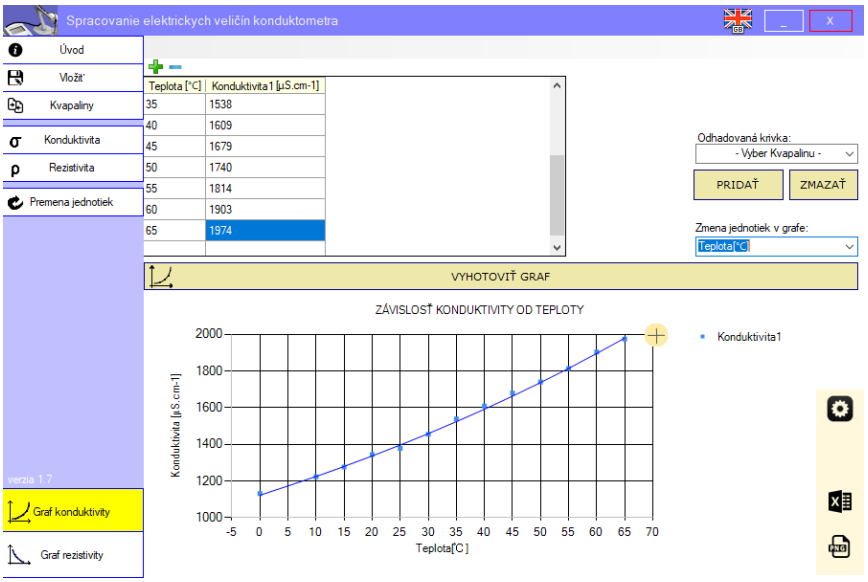
3 Výsledky a diskusia

Aplikáciu sme vytvorili pomocou programu Visual Studio 2019, kde v nasledujúcich podkapitolách uvádzame ako používame aplikáciu na spracovanie elektrických veličín konduktometra. V celej časti programu sme použili iba jeden programovací jazyk a to #C sharp .NET Framework.

Výsledky práce

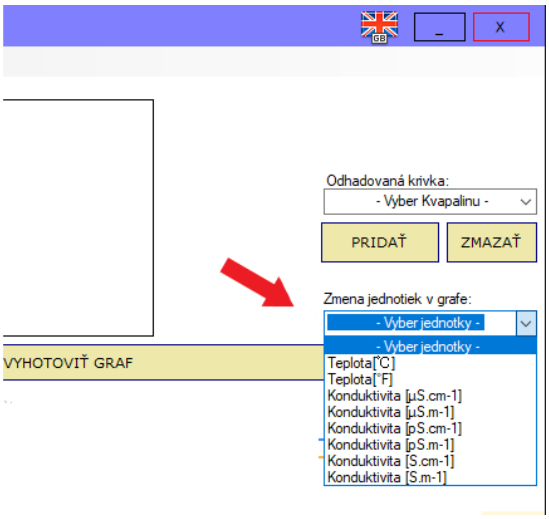
Aplikácia sa zameriava hlavne na tvorbu grafov a porovnanie nameraných hodnôt z hodnotami už odmeranými rôznymi autormi. Aplikácia má taktiež možnosť vkladať údaje do tabuľky pre neskoršie použitie. V karte “konduktivita” a “rezistivita” je možné načerpať všetky údaje o týchto elektrických vlastnostiach.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 8 Aplikácia v karte graf konduktivity
Fig. 8 Application in conductivity chart tab

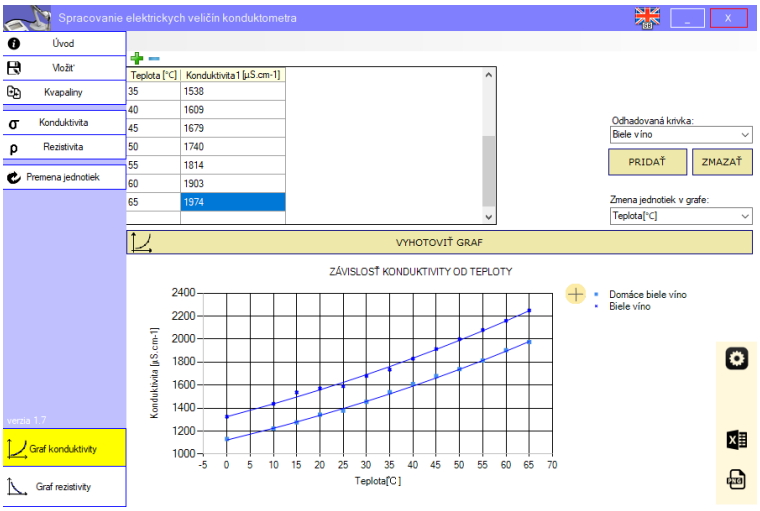
V prípade, ak by boli hodnoty veľmi malé alebo veľké, karta "premena jednotiek" nám umožňuje vypočítať hodnotu konduktivity alebo rezistivity v inej potrebnej, adekvátnej jednotke. Na Obr. 8 môžeme vidieť windows aplikáciu otvorenú v karte "graf konduktivity". Ako príklad pre názorné vysvetlenie použitia programu sme namerali hodnoty pre domáce biele víno, zapísali ich do tabuľky údajov a zatlačili tlačidlo "vyhotoviť graf" (Obr. 8). Vyhotovilo nám krivku zadaných hodnôt a následne ich môžeme porovnať z inými kvapalinami.



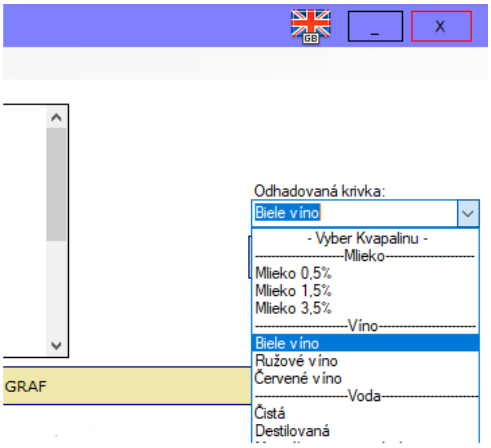
Obr. 9 Zmena jednotiek
Fig. 9 Change units

Karta "graf konduktivity" je zameraná na zapisovanie hodnôt do tabuľky údajov a vyhotovenia jej príslušného grafu. Ako prvé si musíme zvoliť použité jednotky v grafe (Obr. 9), pretože niektoré kvapaliny majú veľmi malú alebo veľmi veľkú konduktivitu, čo by nám neumožnilo vyhotoviť graf adekvátne. Taktiež je možné meniť názov grafu a osí.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 10 Porovnanie nameraných hodnôt
Fig. 10 Comparison of measured values



Obr. 11 Pridanie odhadovanej krivky
Fig. 11 Adding an estimated curve

Na Obr. 11 sme si zvolili možnosť "biele víno" a pridali sme si ho do grafu. Krivky sú farebne odlišné a popísané v legende (Obr. 10). Všetky vlastnosti o použitých vzorkách pre porovnanie sú uvedené v ďalšom formulári aplikácie.

4 Záver

V časti práce úvod, materiály a metódy sme sa zaoberali porovnávanými kvapalinami použitých v práci, použitým prístrojom, aplikáciou #C Sharp a vytvorením aplikácie.

V časti práce výsledky a diskusia sme sa zaoberali vysvetlením použitia aplikácie v programe #C Sharp .NET Framework na porovnanie nameraných hodnôt s hodnotami od iných autorov. Aplikácia umožňuje zistenie rozmedzia medzi krivkami kvapalín, ktoré môžu zohrávať veľkú rolu v mnohých prípadoch.

Záverom konštatujeme, že rýchle zistenie prípadných zmien v konduktivite a rezistivite je veľmi dôležité z hľadiska kvalitného spracovania a preto niektoré firmy monitorujú svoje produkty konduktivitou, aby zabránili k následnému vytvoreniu znehodnotených alebo nekvalitných produktov. Vo všeobecnosti meranie konduktivity a

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

rezistivity v kvapalinách a ich porovnanie už s overenými hodnotami dokáže odhaliť nečistoty, prípadne zmeny alebo nadmieru vyskytujúcich sa látok a chemikálií.

5 Literatúra

Agilent, *Agilent 3200C conductivity meter*, 2013[online],[cit.2022-03-03]. Dostupné na <www.Agilent.com>

COLOMBIÉ, S. – LATRILLE, E. – SABLAYROLLES, J.-M. 2007. Interest of on-line monitoring electrical conductivity during wine fermentation. European Food Research and Technology, vol. 226, no. 6, pp. 1553–1557. doi:10.1007/s00217-007-0649-1 Tepl

DOBOŠ, P. 2017. Teplotná závislosť konduktivity rôznych typov biopalív. Diplomová práca. 50 s.

FEJEŠ, P. 2021. Využitie meracieho reťazca pre stanovenie kapacity, odporu a impedancie biologických materiálov. Diplomová práca. 50s.

GAJDOŠ, P. 2017. Závislosť elektrickej vodivosti kvapalných materiálov od teploty. Bakalárska práca. 30s.

HERDA, M. 2021. Vplyv teploty na niektoré elektrické vlastnosti vybratých druhov vín. Bakalárska práca. 41 s.

HEJLSBERG, A, 2004. The #C programming language. Boston: Addison-Wesley, 644 p. ISBN 0321154916

LINDNER, M. 2022. Oil Condition Monitoring Using Electrical Conductivity, 2022 [online],[cit.2022-03-26]. Dostupné na: <www.machinerylubrication.com>

LOPUŠAN, M. 2021. Meranie niektorých elektrických vlastností vybraných kvapalných materiálov. Bakalárska práca. 35 s.

MABROOK, M.F. – PRETTY, M.C. 2003. Effect of composition on the electrical conductance of milk. In Journal of Food Engineering, vol. 60, pp. 321-325

MICROSOFT, 2022 [online], [cit.2022-3-5]. Dostupné na: <Microsoft.com>

PROVAZNÍKOVÁ, Z. 2011. Využitie elektrických vlastností pri posudzovaní kvalitatívnych ukazovateľov kvapalných potravín. Diplomová práca. 40 s.

PUSKÁS, T. 2018. Analýza vplyvu teploty na niektoré elektrické vlastnosti vybratých druhov mliek. Bakalárska práca. 55 s.

ROBERGE, P. 2008. Corrosion Engineering: Principles and Practice, McGraw Hill Professional, 2008, 754 p. ISBN 9780071482431

SENSOREX, Why electrical Conductivity of Water is Important for Industrial Applications. 2019. [online],[cit.2022-03-05] Dostupné na <www.sensorex.com>.

SIEGEL, A.F. 2016. Practical business statistics. Elsevier, 2016. Chapter 12 Multiple regression: Interpreting the regression coeficcients. ISBN 9780128111758

VYSKOČIL, L. 2012. Meranie konduktivity, AREKO – Metrológia holding Ltd. [online], Dostupné na: <https://www.areko.sk/media/object/meranie_konduktivity.pdf>

WEBSTER, G. J. – EREN, H. 2014. Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook. Taylor & Francis Group, 2014. 1921 p. ISBN 978-1-4398-4891-3.

Súhrn

Článok je zameraný na vytvorenie aplikácie na spracovanie elektrických veličín využitím programovacieho jazyka #C sharp. Cieľom práce je porovnávanie jednotlivých elektrických vlastností rôznych kvapalín medzi nameranými hodnotami konduktometra a hodnotami získaných už z meraní rôznych autorov za účelom vyčítania rýchleho rozdielu, zhody, poprípade určenia kvality kvapaliny. V teoretickej časti práca zobrazuje použité elektrické vlastnosti, porovnávané kvapaliny na spracovanie a informácie o programovacom jazyku #C sharp. Praktická časť bola zameraná na vytváranie aplikácie vo vývojovom prostredí Microsoft Visual Studio 2019, ktorá je schopná vytvoriť graf konduktivity alebo rezistivity od teploty za účelom možnosti porovnania meranej kvapaliny s kvapalinami od rôznych autorov. Tieto porovnania nám umožňujú nadobudnúť dodatočné informácie.

Kľúčové slová: elektrické vlastnosti, #C, konduktivita, rezisitivta, vplyv teploty, porovnanie

NÁVRH A REALIZÁCIA ZARIADENIA NA MERANIE CHARAKTERISTÍK SERVOMOTORA
DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A DEVICE FOR MEASURING THE SERVOMOTOR CHARACTERISTICS

JOZEF HORŇÁK – VLADIMÍR CVIKLOVIČ

Abstract

The main task of this work is to design and construct a device that would measure the main parameters of servomotors, such as maximum torque and speed. The designed device is a simple reaction dynamometer that brakes the tested engine and at the same time senses the torque applied to the braking mechanism by a strain gauge force sensor. The test device is controlled by microcontroller STM32F401RE, which also processes the signals from the sensors and sends it via a USB bus to a computer. The whole device can be monitored and controlled using a developed application in C#. The result of the measurement is the torque characteristic of the servomotor measured by this device.

Key words: servomotor, torque, motor speed, dynamometer

1 Úvod

Elektrický servopohon je regulačný pohon, pozostávajúci z elektromotora, výkonového polovodičového meniča na napájanie a riadenie motora a z regulátora otáčok, resp. polohy. Súčasťou motora bývajú obvykle snímače rýchlosti a polohy. Servopohon pracuje v uzavretej spätnej väzbe. (Skalický, 2001)

V spätnej väzbe sú tri rôzne slučky:

- polohová slučka,
- rýchlostná slučka,
- prúdová slučka.

Princíp každej jednej slučky je založený na tom, aby bol rozdiel medzi povelovým signálom a spätnoväzobným signálom nulový. (Mitsubishi Electric Europe B.V.)

Meranie momentu súvisí s prenosom mechanickej energie v rámci mechanických systémov a slúži na určovanie okamžitého výkonu strojov a meranie ich účinnosti. Vzhľadom na rotačný charakter účinku momentu sily na konštrukčné prvky v mechanizmoch prevláda namáhanie krútiacim momentom. Pri snímaní krútiaceho momentu sa používajú väčšinou pružné prvky, ktorými sa sledovaný krútiaci moment mení na deformáciu alebo výchylku. (Šturcel, 2002)

Jedna z metód merania krútiaceho momentu je pomocou dynamometra. Dynamometer je zariadenie používané na meranie krútiaceho momentu, sily alebo výkonu dostupného z rotujúceho hriadeľa. Otáčky hriadeľa sa merajú tachometrom, zatiaľ čo krútiaci moment hriadeľa sa meria snímačom sily alebo inou metódou. Existujú dva typy dynamometrov: prevodový dynamometer, ktorý prenáša silu pri meraní pružnej deformácii krútením výstupného hriadeľa a absorbčný dynamometer, ktorý absorbuje výkon a odvádza ho vo forme tepla tým, že obmedzuje výstupný hriadeľ mechanicky trecou brzdou, hydraulicky

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

vodnou brzdou alebo elektricky elektromagnetickou silou. Pretože obmedzovací prvok má tendenciu otáčať sa s výstupným hriadeľom, sila hriadeľa môže byť určená meraním sily potrebnej na zastavenie otáčania obmedzujúceho prvku. Krútiaci moment sa potom vypočíta vynásobením sily a dĺžky ramena páky alebo vzdialenosti, cez ktorú sila pôsobí.. (Bewoor a kol., 2009)

Cieľom práce je skonštruovať zariadenie ktoré by testovalo motor a meralo hlavné parametre motorov ako maximálny krútiaci moment a otáčky. Po návrhu a skonštruovaní zariadenia daný servomotor otestujeme a tieto parametre odmeriame. Signál zo snímačov a celé testovacie zariadenie bude riadiť mikrokontrolér a spracované hodnoty bude posielať do PC, kde pomocou naprogramovanej aplikácie vieme dáta ďalej spracovať. Výsledkom bude momentová charakteristika daného servomotora.

2 Materiál a metódy

Na zostrojenie zariadenia na meranie charakteristík servomotora bolo najprv nutné preštudovanie problematiky servomotorov a rôznych spôsobov snímania momentu a otáčok. Potom sme mohli pristúpiť k návrhu a skonštruovaniu zariadenia, ktoré by testovalo daný servomotor a snímalo by maximálny krútiaci moment vyvinutý pri daných otáčkach a aj spomínané otáčky. Pri konštruovaní bolo potrebné prihliadať hlavne na pohyblivé konštrukčné prvky ako ložiskové domce, pružná spojka spájajúca testovaný motor a testovacie zariadenie, brzdný kotúč, brzda a iné. Tieto prvky museli zabezpečovať plynulý chod, s minimálnym trecím momentom medzi prvkami, či minimálnym vyosením hriadeľa motora a hriadeľa meracieho zariadenia, čo by ovplyvňovalo výsledné meranie. Následne sme zapojili a oživili merací obvod a riadiaci obvod servomotora. Každý tento obvod tvoria mikrokontroléry firmy STMicroelectronics, ktoré sme naprogramovali v prostredí STM32CubeIDE.



Obr. 1 Krokový servomotor 57HSE2.2N
Fig. 1 Stepper servomotor 57HSE2.2N

Kalibráciu snímača sily, ktorým meriame vyvíjaný krútiaci moment sme vykonali zavesením známej záťaže na rameno o určitej dĺžky, ktorú vymedzovala stredová os otáčania brzdného kotúča a miesto zavesenia záťaže. Výstupnú digitálnu hodnotu zo snímača sily sme následne priradili ku konkrétnemu momentu, ktorý sme dostali vynásobením dĺžky ramena, hmotnosti zaťaženia snímača pri kalibrácii a gravitačného zrýchlenia. Po skompletizovaní zariadenia sme naprogramovali aplikáciu programovacím jazykom C#, ktorou je možné vysielať riadiace signály pre elektroniku a zároveň spracovávať údaje zo snímačov.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Posledným krokom bolo testovanie servomotora a odmeranie momentovej charakteristiky servomotora. Meranie pomocou vyvinutej aplikácii sa vykonáva nastavovaním konštantných otáčok a zvyšovaním zaťažovacieho momentu.

Zariadenie sme skonštruovali z nasledovného hardvéru a komponentov:

- testovaný servomotor 57HSE2.2N (obr. 1) a servo zosilňovač HBS57 (obr. 2)

Motor ktorý budeme testovať je 57HSE2.2N. Ide o krokový motor s enkodérom ktorý zabezpečuje spätnú väzbu pre servo zosilňovač HBS57.



Obr. 2 Servo zosilňovač HBS57
Fig. 2 Servo driver HBS57

- mikrokontrolér STM32F401RE,
- mikrokontrolér STM32F103C8T6,
- ST-LINK/V2,
- tenzometrický snímač sily,
- digitálny servomotor TD8120MG,
- A/D prevodník + zosiňovač HX711,
- indukčný snímač J12A3-4-Z/BX,
- jednosmerný servomotor TD8120MG,
- priemyselný spínaný zdroj 24V DC, 10A, 240W,
- priemyselný spínaný zdroj 5V DC, 5A, 25W,
- napájací adaptér 4,9V DC, 450mA,
- istič SIEMENS 5SY62,
- ložiskové domce KP08 s dierou o priemere 8mm,
- hliníkový profil 20x20mm s V drážkou
- hliníková hriadeľová pružná spojka s plastovým absorbérom s vnútorným priemerom 8mm,
- plná hladká tyč z ocele s priemerom 8mm,
- brzdový kotúč s priemerom 160mm a hrúbkou 5mm,
- mechanický brzdový strmeň Tektro Novela,
- rôzne konštrukčné spojky, skrutky, matice a iné,

Používaný softvér v práci:

- STM32CubeIDE,
- STM32 ST-LINK utility,

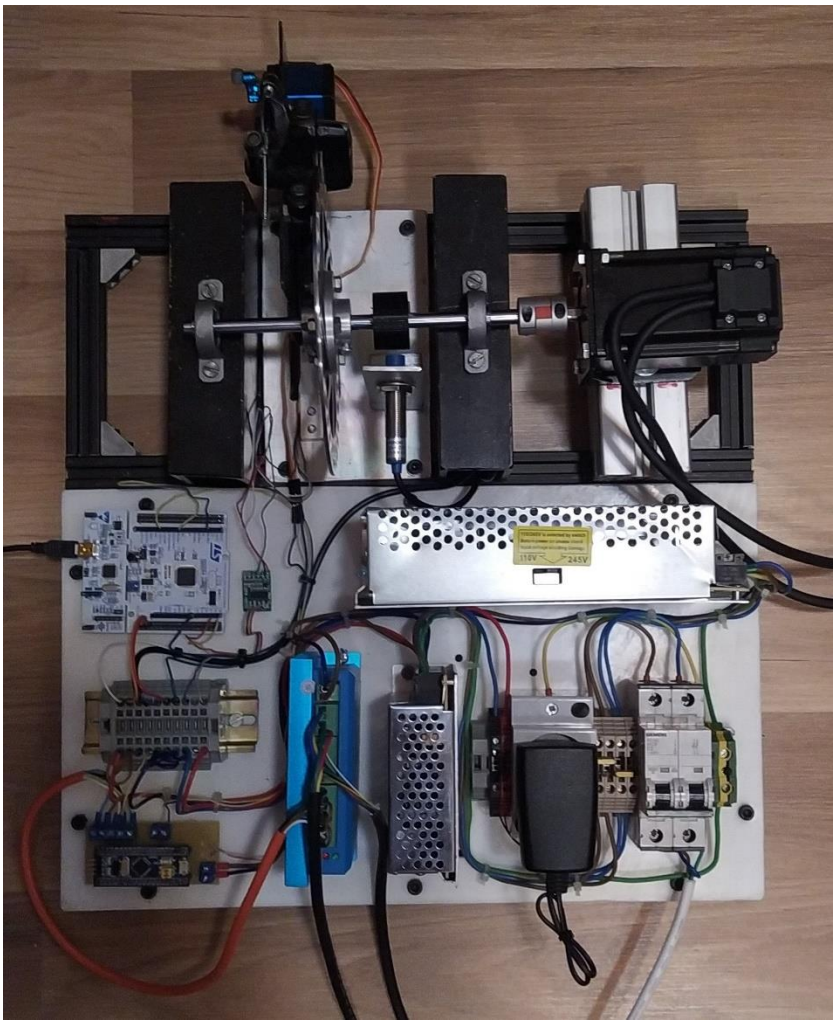
DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

- Visual Studio 2022.

3 Výsledky a diskusia

Navrhnuté zariadenie na testovanie motora predstavuje jednoduchý absorbčný dynamometer. Funguje na princípe brzdenia motora mechanickou brzdou, ktorá je pripevnená na tenzometrickom snímači zaťaženia.

Rám testovacieho zariadenia je vytvorený z hliníkového profilu 20x20 mm s V drážkou, ktorý je ľahký, pevný a jeho montáž a spájanie do požadovanej konštrukcii je jednoduché vďaka spojkám a rôznym ľahko dostupným prvkom bez nutnosti zvárania spojov či vŕtania (obr. 3). Na rám sú primontované stĺpiky pre ložiskové domce s vnútorným priemerom 8 mm. Do nich je vložená oceľová tyč s priemerom d = 8 mm, ktorá je na jednom konci spojená cez pružnú spojku na testovaný servomotor. Pružná spojka prenáša otáčavý pohyb motora na brzdný mechanizmus, tlmí vibrácie a prudké zvýšenie otáčok či krútiaceho momentu, vyrovnáva nesúosovosť a chráni zariadenie aj motor pred poškodením. Testovaný servomotor je primontovaný na držiak, ktorý je posadený na hliníkovom profile 40x40 mm.



Obr. 3 Finálne zariadenie na meranie charakteristík servomotora
Fig. 3 Final device for measuring the servomotor characteristics

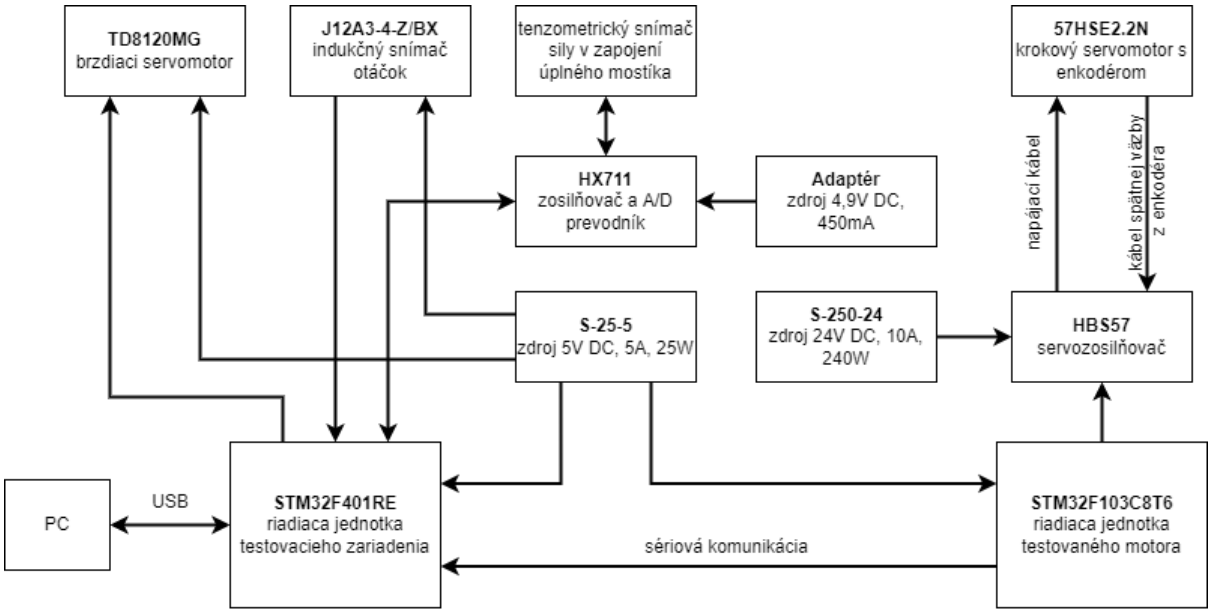
Mechanický brzdný systém pozostáva z brzdného kotúča pripevneného pomocou príruby na oceľovú tyč, brzdného strmeňa ovládaného pomocou brzdného lanka a digitálneho

servomotora, ktorý cez brzdné lanko prenáša brzdnú silu na strmeň. Strmeň pri stláčaní platničiek pôsobí trecou silou na brzdný kotúč čím brzdí motor až do jeho úplného zastavenia. Pri brzdení brzdný kotúč strháva strmeň a tým aj celý brzdný mechanizmus v smere otáčania motora, pričom brzdný mechanizmus pôsobí určitou silou na tenzometrický snímač sily, keďže je naň pripevnený.

Príruba ktorá spolu s tyčou tvorí hriadeľ testovacieho zariadenia je rozoberateľná, čiže je možná ľahká výmena opotrebovaného brzdného kotúča, hriadeľ sa však musí vymontovať z ložísk.

Snímač otáčok je tvorený indukčným snímačom priblíženia a sníma kovové predmety vo vzdialenosti približne 5 mm. Snímač je pripevnený na držiaku. Na otáčajúcej sa hriadeli je prilepený plastový valec, ktorý bol vytlačený na 3D tlačiarni. Na valci je pripevnený medený pásik. Pri otáčaní hriadeľa indukčný snímač sníma tento pásik a vytvára tak impulzy posielané na vstup mikrokontroléra, pričom časový interval medzi nábežnými hranami dvoch susedných nasnímaných impulzov tvorí periódu, pomocou ktorej možno vyjadriť otáčky.

Zapojenie elektroniky a riadenie testovacieho zariadenia



Obr. 4 Bloková schéma elektrického obvodu na riadenie testovacieho zariadenia
Fig. 4 Block diagram of the electrical circuit for controlling the testing device

Zapojenie elektrického obvodu je znázornené pomocou blokovej schémy na Obr.4. Meraný moment sníma tenzometrický snímač sily v zapojení do mostíka. Ten je pripojený do modulu HX711. Tento snímač je veľmi citlivý nielen na pôsobenie zaťaženia na pružný člen snímača sily, ale aj na kolísanie napájacieho napätia a prúdu z napájacieho zdroja. Táto citlivosť spôsobovala nepresné snímanie zaťažovacej sily. Nepresnosť sa prejavovala hlavne pri zapnutí brzdiaceho servomotora, ktorý bol najprv pripojený na rovnaký zdroj napájania ako tenzometrický snímač sily. Tento motor odoberal pri veľkej záťaži zo zdroja veľký prúd a to ovplyvnilo hodnoty namerané snímačom sily. Preto sme tento snímač pripojili na vlastný napájací zdroj, ktorý napája len obvod HX711 a tenzometrický snímač sily.

Vstup SCK a výstup DT modulu HX711 sme zapojili na GPIO vývody riadiacej jednotky testovacieho zariadenia ktorou je vývojová doska s osadeným mikrokontrolérom STM32F401RE.

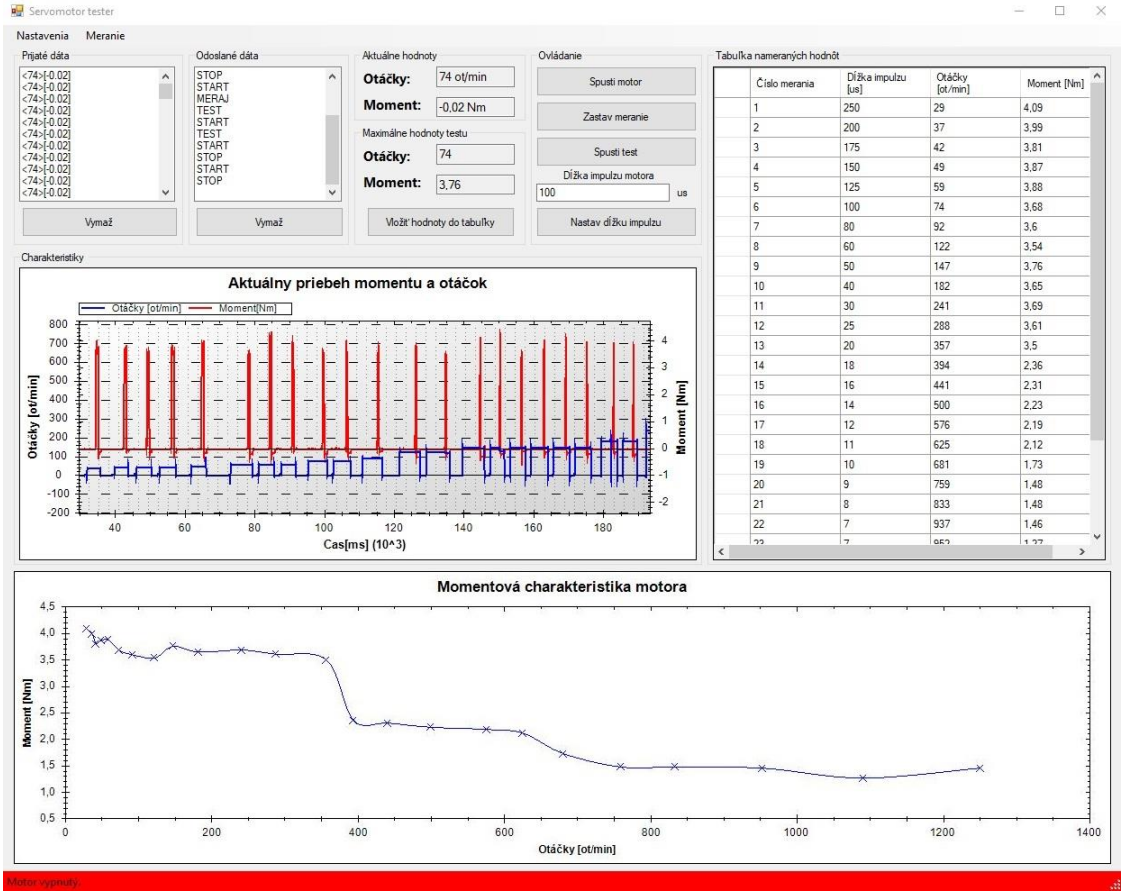
Spomenutý mikrokontrolér, spracováva signály z indukčného snímača otáčok a modulu HX711. Po spracovaní tieto signály prepočítava na požadovaný tvar a jednotku

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

a posiela ich po USB zbernici do PC. Okrem toho riadi brzdiaci servomotor PWM moduláciou, prijíma povely z PC a posiela správy slúžiace na ovládanie testovaného servomotora do mikrokontroléra určeného na jeho riadenie.

Riadenie celého zariadenia a testovaného servomotora pomocou jedného mikrokontroléra malo viaceré nevýhody. Medzi ne patrilo hlavne to, že snímanie otáčok funguje na princípe prerušenia. Ak snímač nasníma kovový pásik, pošle impulz na vstup mikrokontroléra. Vstup mikrokontroléra reaguje na nábežnú hranu impulzu a spôsobí prerušenie hlavného programu, vykoná sa funkcia, ktorá v našom prípade prepočíta aktuálne otáčky motora a po vykonaní funkcie pokračuje vykonávanie hlavného programu v slučke *while(1)*. Pri riadení otáčok motora vytváraním impulzov by takéto prerušenie spôsobovalo spomalenie vytvárania impulzov, hlavne pri vysokých otáčkach, kde by boli prerušenia časté. Preto sme sa rozhodli pre použitie dvoch mikrokontrolérov, ktoré sú vzájomne nezávislé. Toto umožňuje aj ľahšie preprogramovanie riadenia motora v prípade, kedy by bol testovaný iný typ motora.

PC aplikácia na spracovanie výsledkov meraní a ovládanie testovacieho zariadenia



Obr. 5 PC aplikácia na spracovanie výsledkov meraní vyvinutá programovacím jazykom C#
Fig. 5 PC application for processing the measurement results developed by the C# programming language

Riadenie meraného servomotora

Riadiace signály vysiela do servozosilňovača mikrokontrolér STM32F103C8T6. Na uvedenie krokového servomotora do chodu treba generovať impulzy na vstupe PUL- servozosiňovača a taktiež na vstup ENA- priviesť log 1.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

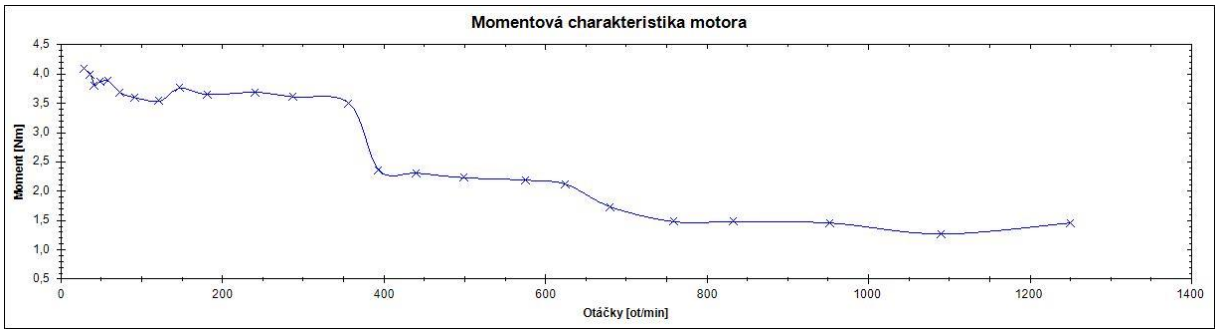
Mikrokontrolér prijíma správy od druhého riadiaceho mikrokontroléra testovacieho zariadenia cez UART sériovú komunikáciu. Tieto správy s popísaným významom sú zobrazené v tabuľke Tab. 1. Prijímanie správy prebieha metódou prerušenia. Ak mikrokontrolér zaznamená prichádzajúcu správu po sériovej linke, preruší sa vykonávanie hlavného programu v cykle *while(1)* a program vykoná funkciu *HAL_UART_RxCpltCallback*. Po vykonaní tejto funkcii, program pokračuje v cykle *while(1)*. Impulzy sú vytvárané pomocou funkcie *HAL_GPIO_TogglePin.*

START	Zapnutie servomotora (nastavenie Log 1 na vstup ENA- servozosilňovača)
STOP	Vypnutie servomotora (nastavenie Log 0 na vstup ENA- servozosilňovača)
Číslo od 0 do 255	Dĺžka impulzu v mikrosekundách (zmena rýchlosti servomotora)

Tab. 1 Význam prijímaných správ mikrokontrolérom, ktorý riadiaci servomotor
Tab. 1 Meaning of messages received by the microcontroller, which controls the servomotor

Na spracovanie výsledkov sme v jazyku C# vyvinuli aplikáciu zobrazenú na Obr. 5. Najprv treba nastaviť parametre sériovej komunikácie v menu „Nastavenia > Sériová komunikácia“. Vysielané a prijímané príkazy poslané po USB zbernici do testovacieho zariadenia sú zaznamenávané v tzv. „TextBoxoch“. Meranie otáčok a momentu sa spúšťa (zastavuje) tlačidlom „Spusti meranie“. Toto tlačidlo zároveň posiela povel do zariadenia na začatie alebo ukončenie merania parametrov. Prijaté údaje zo zariadenia sa zobrazujú v tzv. „GroupBoxe“ „Aktuálne hodnoty“ a zaznamenávajú sa v grafe „Aktuálny priebeh momentu a otáčok“. Chod motora ovláda tlačidlo „Spusti motor“. Testovanie motora sa spúšťa pomocou tlačidla „Spusti Test“. Na zmenu rýchlosti motora slúži potvrdzovacie tlačidlo „Nastav dĺžku impulzu“. Dĺžka impulzu sa zadáva v µs do „TextBoxu“ nad týmto tlačidlom.

Testovanie teda prebieha pripojením zariadenia k PC cez USB zbernicu. Po otvorení príslušného COM portu pod ktorý spadá zariadenie môžeme spustiť motor a meranie parametrov. Dĺžka impulzu je vopred nastavená na 100 µs. Po spustení testovania zapnutý motor začína brzdiť brzdný mechanizmus. Po zabrzdení motora, aplikácia vyhodnotí najvyšší moment nameraný v priebehu testu a otáčky dosahované počas testovania. Tlačidlom „Vložiť hodnoty do tabuľky“ sa tieto hodnoty zapíšu do tabuľky a do grafu „Momentová charakteristika motora“ sa zapíše bod tvoriaci krivku momentovej charakteristiky. Nastavením novej dĺžky impulzu môžeme zmerať ďalší bod a takýmto spôsobom vytvoriť momentovú charakteristiku testovaného servomotora. Po naprogramovaní aplikácie sme mohli otestovať servomotor týmto spôsobom.



Obr. 6 Momentová charakteristika motora 57HSE2.2N odmeraná našim zariadením
Fig. 6 Torque characteristics of the 57HSE2.2N motor measured by our device

Pred meraním sme spínačmi na servozosilňovači HBS57 nastavili počet impulzov na otáčku na hodnotu 4000. Táto hodnota určuje koľko impulzov musí vytvoriť mikrokontrolér, aby sa motor otočil presne o 360°. Testovať sme začali na dĺžke impulzu 250 µs. Dĺžku impulzu sme postupne zmenšovali, čím narastali otáčky servomotora. Celkovo sme vykonali 24 meraní a teda výslednú momentovú charakteristiku zobrazenú na Obr.6 tvorí 24 bodov. Po nastavení dĺžky impulzu pod 5µs, boli otáčky servomotora nestabilné, poprípade sa motor ani nerozbehol.

4 Záver

Nami vytvorené zariadenie na meranie charakteristík servomotora pracuje na princípe dynamometra. Rozbehnutý motor na určité konštantné otáčky je brzdený mechanickou brzdou až do zastavenia. Brzdný kotúč pri brzdení strháva brzdný mechanizmus v smere otáčania a vytvára tým silu, ktorú sníma tenzometrický snímač. Snímač je odsadený od stredu otáčania kotúča a sníma tak moment vytváraný brzdným kotúčom a teda aj motorom. Po skonštruovaní zariadenia, zapojenia elektroniky, naprogramovaní mikrokontrolérov a aplikácie na ovládanie zariadenia sme týmto zariadením odmerali momentovú charakteristiku servomotora 57HSE2.2N, ktorá je zobrazená na obrázku Obr.6. Na nej môžeme vidieť že maximálny moment odmeraný zariadením, ktorý dokáže motor vyvinúť je približne 4 Nm. Zvyšovaním otáčok motora sa tento moment mierne znižuje, pričom pri otáčkach 350 min^{-1} začína moment prudko klesať na hodnotu približne 2,3 Nm. Potom sa opäť ustáli a klesá iba mierne. Pri nastavení dĺžky impulzu pod 5 µs sa motor začína nepravidelne otáčať, prípadne sa ani nespustí. Preto nebolo možné motor otestovať pri vyšších otáčkach.

Pri testovaní sme odhalili viaceré nedostatky testovacieho zariadenia. Meranie momentu pri otáčkach vyšších ako približne 1200 min^{-1}, začína zariadenie vytvárať silné vibrácie. Zariadenie v tomto stave, bez dodatočných úprav teda nie je vhodné na testovanie motorov pod vyššími ako vyššie uvedenými otáčkami. Tento nedostatok sa dá odstrániť tuhšou konštrukciou zariadenia, vyvážením celého meracieho hriadeľa a presnejším nastavením súosovosti motora a meracieho hriadeľa.

Zariadenie je skonštruované s prihliadaním na celkovú cenu, jednoduchosť a pomocou dostupného materiálu. Presnosť a celkový testovací výkon sa dá zabezpečiť odstránením vyššie popísaného nedostatku. Okrem toho sa mechanický brzdný mechanizmus môže nahradiť napríklad indukčnou brzdou či brzdením pomocou jednosmerného motora. Krútiaci moment možno merať presnejšími lineárnymi snímačmi krútiaceho momentu, ktoré merajú deformáciu zaťažovaného hriadeľa krútením. Všetky tieto úpravy však výrazne zvyšujú celkovú cenu finálneho zariadenia.

5 Literatúra

BEWOOR, Anand – KULKARNI, Vinay. 2009. Metrology & Measurement New Delhi : TataMcGraw-Hill. 558 s. ISBN: 0-07-014000-6.

Mitsubishi Electric Europe B.V. Servomechanizmy – Princíp a konštrukcia. [online]. [cit. 2022-03-03]. Dostupné na: <https://www.dailyautomation.sk/princip-konstrukcia-servomechanizmov/>.

SKALICKÝ, Jiří. 2001. Elektrické regulované pohony. Brno : Vysoké učení technické. 86 s. ISBN: 80-214-1978-4.

ŠTURCEL, Ján. 2002. Snímače a prevodníky. Bratislava : Vydavateľstvo STU v Bratislave. 262 s. ISBN 80-227-1712-6.

Súhrn

Hlavnou úlohou tejto práce je navrhnúť a skonštruovať zariadenie ktoré by meralo hlavné parametre servomotorov, ako maximálny krútiaci moment a otáčky motora. Skonštruované zariadenie predstavuje jednoduchý reakčný dynamometer, ktorý testovaný motor brzdí a zároveň sníma tenzometrickým snímačom sily krútiaci moment vyvíjaný na brzdný mechanizmus. Testovacie zariadenie riadi mikrokontrolér STM32F401RE, ktorý zároveň spracováva signály zo snímačov a posiela cez USB zbernicu do počítača. Celé zariadenie je možné monitorovať a ovládať pomocou vyvinutej aplikácii v jazyku C#. Výsledkom merania je momentová charakteristika servomotora odmeraná týmto zariadením.

Kľúčové slová: servomotor, krútiaci moment, otáčky motora, dynamometer

VPLYV UHLA POZOROVANIA NA VÝSLEDKY TERMOVÍZNEHO MERANIA
EFFECT OF VIEWING ANGLE ON THE INFRARED TEMPERATURE

RASTISLAV KOLLÁRIK[1] – IVAN VITÁZEK[2]

Abstract

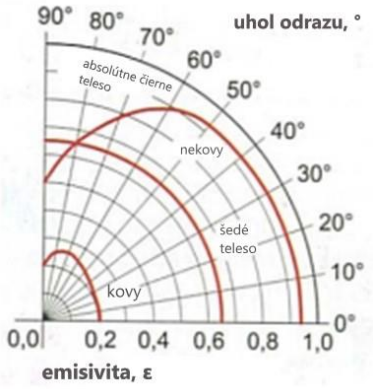
This study is focused on inaccurate results caused by changing emissivity due to angle in which is object rotated relative to the observation device. Measurements were done by infrared camera FLIR T335, by rotating our object we were able to watch different temperatures on thermograms caused by different emissivity of object. Monitored parameters like maximal temperature or percent differences between temperatures measured in 90°angle and others angles. By using software Flir tools we were able to change parameters of camera afterward and we were able to convert thermograms to numbers too. Our research proofed that emissivity is changing nonlinear with an angle in which is object monitoring.

Key words: Infrared thermography, Emmisivity, FLIR, Angular, Temperature, Non-destructive measurements

Úvod

Infračervená termografia si našla svoje uplatnenie v každom odbore aj vďaka absencii priameho styku so skúmaným povrchom. To umožňuje osobe obsluhujúcu termovíznu kameru subjektívne stanoviť, z ktorej polohy bude uskutočňovať svoje meranie.

Pre dosiahnutie čo najväčšej presnosti merania sa v príručkách udáva uhol termokamery na pozorovanú rovinu 90° - kolmé pozorovanie. So zmenou uhlu pozorovania voči objektu sa mení emisivita objektu skúmania. Pre rôzne uhly snímania povrchu je možné namerať rôzne hodnoty emisivity. Pri zväčšovaní uhlu od kolmého smeru snímania sa emisivita nelineárne znižuje (Ibarra, Maldague, 2013).



Obr. 1 Smerová závislosť emisivity
Fig. 1 Angular dependence of emissivity

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Určovanie emisivity je možné viacerými spôsobmi. Jednou z možností je odčítať hodnotu pre daný povrch z tabuliek. Emisivitu môžeme stanoviť aj spektrometrom, ktorý stanovuje závislosť intenzity žiarenia na vlnovej dĺžke. Hodnoty emisivity dokážeme stanoviť pomocou výpočtov s použitím termoelektrických článkov (Ciampa et al., 2018). Najbežnejším spôsobom je porovnávanie emisivity vzorky, kde sa na časť pozorovaného povrchu nanesie vrstva so známou emisivitou. Následne sa zmerajú teploty na oboch povrchoch a prispôsobuje sa hodnota emisivity, kým sa teploty oboch povrchov nezhodujú (Usamentiaga et al., 2014; Šťastník, Hollan, b.r.).

Hlavnými znakmi termovízneho merania je bezkontaktosť a nedeštruktívnosť. V praxi to znamená, že meranie je uskutočnené bez znalostí o uhle, v akom pozorujeme objekt (Zhang et al, 2018). Zmena emisivity od uhla záleží aj na materiáli skúmaného objektu. Táto závislosť je znázornená na obr. 1.

V práci sú ďalej uvedené výsledky vplyvu uhla pozorovania na výslednú teplotu, stanovenie emisivity pre jednotlivé uhly pozorovania a ich aplikovanie na naše experimenty.

Materiál a metódy

Meranie bolo realizované vo vnútorných priestoroch laboratória, kde bola udržiavaná konštantná teplota v rozmedzí ±0,1°C. Vplyvom ľudskej obsluhy sa v priestoroch merania zvýšila relatívna vlhkosť prostredia. Uskutočnené boli dve série pozorovaní, v každej sérií bolo vytvorených 6 snímok po 10° intervale natočenia objektu, celkovo 12 snímok (termogramov).

Objektom skúmania bola stena plechového obalu, na ktorú z vnútornej strany bola umiestnená výhrevná fólia. Na skúmanú plochu bola nanesená vrstva čiernej matnej farby, ktorá mala stanovenú emisivitu 0,96. V snahe zamedziť odrazom žiarenia, bola skúmaná zostava umiestnená vo výške 1m nad podlahou pomocou statívu. Pred samotným snímaním objektu bolo nutné zapojiť výhrevnú fóliu do elektrickej siete. Proces prenosu tepla z fólie do plechu trval 7minút, následne bola teplota povrchu pozorovanej steny objektu takmer konštantná s odchýlkou 0,3° medzi sériami. Jednotlivé série boli vyhotovené po 10 minútach od poslednej snímky prvej série.

Vďaka ukazovateľovi uhľov na statíve bolo možné rýchlo a jednoducho nastaviť požadovaný uhol merania voči termokamere. Termokamera bola umiestnená vo výške 1m nad podlahou a vo vzdialenosti 1m od steny pozorovaného objektu.

Meracie prístroje:

Termovízna kamera FLIR T335

Základné technické parametre:

- rozlíšenie IR detektoru 320 x 240 bodov,
- zorný uhol objektívu 25°,
- teplotná citlivosť < 0,05 °C,
- rozsah merania teplôt od -20 °C do 1200 °C,
- presnosť ±2 °C,
- nastaviteľná emisivita 0,01 až 1,00,
- digitálna kamera 3,1 Mpix,
- meracia funkcia na 5 teplotných bodov,
- automatické alebo manuálne zaostrovanie obrazu.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 2 FLIR T335
Fig. 2 FLIR T335

Vlhkomer s IR teplomerom EXTECH MO 297

Jedná sa o merací prístroj na komplexné meranie vlhkosti materiálu a okolitého prostredia s IR teplomerom. Je schopný merať relatívnu vlhkosť materiálu a prostredia v rozsahu od 0 % do 99,9 %. Meranie teploty okolitého prostredia sa dá realizovať v rozsahu od -29 °C do 77 °C a bezkontaktným meraním pomocou IR teplomeru v rozsahu od -20 °C do 200 °C. Poskytuje zobrazenie rosného bodu, tlaku vodnej pary a bodu kondenzácie. Merací prístroj poskytuje funkciu bezdrôtového pripojenia cez rozhranie Bluetooth k termokamere FLIR na prenos nameraných hodnôt (Vitázek, Tkáč, Majdan, 2021).



Obr. 3 EXTECH MO 297
Fig. 3 EXTECH MO 297

Ostatné pomôcky:

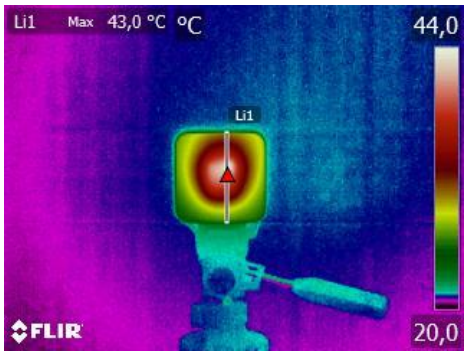
- statív,
- výhrevná fólia,
- farba v spreji.

Výsledky a diskusia

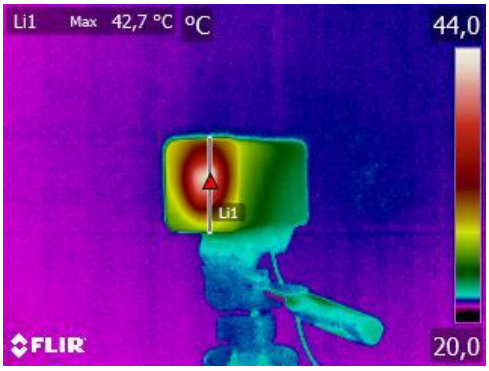
Počas prvej série meraní bola teplota okolia 24,6 °C s relatívnou vlhkosťou 43,3 %. Snímaný objekt vykazoval na oboch meracích zariadeniach pri kolmom pozorovaní 43,026 °C. Po uplynutí 10 minút bola teplota okolia 24,7 °C a relatívna vlhkosť 46,8 %. Objekt vykazoval teplotu 43,3 °C. Termokamera bola nastavená na zaznamenávanie maximálnej hodnoty, čo

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

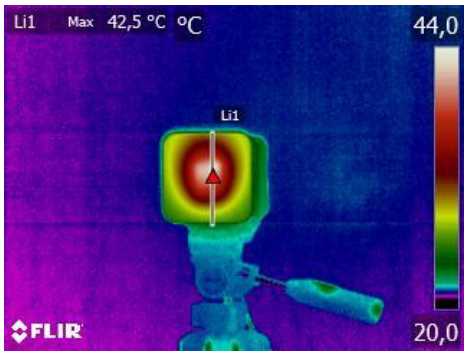
zamedzilo nesprávne zameranie na jeden bod povrchu telesa. Teplotné rozloženie na pozorovanom povrchu bolo nerovnomerné v dôsledku spôsobu vytvárania tepla za pomoci prechodu prúdu cez vodivý kovový materiál. Teplo sa sústreďovalo bližšie k anóde, vďaka čomu bolo možné zamerať sa na maximálnu hodnotu teploty. Pre ďalšie pozorovania sme pomocou programu FLIR TOOLS vytvorili úsečku, vedenú horizontálne cez bod s maximálnou teplotou. Následne sme priebeh teplôt v miestach jednotlivých úsečiek previedli do programu Excel pre grafické a matematické spracovanie.



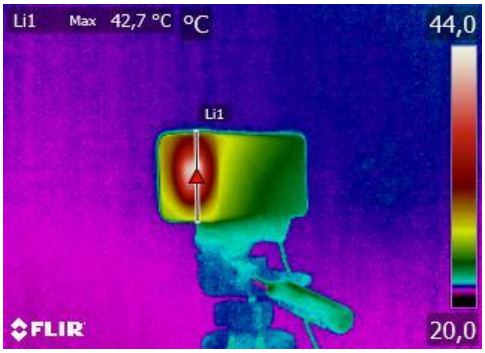
Obr. 4 Termogram pri uhle 90°
Fig.4 Thermogram under 90° viewing angle



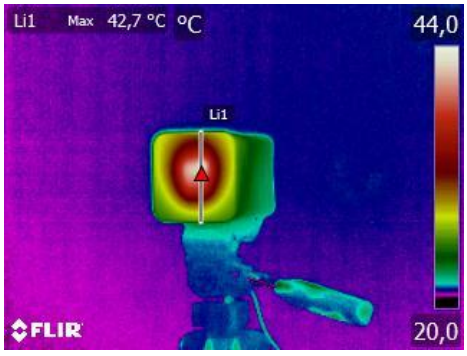
Obr. 7 Termogram pri uhle 60°
Fig.7 Thermogram under 60° viewing angle



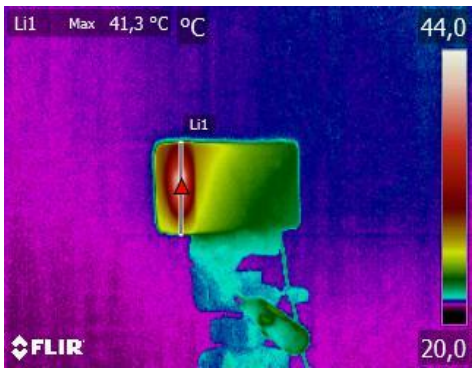
Obr. 5 Termogram pri uhle 80°
Fig.5 Thermogram under 80° viewing angle



Obr. 8 Termogram pri uhle 50°
Fig.8 Thermogram under 50° viewing angle



Obr. 6 Termogram pri uhle 70°
Fig.6 Thermogram under 70° viewing angle

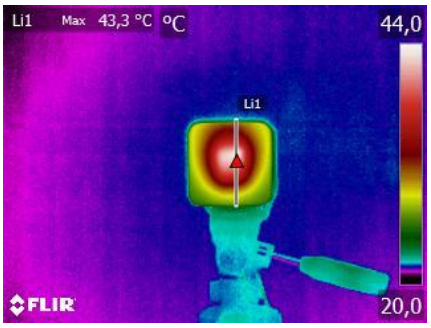


Obr. 9 Termogram pri uhle 40°
Fig.9 Thermogram under 40° viewing angle

Termogramy zhotovené počas prvej série meraní sú na obrázkoch 3 až 8. Termogramy sú zhotovené pod uhlami 90°, 80°, 70°, 60°, 50°, 40°. Na obrázkoch 1 a 2 možno pozorovať tyrkysové plochy za snímaným objektom, ktoré sú spôsobené žiarením od výhrevnej fólie, ktoré možno pozorovať aj pri druhej sérií meraní. Akumulácia tepla od fólie vykazuje nárast teploty

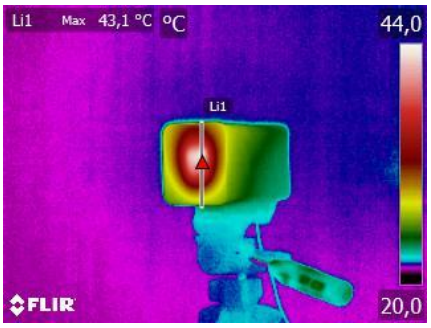
DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

pozorovaného objektu o 0,3 °C. Dôležité je sledovanie trendu zmeny teplôt pri oboch meraniach, ktoré je nelineárne. Snímky oboch sérií pri uhle 80° vykazujú odchýlku.



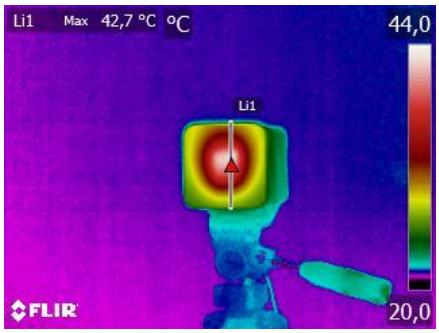
Obr. 10 Termogram pri uhle 90°

Fig. 10 Thermogram under 90° viewing angle



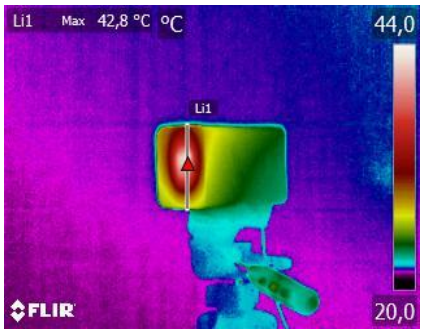
Obr. 13 Termogram pri uhle 60°

Fig. 13 Thermogram under 60° viewing angle



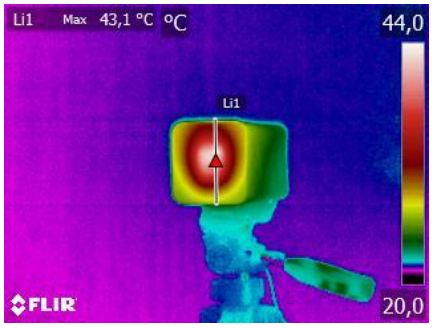
Obr. 11 Termogram pri uhle 80°

Fig. 11 Thermogram under 80° viewing angle



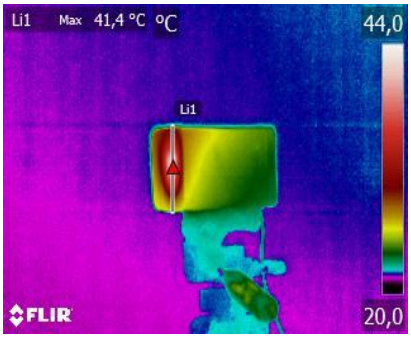
Obr. 14 Termogram pri uhle 50°

Fig. 14 Thermogram under 50° viewing angle



Obr. 12 Termogram pri uhle 70°

Fig. 12 Thermogram under 70° viewing angle

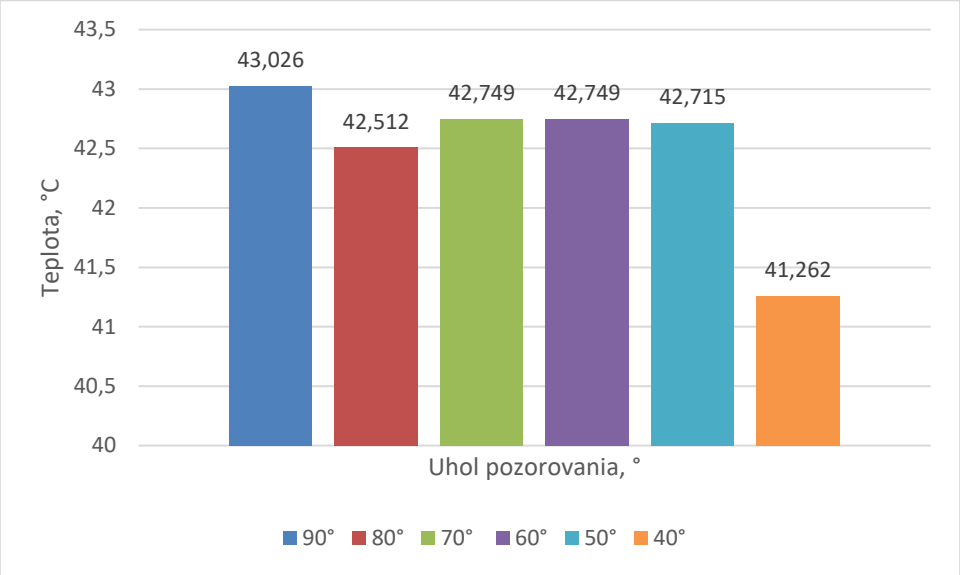


Obr. 15 Termogram pri uhle 40°

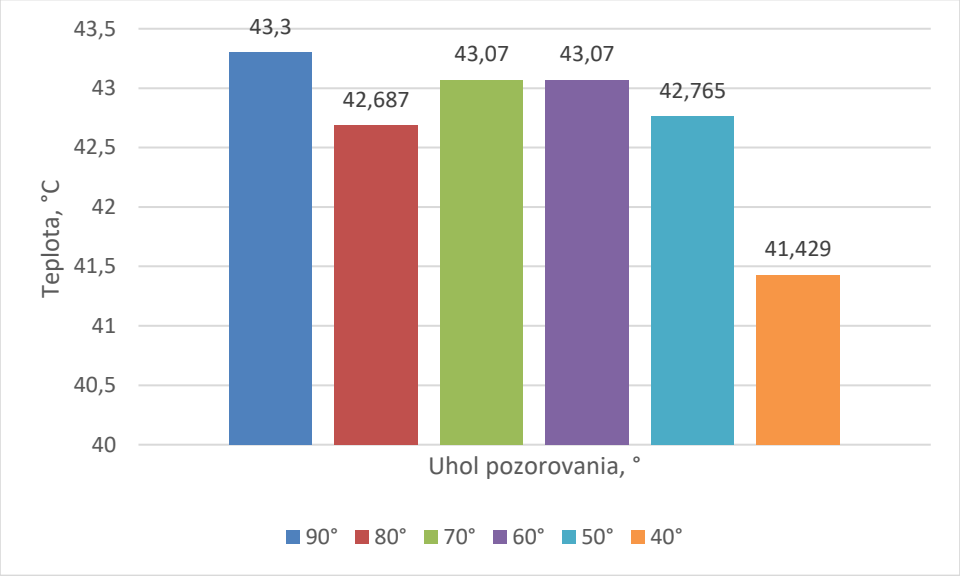
Fig. 15 Thermogram under 40° viewing angle

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Na obrázkoch 16 a 17 je znázornený priebeh maximálnych teplôt nameraných pri rôznych uhloch pozorovania. Percentuálne rozdiely vyjadruje graf na obrázku 18. Odchýlka pri 80° môže byť spôsobená tzv. polopriestorovou emisivitou povrchového náteru.



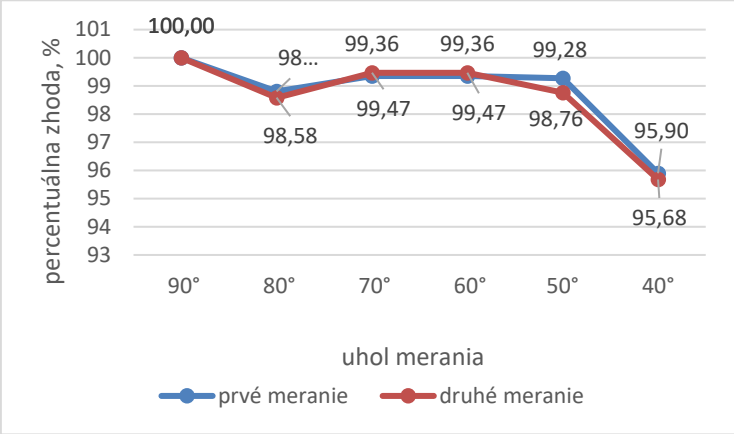
Obr. 16 Graf nameraných maximálnych teplôt z termogramov pri rôznych uhloch odrazu z prvej série meraní
Fig. 16 Graph of maximum temperatures from thermograms at different angles of reflection from the first series of measurements



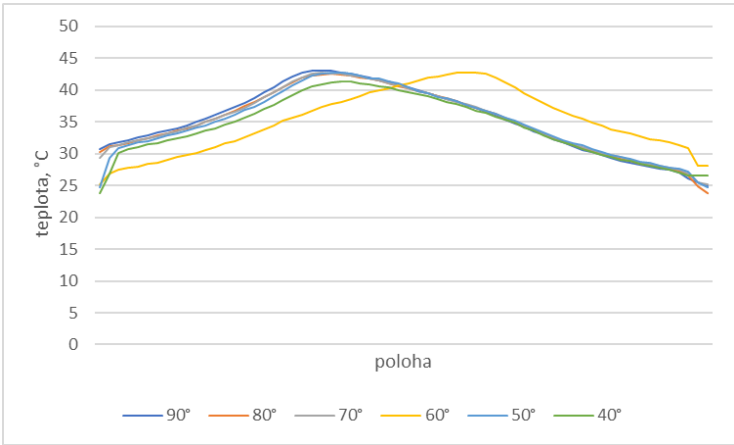
Obr. 17 Graf nameraných maximálnych teplôt z termogramov pri rôznych uhloch odrazu z druhej série meraní
Fig. 17 Graph of maximum temperatures from thermograms at different angles of reflection from the second series of measurements

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

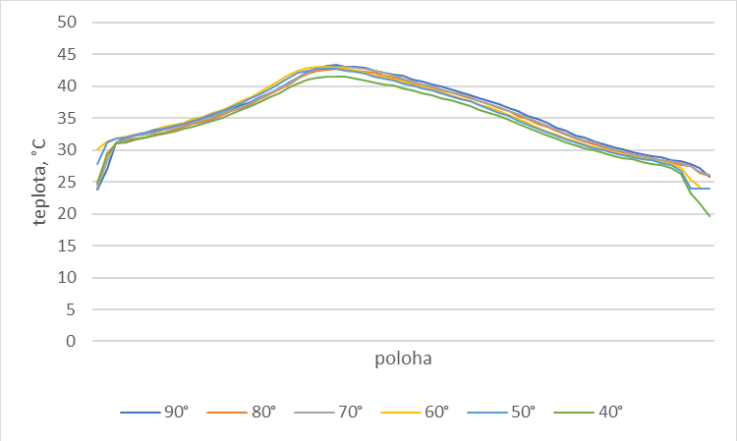
Pri oboch sériách meraní boli dosiahnuté veľmi porovnateľné výsledky. Graf na obrázku jasne vyjadruje, že pri pozorovaní s malým uhlom odchýlky od normály sú výsledky merania skreslené o väčšiu hodnotu, ako pri pozorovaniach 20°- 30° od normály (70° - 60°).



Obr. 18 Percentuálna zhoda teplôt pri rôznych uhlov voči kolmému meraniu
Fig. 18 Temperature agreement in percent at different angles from the perpendicular measurement



Obr. 19 Priebeh teplôt na úsečke vyznačenej v termograme pre rôzne uhly odrazu z prvej série meraní
Fig. 19 Temperature profile on the line marked in thermogram for different angles of reflection from the first series of measurements



Obr. 20 Priebeh teplôt na úsečke vyznačenej v termograme pre rôzne uhly odrazu z druhej série meraní
Fig. 20 Temperature profile on the line marked in thermogram for different angles of reflection from the second series of measurements

Z experimentov iných autorov vyplýva, že pri pozorovaní s odchýlkou od normály v intervale 0° až 60° je emisivita nižšia až o 5,8 % (Cuenca, Sobrino, 2004). Nami realizované experimenty pod uhlom v rozmedzí 0° až 50° potvrdili pokles emisivity až 4,32 %. Dosiahnuté výsledky tiež korešpondujú s výsledkami uvedenými v práci (Fuka, 2014).

Záver

Počas merania sme overili výroky iných autorov o nelineárnej zmene emisivity pri zmene uhlu pozorovania od normály povrchu pozorovaného objektu. Pri odchýlke 10° od normály sme zaznamenali rozdiel teploty 1,2 % v prvej sérií a 1,42 % v druhej sérií. Zväčšovaním uhlu na 20° sa odchýlka teplôt znížila na 0,7 % a 0,5 % v sériách, tieto hodnoty platili aj pre uhol 30° od normály. Po natočení objektu na uhol 50°, čo reprezentuje odchýlku 40° od normály, sa teplota líšila v prvom meraní o 0,72 % a v druhom meraní o 1,2 %. S natočením objektu na uhol 40° sme zaznamenali prudký nárast odchýlky, ktoré dosahovali v prvej a druhej sérií meraní 4,1 % a 4,3 % rozdielu teploty oproti kolmému pozorovaniu.

Naše merania potvrdili podstatný vplyv uhlu, pod akým je objekt pozorovaný. Výsledky sa taktiež zhodujú s nelineárnym klesaním emisivity pri rôznych uhloch pozorovania.

Uvedená problematika potvrdzuje náročnosť realizácie termovíznych meraní. Dosiahnutie relevantných výsledkov vyžaduje jednak mať k dispozícii odpovedajúce zariadenia pre daný účel experimentov, jednak nemenej dôležité je podrobné oboznámenie sa s danou problematikou a rešpektovanie všetkých vplyvov, ktoré vplývajú na meranie.

Literatúra

CIAMPA, F. et al. 2018. Recent Advances in Active Infrared Thermography for Non-Destructive Testing of Aerospace Components. [online]. In *Sensors*, vol. 18, no. 2, s. 609. [cit. 2022-04-01]. Dostupné na: <http://dx.doi.org/10.3390/s18020609>.

CUENCA, Juan - SOBRINO, José. 2004. Experimental measurements for studying angular and spectral variation of thermal infrared emissivity. [online]. In *Applied optics, Appl.*, vol. 43, no. 23, s. 4598-4602. [cit. 2022-04-01]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1364/AO.43.004598>.

FUKA, Miloš. 2014. *Měření povrchové teploty pomocí infračervené kamery*: diplomová práce [online]. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. [cit. 2022-03-31]. Dostupné na: <https://theses.cz/id/y86to9/>.

IBARRA, Castenedo – MALDAGUE, Xavier. 2013. Infrared thermography. [online]. In: *Handbook of technical diagnostics*. Berlin: Springer, Heidelberg, s.175-220. ISBN 978-3-642-25850-3. [cit. 2022-04-01]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-25850-3_10 >.

Infračervená spektrometrie. Výzkumné centrum Západočeské univerzity v Plzni: Termomechanika technologických procesů [online]. [cit. 2022-04-01]. Dostupné na: <https://ttp.zcu.cz/www/files/projects/frvs-3892007/skripta_kap3_ irspektrometrie.pdf>.

Príručka prístroja FLIR T – 335.

Průvodce termografií. [online]. [cit. 2022-04-01]. Dostupné na: <http://termokamera.com/prirucka-termografie/>.

ŠŤASTNÍK, Stanislav – HOLLAN, Ján. Možnosti určení emisivity materiálů pomocí infračervené termografie [online]. [cit. 2022-04-01]. Dostupné na: <https://amper.ped.muni.cz/LW-infrared/omitky06.pdf >.

USAMENTIAGA, R. et al. 2014. Infrared Thermography for Temperature Measurement and Non-Destructive Testing. [online]. In *Sensors*, vol. 14, no. 7, s. 12305–12348. [cit. 2022-04-01]. Dostupné na: <http://dx.doi.org/10.3390/s140712305>.

VITÁZEK, Ivan – TKÁČ, Zdenko – MAJDAN, Radoslav. 2021. *Vnútorné prostredie v automobiloch: Prvky výbavy a ich hodnotenie*. Nitra: Vydavateľstvo SPU, 140 s. ISBN 978-80-552-2424-4.

ZHANG, Hai, et al. 2018. Optical and Mechanical Excitation Thermography for Impact Response in Basalt-Carbon Hybrid Fiber-Reinforced Composite Laminates. [online]. In *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 14, no. 2, pp. 514-522. [cit. 2022-04-01]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1109/TII.2017.2744179>.

Súhrn

Zameraním tejto štúdie bola nepresnosť meraní termovíznou kamerou spôsobená zmenou emisivity objektu kvôli zmene uhla, pod ktorým je objekt pozorovaný vzhľadom na pozorovacie zariadenie. Merania boli realizované termokamerou FLIR T335. Otáčaním objektu od kolmého smeru sme zaznamenávali zmenu maximálnej teploty objektu pomocou termogramov. Sledované parametre, ako maximálna teplota, alebo percentuálna odchýlka kolmého merania od meraní pod uhlom, boli vyhodnotené a spracované pomocou programu FLIR tools. Pomocou spomínaného programu sme boli schopní meniť zadávacie parametre termokamery aj po meraní, alebo previesť termogramy na číselné hodnoty pre ďalšie výpočty. Náš výskum preukázal vplyv pozorovacieho uhla na zmenu emisivity skúmaného objektu.

Kľúčové slová: infračervená termografia, emmisivita, FLIR, uhol, teplota, nedeštruktívne merania

Poďakovanie: Príspevok je publikovaný vďaka riešeniu projektu KEGA č. 029SPU-4/2019 Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky.

METHOD TO CALCULATE ENERGY INDICATORS OF GOLDEN DELICIOUS APPLES UNDER COMPRESSIVE LOAD CONDITIONS

DÁVID KÖRMÖCZI, CSABA FARKAS, PÉTER KORZENSZKY

Abstract

To avoid mechanical damage to agricultural and horticultural produce during harvesting, transporting and industrial processing, it is essential to study the mechanical properties of the given crops. In this article, to determine the failure characteristics of Golden Delicious apples, data from 150 measurements was evaluated by using a computer algorithm. A ratio of the dissipated and elastic energies was calculated, and it was shown that there is a relation between this ratio and the failure of the produce. To describe the behaviour of the given biological matter, a mechanical model for structural materials ca be adapted in this field, and the parameters of the model were calculated.

Key words: dynamic mechanical measurement; dyma test; agricultural produce; golden delicious apple; mechanical model.

1 Introduction

Golden Delicious is a popular type of apple in the european market. Mechanical damages to the fruits should be kept to a minimum not only to reduce food waste, but also to assure the highest possible quality in the consumer market. Therefore, it is important to determine the mechanical properties and failure characteristic of the apples as accurately as possible. For this reason, dynamic mechanical measurements were carried out on 25 Golden Delicous apples with 6 different load frequencies. In this paper, datasets from a previous measurement [2] were evaluated from different aspects.

2 Material and Methods

The measurements were carried out using the DyMaTest dynamical measuring instrument. [5] The measurements were conducted with the set values shown in Table 1, using a 2000 Hz sampling frequency.

Table 1: Set values of the measurements [2]

Preload	0,2 N
Dynamic load	13,8 N
Total load	14 N
Load function	F(t)=Fmax(1-cos(ω))
Load frequency	2,5 Hz; 3,7 Hz; 5 Hz; 7,5 Hz; 10 Hz; 11,6 Hz

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Figure 1. shows a typical dataset on a force-displacement diagram, with the first cycle highlighted in black.

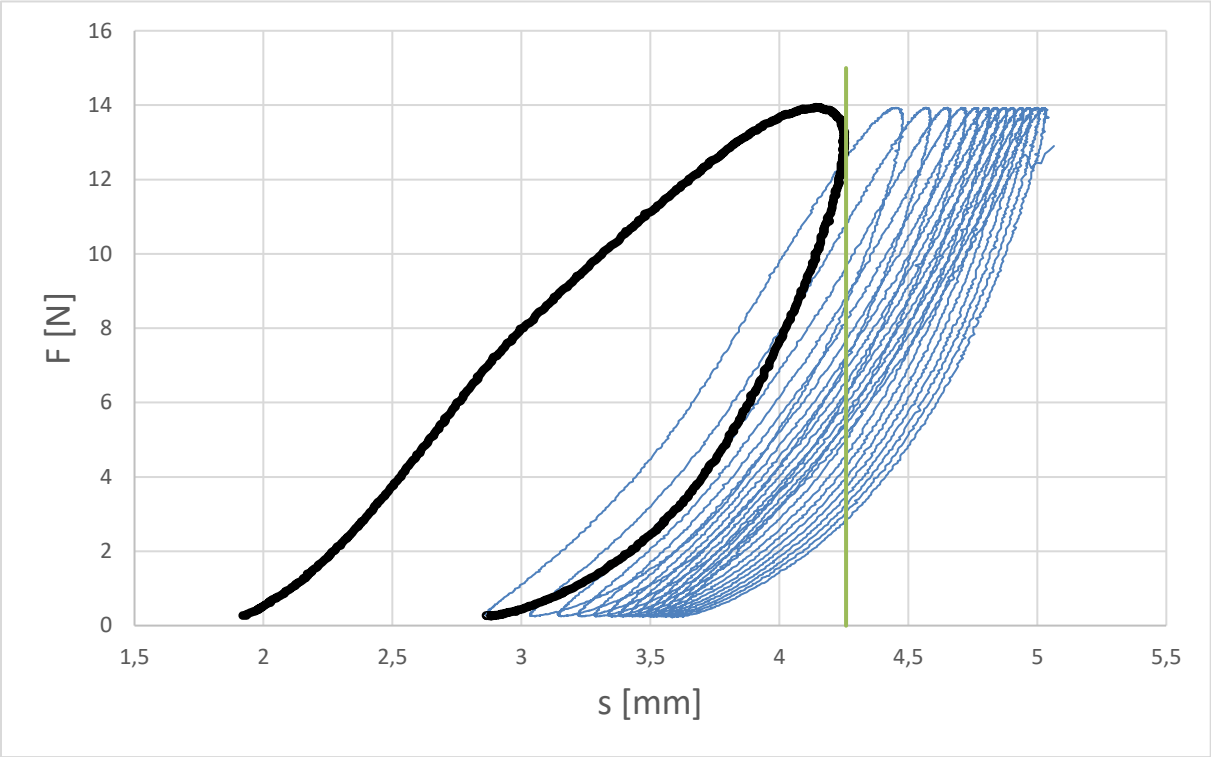


Figure 1: Force-displacement diagram

In former measurements [2] the failure time was used to describe how long the produce can withstand the dynamic load before failure. The failure time was determined by manually examining a high-speed video footage of the measurement. As this would require a lot of manual work, the number of the load cycles (an integer, which can be easily calcualted) was used instead of the failure time. It was shown [4] that in average the failure point is approximately at the peak load, with a standard deviation of 10,2 %, which is a reasonably accurate approximation.

To automatically evaluate the measurement datasets by computer, a new algorithm was created to calculate the dissipated and elastic energy values for each load cycle. The block diagram for this algorithm is shown in Figure 2. The results can be seen in Tables 2 and 3. Based on the block diagram, the algorithm can be divided into 3 main parts:

1. Determination of the maximal load points' coordiantes on the diagram
2. Determination of the minimal load points' coordiantes on the diagram
3. Calculation of the energy values using numerical integration.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

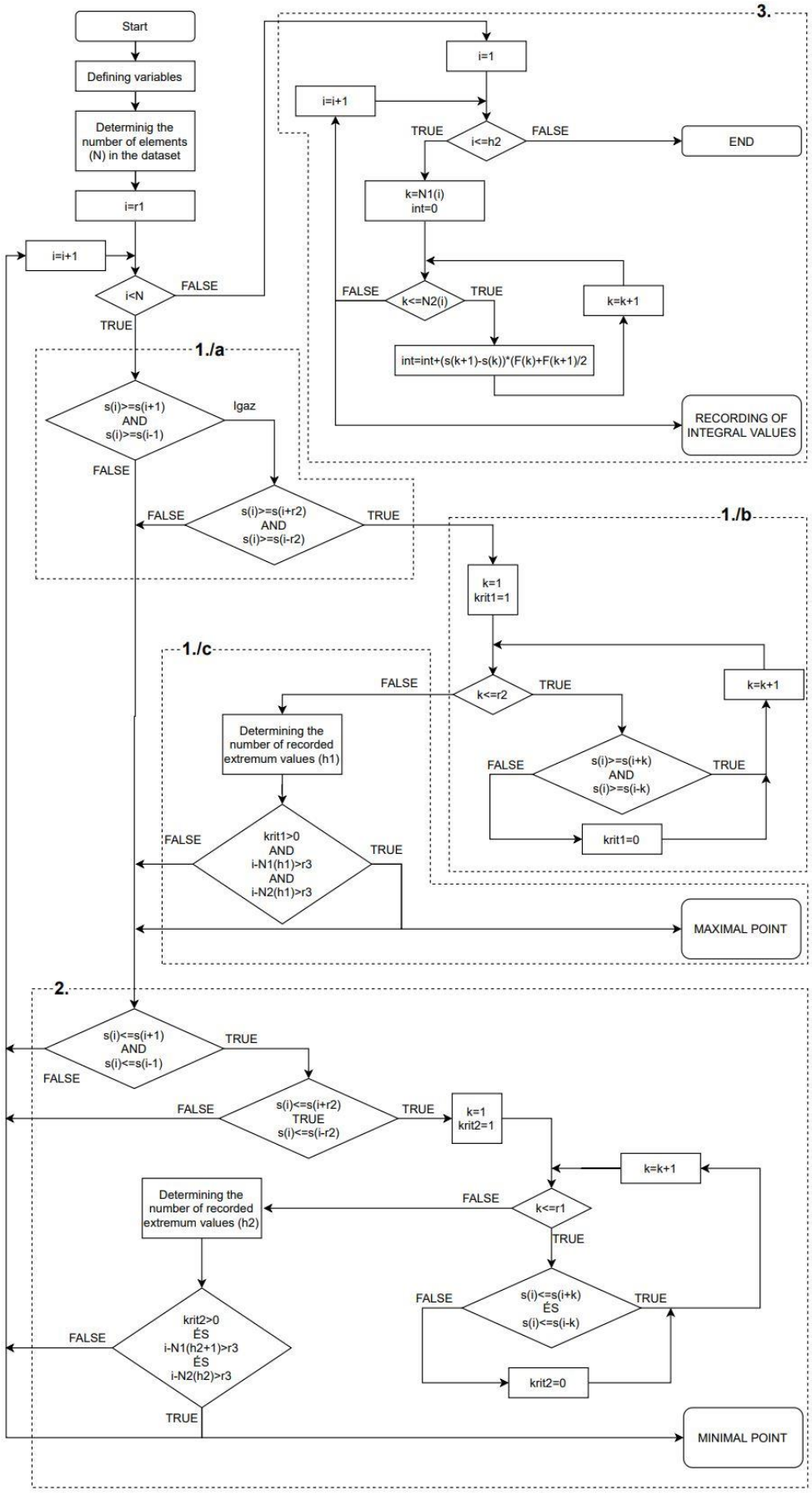


Figure 2: The algorithm used for the calculations

Table 2: Results for a randomly selected dataset

Maximal load point				Minimal load point			
Line No.	t [s]	s [mm]	F [N]	Line No.	t [s]	s [mm]	F [N]
451	0,2239	4,004	13,269	808	0,4024	2,725	0,293
1233	0,6150	4,200	13,616	1603	0,8000	2,876	0,268
2011	1,0040	4,297	13,870	2411	1,2040	2,964	0,307
2817	1,4069	4,371	13,821	3207	1,6019	3,032	0,283
3619	1,8071	4,420	13,797	4008	2,0024	3,086	0,283
4409	2,2029	4,468	13,885	4804	2,4004	3,135	0,268
5208	2,6024	4,503	13,890	5608	2,8023	3,169	0,288
6005	3,0008	4,532	13,890	6401	3,1988	3,208	0,258
6813	3,4048	4,566	13,860	7204	3,6003	3,238	0,263
7614	3,8053	4,590	13,851	8007	4,0018	3,267	0,273
8408	4,2023	4,615	13,885	8810	4,4034	3,291	0,293
9210	4,6035	4,634	13,870	9603	4,8001	3,316	0,263
10017	5,0072	4,654	13,811	10414	5,2057	3,335	0,322

Table 3: Results for a randomly selected dataset

Load cycle	Elastic energy [J]	Dissipated energy [J]
1	5,019	11,750
2	5,516	4,873
3	5,589	4,276
4	5,714	3,895
5	5,728	3,737
6	5,808	3,712
7	5,769	3,670
8	5,728	3,533
9	5,802	3,468
10	5,778	3,459
11	5,798	3,396
12	5,786	3,454
13	5,763	3,491

3 Results and Discussion

A ratio of the elastic and dissipated energies was calculated for each dataset:

$$A_V = \frac{1}{N}\frac{\sum_{i=1}^{N} E_R(i)}{\sum_{i=1}^{N} E_D(i)} \quad (1)$$

Where:

$E_R(i)$ – Elastic energy for the i-th cycle [mJ],

$E_D(i)$ – Dissipated energy for the i-th cycle [mJ],

N – total number of cycles [-].

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

It was shown that there is a relation between the A_V ratio and the N total cycle number. Two curves were fitted to the dataset in the following forms:

$$A_V = ae^{b(N-c)} + d \quad (2)$$

$$A_V = a(N+b)^c + d \quad (3)$$

The fitted curves are shown in Figure 3. The coefficients for both fucntions can be seen in Table 4.

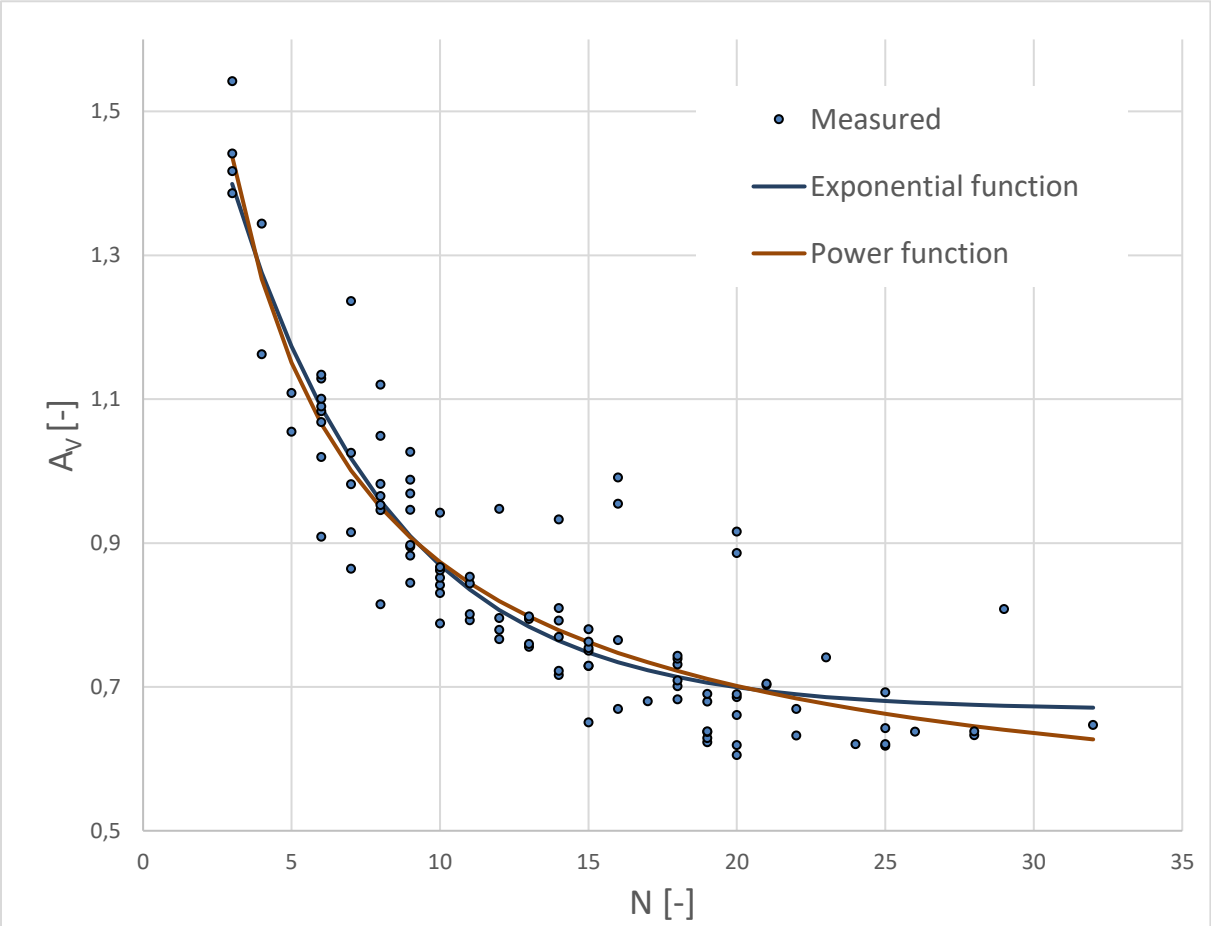


Figure 3: The fitted curves

Table 4: Coefficients of the fitted curves

	$A_V = ae^{b(N-c)} + d$	$A_V = a(N+b)^c + d$
a	1,019	3,139
b	-0,184	-0,945
c	1,203	-0,858
d	0,668	0,470
J	0,647	0,626
R^2	0,845	0,850

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

The mathematical model (shown in Equation 4), which was originally created for structural materials [1] was also succesfully used to describe mechanical properties of biological materials (e.g. bone, cartilage) [3] but until now no measurements were conducted to determine whether the model is aplicable for agricultural produce.

$$\varepsilon_r = A\left(\frac{lnN}{lnN_f} + C\left(\frac{N}{N_f} - \frac{lnN}{lnN_f}\right)\right) + B^2\frac{ln\left(1-\frac{N}{N_f}\right)}{ln\frac{1}{N_f}} \quad (4)$$

Where:
ε_r – relative deformation [-]
N – load cycle number [-]
A, B, C – parameters of the model [-]

The parameters of the model were identificated for 25 measurment datasets. For the identification process, the objective function ΣJ was defined. [4] The results are shown in Table 5. Based on the results of the parameter identification, it can be stated that the model is applicable for the examined agricultural produce. However, the applicablity of the model is limited by the fact that the A, B and C model parameters can not be calculated from other material properties (such as tensile strength, Young's modulus etc.), as these values can't be easily determined for fruits due to their irregular shape and inhomogeneous material (unlike in case of standard-shaped test specimens for structural materials).

Table 5: Parameters of the model

Produce	A	B	C	ΣJ
G01	0,808	0,000	0,045	0,00017
G02	0,681	0,290	-0,234	0,00051
G03	0,800	0,037	0,207	0,00109
G04	0,676	0,002	-0,100	0,00036
G05	0,519	0,161	-0,035	0,00001
G06	0,664	0,183	-0,024	0,00006
G07	0,927	0,246	0,062	0,00158
G08	0,704	0,067	-0,023	0,00026
G09	0,866	0,120	0,065	0,00009
G10	0,692	0,083	0,027	0,00021
G11	0,730	0,147	0,015	0,00005
G12	0,674	0,269	-0,180	0,00039
G13	0,651	0,073	-0,015	0,00006
G14	0,554	0,139	-0,019	0,00001
G15	0,604	0,060	0,095	0,00015
G16	0,098	0,290	-0,111	0,00002
G17	0,593	0,163	-0,043	0,00005
G18	0,639	-0,057	0,077	0,00284
G19	0,632	0,288	0,092	0,00032
G20	0,536	0,463	-0,413	0,00068
G21	0,725	0,276	-0,290	0,00141
G22	0,760	0,231	0,196	0,00037

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Table 5 continued				
G23	0,614	0,427	-0,112	0,00014
G24	0,940	0,226	0,202	0,03356
G25	0,677	-0,053	0,137	0,00013

4 Conclusion

The research was aimed at analyzing the failure characteristics of Golden Delicious apples. It has been shown that there is a correlation between the calculated energy ratio and the failure cycle number. Based on the calculations, the frequency of the dynamic load has no effect on this relationship in the freqency range used for the measurement. Because all measurements were conducted using the same dynamic load magnitude, all failure cycle numbers fall into a limited interval. Further measurements could be conducted with a significantly lower load magnitude. With higher loads, amny apples would suffer failure during the first load cycle, thus rendering the mehods used for repetitive loads inapplicable. The rheological model shown in Equation 4 gave promising results, but can only be used with the simplified model parameters, which have no specific physical meaning. More experiments are planned to determine whether these parameters can be calculated from absolute properties and quantities analogous to relative quantities in the original model (i.e. using force instead of stress etc.).

5 References

1. AHMADZADEH, G.R., VARVANI-FARAHANI, A. 2012. Triphasic ratcheting strain prediction of materials over stress cycles, Journal of Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures 35:929-935.
2. FARKAS, Cs. 2020. Biológiai Anyagok Sérülésvizsgálata. PhD Dissertation, Szent István University, Gödöllő
3. HASHEMI, M.S. 2019. Ratcheting response of biological tissues over asymmetric loading cycles. Ryerson University. Thesis.
4. KÖRMÖCZI, D. 2021. Ismétlődő Nyomóterheléssel Vizsgált Golden Delicious Almák Energiamutatóinak Meghatározása. Hungarian University of Ariculture and Life Sciences, Student Sientific Conference, Section of Technical Sciences.
5. PETRÓCZKI, K, FENYVESI, L. 2014. Improvement of compressive testing instrument with wide range of speed for examining agricultural materials. Computers and Electronics in Agriculture, 101, pp. 42-47.

Summary

Based on the measurements and calculations carried out, two functions were created to describe the relationship between the failure cycle number and the ratio of the elastic and dissipated energy values. Both equations can be used with approximately the same accuracy. It has been proved that the model in Equation 4 can be used to describe the mechanical failure characteristics of the examined fruits, and the parameters of the model have been identificated. On this basis, the experiment can be considered succesfull, but futher questions have been raised. Unlike in its original versions used for structural materials, the parameters of the mathematical model have no physical meaning. Further measurements should be conducted to determine whether these parameters can be calculated from other mechnaical properties of the examined fruits.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Acknowledgement

SUPPORTED BY THE ÚNKP-21-4 NEW NATIONAL EXCELLENCE PROGRAM OF THE MINISTRY FOR INNOVATION AND TECHNOLOGY FROM THE SOURCE OF THE NATIONAL RESEARCH, DEVELOPMENT AND INNOVATION FUND.

POROVNANIE INTENZITY OSVETLENIA RÔZNYCH ZDROJOV SVETLA PRE AUTOMOBILOVÉ SVETLOMETY ILLUMINATION COMPARISON OF VARIOUS LIGHT SOURCES FOR CAR HEADLIGHTS

NORBERT KOSÁR – RADOSLAV MAJDAN

Abstract

This work is focused on illumination measurement of various light sources in the same headlight to compare they. The illuminations measured for each light source were evaluated and compared. For the measurements, we choose a suitable place and object. The main idea of the measurement is to measure every single point prescribed by both methodologies. First methodology according to UN ECE no. 112 was illumination measurement on vertical plane in a distance of 25 meters in front of a vehicle. Second methodology was aimed at detection of the illumination measured in various high corresponding various parts of human body (ankles, knees, waist, and head). This methodology was performed in front of right car headlamp and 1 m near vehicle on the right side of road in different distances. Illumination of all halogen bulbs does not exceed limit values according to UN ECE no. 112. The high-quality halogen bulb Philips H7 VisionPlus type generated highest values of illumination but do not make undesirable glare. Lower level of illumination was measured in case of standard-quality halogen bulb Osram H7 64320. High-quality halogen bulb with blue effect reached lower values than two bulbs mentioned above. Halogen bulb SuperBright 6000K showed worse performance. This bulb also smells and smokes. Both LED light sources showed insufficient illumination and glare effect in the headlamp HCR type.

Key words: halogen bulb, light emitting diode, safety traffic, luxmeter.

1 Úvod

Vo všeobecnosti sú nehody motorových vozidiel spôsobené kombináciou ľudského faktora, vplyvu vozovky, okolitých podmienok a technickej poruchy vozidla. Svetlomety ako aj ostatné časti vozidla musia byť vo vyhovujúcom technickom stave, aby mohli plniť svoje funkcie (Cavallo et al., 2015). Zníženie osvetlenia svetlometov obmedzuje schopnosť vodiča včas rozpoznať osoby alebo prekážky na ceste. Podobná situácia nastáva v prípade zníženej viditeľnosti, napríklad pri daždi, hmle alebo snežení, kedy musí vodič prispôsobiť rýchlosť vozidla prevádzkovým podmienkam. Aby boli osoby alebo prekážky pre vodičov ľahšie a rýchlejšie spozorovateľné, výrobcovia automobilov neustále inovujú svetlomety. Každá nová generácia automobilu je vybavená svetlometmi s lepšími svetelnými vlastnosťami. LED svetlomety boli vyvinuté pre novo vyrábané automobily (Jung a Lee, 2015) za účelom zvýšenia bezpečnosť prevádzky automobilu najmä v nočných hodinách a zníženej viditeľnosti.

Jedna z hlavných zložiek systému aktívnej bezpečnosti je správna distribúcia svetla pred vozidlom, ktorá má poskytnúť vodičovi čo najväčšie osvetlenie na zabezpečenie kvalitného vizuálneho prostredia. Maximálna hodnota osvetlenia je obmedzená predpismi pre spôsobilosť vozidla pre prevádzku na pozemných komunikáciách. Cieľom týchto obmedzení je vyhnúť sa oslneniu protiidúceho vodiča a zároveň chrániť chodcov (Yang a Liu, 2019).

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Úlohou moderného osvetlenia je nielen zníženie spotreby energie, ale aj zlepšenie vizuálneho efektu, aby boli čo najlepšie splnené požiadavky na osvetlenie (Li et al., 2021).

Cieľom práce bolo porovnať intenzitu osvetlenia štyroch typov halogénových žiaroviek s rôznymi vlastnosťami deklarovanými výrobcom, ktoré sú schválené pre použitie v cestnej doprave a dvoch typov zdroj svetla vyrobené technológiou LED.

2 Materiál a metódy

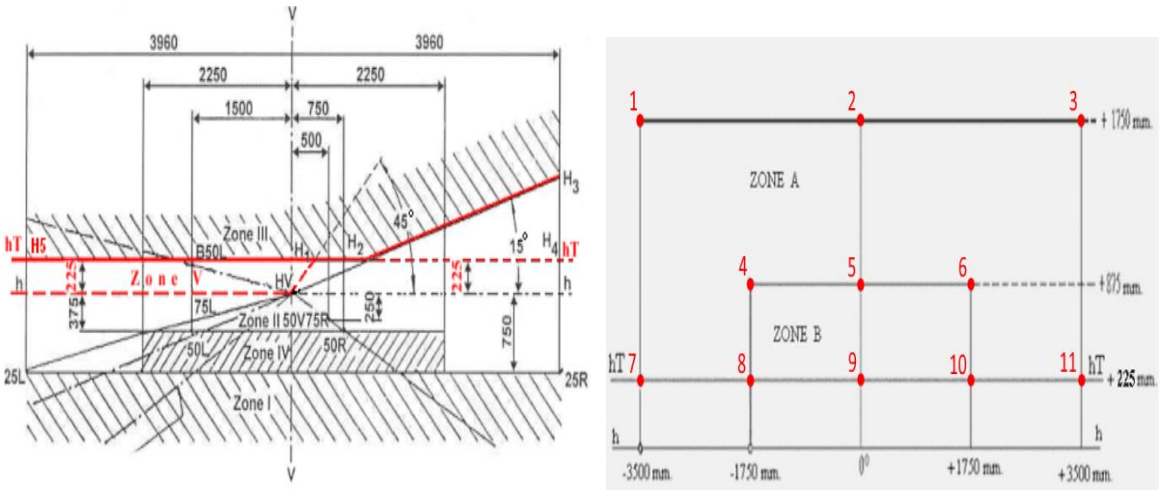
Merania intenzity osvetlenia boli vykonávané dvomi spôsobmi podľa metodiky:

- merania intenzity osvetlenia na zvislej stene podlá smernice OSN EHK č. 112,
- hodnotenia osvetlenia chodca v rôznych vzdialenostiach pred vozidlom.

Prvá metodika je modelový spôsob porovnania intenzity osvetlenia v presne definovaných bodoch na zvislej stene pred vozidlom. Druhá metodika vyhodnocuje osvetlenie chodca v reálnych podmienkach v prípade kolízie teda pred pravým svetlometom a v prípade bezpečnej pozície teda jeden meter od pravého svetlometu (na krajnici).

2.1 Metodika meranie na zvislej stene podľa OSN EHK č. 112

Metodika OSN EHK č. 112 je modelová metodika, a je založená na meraní intenzity osvetlenia, v presne určenej vzdialenosti 25 metrov pred vozidlom. Jednotlivé body v rôznych výškach je možné označiť na rovnej stene, alebo na premietacej ploche. Metodika zároveň stanovuje limitné hodnoty intenzity osvetlenia v jednotlivých bodoch a zónach pre prevádzku vozidiel na cestných komunikáciách. Metodika popisuje 8 meracích bodov (B50L, 75R, 75L, 50L, 50R, 50V, 25L, 25R), v štyroch výškach, obr. 1 a). Metodika ďalej rozdeľuje oblasť pred vozidlom na 4 zóny, v jednotlivých zónach tiež predpisuje limity pre hodnoty osvetlenia v luxoch. Ako doplnok metodika obsahuje ďalší výkres, s ďalšími ôsmimi bodmi, ktoré sa umiestňujú v troch výškach. K metodike podľa smernice sme priadli k pôvodným meracím bodom ďalšie body ako je znázornené na obr. 1 b), takto sa spolu meria 19 bodov s prvou metodikou.



a) b)

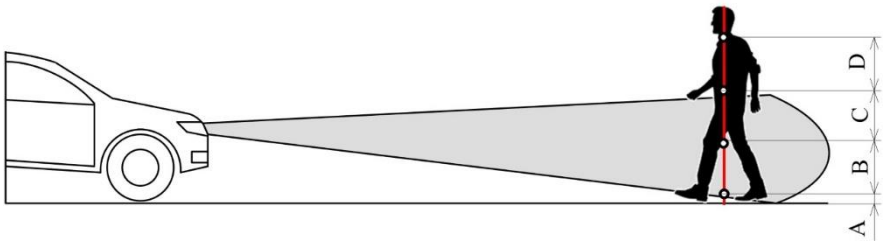
Obr. 1 Body merania na zvislej stene: a) smernica OSN EHK č. 112 (Testek, 2006), b) doplnkové body merania.

Fig. 1 Points of measurements on vertical wall: a) regulation OSN EHK č. 112 (Testek, 2006), b) additional measurement points.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

2.2 Metodika hodnotenia osvetlenia chodca v rôznych vzdialenostiach pred vozidlom

Metodika hodnotenia osvetlenia chodca v rôznych vzdialenostiach pred vozidlom, je tiež založená na meraní intenzity osvetlenia, ale na rozdiel od predchádzajúcej metodiky je, realizovaná v reálnych podmienkach. Táto metodika rozlišuje štyri výšky a dve vzdialenosti meraní. Bola zvolená ako praktické overenie vlastností rôznych zdrojov svetla z hľadiska bezpečnosti, keďže je možné predpokladať prítomnosť chodcov alebo prekážok najmä na pravej strane vozidla. Výšky merania boli zvolené v rôznych výškach reprezentujúcich rôzne časti ľudskej postavy pred vozidlom, čiže hlava (165 cm), pás (110 cm), koleno (55 cm), členok (10 cm), obr. 2. V prvom prípade boli merania realizované presne pred stredom pravého stretávacieho svetlometu vozidla. Týmto spôsobom sa dajú nameraťnajvyššie hodnoty intenzity osvetlenia a v prípade, že sa chodec alebo prekážka nachádza v tomto pásme, hrozí kolízia. V druhom prípade bola zvolená minimálna bezpečná vzdialenosť 1 m od stredu pravého svetlometu, kde nenastane stret chodca s vozidlom. Intenzita osvetlenia bola oboch prípadoch meraná každých 5 m pred vozidlom až do vzdialenosti kde už luxmeter nameral takmer nulové hodnoty, takže 65 m. K meraniam sme použili meraciu tyč pripevnenú k statívu, s označením bodov merania.



Obr. 2 Voľba výšok merania: A – výška členku 10 cm, B – výška kolena 55 cm, C – výška pásu 110 cm, D – výška hlavy 165 cm.
Fig. 2 Selection of measurement points: A – high of ankles, B – high of knees, C – high of waist, D – high of head.

2.3 Porovnávané zdroje svetla, experimentálne vozidlo a meracie zariadenie

Experimentálne boli hodnotené rôzne typy halogénových žiaroviek a LED, obr. 3:

- HG1: štandardná žiarovka Osram H7 64320 12V 55W PX26d,
- HG2: štandardná žiarovka s modrým pokrytím SuperBright H7 12V 55W 6000K,
- HG3: žiarovka vyššej kvality s modrím pokrytým Osram H7 12V 55W PX26d 5300K,
- HG4: žiarovka vyššej kvality Philips H7 VisionPlus 12V 55W PX26d 12972VPS 3250K,
- LED1: zdroj štandardnej kvality LED –DSZTPAO H7 12V 36W 6500K,
- LED2: zdroj vyššej kvality LED – OVEHEL H7 12V 55 W 6000K.



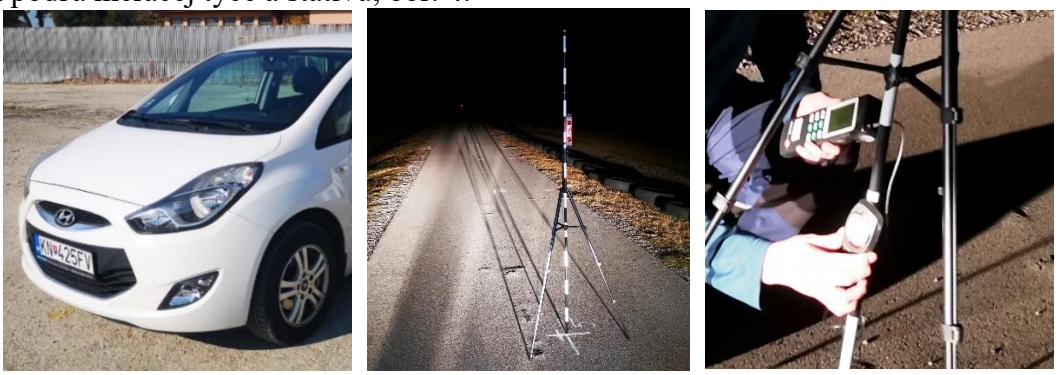
a) b) c) d) e) f)

Obr. 3 Porovnávané zdroje svetla: a) HG1, b) HG2, c) HG3, d) HG4, e) LED1, f) LED2.
Fig. 3 Compared light sources: a) HG1, b) HG2, c) HG3, d) HG4, e) LED1, f) LED2.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Použitý bol osobný automobil typu Hyundai ix20, ktorý používa halogénové žiarovky typu H7 (55W), v reflektorových svetlometoch. Menovité napätie žiaroviek je 12V. Svetlomety majú označenie HCR čo znamená, že diaľkové aj stretávacie svetlomety používajú zvlášť jednu halogénovú žiarovku ako zdroj svetla.

Na meranie intenzity osvetlenia bol použitý merací prístroj Testo 545 s meracím rozsahom 0 až 100 000 lx, rozlíšením: 1 lux (0 do 32000 lux) a 10 lux (0 do 100000 lux) a presnosťou podľa DIN 5032: f1 = 6% V(lambda) – adaptácia, f2 = 5% a triedou presnosti C podľa DIN 5030-7. Luxmetrom bola meraná intenzita osvetlenia v jednotlivých výškach určených podľa meracej tyče a statívu, obr. 4.



a) b) c)

Obr. 4 Experimentálne merania: a) experimentálne vozidlo, b) meracia tyč, c) luxmeter.
Fig. 4 Experimental measurements: a) experimental car, b) measuring rod, c) luxmeter.

Namerané hodnoty intenzity osvetlenia boli porovnané s limitnými hodnotami predpísanými smernicou OSN EHK č. 112, ktoré sú uvedené v tabuľke 1.

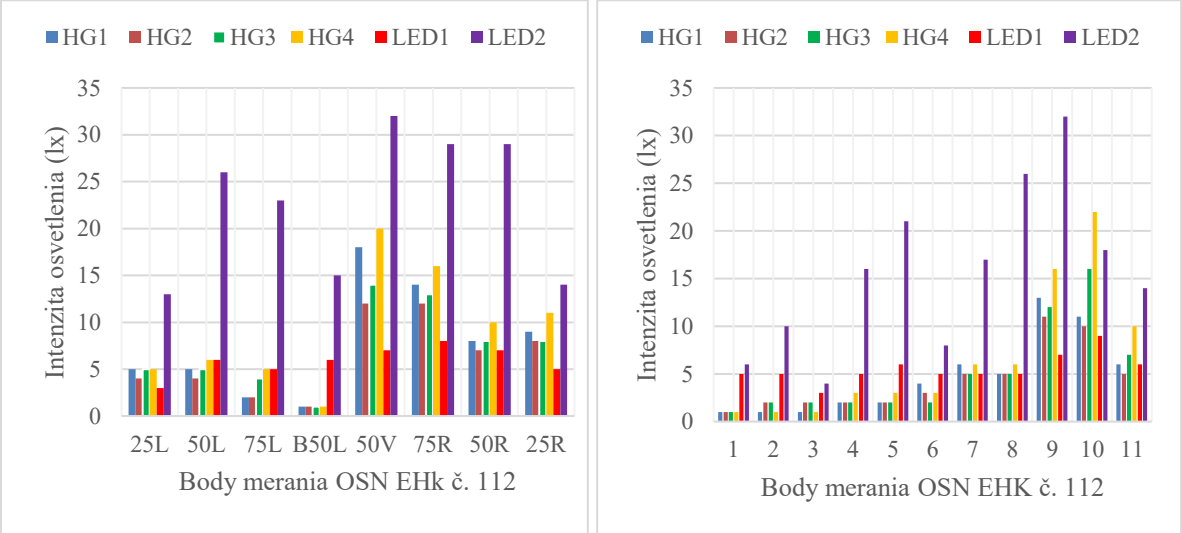
Tab. 1 Limitné hodnoty intenzity osvetlenia podľa OSN EHK č. 112
Tab. 1 Limit values of illumination according to OSN EHK č. 112

Bod na meracej stene		**Požadované osvetlenie (lx)**	
Svetlomety pre pravostrannú dopravu	**Svetlomety pre ľavostrannú dopravu**	**Svetlomet triedy A**	**Svetlomet triedy B**
Bod B 50 L	Bod B 50 R	≤ 0,4	≤ 0,4
Bod 75 R	Bod 75 L	≥ 6	≥ 12
Bod 75 L	Bod 75 R	≤ 12	≤ 12
Bod 50 L	Bod 50 R	≤ 15	≤ 15
Bod 50 R	Bod 50 L	≥ 6	≥ 12
Bod 50 V	Bod 50 V	—	≥ 6
Bod 25 L	Bod 25 R	≥ 1,5	≥ 2
Bod 25 R	Bod 25 L	≥ 1,5	≥ 2
Ľubovoľný bod v zóne III		≤ 0,7	≤ 0,7
Ľubovoľný bod v zóne IV		≥ 2	≥ 3
Ľubovoľný bod v zóne I		≤ 20	≤ 2E ([9])

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

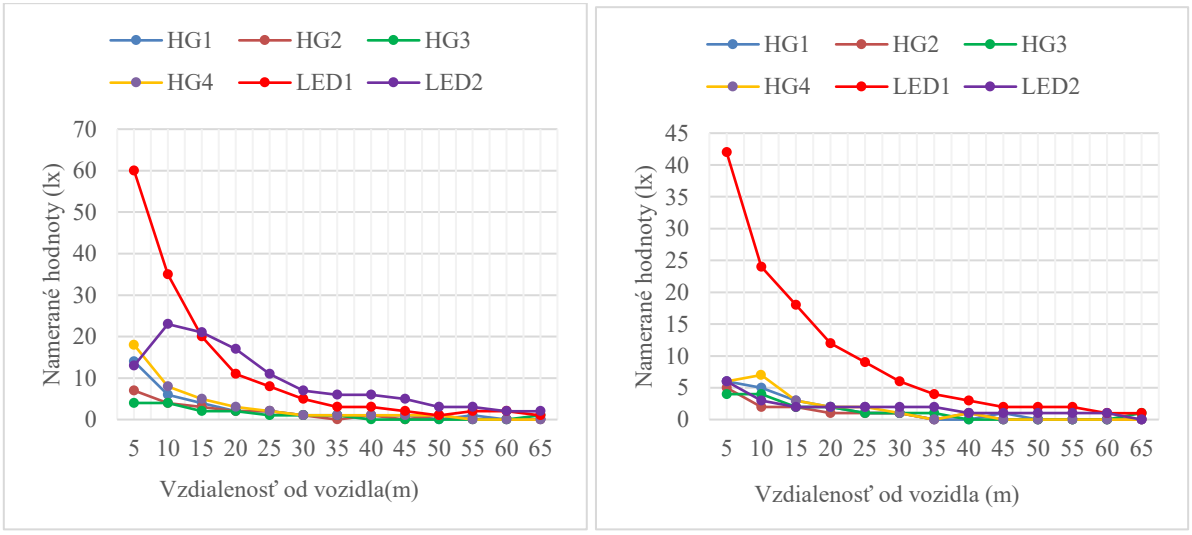
3 Výsledky a diskusia

Na obr. 5 sú znázornené merania intenzity osvetlenia stretávacích svetlometov v bodoch zvolených na základe metodiky OSN EHK č. 112. Merania boli realizované pred automobilom vo vzdialenosti 25 m. Z meraní podľa metodiky OSN EHK č.112 vyplýva, že všetky štyri halogénové žiarovky spĺňali predpísané limitné hodnoty na rozdiel od LED typov zdrojov svetla.



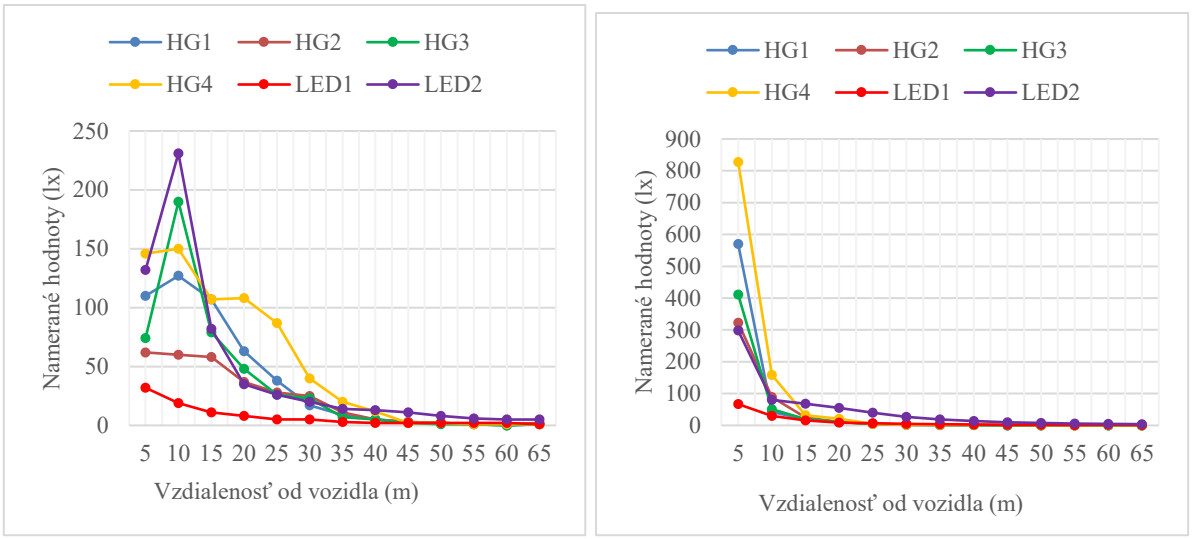
Obr. 5 Intenzita osvetlenia v jednotlivých bodoch podľa metodiky OSN EHK č. 112.
Fig. 5 Illumination in individual points according to methodology OSN EHK č. 112.

Na obr. 6 sú znázornené hodnoty merania intenzity osvetlenia stretávacích svetlometov podľa metodiky hodnotenia osvetlenia chodca priamo pred pravým svetlometom vozidla v zvolených vzdialenostiach a výškach.



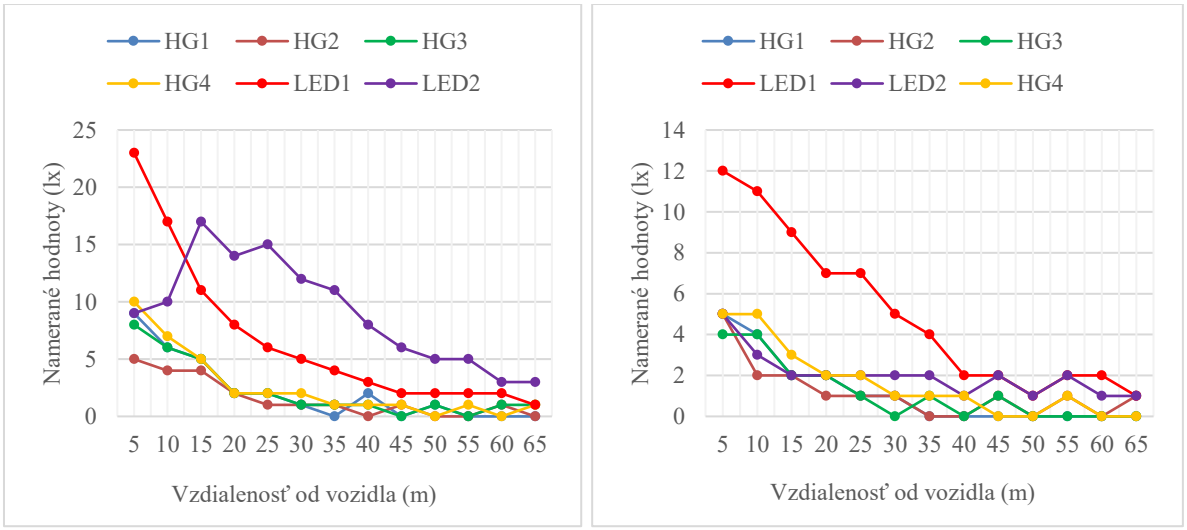
a) b)

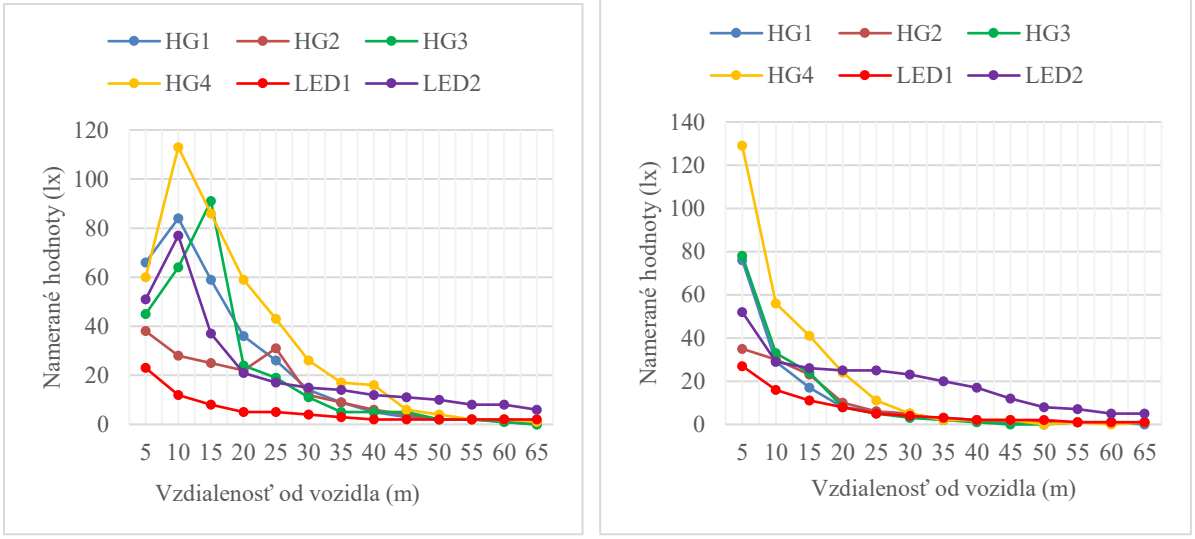
DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 6 Závislosť intenzity osvetlenia od vzdialenosti pred pravým stretávacím svetlometom vo výške: a) hlavy (165 cm), b) pásu (110 cm), c) kolien (55 cm) a d) členkov (10 cm).
Fig. 1 Dependency of illuminance on distance in front of right low-beam headlight in high of: a) head (165 cm), b) waist (110 cm), c) knees (55 cm) and d) ankles (10 cm).

Na obr. 7 sú uvedené hodnoty merania intenzity osvetlenia stretávacích svetlometov podľa metodiky hodnotenia osvetlenia chodca v rôznych vzdialenostiach pred vozidlom, jeden meter od pravého svetlometu vozidla. Talhofer a Troškové-Mayerová (2016) skúmali intenzitu osvetlenia svetlometov v rôznych vzdialenostiach pred špeciálnymi vojenskými vozidlami. Porovnávali svetlomety rôznych špeciálnych vozidiel na vozovke v noci. Osvetlenie klesalo so vzdialenosťou podobne ako výsledky prezentované v tomto článku. Minimálne hodnoty intenzity osvetlenia na vozovke boli zaznamenané vo vzdialenosti väčšej ako 30 m. De Santos-Berbel et al. (2016) skúmal rôzne parametre svetlometov vozidla ako je výška svetlometu, dosah lúča, horizontálne rozpätie a uhol divergencie smerom nahor. V našom prípade sme sa zamerali na skúmanie vlastností svetlometu s rôznymi zdrojmi svetla.





Obr. 7 Závislosť intenzity osvetlenia od vzdialenosti, jeden meter od pravého stretávacieho svetlometu vo výške: a) hlavy (165 cm), b) pásu (110 cm), c) kolien (55 cm) a d) členkov (10 cm).

Fig. 7 Dependency of illuminance on distance, one meter near right low-beam headlight in high of: a) head (165 cm), b) waist (110 cm), c) knees (55 cm) and d) ankles (10 cm).

Halogénová žiarovka číslo 4, čiže halogénová žiarovka vyššej kvality s prirodzenou farbou svetla (teplotou chromatičnosti) bola vyhodnotená ako najlepšia pre reflektorový svetlomet typu HCR, keďže merania s metodikou OSN EHK č. 112 ukázali , že táto žiarovka produkuje najvyššiu intenzitu osvetlenia v porovnaní s ostatnými žiarovkami a zároveň nespôsobuje oslnenie protiidúcich vodičov. Merania metodikou hodnotenia osvetlenia chodca v rôznych vzdialenostiach pred vozidlom ukázali, že z pomedzi testovaných žiaroviek táto produkuje najväčšie osvetlenie pred vozidlom a to v najosvetlenejšom bode vo výške členkov 828 luxov, rovnako ako aj pri meraniach vedľa vozidla a to v najosvetlenejšom bode vo výške členkov 129 luxov. Úroveň oslnenia bola hodnotená v zatienených zónach kde intenzita osvetlenia dosahoval hodnoty len 0 až 2 lx aj napriek vysokým hodnotám osvetlenia, z čoho je možné predpokladať, že táto žiarovka nespôsobuje oslnenie pri správne nastavených svetlometoch.

Na druhom mieste bola vyhodnotená halogénová žiarovka s číslom 1, ako je zrejmé z grafoch na obr. 5, 6 a 7. Táto žiarovka produkovala najväčšie množstvo svetla hneď po žiarovke HG4. Vo výške členkov produkovala intenzitu osvetlenia 570 lx pri meraniach pred vozidlom a až 76 lx pri meraniach vedľa vozidla, čo je stále postačujúce aby bol chodec včas spozorovaný vodičom. Rovnako ako v predchádzajúcom prípade žiarovky HG4, žiarovka HG1 nespôsobuje nežiaduce oslnenie, keďže vo vyšších zónach produkovala intenzitu osvetlenia okolo 1 lx.

Nasledovné hodnotenie sa týka žiaroviek ktorých farba svetla je určitým spôsobom upravená. Jedná sa o halogénovú žiarovku s modrým pokrytím s označením HG3. Modrá farba svetla sa vizuálne výrazne odlišovala od ostatných žiaroviek, čo opticky navodzovalo dojem vysokej intenzity osvetlenia. Merania poukázali na skutočnosť, že opak je pravdou a namerané hodnoty nedosahovali úroveň žiaroviek HG4 a HG1. Túto žiarovku je preto možné vyhodnotiť ako tretiu najlepšiu spomedzi všetkých testovaných. Napriek nameraných hodnotám, táto žiarovka poskytuje dostatočnú úroveň osvetlenia pri požiadavke na modré zafarbenia svetla. Intenzita osvetlenia chodca v najosvetlenejšom bode vo výške členkov dosiahla hodnotu 411 lx pred vozidlom a hodnotu 64 lx vedľa vozidla čo je menej ako v prípade žiaroviek HG1 a HG4.

Najnižšie hodnoty intenzity osvetlenia produkoval žiarovka HG2. Táto žiarovka produkovala výrazne nižšiu intenzitu osvetlenie a zároveň opticky nevytvárala deklarovaný modrý vzhľad svetla na rozdiel od drahšej alternatívy HG3. Počas meraní bol pozorovaný aj veľmi slabý dym, spolu s nepríjemným spáleným zápachom. Po viacerých výmenách sa dalo pozorovať, že horná časť žiarovky strácala svoje pokrytie, čo potvrdzuje slabú kvalitu žiarovky. Táto žiarovka poukazuje na skutočnosť, že lacné typy žiaroviek jednak nedosahujú úroveň intenzity osvetlenia štandardných žiaroviek a tiež ohrozujú vozidlo rizikom požiaru. Namerané hodnoty dosiahli len 323 lx pred vozidlom v najintenzívnejšie osvetlenom bode vo výške členkov, čo je menej ako polovičná hodnota žiarovky číslom HG4. Podobne aj hodnoty namerané na vedľa vozidla dosiahli len 28 lx. Nízke hodnoty intenzity osvetlenia sú pravdepodobne spôsobené modrým pokrytím sklenej banky žiarovky.

Testované boli aj dva zdroje svetla vyrobené LED technológiou. Najdôležitejší parameter pre porovnanie bol veľkosť čipu, ktorý emituje svetlo. Zdroj svetla s označením LED1 sa podstatne odlišuje od tvaru halogénovej žiarovky s volfrámovým vláknom čo malo za následok vysokú intenzitu osvetlenia priestoru pred vozidlom kde by mala dosahovať minimálne hodnoty a preto spôsobovala vysokú úroveň nežiaduceho oslnenia. V týchto bodoch by namerané hodnoty nemali presahovať 1 lx, čo zdroj svetla LED1 vysoko prekročil. Najvyššie namerané hodnoty pred vozidlom sa pohybovali okolo 12 až 67 lx. Jednotlivé predpísané hodnoty v daných bodoch podľa metodiky č.1 žiarovka nesplnila, a iné vysoko prekročila, preto zdroj svetla s označením LED1 môžeme vyhodnotiť za nevhodný na použitie v reflektore typu HCR.

Posledný testovaný zdroj svetla vyrobený technológiou LED bol označený LED2. Problém tohto zdroja svetla bol rovnaký ako predošlého. Niektoré hodnoty predpísané v metodike OSN EHK č. 112 tento zdroj svetla nedosahoval a iné hodnoty vysoko prevyšoval. Najvyššia nameraná hodnota pred vozidlom bola 231 lx, a vedľa vozidla iba 77 lx, čo je spôsobené jej nevhodným tvarom pre použitie v reflektore typu HCR. Preto ani tento typ zdroja svetla nie je vhodný pre použitie v reflektoroch typu HCR.

4 Záver

Cieľom príspevku bolo oboznámenie čitateľa s problematikou, aký majú vplyv nevhodné alebo málo kvalitné zdroje osvetlenia na vyžarované množstvo svetla svetlometom, ako aj na požadovaný vzor osvetlenia. Metodiku merania sme zvolili podľa cieľov zameraných na porovnanie intenzity osvetlenia rôznych typov zdrojov svetla pre svetlomet typu HCR. Zvolená metodika merania obsahovala údaje s ktorými boli namerané hodnoty porovnané, a podľa toho boli vyhodnotené porovnávané zdroje svetla. Na základe nameraných hodnôt môžeme konštatovať, že všetky štyri halogénové žiarovky použité v experimente sú vhodné na použitie, avšak jednotlivé zdroje svetla sa vyznačovali rozdielnou intenzitou osvetlenia v jednotlivých bodoch merania. Namerané rozdiely vo vyžarovanom svetle medzi štandardnými halogénovými žiarovkami a medzi žiarovkami vyššej kvality sú pomerne veľké a preto významné. Halogénové žiarovky s modrým vzhľadom svetla, umožňujú úpravu farby svetla vyžarovaného svetlometom bez nutnosti výmeny celého svetlometu avšak tieto zdroje svetla sa vyznačovali zníženou intenzitou osvetlenia. Takéto riešenie je ale odporúčané realizovať žiarovkou s vyššou kvalitou, kde výrobca kompenzuje zníženú priehľadnosť krycieho skla banky žiarovky na rozdiel od menej kvalitných zdrojov. V ďalšom kroku boli porovnané dva zdroje svetla vyrobené technológiou LED. Podľa meraných a vyhodnotených údajov môžeme konštatovať, že na vlastnosti takého zdroja svetla má podstatný vplyv tvar zdroja svetla a veľkosť LED čipu. Merania potvrdili skutočnosť, že LED zdroje svetla by sa nemali používať vo svetlometoch, ktoré neboli pre ne schválené. Bežné reflektorové svetlomety, ktoré boli navrhnuté a vyrobené pre použitie halogénovej žiarovky, nie sú vhodné

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

na pre použitie s inými svetelnými zdrojmi. Ak sa aj napriek tomu vodič rozhodne túto skutočnosť ignorovať, riskuje ohrozenie účastníkov cestnej premávky ako aj sám seba z dôvodu nevhodnej distribúcie osvetlenia priestoru pred vozidlom.

5 Literatúra

CAVALLO V., RANCHET, M., PINTO, M., ESPIÉ, S., VIENNE, F., DANG, N. T. 2015. Improving Car Drivers' Perception of Motorcycle Motion Through Innovative Headlight Configurations. In Accident Analysis & Prevention, vol. 81, pp 187-193.

DE SANTOS-BERBEL, C., CASTRO, M., IGLESIAS MARTÍNEZ, L. 2016. Influence of Headlamp Lighting Parameters in Nighttime Sight Distance. International Conference on Traffic and Transport Engineering. Belegrade, 2016.

DIN 5032-7. 2017. Photometry - Part 7: Classification of illuminance meters and luminance meters

JUNG, E. D., LEE, Y. L. 2015. Development of a Heat Dissipating LED Headlamp with Silicone Lens to Replace Halogen Bulbs in Used Cars. In Applied Thermal Engineering, vol. 86, pp 143-150.

LI, L., WANG, J., YANG, S., GONG, H. 2021. Binocular Stereo Vision Based Illuminance Measurement Used for Intelligent Lighting with LED. In Optik, vol. 237, pp 101-118.

OSN EKH 112. 2010. Jednotné ustanovenia pre schvaľovanie typu svetlometov motorových vozidiel s asymetrickým stretávacím svetlom a/alebo diaľkovým svetlom a vybavených žiarovkami a/alebo LED modulmi. Predpis Európske hospodárskej komisie Organizácie spojených národov.

TALHOFER, V., HOŠKOVÁ-MAYEROVÁ, Š. 2016. Verification Tests of Mathematical Model of Passage Through Terrain. 15th Conference on Applied Mathematics: Aplimat 2016. Technical University of Technology in Bratislava, 2016.

Testek. 2006. Metodický pokyn na kontrolu nastavenia stretávacích, diaľkových svetlometov a svetlometov do hmly vozidiel kategórií M, N a L pri technických kontrolách [online]. [cit. 2022-03-13]. Dostupné na: <https://www.testek.sk/files/meto/metodicky_pokyn_nastavenie_svetiel.pdf>.

YANG, H. O., LIU, Z. 2019. Relationship of Light Distribution Between 25 m Screen and Road Illuminance Analysis. In Optik, vol. 185, pp 1009-1018.

Súhrn

Príspevok je zameraný na intenzitu osvetlenia rôznych svetelných zdrojov v tom istom svetlomete s cieľom porovnať ich. Namerané hodnoty intenzity osvetlenia každého svetelného zdroja boli vyhodnotené a porovnané. Pre merania sme vybrali vhodné miesto a objekt. Cieľom meraní bolo namerať intenzitu osvetlenia v bodoch stanovených dvomi metodikami. Prvá metodika je podľa predpisu EHK OSN č. 112, tieto merania sa uskutočnili vo vertikálnej rovine vo vzdialenosti 25 metrov pred vozidlom. Druhá metodika bola zameraná na detekciu intenzity osvetlenia rôznych častí ľudského tela (členok, koleno, pás a hlava).

Podľa tejto metodiky sa merania uskutočnili pred pravým svetlometom vozidla, a 1 m do pravého svetlometu vozidla v rôznych vzdialenostiach. Výsledky poukázali na skutočnosť, že intenzita osvetlenia všetkých halogénových žiaroviek neprekračuje limitné hodnoty podľa EHK OSN č. 112. Vysokokvalitná halogénová žiarovka typu Philips H7 VisionPlus generuje najvyššie hodnoty osvetlenia, pričom nevytvára nežiaduce oslnenie. Nižšia úroveň intenzity osvetlenia bola nameraná v prípade halogénovej žiarovky štandardnej kvality Osram H7 64320. Halogénová žiarovka s modrým efektom dosahovala nižšie hodnoty, ako dve vyššie uvedené žiarovky, pričom halogénová žiarovka SuperBright 6000K vykazovala najhoršie výsledky. Halogénová žiarovka SuperBright 6000K tiež vykazovala nežiadané dymenie a jemný spálený pach. Obidva LED svetelné zdroje vykazovali nedostatočné osvetlenie, a efekt vysokého oslnenia vo svetlomete typu HCR.

Kľúčové slová: halogenová žiarovka, dióda vyžarujúca svetlo, bezpečná doprava, luxmeter.

HODNOTENIE MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ MATERIÁLOV PRE 3D TLAČ
EVALUATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF 3D PRINTING MATERIALS

STANISLAV KOTIAN – VIERA KAŽIMÍROVÁ

Abstract

In this work, we evaluated the mechanical properties of materials used for 3D printing. We examined type 1B samples made of ABS, PLA and PET-G materials, and these samples were made using FDM technology. Samples of PA 12 material were produced using SLS technology. On the basis of data analysis of results of studies and research published in domestic and foreign scientific journals, we determined the optimal printing parameters, which led to the production of samples with the highest possible strength. Samples of these materials were subjected to a tensile test on a test equipment by MTS, model Exceed E43.104, with integrated measuring software. We analyzed the results obtained by the tensile test and compared them with the values given by the manufacturers of these materials. The tensile strength of all materials was higher than values stated by the manufacturers, which was because we used a temperature at the upper limit of the recommended temperature range when printing. On the other hand, we achieved a smaller tensile strain at strength and tensile strain at break.

Key words: 3D printing, FDM, SLS, tensile strength, ABS, PLA, PET-G, PA 12

1 Úvod

Aditívna výroba je proces založený na princípe postupného nanášania vrstiev materiálu, ktorý prináša jedinečné možnosti navrhovania a konštruovania výrobkov. V súčasnosti sa aditívna výroba začína čoraz viac aplikovať aj na výrobu konečných výrobkov a môžeme konštatovať, že už sa nejedná o technológiu využívanú výlučne pri prototypoch. Medzi jej výhody patrí možnosť vytvárania tvarovo komplexných výrobkov, široký výber materiálov a rýchlosť výrobného procesu, ktorý je nezávislý od použitia špeciálnych nástrojov a prípravkov (Gibson et al., 2021).

Najrozšírenejšou a zároveň najdostupnejšou technológiou aditívnej výroby je v súčasnosti FDM tlač. Proces FDM tlače pozostáva z niekoľkých krokov. Prvým je vytvorenie 3D modelu pomocou CAD softvérov. Následne je model prevedený do formátu STL, ktorý popisuje jeho vonkajšie plochy a tvorí základ pre výpočet vrstiev. Posledným krokom je prenesenie STL súboru do softvéru tlačiarne, v ktorom je možné model upravovať, orientovať a premiestňovať. Väčšina softvérov dodávaných k 3D tlačiarňam obsahuje aj tzv. slicer, teda funkciu softvéru, potrebnú na rozdelenie modelu do horizontálne orientovaných vrstiev. Následne sú nastavené parametre 3D tlače, ktoré do veľkej miery vplývajú na výsledné mechanické vlastnosti výtlačkov. Model rozdelený na vrstvy je pripravený na 3D tlač, pričom platí, že čím menšiu hrúbku vrstvy zvolíme, tým bude tlačiareň reálnejšie zachytávať menšie detaily. Objekty sú vytvárané vo vrstvách materiálu, ktorý je postupne tavený a nanášaný pomocou presne riadeného extrudéra (Gibson et al., 2021; Kloski a Kloski, 2017).

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Ďalšou rozšírenou technológiou aditívnej výroby je SLS. Skratka SLS je odvodená z anglického názvu technológie Selective Laser Sintering, čo v preklade znamená selektívne spekanie laserom. Technológia je založená na riadenom laserovom lúči, ktorý ožaruje a speká vrstvy materiálu. Materiál je dodávaný vo forme prášku, z ktorého sa postupným spekaním stáva pevný 3D diel. Najväčšia výhoda SLS technológie spočíva v tom, že je schopná vyrábať tvarovo zložité a funkčné produkty. SLS technológia využíva laserovú energiu na selektívne a riadené spekanie prášku do vopred preddefinovaného tvaru. Podobne ako pri technológii FDM, aj tu je diel vyrábaný v postupne nanášaných vrstvách (Delgado et al., 2019).

Medzi najdôležitejšie parametre, ovplyvňujúce mechanické vlastnosti výtlačkov vyrobených pomocou FDM technológie, patrí hustota výplne, vzor výplne, teplota extrúzie (tlače), rýchlosť tlače, hrúbka vrstvy, priemer dýzy a orientácia výtlačku. Na dosiahnutie najvyššej pevnosti v ťahu je ideálne použiť vzorky s hrúbkou vrstvy 0,2 mm a hustotou výplne 100 %. Autori Akhoundi a Behravesh (2019), Dudescu a Racz (2017) a Pandžić et al. (2019) uvádzajú, že najvyššiu pevnosť dosahuje koncentrický vzor, wringgle vzor a lineárny vzor. Všetky tieto vzory sú si veľmi podobné a vyznačujú sa orientáciou vlákien, ktorá je rovnobežná so smerom zaťaženia. Vyššia pevnosť je spôsobená tým, že pevnosť väzby medzi jednotlivými vláknami je menšia ako pevnosť naneseného vlákna. To znamená, že pri použití vzorov, ktorých orientácia vlákien je vzhľadom na zaťažujúcu silu pod určitým uhlom, vzniká stav, kedy je zaťaženie prenášané viac na väzby ako na vlákno. Z výsledkov prác autorov Benwood et al. (2018) a Farashi a Vafaee (2022) vyplýva, že mierne zvýšenie teploty extrúzie môže viesť k nárastu pevnosti v ťahu.

Cieľom práce bolo vyrobiť skúšobné vzorky s čo najvyššou možnou pevnosťou v ťahu, ktorú sme následne porovnávali s hodnotami uvádzaným výrobcami.

2 Materiál a metódy

2.1 Materiál

Na výrobu skúšobných vzoriek pomocou FDM technológie sme použili materiály PLA, ABS, PET-G. Skúšobné vzorky z materiálu PA 12 boli vyrobené pomocou SLS tlačiarne.

PLA je polymliečna kyselina, ktorá patrí do skupiny biologicky rozložiteľných a obnoviteľných materiálov. Vyrába sa z kukuričného a zemiakového škrobu alebo z cukrovej trstiny. Patrí medzi najviac využívané materiály v FDM tlači. Je zdravotne nezávadná, vďaka čomu sa využíva v medicíne. Je vhodná pre tlač veľkých dielov, ale zároveň sa jedná o jediný materiál overený pre tlač extrémne nízkych vrstiev s hrúbkou 0,05 mm. Teplota dýzy počas tlače PLA by sa mala pohybovať v intervale (190 – 220) °C, pričom teplota podložky by mala byť (40 – 60) °C. Medzi najväčšie nevýhody PLA patrí nízka teplotná odolnosť, zlá rázová húževnatosť a absorpcia vody (Prusa Research, 2021).

Akrylonitrilbutadiénstyrén skrátene označovaný ako ABS je jedným z najdostupnejších termoplastov, pričom svoje využitie nachádza v automobilovom priemysle, pri výrobe hračiek ako napríklad lego, alebo skladovacích nádob. ABS má vysokú teplotu skleného prechodu, približne 105 °C, čo spôsobuje deformácie zmraštením vznikajúce počas chladnutia. ABS sa môže chladnutím zmraštiť a stratiť svoj objem až o 0,8 %. Z tohto dôvodu sa odporúča použitie vyhrievanej tlačovej dosky, ktorej teplota by sa mala pohybovať v intervale (90 – 110) °C. Taktiež musí byť použitá aj vyššia teplota dýzy, ktorá by sa mala pohybovať v intervale až (245 – 265) °C. Nevýhodou ABS je spomínané výrazné zmrašťovanie počas chladnutia a vznik zápachu a toxických plynom počas tlače (Bates-Green a Howie, 2017; Prusa Research, 2021).

PET-G, ktoré vzniklo spojením polyetyléntereftalátu (PET) a glykolu (G), je najviac využívaným plastom na svete. Vyrábajú sa z neho obalové materiály na potraviny, fľaše a oblečenie. Pridaním glykolu do polyetyléntereftalát vznikne materiál PET-G, ktorý má v porovnaní s PET lepšie mechanické vlastnosti a odolnosť voči vyšším teplotám. Výrobky

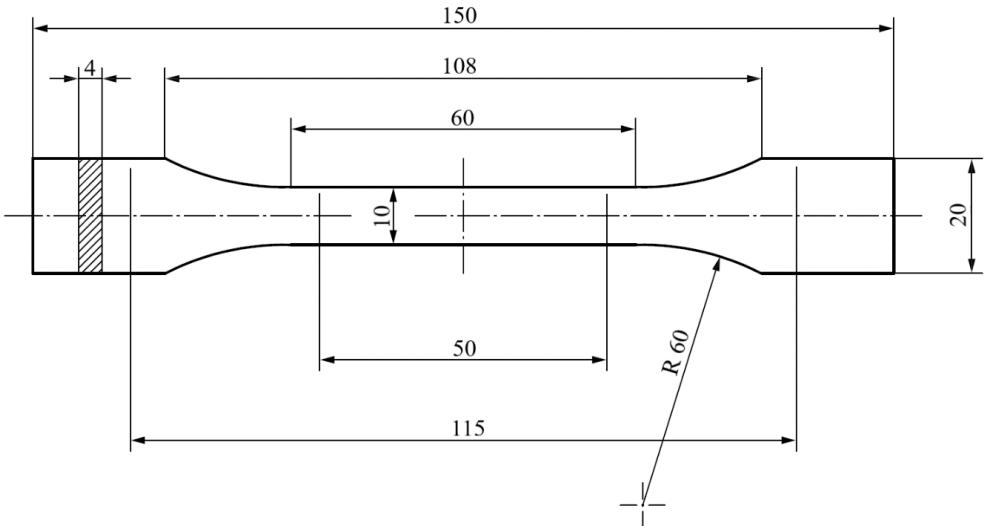
DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

z PET-G sa používajú na rôzne typy úchytov, vode odolné a vodotesné súčiastky a mechanicky namáhané časti zariadení. Pri tlači sa môže objaviť tzv. „stringovanie“, ktoré sa prejavuje ťahaním malých vlásočníc materiálu. Takéto tenké vlákna je možné následne odstrániť teplovzdušnou pištoľou. V porovnaní s PLA a ABS sa PET-G vyznačuje vyššou cenou (Bates-Green a Howie, 2017; Prusa Research, 2021).

PA 12 je polyamid, tiež označovaný ako nylon. Je to najrozšírenejší materiál využívaný pre tlač pomocou SLS technológie. Veľkou výhodou PA 12 je tzv. refresh rate, čo znamená pomer minimálneho množstva čerstvého prášku a recyklovaného prášku potrebného na tlač. To znamená, že materiál, ktorý zostane po tlači sa vo veľkej miere môže použiť aj pri ďalšom cykle SLS tlače. Pomer množstva čerstvého a starého prášku sa vypočíta automaticky pomocou softvéru zabudovaného v SLS tlačiarni. V niektorých prípadoch stačí pridať len 22 % čerstvého prášku, pričom zvyšných 78 % zmesi tvorí recyklovaný prášok. Medzi jeho najväčšie výhody patrí chemická odolnosť, možnosť tlače tvarovo zložitých dielov a už spomínaná recyklácia. Medzi nevýhody patrí mierne drsný povrch výtlačkov a to, že materiál nie je vode odolný (Sinterit, 2022).

2.2 Skúšobné vzorky

V súčasnosti neexistuje norma, ktorá by presne špecifikovala postup ťahovej skúšky a rozmery skúšobných telies vytlačených na 3D tlačiarni. Vo všeobecnosti sa ale v praxi a vo výskume používa ťahová skúška, vykonávaná na základe normy STN EN ISO 527-2 z roku 2012, ktorá popisuje skúšobné podmienky pre lisované a vytláčané plasty. V našej práci sme na výrobu skúšobných vzoriek použili rozmery typu 1B (Obr. 1). Model skúšobných vzoriek bol vytvorený pomocou softvéru CATIA V5, v ktorom bol prevedený do formátu STL. Minimálny počet skúšobných vzoriek pre jednu testovanú skupinu je 5.



Obr. 1 Rozmery skúšobnej vzorky typu 1B (STN EN ISO 527-2, 2020)
Fig. 1 Dimensions of type 1B test specimen (STN EN ISO 527-2, 2020)

2.3 Zariadenia na 3D tlač

Na výrobu skúšobných vzoriek z materiálov PLA, ABS a PET-G sme použili FDM tlačiareň Original Prusa i3 MK3S+. Vstupný materiál bol dodaný vo forme filamentu s priemerom 1,75 mm navinutom na cievke. Výroba vzoriek z materiálu PA 12 prebiehala na SLS tlačiarni Sinterit Lisa PRO, pričom materiál bol dodávaný vo forme prášku s veľkosťou zŕn (18 – 90) μm.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

2.4 Parametre tlače

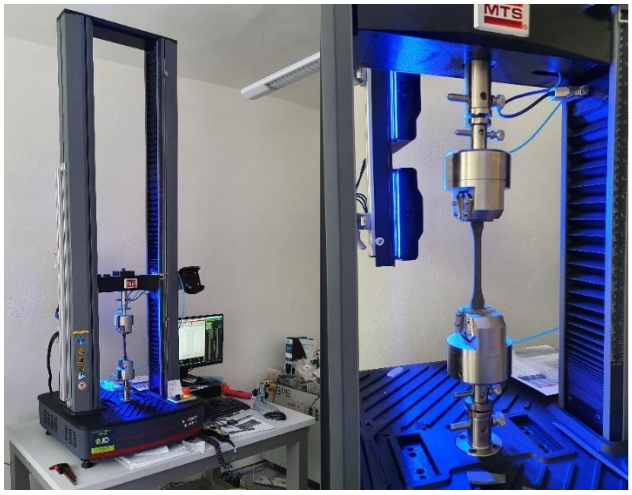
V Tab. 1 sú uvedené základné parametre tlače, ktoré boli použité pri výrobe skúšobných vzoriek. Parametre tlače, ktoré do výraznej miery vplývajú na mechanické vlastnosti výtlačkov, sme volili na základe zistení a záverov vyvodených z analýzy výsledkov štúdií a výskumov publikovaných v zahraničných a domácich vedeckých časopisoch. Použili sme výplň so 100 % hustotou, koncentrický vzor v kombinácii so šrafovaním 90 °. Pri výrobe vzoriek pomocou FDM tlače sme použili vyššie teploty extrúzie (tlače), ktoré sa pohybovali v hornom intervale teplôt odporúčaných výrobcom. Vyššou teplotou sme sa snažili dosiahnuť výrobu vzoriek s pevnejšími medzivrstvovými a vnútrovrstvovými väzbami. Hlavným parametrom SLS tlače bola teplota tavenia materiálu PA 12, ktorá je 185 °C.

Tab. 1 Parametre FDM tlače
Tab. 1 FDM printing parameters

Materiál	Teplota extrúzie, °C	Teplota tlačovej dosky, °C	Výška vrstvy, mm	Rýchlosť tlače, $mm \cdot s^{-1}$
ABS	260	100	0,2	150
PLA	210	60	0,2	150
PET-G	230	85	0,2	150

2.5 Meracie zariadenie

Na meranie pevnosti v ťahu sme použili zariadenie od firmy MTS, model Exceed E43.104 s integrovaným meracím softvérom. Upínací prípravok je ovládaný pneumaticky pomocou pedálov. Pred ťahovou skúškou sme na vzorky špeciálnou fixkou nakreslili bodky, ktoré pomáhajú kamere pri vyhodnocovaní výsledkov.



Obr. 2 Meracie zariadenie MTS Exceed E43.104
Fig. 2 Measuring device MTS Exceed E43.104

Každá vzorka bola označená číslom 1 až 5. V Tab. 2 sú uvedené rozmery skúšobných vzoriek. V porovnaní s rozmermi vzoriek definovanými normou ISO 527-2 boli mierne rozdielne. V priemere bola rozmerová odchýlka na úrovni 0,08 mm. Rozmerová odchýlka je vzhľadom na použité materiály a technológie FDM a SLS tlače bežná. Z dôvodu zvýšenia presnosti výsledkov sme preto každú skúšobnú vzorku pred testom odmerali a následne sme jednotlivé veľkosti zapísali do softvéru ťahacieho zariadenia, ktorý ich použil pri výpočtoch. Rýchlosť skúšobného zariadenia bola 50 mm/min^{-1}.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Tab. 2 Porovnanie rozmerov vzoriek s normou ISO 527-2
Tab. 2 Comparison of sample dimensions with ISO 527-2

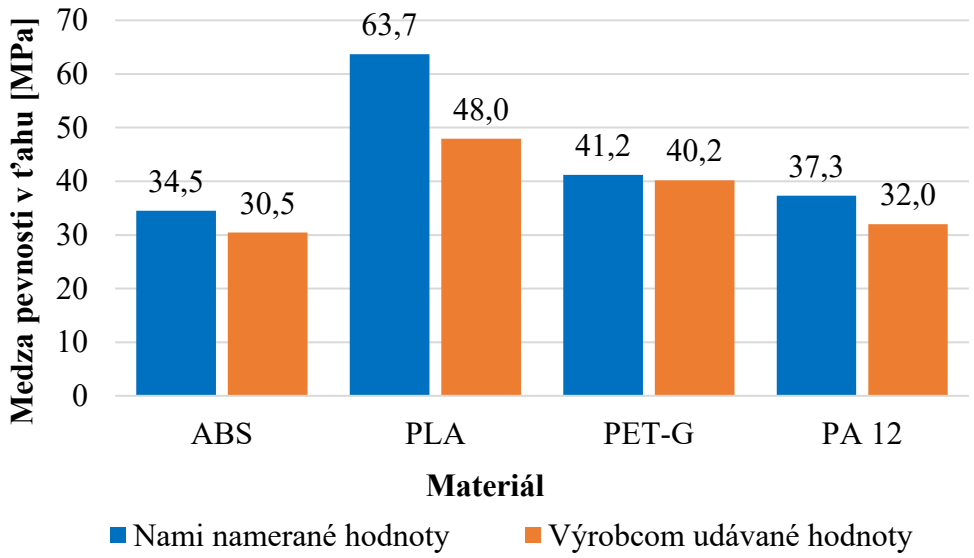
Vzorky	Priemerná šírka, mm	Priemerná hrúbka, mm
ISO 527-2	10	4
ABS	9,921	3,932
PLA	9,972	4,049
PET-G	9,851	3,943
PA 12	9,945	3,776

3 Výsledky a diskusia

Výsledky ťahovej skúšky sme spracovali vo forme grafov, v ktorých porovnávame namerané hodnoty získané ťahovou skúškou s hodnotami udávanými výrobcom. Výrobcami udávané hodnoty sme získali z materiálových listov, ktoré sa dodávajú spolu s materiálmi. Rovnako ako my, tak aj výrobcovia použili metodiku merania stanovenú normou ISO 972-2.

3.1 Medza pevnosti v ťahu

Na Obr. 3 môžeme vidieť namerané hodnoty pevnosti v ťahu v porovnaní s hodnotami, ktoré udávajú výrobcovia. Je zrejmé, že vo všetkých prípadoch sa nám poradilo vyrobiť vzorky s vyššou medzou pevnosti v ťahu. Materiálom s najvyššou medzou pevnosti v ťahu bol PLA. Druhú najvyššiu pevnosť v ťahu sme zaznamenali pri materiáli PET-G. Tretiu najvyššiu pevnosť mali vzorky vyrobené z materiálu PA 12. Najnižšie hodnoty medze pevnosti v ťahu sme zaznamenali pri vzorkách vyrobených z materiálu ABS. Z hodnôt uvádzaných výrobcami Zortrax (2022) a Sinterit (2022) rovnako vyplýva, že najpevnejším materiálom bolo PLA následne PET-G, PA 12 a ABS.



Obr. 3 Medza pevnosti v ťahu
Fig. 3 Tensile strength

V prípade materiálu ABS bola medza pevnosti v ťahu v porovnaní s hodnotami uvádzanými výrobcom vyššia o 4 MPa, čo je o 13,1 % viac. Podobné hodnoty medze pevnosti v ťahu, 35,68 MPa, zaznamenali pre materiál ABS aj Fernandez et al. (2016), ktorí merali aj skúšobnú vzorku vyrobenú z čistého ABS, ktoré malo medzu pevnosti 36,56 MPa. Nabavi-Kivi

et al. (2022) namerali medzu pevnosti v ťahu 33 MPa a autori Rezaeian et al. (2019), v závislosti od rýchlosti tlače, zistili hodnoty v rozmedzí (32 – 34) MPa.

Najvyšší rozdiel medzi nami nameranými hodnotami a hodnotami uvádzanými výrobcom bol pri materiáli PLA. Medza pevnosti v ťahu bola pri našich vzorkách vyššia o 15,7 MPa, čo predstavuje nárast o 32,7 %. K podobným výsledkom prišiel aj autor Novosád (2018), ktorý testoval 5 druhov materiálu PLA, každý od iného výrobcu. V závislosti od výrobcu bola medza pevnosti v ťahu v rozmedzí (50,5 – 58,8) MPa. Autori Derise a Zulkharnain (2021) namerali medzu pevnosti v ťahu 50,68 MPa. O niečo nižšie hodnoty získali autori Pandžić, Hodzic a Milovanović (2019), ktorí namerali medzu pevnosti 42,15 MPa. Autori Derise a Zulkharnain (2021) namerali medzu pevnosti materiálu PLA 50,68 MPa. Takmer identické hodnoty, v porovnaní s našimi, zistili autori Akhoundi a Behravesh (2019), ktorých skúšobné vzorky mali medzu pevnosti 63 MPa.

Vyššia medza pevnosti v ťahu pri vzorkách vyrobených z ABS a PLA bola pravdepodobne spôsobená vyššou teplotou tlače. Teplota extrúzie ABS bola 260 °C a teplota extrúzie PLA bola 210 °C, čo sú teploty pohybujúce sa na hornej hranici intervalu teplôt odporúčaných výrobcom. Vyššie teploty extrúzie vedú k zvýšeniu tvorby medzivrstvových a vnútrovrstvových väzieb a nárastu kŕčku medzi vytlačenými vláknami. Zvýšená tvorba väzieb má za následok zvýšenie celkovej pevnosti výtlačku, čo sa podľa nás udialo práve pri tlači vzoriek z materiálov ABS a PLA.

Namerané hodnoty medze pevnosti v ťahu pre materiál PET-G boli takmer rovnaké ako hodnoty, ktoré udáva výrobca. Vzorky mali pevnosť 41,2 MPa, čo je len o 1 MPa vyššia ako hodnota udávaná výrobcom. V tomto prípade môžeme konštatovať, že tento rozdiel je takmer zanedbateľný. Rovnako ako vzorky vyrobené z ABS a PLA, tak aj vzorky z PET-G boli tlačené pri teplote pohybujúcej sa na hornej hranici intervalu teplôt odporúčaných výrobcom. Na rozdiel od ABS a PLA však nemalo zvýšenie teplôt extrúzie za následok zvýšenie medze pevnosti v ťahu. Santos et al. (2021) pre materiál PET-G namerali o niečo nižšie hodnoty medze pevnosti v ťahu, a to 36,8 MPa. Výrazne nižšiu pevnosť v ťahu, 32,1 MPa, zaznamenali autori Srinivasan et al. (2020). Nižšia pevnosť ich vzoriek bola spôsobené použitím vzoru výplne grid, ktorý sa v porovnaní s lineárnym vzorom vyznačuje nižšou pevnosťou.

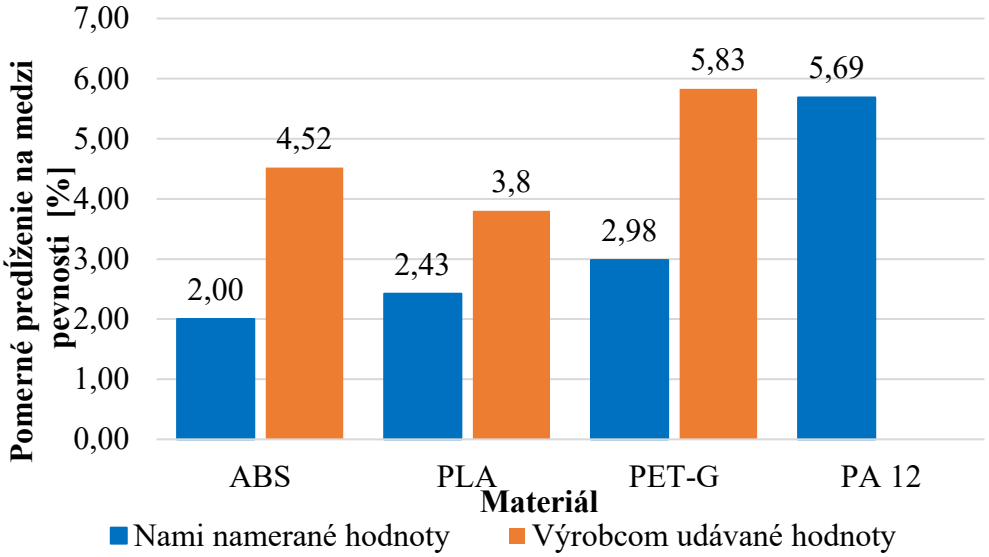
Pri vzorkách vyrobených z materiálu PA 12 sme namerali medzu pevnosti na úrovni 37,3 MPa, čo je v porovnaní s medzou pevnosti udávanou výrobcom o 5,3 MPa viac, čiže vyššiu o 16,6 %. K podobným výsledkom prišli aj autori Calignano, Giuffrida a Galati (2021), ktorí namerali medzu pevnosti v ťahu na úrovni (34,5 – 39,6) MPa. Zarringhalam et al. (2006) namerali medzu pevnosti v ťahu pre materiál PA 12 na úrovni (34 – 48) MPa. Priemerná hodnota medze pevnosti v ťahu pre materiál PA 12, zistená autormi Pande, Mauchline a Beer (2015), bola (43,47 – 46,15) MPa, v závislosti od orientácie skúšobnej vzorky v tlačovej komore.

Najvyššiu pevnosť v ťahu majú podľa očakávania vzorky vyrobené z materiálu PLA. PLA má v porovnaní s PET-G a PA 12, výrazne nižšiu cenu. Taktiež v porovnaní s ASB, PET-G a PA 12 má výhodou v tom, že sa vyznačuje bezproblémovou tlačou pri nízkych teplotách. Z tohto vyplýva, že materiál PLA je vhodné použiť pre výrobu dielov, od ktorých sa očakáva prenos vyšších statických síl. PLA sa vyznačuje vyššou pevnosťou v ťahu, ale nízkou rázovou húževnatosťou. Taktiež nie je vzhľadom na svoju nižšiu teplotnú odolnosť vhodný pre použitie pri vyšších teplotách.

3.2 Pomerné predĺženie na medzi pevnosti

Na Obr. 4 môžeme vidieť výsledky ťahovej skúšky reprezentujúce pomerné predĺženie na medzi pevnosti. Taktiež na porovnanie uvádzame hodnoty pomerného predĺženia na medzi pevnosti udávané výrobcom. Na rozdiel od hodnôt medze pevnosti v ťahu, ktoré boli pri

testovaných vzorkách vyššie ako tie, čo udáva výrobca, sú namerané hodnoty pomerného predĺženia na medzi pevnosti menšie ako tie, ktoré udáva výrobca.



Obr. 4 Pomerné predĺženie na medzi pevnosti
Fig. 4 Tensile strain at tensile strength

Pomerné predĺženie na medzi pevnosti pre materiál ABS bolo v našom prípade len 2 %, zatiaľ čo výrobca udáva 4,52 %.

Testované PLA malo pomerné predĺženie na medzi pevnosti 2,43 %, čo je v porovnaní s hodnotami uvádzanými výrobcom tiež menej. Takmer rovnaké výsledky zaznamenali Akhoundi a Behravesh (2019), pričom ich vzorky mali pomerné predĺženie na medzi pevnosti 2,7 %. Ako sme uvádzali vyššie, tak medza pevnosti v ťahu bola v prípade ich vzoriek 63 MPa, čo je hodnota identická s našou.

PET-G malo pomerného predĺženie na medzi pevnosti 2,98 %, čo bolo rovnako ako v prípade ABS a PLA výrazne menej v porovnaní s hodnotami udávanými výrobcom.

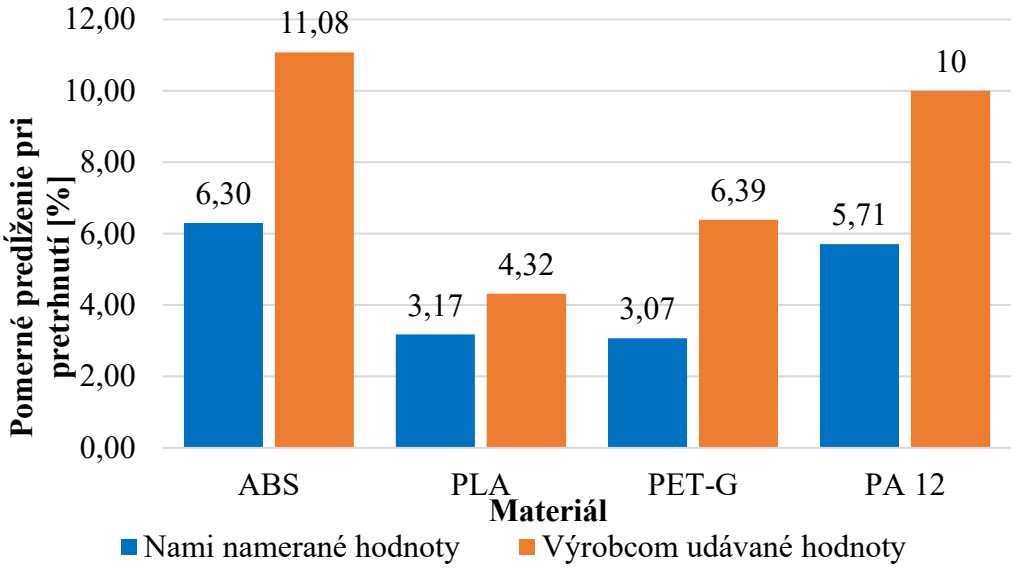
Spomedzi všetkých testovaných vzoriek malo najväčšie pomerné predĺženie na medzi pevnosti práve PA 12. PA 12 sa vyznačuje v porovnaní s ostatnými materiálmi práve vyššou flexibilitou a pružnosťou. V prípade materiálu PA 12 nie je možné porovnať výsledky s hodnotami udávanými výrobcom, keďže ten ich neudáva v materiálovom liste.

3.3 Pomerné predĺženie pri pretrhnutí

Na Obr. 5 môžeme vidieť namerané hodnoty pomerného predĺženia pri pretrhnutí v porovnaní s hodnotami, ktoré udáva výrobca. Rovnako ako pri pomernom predĺžení na medzi pevnosti, tak aj tu platí, že namerané hodnoty sú v porovnaní s tými, ktoré udáva výrobca, výrazne nižšie. Z tohto grafu je zrejmé, že hodnoty pomerného predĺženia pri pretrhnutí sú pri materiáloch PLA, PET-G a PA 12 veľmi blízke hodnotám pomerného predĺženia na medzi pevnosti, ktoré sú uvedené na predchádzajúcom Obr. 4. Z týchto výsledkov vyplýva, že tieto materiály nemali takmer žiadnu plastickú deformáciu.

Materiál PLA mal pomerné predĺženie pri pretrhnutí len 3,17 %. Akhoundi a Behravesh (2019) zaznamenali rovnako ako v prípade medze pevnosti v ťahu a pomerného predĺženia na medzi pevnosti takmer identické výsledky v porovnaní s našimi. Pomerné predĺženie pri pretrhnutí ich vzoriek vyrobených z PLA bolo na úrovni 3 %. Ďalej môžeme uviesť výsledky autorov Derise a Zulkharnain (2021), ktorých vzorky vyrobené z materiálu PLA mali pomerné predĺženie pri pretrhnutí na úrovni 7,35 %.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 5 Pomerné predĺženie pri pretrhnutí
Fig. 5 Tensile strain at break

Jediný materiál, v ktorom počas testu nastala plastická deformácia, bol ABS, ktorý mal pomerné predĺženie pri pretrhnutí na úrovni 6,3 %. Aj v tomto prípade však boli namerané hodnoty v porovnaní s hodnotami udávanými výrobcom výrazne nižšie. Podobné hodnoty namerali aj Fernandez et al. (2016), ktorých vzorky mali pomerné predĺženie 5,3 %. Títo autori na porovnanie uvádzajú aj vzorky vyrobené pomocou vstrekovania čistého ABS, ktorých predĺženie pri pretrhnutí bolo 5,4 %. Ak sa pozrieme na predchádzajúci graf na Obr. 4, tak môžeme vidieť, že ABS malo najmenšie pomerné predĺženie na medzi pevnosti. To znamená, že po relatívne krátkom pomernom predĺžení 2 % dosiahlo ABS medzu pevnosti na úrovni len 34,5 MPa a následne sa začalo plasticky deformovať.

Vzorky vyrobené z materiálu PA 12 mali takmer o polovicu menšie pomerné predĺženie pri pretrhnutí v porovnaní s hodnotami, ktoré udáva výrobca. Calignano, Giuffrida a Galati (2021) namerali výrazne vyššie pomerné predĺženie pri pretrhnutí (13,7 – 21,5) %, v závislosti od orientácie vzoriek v tlačovej komore.

Rovnako ako pri prechádzajúcich materiáloch, tak aj PET-G malo výrazne nižšie predĺženie pri pretrhnutú v porovnaní s hodnotami udávanými výrobcom. V našom prípade sme namerali hodnotu 3,07 %, čo je o polovicu menej ako výrobcom udávaných 6,39 %. Na porovnanie, Santos et al. (2021) namerali pomerné predĺženie na medzi pevnosti na úrovni 3,51 %, čo je hodnota veľmi blízka nami nameranej hodnote.

Na základe výsledkov môžeme konštatovať, že je dôležité vytvárať komplexné štúdie, ktoré by popisovali vzťah medzi parametrami tlače a ich vplyvom na vlastnosti výtlačkov. Potreba porozumenia vplyvu parametrov FDM a SLS tlače sa v súčasnosti neustále zvyšuje, najmä z dôvodu ich širšieho využívania v bežnej praxi. S neustálym vývojom technológií sa otvárajú stále nové možnosti výskumu.

4 Záver

Z výsledkov ťahových skúšok vyplýva, že sa nám podarilo vytvoriť vzorky s celkovou vyššou pevnosťou v ťahu v porovnaní s hodnotami, ktoré udáva výrobca. Predpokladáme, že lepšie hodnoty ťahovej pevnosti boli spôsobené výberom parametrov, ktoré sme volili na základe analýzy výsledkov štúdií a výskumov uverejnených v domácich a zahraničných vedeckých publikáciách. Na základe týchto zistení sme volili optimálne parametre, ktoré by

mali viesť k výrobe skúšobných vzoriek s najvyššou pevnosťou v ťahu. Vyššie hodnoty medze pevnosti v ťahu boli pravdepodobne spôsobené použitím vyšších teplôt extrúzie, ktoré sme zvolili na hornej hranici intervalu teplôt odporúčaných výrobcom. Vyššie teploty extrúzie vedú k zvýšeniu tvorby medzivrstvových a vnútrovrstvových väzieb. Zvýšenie počtu väzieb medzi nanesenými vláknami materiálu zvyšuje celkovú pevnosť výtlačkov. Na druhej strane je potrebné poukázať na fakt, že naše vzorky mali v porovnaní s hodnotami udávanými výrobcom výrazne nižšie hodnoty pomerného predĺženia.

Výsledky práce môžu byť v praxi použité pri výbere vhodného materiálu pre konkrétne výrobky. Z porovnania hodnôt jednotlivých materiálov vyplýva, že najpevnejším materiálom bolo PLA, ktorého medza pevnosti v ťahu bola 63,7 MPa. Výhodou PLA je taktiež jeho nižšia cena, najmä v porovnaní s materiálmi ako PET-G a PA 12. PLA sa taktiež vyznačuje jednoduchou tlačou, pri ktorej je možné použiť výrazne nižšie teploty extrúzie v porovnaní s ostatnými materiálmi, ktoré sme testovali. Hlavnou nevýhodou a faktom, ktorý treba pri aplikácii PLA brať do úvahy, je jeho nižšia teplotná odolnosť a rázová húževnatosť.

5 Literatúra

AKHOUNDI, Behnam – BEHRAVESH, Amir, Hossein. 2019. Effect of Filling Pattern on the Tensile and Flexural Mechanical Properties of FDM 3D Printed Products. In *Experimental Mechanics* [online], vol. 59, no. 01, pp. 883–897 [cit. 2022-07-02]. Dostupné na: <10.1007/s11340-018-00467-y>.

BATES-GREEN, Kyle – HOWIE, Tucker Layne. 2017. *Materials for Three-Dimensional Printing by Fused Deposition* [online]. Lynnwood, Washington, United States: T.E.A.M.: Technician Education in Additive Manufacturing. 21. s. Dostupné na: <http://materialseducation.org/educators/matedu-modules/docs/Materials_in_FDM.pdf>.

BENWOOD, Claire et al. 2018. Improving the Impact Strength and Heat Resistance of 3D Printed Models: Structure, Property, and Processing Correlationships during Fused Deposition Modeling (FDM) of Poly(Lactic Acid). In *ACS Omega* [online], vol. 3, no. 04, pp. 4400-4411 [cit. 2022-25-03]. Dostupné na: <10.1021/acsomega.8b00129>.

CALIGNANO, Flaviana – GIUFFRIDA, Federico – GALATI, Manuela. 2021. Effect of the build orientation on the mechanical performance of polymeric parts produced by multi jet fusion and selective laser sintering. In *Journal of Manufacturing Processes* [online], vol. 65, pp. 271-282 [cit. 2022-20-03]. ISSN 1526-6125. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.03.018>.

DELGADO, Jordi et al. 2019. 20 Selective Laser Sintering. In KOC Muammer – ÖZEL, Tugrul. *Modern Manufacturing Processes* [online]. Hoboken, New Jersey: Wiley [cit. 2022-25-03], pp. 481-499. ISBN 9781118071922. Dostupné na: <10.1002/9781119120384.ch20>.

DERISE, Mohammad Rahmat – ZULKHARNAIN, Azham. 2021. Effect of Infill Pattern and Density on Tensile Properties of 3D Printed Polylactic acid Parts via Fused Deposition Modeling (FDM). In *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering* [online], vol. 20, no. 08, pp. 54-62 [cit. 2022-02-02]. ISSN 2077-124X. Dostupné na: <http://ijens.org/IJMME%20Vol%2020%20Issue%2002.html>.

DUDESCU, Cristian – RACZ, Laszlo. 2017. Effects of Raster Orientation, Infill Rate and Infill Pattern on the Mechanical Properties of 3D Printed Materials. In *Acta Universitatis Cibiniensis.*

Technical Series [online], vol. 69, no. 1, pp. 23-30 [cit. 2022-26-03]. Dostupné na: <doi:10.1515/aucts-2017-0004>.

FARASHI, Sajjad – VAFAEE, Fariborz. 2022. Effect of extruder temperature and printing speed on the tensile strength of Fused Deposition Modeling (FDM) 3D printed samples: A meta-analysis study. In *International Journal on Interactive Design and Manufacturing* [online], vol. 16, no. 1, pp. 305-316 [cit. 2022-20-03]. Dostupné na: <10.1007/s12008-021-00827-4>.

FERNANDEZ, Vincente et al. 2016. Effect of Infill Parameters on Tensile Mechanical Behavior in Desktop 3D Printing. In *3D Printing and Additive Manufacturing* [online], vol. 3, no. 9, pp. 183 – 192 [cit. 2022-05-02]. Dostupné na: <10.1089/3dp.2015.0036>.

GIBSON, Ian et al. 2021. *Additive Manufacturing Technologies* [online]. *3.* Switzerland: Springer Nature Switzerland AG [cit. 2022-06-03]. 685 s. ISBN 978-3-030-56127-7. Dostupné na: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-56127-7>.

KLOSKI, Wallach, Liza – KLOSKI, Nick. 2017. *Začíname s 3D tiskem.* Brno: Computer Press. 211 s. ISBN 978-80-251-4876-1.

NABAVI-KIVI, A. et al. 2022. Investigating the effect of printing speed and mode mixity on the fracture behavior of FDM-ABS specimens. In *Theoretical and Applied Fracture Mechanics* [online], vol. 118, no. 12, pp. 103223 [cit. 2022-08-03]. ISSN 0167-8442. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2021.103223>.

NOVOSÁD, Ivan. 2018. *Mechanické vlastnosti PLA dílů realizovaných 3D tiskem:* bakalárska práca [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. 42 s. [cit. 2022-25-03]. Dostupné na: <https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/82099>.

PANDE, Sarang – MAUCHLINE, David – BEER, Dj. 2015. Effect of Orientation on Tensile Strength of parts laser sintered with PA 12 powder. In *International Conference on Additive Manufacturing and 3D printing at: Chennai* [online], [cit. 2022-02-02]. Dostupné na: <10.1115/SMASIS2017-4011>.

PANDŽIĆ, Adi – HODZIC, Damir – MILOVANOVIĆ, Aleksa. 2019. Effect on Infill Type and Density on Tensile Properties of PLA Material for FDM Process. In *Proceedings of the 30th DAAAM International Symposium* [online]. Vienna, Austria: DAAAM International, pp. 0545-0554 [cit. 2022-07-02]. ISSN 1726-9679. Dostupné na: <10.2507/30th.daaam.proceedings.074>.

Prusa Research a.s.. 2021. *PŘÍRUČKA 3D TISKAŘE, UŽIVATELSKÝ MANUÁL 3D TISKÁREN* [online]. Praha: Prusa Research a.s. [cit. 2022-15-02]. 82 s. Dostupné na: <https://help.prusa3d.com/cs/tag/mk3s-2/>.

REZAEIAN, Parham et al. 2022. Effect of printing speed on tensile and fracture behavior of ABS specimens produced by fused deposition modeling. In *Engineering Fracture Mechanics* [online], pp. 108393 [cit. 2022-08-03]. ISSN 0013-7944. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2022.108393>.

SANTOS, F. A. et al. 2021. Low velocity impact response of 3D printed structures formed by cellular metamaterials and stiffening plates: PLA vs. PETg. In *Composite Structures* [online],

vol. 256, pp. 113128 [cit. 2022-20-03]. ISSN 0263-8223. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.113128>.

SINTERIT. 2022. Sinterit [online]. © 2022 [cit. 2022-20-03]. Dostupné na: <https://sinterit.com/materials/pa12-smooth/>.

SRINIVASAN, R. et al. 2020. Effect on infill density on mechanical properties of PETG part fabricated by fused deposition modelling. In *Materials Today: Proceedings* [online], vol. 27, pp. 1838-1842 [cit. 2022-20-03]. ISSN 2214-7853. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.797>.

STN EN ISO 527-2. 2012. *Plasty. Stanovenie ťahových vlastností. Časť 2: Skúšobné podmienky pre lisované a vytláčané plasty.*

ZARRINGHALAM, H. et al.. 2006. Effects of processing on microstructure and properties of SLS Nylon 12. In *Materials Science and Engineering A* [online], vol. 435, no. 11, pp. 172-180 [cit. 2022-10-03]. Dostupné na: <10.1016/j.msea.2006.07.084>.

Zortrax S.A.. 2022. Zortrax [online]. © 2022 [cit. 2022-20-03]. Dostupné na: <https://zortrax.com/filaments/z-abs/>.

Zortrax S.A.. 2022. Zortrax [online]. © 2022 [cit. 2022-20-03]. Dostupné na: <https://zortrax.com/filaments/z-petg/>.

Zortrax S.A.. 2022. Zortrax [online]. © 2022 [cit. 2022-20-03]. Dostupné na: <https://zortrax.com/filaments/z-pla/>.

Súhrn

V práci sme hodnotili mechanické vlastnosti materiálov používaných pre 3D tlač. Skúmali sme vzorky typu 1B vyrobené z materiálov ABS, PLA a PET-G, pričom tieto vzorky boli vyrobené pomocou technológie FDM. Vzorky z materiálu PA 12 boli vyrobené pomocou SLS technológie. Z analýzy údajov, spracovanej na základe výsledkov štúdií a výskumov uverejnených v domácich a zahraničných vedeckých časopisoch, sme určili optimálne parametre tlače, vedúce k výrobe vzoriek s čo najvyššou pevnosťou. Vzorky z uvedených materiálov boli podrobené skúške ťahom na testovacom zariadení od firmy MTS, model Exceed E43.104, s integrovaným meracím softvérom. Výsledky získané skúškou ťahom sme analyzovali a porovnávali s hodnotami, ktoré uvádzajú výrobcovia týchto materiálov. Medza pevnosti v ťahu bola pri všetkých materiáloch vyššia než uvádza výrobca, čo bolo spôsobené tým, že sme pri tlači použili teplotu na hornej hranici intervalu odporúčaných teplôt. Na druhej strane, dosiahli sme menšie pomerné predĺženie na medzi pevnosti a menšie predĺženie pri pretrhnutí.

Kľúčové slová: 3D tlač, FDM, SLS, pevnosť v ťahu, ABS, PLA, PET-G, PA 12

FOTOGRAMETRIA
PHOTOGRAMMETRY

MICHAL KOVÁČ

Abstract

Photogrammetry is a way of digitizing objects, surfaces and structures. It is a relatively young quality. It contains a set of methods for obtaining cartographic or geodetic coordinates, coordinates of dimensions of buildings or individual objects on the basis of analog or digital photography. Use optical, photographic and geometric-mathematical methods. This work addresses the issue of creating a 3D object of agricultural land and agricultural technology based on camera and drone photography (UAV), material processing in Adobe Photoshop and Adobe Lightroom and the subsequent Photogrammetric program Capturing Reality designed to create a 3D model. The achieved result of this work is a 3D object and software (application) for the control of agricultural land and machines on it.

Key words: Photogrammetry, Photo, 3D model, Agricultural machinery, Agricultural area.

1 Úvod

Fotogrametria je vednou disciplínou, ktorej úlohou je zachytenie rôznych geometrických tvarov ktoré boli získane zo snímok fotoaparátov. Jej základy siahajú do 19. storočia, od vtedy rastie jej popularita a prudko sa rozvíja. Zachytenie jednotlivých bodov objektov býva podporené laserovou tvorbou bodov, funguje to na princípe vysielania laserových lúčov a spätného prijímania laserových bodov, touto metódou možno zistiť hĺbku objektov. Zachytávaný objekt sa nasníma z viacerých uhlov a polôh prostredníctvom fotoaparátu a dronu. Pre fotogrametriu hrá podstatnú úlohu počet megapixelov na čipe fotoaparátu, chromatická aberácia objektívu a taktiež aj výkon hardvéru určenom na postprodukciu. Po ukončení fotografovania nasleduje spomínaná postprodukcia fotografií pomocou programu Adobe Photoshop a Adobe Lightroom následne nastáva čas na samotnú tvorbu modelu pomocou programu Capturing reality.

Na Slovensku sa táto metóda využíva zatiaľ pomerne málo, ale naberá na kvalite a preto záujem o jej použitie rastie. Možno sa s ňou stretnúť vo video tvorbe, v hrách, pri digitalizácií pamiatok či dokonca v policajnom sektore na spätnú simuláciu digitalizácie dopravnej nehody.
Práca sa zameriava na tvorbu digitálnych modelov poľnohospodárskych území a poľnohospodárskej ťažkej techniky.

2 Materiál a metódy

Cieľom projektu je tvorba softvéru pomocou, ktorého bude fungovať prepojenie GPS súradníc s digitálnou (3D mapou) a s 3D modelmi poľnohospodárskych strojov, pričom operátor na družstve bude môcť v reálnom čase a aj v reálnom digitálnom prostredí pozerať umiestnenie strojov na jednotlivých miestach, na ktorých sa v danej chvíli nachádzajú. GPS súradnice poľnohospodárskych strojov budeme získavať z GPS jednotiek, ktoré budú umiestnenie v jednotlivých vozidlách a virtuálna mapa bude tvorená pomocou fotogrametrie.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Práca sa zameriava na tvorbu digitálnych modelov poľnohospodárskych území a poľnohospodárskej ťažkej techniky.Programové zabezpečenie projektu je realizované následnými programami:

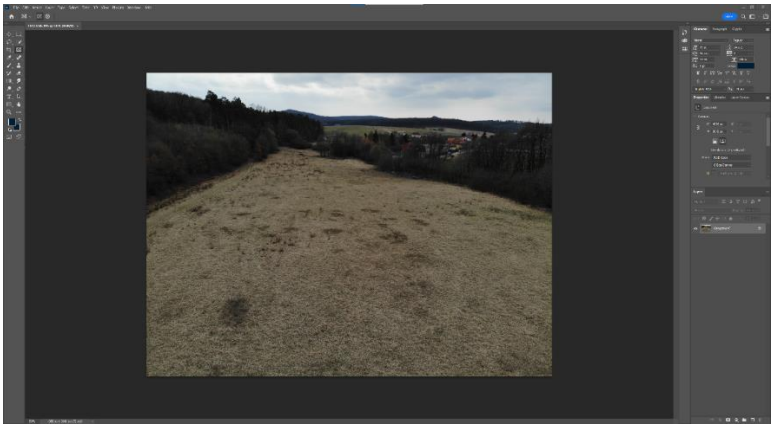
Adobe Lightroom



Obr. 1 Náhľad programu Adobe Lightroom
Fig. 1 Preview of Adobe Lightroom

Adobe lightroom je program na úpravu fotografií, počas fotogrametrie sa využíva na ztmavenie poprípade z osvetlenie fotografie alebo na prácu s kontrastom.

Adobe Photoshop

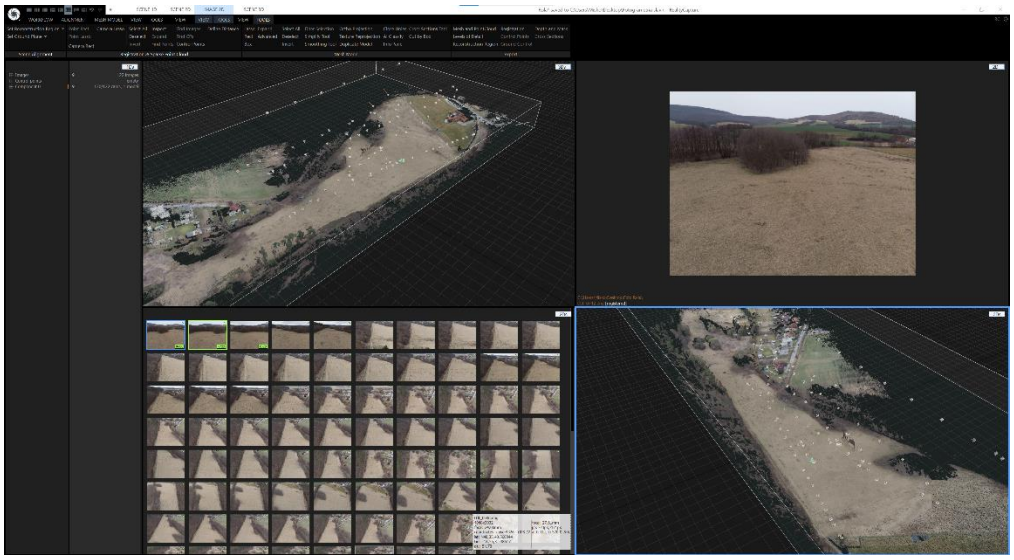


Obr. 2 Náhľad programu Adobe Photoshop
Fig. 2 Preview of Adobe Photoshop

Adobe photoshop je program na detalnejšiu úpravu fotografií, vo fotogrametrii sa využíva na odstránenie chýb na obrázku.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Capturing reality



Obr. 3 Náhľad programu Capturing
Fig. 3

Je program určený na samotnú tvorbu modelu, v tomto programe sa zarovnávajú fotografie, tvoria spoločné body fotografií a poslednom kroku sa tvorí textúra a farbenie obrázku.

Technické vybavenie tohto projektu obsahovalo dron od značky Dji model Dji mavic air 1, pomocou ktorého bolí produkovanné fotografie z vtáčej perspektívy, technické vybavenie obsahuje aj fotoaparát od značky Sony jedná sa o Sony a7Rii, ku ktorému patrí, aj objektív Sony zeiss 35mm 1.4, pomocou ktorého je fofografované územie zo spodu.

Postup fotogrametrie:

Prvou etapou je fotografovanie objektu a následne prichádza na rad postprodukcioa fotografií. Ďalším krokom je import fotografií do programu capturing reality, kde sa postupuje v ďalších piatich krokoch.

Krok 1 - orezanie fotografií na požadovanú veľkosť, (veľkosť záleží podľa komplikovanosti modelu).

Krok 2 - zarovnanie (fotografie zarovnáme tak, aby sa prekrývali)

Krok 3 - hľadanie spoločných bodoch na fotografiách (napríklad vo fotenom objekte sa nachádza kameň, tak vo všetkých fotografiách, na ktorých je kameň sa označí spoločným bodom).

Krok 4 - tvorba textúry (doplňovanie detailov).

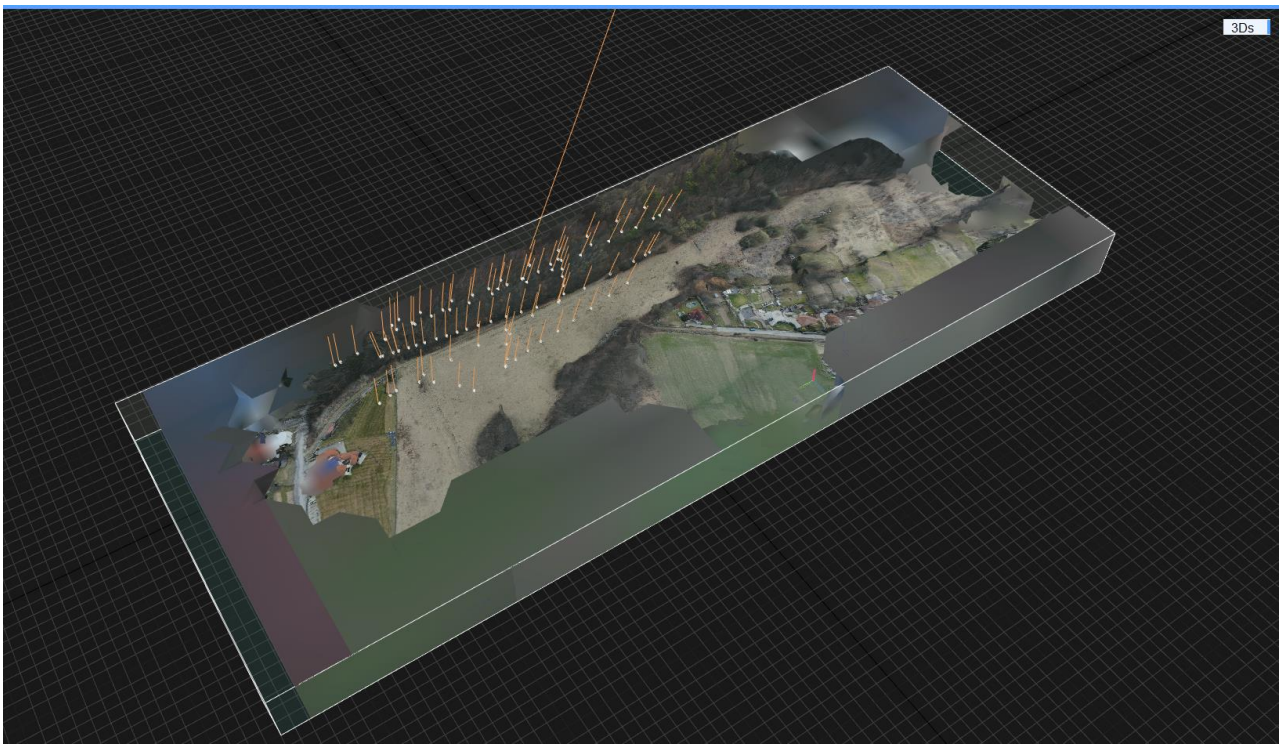
Krok 5 - farbenie modelu (doplnenie reálnych farieb).

Pri fotogrametrii je dôležité samotné fotografovanie, pri fotografovaní hrá podstatnú rolu prekrývanie fotografií (pri fotografovaní sa môžeme maximálne posúvať tak, aby sa fotografie prekrývali minimálne 80%).

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

3 Výsledky a diskusia

Uplatnením stanoveného postupu získavame nasledovný výsledok:



Obr. 4 Model poľnohospodárskeho územia vo Veľkých Uherciach
Fig. 4 Model of agricultural land in Veľké Uherce

Momentálnym výsledkom tejto práce je 3D model (digitálny objekt) poľnohospodárskeho územia v oblasti Veľkých Uheriec. Takýmto spôsobom možno spracovať ľubovoľné územie prostredníctvom softvérovej aplikácie. Tento model bol vytvorený na základe fotiek z dronu a následného spracovania v príslušných programoch.
Daný model slúži pre softvérovú aplikáciu na spravovanie poľnohospodárskych území ktorá je v štádiu vývoja. Tento softvér možno uviezť do praxe po získaní sponzora a tak by došlo k vytvoreniu digitálnej mapy na základe ktorej by zákazník dokázal sledovať pohyb poľnohospodárskych strojov na poľnohospodárskom území.

4 Záver

Táto práca predstavuje prototyp softvéru určeného pre poľnohospodársky priemysel. Podáva informáciu o postupe ako tvoriť virtuálne objekty či plochy a následnom využití v softvéru Poskytuje návod ako postupovať pri tvorbe 3D modelov a softvéru.
Práca sa bude ďalej rozvíjať v prezentácií a to dokončením softvérovej stránky, ktorou budú spárované poľnohospodárske stroje s GPS súradnicami a s parcelami území pri ktorom bude virtuálne rozhranie na sledovanie poľnohospodárskych strojov na ich aktuálnej polohe. Následne bude vytvorená virtuálna mapa celého územia patriacemu určitému poľnohospodárskemu družstvu. Ďalším cieľom bude získanie sponzora a tým zavedenie softvéru do prevádzky.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

5 Literatúra

Agisoft tutorial. In Agisoft Metashape [online]. © 2022 [cit. 2022-03-29]. Dostupné na : < https://www.agisoft.com/ >

Capturing reality support. In Capturing reality [online]. © 2022 [cit. 2022-03-29]. Dostupné na : <https://support.capturingreality.com/hc/en-us/categories/115000560989-Tutorials >

Capturing reality tutorial. In Capturing reality [online]. © 2022 [cit. 2022-03-29]. Dostupné na : < https://www.capturingreality.com/ >

Component workflow in RealityCaptur. In Youtube [online]. © 2021 [cit. 2022-03-29].Dostupné na : < https://youtu.be/kKA-KxT25KA >

Control points workflow in RealityCapture. In Youtube [online]. © 2021 [cit. 2022-03-29]. Dostupné na : < https://youtu.be/daDlC3rr8H8 >

Creating Virtual Guide with RC. In Capturing reality [online]. © 2022 [cit. 2022-03-29]. Dostupné na : < https://www.capturingreality.com/Virtual-Guide-with-RealityCapture >

Pix4d tutorial. . In Pix4d [online]. © 2022 [cit. 2022-03-29]. Dostupné na :

< https://www.pix4d.com/ >

Reconstruction workflow in RealityCapture. . In Youtube [online]. © 2021 [cit. 2022-03-29]. Dostupné na : < https://youtu.be/JeuRd9OquVE >

Súhrn

Fotogrametria je spôsob digitalizácie objektov, povrchov a štruktúr. Je pomerne mladou technológiou. Obsahuje súbor metód na získanie kartografických alebo geodetických súradníc, súradníc rozmerov stavieb či jednotlivých objektov na základe analógovej alebo digitálnej fotografie. Využíva optické, fotografické a geometricko-matematické metódy. Táto práca rieši problematiku tvorby 3D objektu poľnohospodárskeho územia a polnohospodárskej techniky na základe dráhy fotografovania použitím fotoaparátu a dronu (UAV), spracovania materiálu v aplikacíí Adobe Photoshop a Adobe Lightroom a následnom Fotogrametrickom programe Capturing Reality určenom na tvrobu 3D modelu.

Dosiahnutým výsledkom tejto práce je 3D objekt a softver (aplikácia) kontroly poľnohospodárského územia a strojov na ňom.

Kľúčové slová: Fotogrametria, fotografia, 3D model, polnohospoárske stroje, polnohospodárske územie

Poďakovanie
Ďakujem pani učiteľke Ing. Anne Hudecovej za odbornú pomoc pri príprave na vedeckú konferenciu.

PROGRESÍVNE TECHNOLÓGIE PRE PRODUKCIU BIOOLEJOV
PROGRESSIVE TECHNOLOGIES FOR BIOOIL PRODUCTION

IVANA KOVÁČOVÁ – DANIELA KUNECOVÁ

Abstract

The work is about the progressive technology of bio-oil production - pyrolysis. The theoretical part contains information about the pyrolysis process, materials entering the process, the output product - bio-oil and their properties.

The practical part describes the samples of the experiment, the measuring equipment used and the measurement procedure. Thermogravimetric analysis was performed eight times - each sample was heated in an analyzer furnace at four different heating rates. The output of the analysis are TGA and DTA curves. At the end of the practical part, these curves are described and evaluated.

Key words: pyrolysis, biomass, biooil, thermogravimetric analysis

1 Úvod

Proces pyrolýzy je charakterizovaný tepelnou degradáciou tuhého paliva, ktorá zahŕňa pretrhnutie väzieb uhlík-uhlík a vytvorenie väzieb uhlík-kyslík. Jedna časť biomasy je redukovaná na uhlík, zatiaľ čo zvyšná časť oxiduje a hydrolyzuje na sacharidy, fenoly, aldehydy, ketóny, alkoholy a karboxylové kyseliny, ktoré sú spájané a vytvárajúce zložitejšie molekuly ako sú estery, polymérne produkty a iné. Pyrolýzu možno dosiahnuť úplnou absenciou oxidačného činidla. Praktické využitie vzduchu pri výkone pyrolýzy sa dosiahne jeho prívodom v množstve nižšom ako stechiometrickom – dochádza k horeniu len v malej časti biomasy a teda teplo uvoľnené pri spaľovaní sa využíva na udržanie konštantnej teploty reaktora (UDDIN, 2018).

Procesom pyrolýzy vzniká výsledný produkt tuhý polokoks. Tento spôsob sa využíval hlavne v minulosti na produkciu dreveného uhlia. Dnes sa pyrolýza využíva predovšetkým na získavanie kvapalných produktov – bioolejov, ktoré vznikajú pri rýchlej a predovšetkým pri bleskovej pyzrolýze (STAŠ, 2015).

Rýchla pyrolýza je najefektívnejšia metóda na premenu biomasy na kvapalné produkty s výťažnosťou až 80% na základe použitia suchej suroviny. Princípom je rýchly tepelný rozklad organických zlúčenín v neprítomnosti kyslíka na výrobu tuhých, kvapalných a plynných produktov.

Podmienky požadované pre proces rýchlej pyrolýzy:

- potreba suchej suroviny (menej ako 10%),
- malé častice (menšie ako 3 mm),
- krátke časy zotrvania (0,5 – 2 s),
- mierne teploty (400 – 500 °C),

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

- rýchle ochladenie na konci procesu.

Rýchla pyrolýza produkuje vysoký obsah kyslíka a vody v pyrolýznych kvapalinách, čo ich robí horšími ako bežné uhľovodíkové palivá. Okrem toho separácia fáz, polymerizácia kvapalín a korózia nádob sťažujú skladovanie týchto kvapalín. Na obr. 2 je znázornený schematický diagram systému reaktora s fluidným lôžkom na rýchlu pyrolýzu biomasy. Pozostáva najmä z plynovej jednotky, predhrievača plynu, fluidného reaktora, kondenzátora, filtrov, akumulačného prietokomeru a plynovej zbernej jednotky (WAN ISAHAK, 2012).

Blesková pyrolýza je sľubný proces výroby pevného, kvapalného a plynného paliva z biomasy, ktoré môže dosiahnuť výťažnosť biooleja až 75%. Proces je charakterizovaný rýchlou devolatizáciou v inertnej atmosfére, vysokou rýchlosťou ohrevu častíc, vysokými reakčnými teplotami (medzi 450 °C a 1000 °C) a veľmi krátkym časom zotrvania plynu. Pri bleskovej pyzolýze sa objavujú určité technické obmedzenia:

- slabá tepelná stabilita a korozívnosť oleja,
- pevné častice v oleji,
- zvýšenie viskozity katalytickým pôsobením uhlia,
- alkálie koncentrované v uhlí sa rozpúšťajú v oleji a vzniká pyrolytická voda (JAHIRUL, 2012).

Pyrolýza biomasy

Biomasa sa skladá z troch hlavných zložiek, ktorými sú hemicelulóza, celulóza a lignín. Prítomné sú tiež menšie množstvá extrakčných látok. Každá zložka biomasy pyrolyzuje rôznou rýchlosťou a rôznymi mechanizmami. Postupom reakcie sa uhlík stáva menej reaktívny a vytvára stabilné chemické štruktúry a následne sa zvyšuje aktivačná energia so zvyšujúcou sa úrovňou konverzie biomasy.
Celulóza a hemicelulóza sa v porozvnaní s lignínom rozkladajú vo veľmi úzkom rozsahu teplôt. Rýchlosť a rozsah degradácie každej z týchto zložiek závisí od procesných parametrov, typu reaktora, teploty a rýchlosti ohrevu, veľkosti častíc a tlaku. Najskôr sa pri teplote 196 °C až 256 °C rozkladá hemicelulóza, nasleduje celulóza v rozmedzí teplôt 236 °C až 346 °C, pričom lignín je poslednou zložkou, ktorá pyrolyzuje pri teplotách 276 °C až 496 °C (BABU, 2008).

Pyrolýza polymérnych materiálov

Pyrolýza je technika terciárnej recyklácie, pri ktorej sa organické polyméry premieňajú na kvapalný olej, uhlie a plyny pri vysokej teplote prostredníctvom tepelného rozkladu. Typické optimálne teploty pre plastový odpad sú 500 – 550 °C.

Kvapalný olej z pyrolýzy má potenciál na využitie ako alternatívny zdroj energie. Proces pyrolýzy dokáže premeniť 78 – 84 % hmotnosti plastov na tekutý olej. Navyše teoretická energia potrebná na premenu 1 kg PE na tekutý olej a iné produkty s pridanou hodnotou je 1,047 MJ/kg, zatiaľ čo tekutý olej má podobné vlastnosti ako konvenčná nafta (MIANDAD, 2016).

Bioolej

Bioolej je kvapalný kondenzát pár z pyrolýznej reakcie, tmavohnedej farby s určitou podobnosťou fosílnej ropy. Je to však komplexne okysličená zlúčenina, zložená z vody, vo vode rozpustných zlúčenín ako sú kyseliny, estery atď. a vo vode nerozpustných zlúčenín,

zvyčajne pyrolytický lignín. Elementárne zloženie biooleja je podobné materskej biomase a niekedy sa nazýva „tekutá rastlinná hmota". Vďaka vysokému obsahu kyslíka má nižšiu výhrevnosť ako fosílne palivo, obsahuje však menej dusíka a iba stopy kovov a síry. Bioolej je kyslý s pH v rozmedzí 2-4, čo ho robí vysoko nestabilným a korozívnym. Fyzikálne zloženie biooleja je zobrazené v tab. 1.

Vlastnosti biooleja a jeho chemické zloženie závisia od:

- druhu pyrolyzovanej biomasy,
- predúpravy suroviny – veľkosti a tvaru častíc, obsahu vlhkosti a popola,
- podmienok pyrolýzneho procesu – teploty, rýchlosti ohrevu, tlaku,
- podmienok kondenzácie pár – typu filtru, rýchlosti chladenia (AL YASSER, 2009).

2 Materiál a metódy

Na uskutočnenie merania boli vybraté dve vzorky:

Slama z poľnohospodárskych obilnín

Hlavnou časťou rastlinnej slamy (obr. 1) je celulóza. Spolu s hemicelulózou, ligínom, lipidmi, minerálnymi látkami a pektínmi vytvára stabilnú stavebnú štruktúru bunkovej steny. Pšeničná slama obsahuje okolo 45 – 85 % C_5 a C_6 polymérov celulózy a hemicelulózy. Molekulárne zloženie polysacharidov slamy je zastúpené najmä celulózou 30 – 45 % hemicelulózou 15 – 35 %, ktorá sa vyznačuje nižším stupňom polymerizácie a molekulovej hmotnosti ako celulóza a lignínom 5 – 20 %, ktorý je odolný voči hydrolytickým enzýmom (MICHALÍK, 2021).



Obr. 1 Vzorka slamy
Fig. 1 Sample of straw

Polypropylénový téglik

Polypropylén (obr. 2) patrí do skupiny semikryštalických živíc, má najnižšiu hustotu medzi komoditnými plastmi a veľmi dobrú chemickú odolnosť. Pripravuje sa katalyticky z propylému. Jeho hlavnou výhodou je vysoká teplotná odolnosť, vďaka čomu je vhodný na predmety ako podnosy, vedrá, fľaše a často sa používa v medicínskom prostredí. Polypropylén je bezfarebný materiál. Polymér je vyrobený procesom spájania monomérov, nazývaným adičná polymerizácia. Molekuly propylénu sa polymerizujú na veľmi dlhý reťazec. Vlastnosti výsledného polyméru sa líšia v závislosti od podmienok procesu, kopolymérnych zložiek, molekulovej hmotnosti a rozloženie molekulovej hmotnosti.

Polypropylén je vinyl polymér, v ktorom je každý atóm uhlíka pripojený k metylovej skupine. Teplota topenia izotaktického PP je 171 °C ale syndiotaktického PP (30 % kryštalinita) je 130 °C (MADDAH, 2016).



Obr. 2 Vzorka PP (vpravo)
Fig. 2 Sample of PP (right)

Použité prístroje:

Analytická váha Kern využíva merací postup označovaný ako jednočlánková technológia. Podstatou tejto technológie sú meracie senzory určujúce hmotnosť vyrobené z jedného hliníkového bloku. Vďaka tomu je možné plniť požiadavky na presnosť, rýchlosť a opakovateľnosť merania (Analytické váhy, 2021).

Simultánny analyzátor slúži na zaznamenávanie hmotnostnej zmeny vzorky so zmenou teploty a na meranie absorbovaného alebo eliminovaného tepla počas zahrievania vzorky. Prístroj umožňuje rýchly ohrev vzorky, jej chladenie a presné riadenie teploty pre určenie tepelných vlastností, zloženia a tepelnej stability vzorky. Taktiež umožňuje skúmanie oxidácie polymérov, kompozitov, kovov, skla a rôznych iných materiálov (Prístrojové vybavenie TnUAD, 2020).

Chladič Huber Ministat patrí medzi najmenšie chladiace termostaty a umožňuje prevádzku aj v miestach s nedostatkom priestoru, napr. v laboratórnom digestore a medzi aparatúrou. Prístroj je vhodný pre temperáciu fotometrov, rekraktomerov, viskozimetrov, destilačných aparatúr, reakčných nádob a miniatúrnych procesných zostáv (Huber Ministat 230, 2020).

Popis pracovného postupu

Pred spustením merania je potrebné naše vzorky pripraviť a odvážiť. Váženie vykonáme prostredníctvom analytickej váhy, ktorú musíme najskôr nakalibrovať. Kalibráciu vykonáme jednoducho, stlačením tlačidla Clock-CAL a počkáme pár minút, kým proces kalibrácie prebehne. Do takto nastavenej váhy vložíme cez krytové dvierka keramický kelímok s objemom 900 µl, ktorý slúži ako podnos pre vstupné vzorky určené na termogravimetrické meranie. Hmotnosť kelímku si zapíšeme.

Následne si odvážime jednotlivé vzorky. Z polypropylénového téglika vyrežeme malú časť, ktorá sa zmestí do kelímka. Pomocou tlačidla TARE vynulujeme váhu v ktorej sa stále nachádza kelímok. Pripravenú polypropylénovú vzorku chytíme pomocou pinzety a vložíme ju do kelímka. Zatvoríme krytové dvierka a počkáme na ustálenie hodnoty. Výslednú hmotnosť vzorky si zapíšeme.

Takto isto pripravíme aj druhú vzorku. Slamu narežeme na malé časti tak, aby sa zmestili do kelímka a zopakujeme postup merania. Po odmeraní hmotnosti kelímok so

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

vzorkou uzavrieme vrchnáčikom a takto pripravená vzorka je vhodná na uskutočnenie termogravimetrickej analýzy.

Pripravené vzorky analyzujeme v simultánnom TGA/ DSC analyzátore Mettler Toledo. Pred spustením merania nastavíme teplotný program, vhodný pre každý druh skúmanej vzorky. Kelímok so vzorkou vložíme do pracovného priestoru piecky a spustíme meranie.

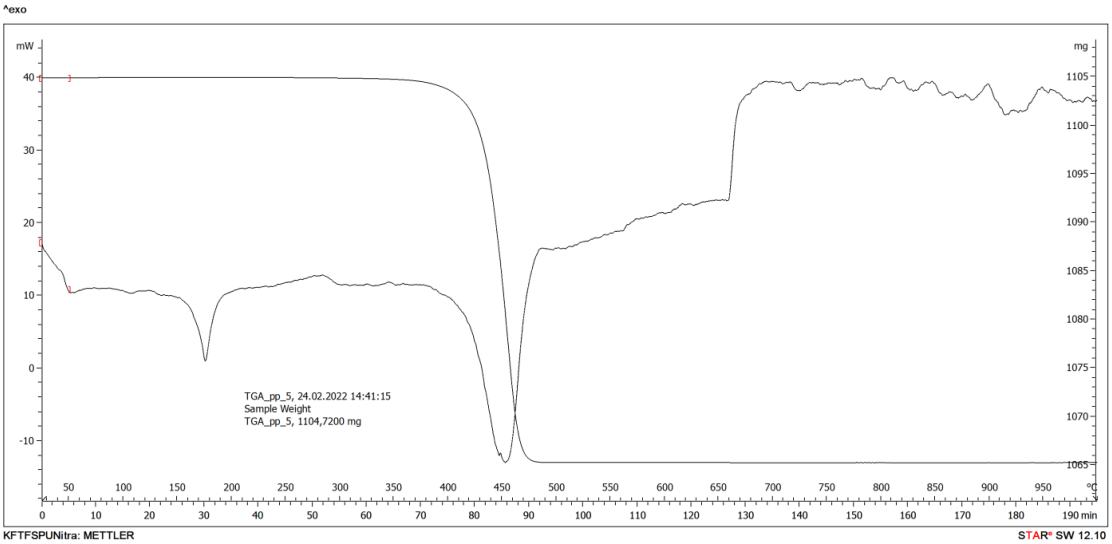
Experiment prebieha na termováhach, ktoré majú v danom analyzátore horizontálne usporiadanie. Na meranie hmotnosti je využívaný kompenzačný princíp, pri ktorom je vzorka po celý čas experimentu na rovnakom mieste, pričom je akákoľvek zmena hmotnosti zaznamenaná. Tým že sa vzorka nachádza po celý čas nachádza na jednom mieste, jej ohrev prebieha podľa teplotného programu (ŠTARHA, 2011).

Namerané hodnoty vyhodnotíme vo forme kriviek – TGA a DTG.

3 Výsledky a diskusia

Vzorky slamy a polypropylénu boli v analyzátore spaľované štyri krát, pri rýchlostiach ohrevu 5°C . min^{-1}, 10°C . min^{-1}, 20°C . min^{-1}, 30°C . min^{-1}.

Vyhodnotenie TG kriviek polypropylénu pri rýchlosti ohrevu 5°C . min^{-1}

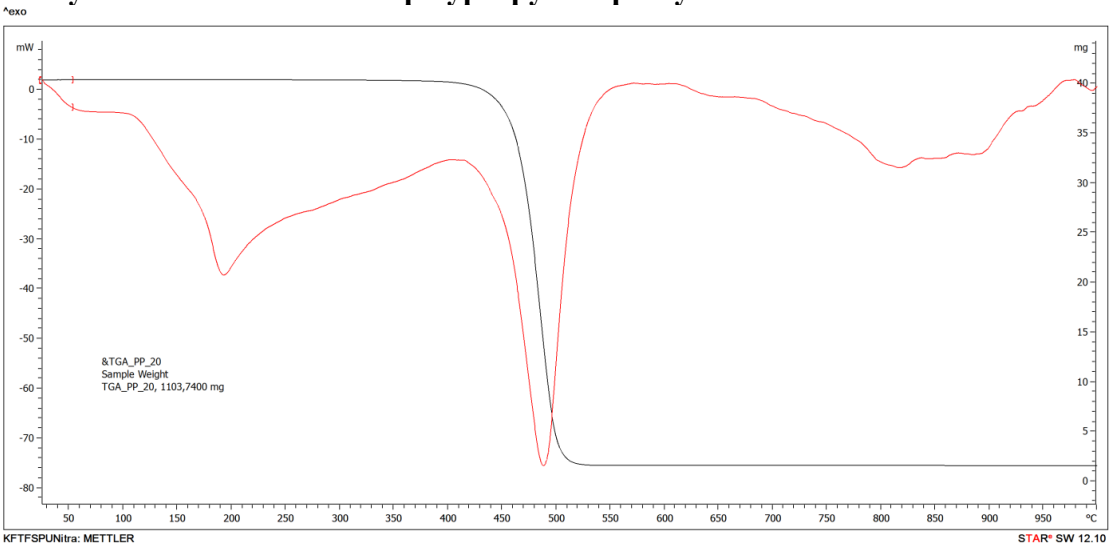


Obr. 3 TG krivky PP pri rýchlosti ohrevu 5 °C . min^{-1}
Fig. 3 TG curves of PP at a heating rate of 5 °C . min^{-1}

Prvý experiment bol vykonaný na vzorke polypropylénového téglika pri rýchlosti ohrevu 5 °C . min^{-1} s počiatočnou teplotou 25 °C. Vstupná hmotnosť vzorky predstavovala 39,84 mg. Z TGA krivky na obr. 3 je zrejmé, že zlom nastal pri teplote 358 °C, kde začala hmotnosť vzorky prudko klesať. Pri dosiahnutí teploty 465°C sa prudký spád ukončil a nastalo pomalé ukončenie. Proces sa ustálil pri teplote 473 °C, odkedy sa neudiali žiadne fyzikálne ani chemické zmeny. Hmotnosť vzorky na konci experimentu bola na hodnote 0,22 mg, čo predstavuje úbytok z pôvodnej hmotnosti vo výške 99 %.

DTA sleduje javy, pri ktorých dochádza k zmene fyzikálnych vlastností skúmanej vzorky, ktoré sa prejavujú uvoľňovaním alebo spotrebovaním tepelnej energie. Výsledná DTA krivka graficky znázorňuje závislosť rozdielu teplôt medzi skúmanou a referenčnou vzorkou na teplote. Vrchol píku prvej endotermickej reakcie je pri teplote 175 °C. Druhý pík má vrchol pri teplote 454°C.

Vyhodnotenie TG kriviek polypropylénu pri rýchlosti ohrevu 20°C . min^{-1}

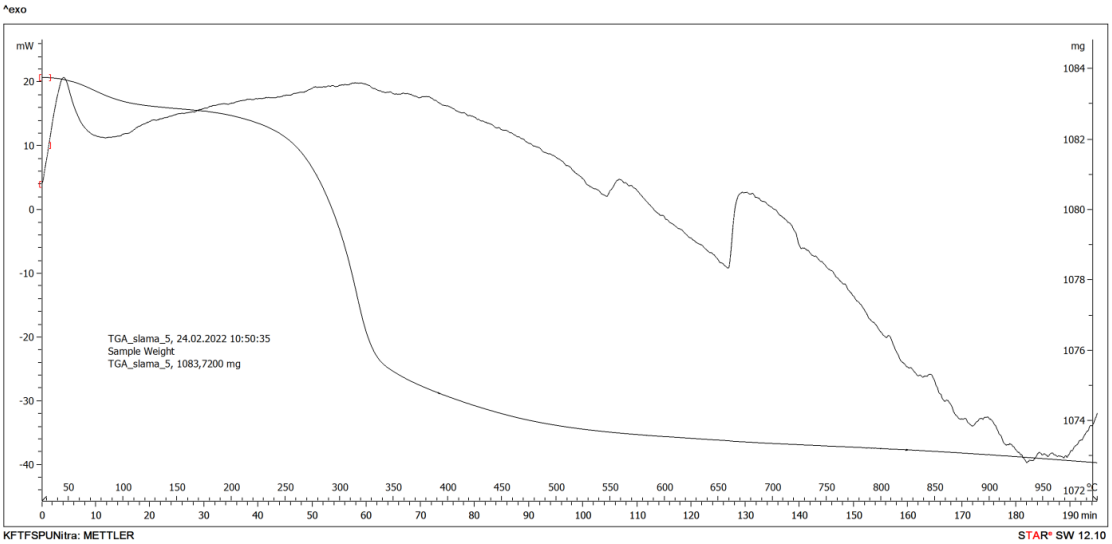


Obr. 4 TG krivky PP pri rýchlosti ohrevu 20°C . min^{-1}
Fig. 4 TG curves of PP at a heating rate of 20 °C . min^{-1}

Polypropylénová vzorka s hmotnosťou 40,26 mg bola počas experimentu zohrievaná rýchlosťou 20 °C . min^{-1} s počiatočnou teplotou 25 °C. Krivka zobrazená na obr. 4 čiernou farbou predstavuje priebeh TGA (závislosť hmotnosti od teploty) a krivka červenej farby zobrazuje priebeh DTA. Výrazný zlom nastal až pri teplote 420 °C, kedy začal termogravimetrický proces a nastala výrazná strata hmotnosti. Hmotnosť vzorky prudko klesala až do teploty 515 °C, kde nastalo pomalé ukončovanie. Proces sa ustálil na teplote 532 °C a vytvorilo sa plato, pri ktorom sa neudiali žiadne fyzikálne ani chemické zmeny. Hmotnosť vzorky na konci experimentu bola 14,64 mg, čo predstavuje 63% stratu z pôvodnej hmotnosti.

Priebeh DTA krivky zobrazuje dve endotermické reakcie. Vrchol prvej reakcie nastal pri teplote 192 °C a vrchol druhej silno endotermickej reakcie je pri teplote 489 °C.

Vyhodnotenie TG kriviek slamy pri rýchlosti ohrevu 5°C . min^{-1}



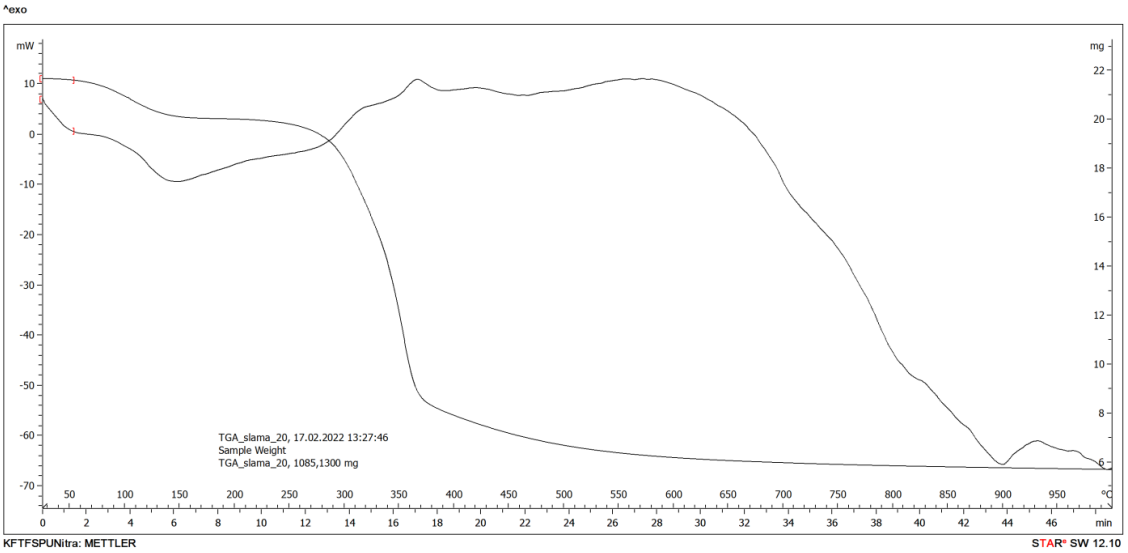
Obr. 5 TG krivky slamy pri rýchlosti ohrevu 5 °C . min^{-1}
Fig. 6 TG curves of straw at a heating rate of 20 °C . min^{-1}

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Vstupná vzorka slamy s hmotnosťou 18,84 mg bola počas prvého experimentu zohrievaná rýchlosťou 5 °C . min^{-1}. Z TGA krivky zobrazenej na obr. 5 vyplýva, že proces odparovania vody začal už pri teplote 43 °C a pri teplote 115 °C pomaly končil. Prudký spád nastal pri teplote 178 °C kedy došlo k rozkladu vzorky. Termogravimetrický proces sa pomaly ukončil pri teplote 337 °C a nastal proces pomalého úbytku hmotnosti. Výsledná hmotnosť vzorky predstavovala 7,89 mg, čo značí 59% úbytok pôvodnej hmotnosti.

DTA krivka zachytáva počas priebehu analýzy slamy exotermickú reakciu pri teplote 58 °C, následne miernu endotermickú reakciu s vrcholom píku pri teplote 547 °C a ďalšiu endotermickú reakciu pri teplote 660°C.

Vyhodnotenie TG kriviek slamy pri rýchlosti ohrevu 20°C . min^{-1}



Obr. 7 TG krivky slamy pri rýchlosti ohrevu 20°C . min^{-1}
Fig. 6 TG curves of straw at a heating rate of 20 °C . min^{-1}

Vzorka slamy so vstupnou hmotnosťou 21,65 mg bola zohrievaná rýchlosťou 20 °C . min^{-1}. Z TGA krivky na obr. 6 vyplýva, že proces odparovania vody začal pri teplote 63 °C a skončil pri teplote 158 °C. Následne nastal úsek termickej stability – plato. Rozklad vzorky nastal pri teplote 255°C a je zobrazený ako prudký spád TGA krivky. Pri teplote 362 °C dochádza k postupnému ukončeniu, viditeľný je už len menej výrazný úbytok hmotnosti vzorky. Výstupná hmotnosť vzorky bola na hodnote 5,65 mg, čo predstavuje úbytok 74%.

Z grafu DTA krivky je vidieť, že pri analýze slamy s rýchlosťou ohrevu 20°C . min^{-1} prebehla jedna mierne exotermická reakcia s vrcholom píku pri teplote 368 °C a jedna endotermická reakcia s vrcholom píku pri teplote 900 °C.

4 Záver

Štúdia sa zaoberala experimentom termogravimetrickej analýzy vzoriek slamy a polypropylénu. Každá vzorka bola analyzovaná dva krát, pri rýchlosti ohrevu 5 °C . min^{-1} a 20 °C . min^{-1}. Na základe získaných grafov sme vyhodnotili vzorky PP a slamy. Najväčšie úbytky hmotnosti PP boli viditeľné pri rýchlosti ohrevu 5 °C . min^{-1} medzi teplotami 358 °C a 465 °C a pri rýchlosti ohrevu 20 °C . min^{-1} v rozmedzí teplôt 420 °C až 515 °C. Z analýzy slamy sme zistili najväčšie úbytky hmotnosti pri rýchlosti ohrevu 5 °C . min^{-1} medzi teplotami 187 °C a 337 °C, pri rýchlosti ohrevu 20 °C . min^{-1} medzi teplotami 255 °C a 362 °C.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Vykonaním experimentu s viacerými rýchlosťami ohrevu je možné vypočítať aktivačnú energiu procesu. Z vykonanej analýzy vyplýva, že biomasa má komplikovanejšie zloženie a rozkladové látky sa uvoľňujú dlhší čas v porovnaní s polypropylénom.

5 Literatúra

UDDIN, Nasir et al. 2018. An Overview of Recent Developments in Biomass Pyrolysis Technologies. In *Energies*, vol. 11, no 11, pp. 1-24. ISSN 1996-1073.

STAŠ, Martin et al. 2015. PREHĽAD APLIKÁCIÍ PYROLÝZNEHO BIO-OLEJA. In *Chemické listy*, vol. 109, no 1, pp. 499 – 506. ISSN 0009-2770.

WAN ISAHAK, Wan Nor Roslam et al. 2012. A review on bio-oil production from biomass by using pyrolysis method. In *Renewable and Sustainable Energy Rewiews,* vol 16, no. 8, pp. 5910-5923. ISSN 1364-0321.

JAHIRUL, Mohammad et al. 2012. Biofuels production through biomass pyrolysis. In *Energies*, vol. 12, no 5, pp. 4952 – 5001. ISSN 1996-1073.

BABU, B.V. 2008. Biomass pyrolysis: a state-of-the-art rewiew. In *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* [online], vol. 2, no. 5, pp. 393-414 [cit. 2022-02-13]. ISSN 1932-1031. Dostupné na: < https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/bbb.92>

MIANDAD, Rashid et al. 2016. Catalytic pyrolysis of plastic waste: A review. In *Process Safety and Environmental Protection* [online], vol. 102, no. 2, pp. 822-838 [cit. 2022-02-04]. ISSN 0957-5820. Dostupné na: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0957582016301082?token=C2D48AC4B93865C70A4AC19346073C580B8BF4B4D2175AC86EB777E53E34090F10BE3B5F105A0EF10D5907EF826624D3&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220330140057>

AL YASSER, Abdulhadi – SADAKA, Samy – BASTENG, Akwasi. 2009. Pyrolysis and Bio-Oil. In *Agriculture and Natural Resources* [online]. Arkansas: University of Arkansas, s 26 – 32 [cit. 2021-10-23]. ISBN 1052-PD-6-09N. Dostupné na: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/53751140/Pyrolysis_Bio_char_and_Bio-Oil-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1647607454&Signature=A~T5DNCTJjxzTQifmlwyU1DjViNLSs0q1pT3OUGfkbz6r41n2yxEIVJ07z0HuxqIBJEkWsTkj0OifZbA9R7Is~EIO3zXUXaQIl453y7oOhwnErBeOzBwQxVzB19b4zkho7jiRhXXx0QR3rNM3A27nC~u6SyMRs6R-X0hNdobLbuBVDwquAftcZpD1mfPuATZTiNJg~s1-3UZWoYeVWFGLykv7SHpp44ex8UULHmjdrz9sp8k39Vsz9geRgAtbG1~jmqyBO3yiE-CIf2e0dpGbJyvk0V~ER1ps1f84s41gis7W4bfhLkO8BR3tajkA5pj1Yd2k2td2MDI0bImI1cbHw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA>

MICHALÍK, Ivan. 2021. Fenomén slama. In *Naše pole* [online]. © 2021 [cit. 2021-11-10]. Dostupné na:< https://nasepole.sk/fenomen-slama/>.

MADDAH, Hisham. 2016. Polypropylene as a Primising Plastic: A Review. In *American Journal of Polymer Science,* [online], vol 6, no. 1, pp. 1-11 [cit. 2021-11-11]. ISSN 2163-1352. Dostupné na: <http://article.sapub.org/10.5923.j.ajps.20160601.01.html>.

Prístrojové vybavenie TnUAD. 2020. In *Centrum vedy a výskumu TnUAD* [online]. © 2022 [cit. 2021-11-26]. Dostupné na: < https://vav.tnuni.sk/index.php?id=250>.

Analytické váhy. 2021. In *Váhy KERN* [online]. © 2021 [cit. 2022-02-16]. Dostupné na: <https://vahy-kern.cz/produkty/kern-laboratorni-vahy/analyticke-vahy/abt-nm-analyticke-vahy-s-moznosti-overeni>.

Huber Ministat 230 with Pilot One, natural refrigerant. 2020. In *Huber.com* © 2021 [cit. 2022-02-18]. Dostupné na: <https://www.huber-online.com/en/product_datasheet.aspx?no=2015.0005.01>.

ŠTARHA, Pavel – TRÁVNÍČEK, Zdeněk. 2011. *TERMICKÁ ANALÝZA* [online]. Olomouc : Univerzita Palackého [cit. 2022-02-18]. 64 s. ISBN 978-80-552-1188. Dostupné na: <https://www.prf.upol.cz/fileadmin/userdata/PrF/katedry/afc/Studijni_materialy/Termicka_analyza.pdf>.

Súhrn

Práca sa zaoberá progresívnou technológiou výroby bioolejov – pyrolýzou. Teoretická časť obsahuje informácie o procese pyrolýzy, surovinách vstupujúcich do procesu, výstupnom produkte – biooleji a ich vlastnostiach.

V praktickej časti sú popísané vzorky experimentu, použité meracie zariadenia a postup merania. Termogravimetrická analýza prebehla osem krát – každá vzorka bola zohrievaná v peci analyzátora pri štyroch rôznych rýchlostiach ohrevu. Výstupnom z analýzy sú TGA a DTA krivky. V závere praktickej časti sú tieto krivky popísané vyhodnotené.

Kľúčové slová: pyrolýza, biomasa, bioolej, termogravimetrická analýza

Poďakovanie patrí pani Mgr. Daniele Kunecovej, PhD. za ochotu a pomoc pri vykonávaní experimentov a za rady pri vypracovaní práce.

APLIKÁCIA NA RIADENIE ROBOTICKÉHO RAMENA V PRIESTORE
APPLICATION FOR CONTROLLING ROBOTIC ARM IN SPACE

MICHAL KRISTEK – VLADIMÍR CVIKLOVIČ

Abstract

The work is focused on programming of application for controlling the robotic arm. The first step was to select the programming environment and programming language with which we will be able to make such an application and visualization. After getting acquainted with the functionality of the control unit, we were then able to start development. The Visual Studio is integrated development environment used for development of control application and Unity graphical engine is used for the visualization. The programming language used in both is C#. Mostly used libraries are .NET libraries. The communication of individual parts is realized by serial connection or by TCP / IP communication. A big part of the development was also optimizing the program and using more threads so that no part of the application was slowed down. The result is a functional application for controlling of the robotic arm with visualization. The application also contains a simulation mode where a robotic arm is not required, and the position values are simulated.

Key words: Driver, Visual Studio, Unity, Visualization, TCP / IP communication, Serial communication, C # programming language, .NET libraries

1 Úvod

Robotické ramená majú uplatnenie v mnohých odvetviach. Najčastejšie sa používajú na zváranie, prenášanie materiálov, manipuláciu s materiálmi, farbenie ale aj na precízne práce vo výrobe či v lekárstve. V dnešnej dobe je samozrejmosťou, že každé robotické zariadenie má aj softvér, prostredníctvom ktorého možno robot ovládať a kde sa dajú zadávať príkazy, ktoré má robot vykonávať.

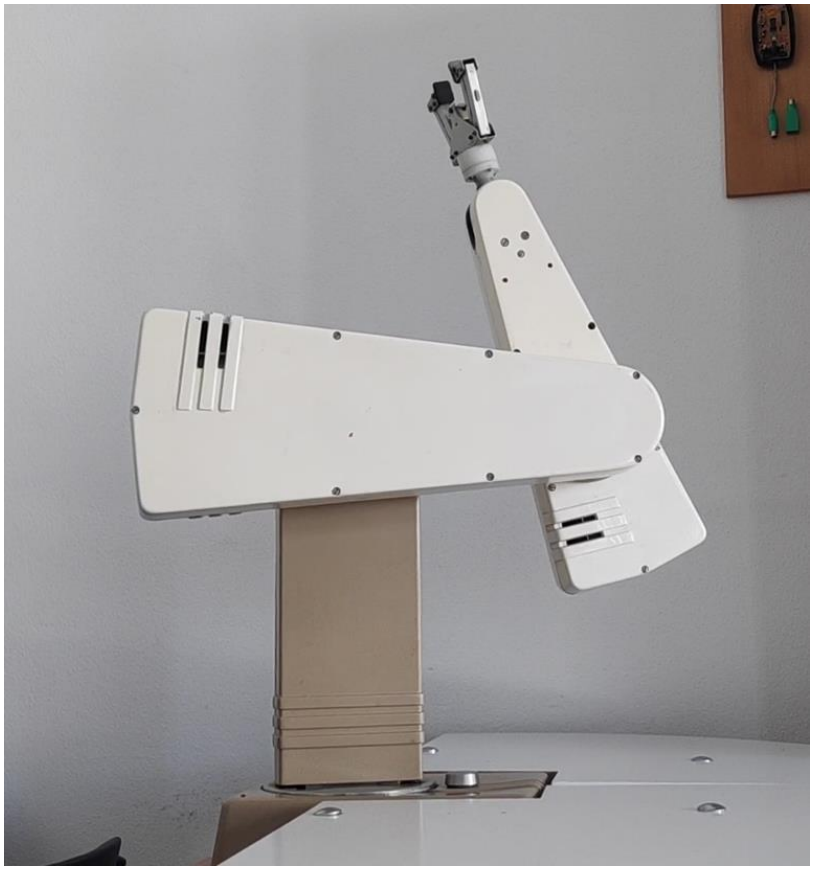
Cieľom práce je vytvoriť komplexnú aplikáciu na ovládanie školského robota „Miro“. Aplikácia musí byť schopná okrem manuálneho ovládania a ovládania príkazmi aj vizualizovať aktuálnu polohu robotického ramena. Taktiež je dôležité, aby aplikácia dokázala kalibrovať rameno a vypisovať aktuálne otočenie v tabuľke hodnôt. Súčasťou by mal byť aj simulačný režim, kde nie je potrebné pripojenie robota ku počítaču.

2 Materiál a metódy

Školský robot ŠR-1 „MIRO“ (obr. 1) – robotické rameno s pevnou základňou sa nachádza na Technickej fakulte Slovenskej poľnohospodárskej univerzity. Ide o šesť-osí robot. Jeho jednotlivé časti sú poháňané piatimi krokovými motormi s využitím impulzovej šírkovej modulácie. Pohyb koncového ramena robotickej ruky je dosiahnutý súbežným pohybom dvoch krokových motoroch a otáčanie robotickej ruky je dosiahnutý opačným pohybom dvoch krokových motorov. Zatváranie a otváranie robotickej ruky je riešené prostredníctvom

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

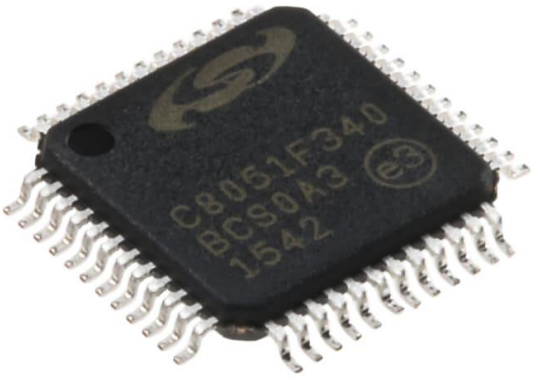
jednosmerného elektromotora. Zariadenie je osadené aj koncovými spínačmi pre každý kĺb. Každý koncový spínač je pred koncom rozsahu daného kĺbu. Súčasťou je aj manuálny vypínač, ktorý zastaví akýkoľvek pohyb ramena a vypínač, ktorý zastaví prívod elektrickej energie či už do riadiacej jednotky alebo do motorov, ktoré pohybujú jednotlivými časťami ramena.



Obr. 1 Školský robot „Miro“
Fig. 1 School robot “Miro”

Riadiacu jednotku tvorí čip C8051F340 (obr. 2) vytvorený firmou Silicon Laboratories. Ide o mikrokontrolér, ktorého operačné napätie je 2,7 V až 5,25 V. Výpočtový výkon je zaobstaraný populárnym jadrom 8051. Obsahuje 4 kB RAM a 64 kB Flash pamäť. Mikrokontrolér má 40 vstupno-výstupných vývodov a má hardvérovo implementované rozhrania I2C , SPI a dva UART. Podporuje USB 1.1 komunikáciu s rýchlosťou 12 $Mb.s^{-1}$. USB Ovládač má vyrovnávaciu pamäť 1 kB. Mikrokontrolér je schopný pracovať v rozsahu teplôt od -40 °C do +85 °C. Riadiaca jednotka bola vytvorená a naprogramovaná na Technickej fakulte Slovenskej poľnohospodárskej univerzity.
UGreen USB 2.0 to RS232 COM Port DB9 (obr. 3) je komunikačná brána, pomocou ktorej sme schopný pripojiť počítač ku školskému robotu. Výstupné rozhranie je normalizovaný konektor sériového portu RS232. V tomto redukčnom kábli je použitý čip PL2303 od výrobcu Prolific. Podporované operačné systémy sú Windows 2000 a novšie , Mac OS x 10.6 a novšie a Linuxové jadro 2.4.31 a novšie. Maximálna podporovaná rýchlosť daného zariadenia je 1 Mb/s .

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 2 Mikrokontrolér C8051F340 použitý v školskom robote
Fig. 2 Microcontroller C8051F340 used in school robot



Obr. 3 UGreen USB 2.0 to RS232 COM Port DB9
Fig. 3 UGreen USB 2.0 to RS232 COM Port DB9

Na programovanie, tvorbu vizualizácie a modelu robotického zariadenia použijeme notebook Lenovo IdeaPad 330-15ICH.
Špecifikácia zariadenie:

Operačný systém: Windows 10
Procesor : 6 jadrový Intel® Core™ i7–8750H so základnou frekvenciou 2,2 GHz a turbo boost frekvenciou 4,1 GHz
Displej: 15,4 palcový displej s rozlíšením 1920 × 1080 pixelov
Pamäť : 16GB DDR4
Pevný disk : 256GB SSD
1000GB HDD
Grafická karta: NVIDIA GeForce GTX 1050
Rozhranie: 2× USB-A 3.1
1× USB-C

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

1× HDMI
1× RJ-45
1× Čítačka pamäťových kariet

Použitý software :

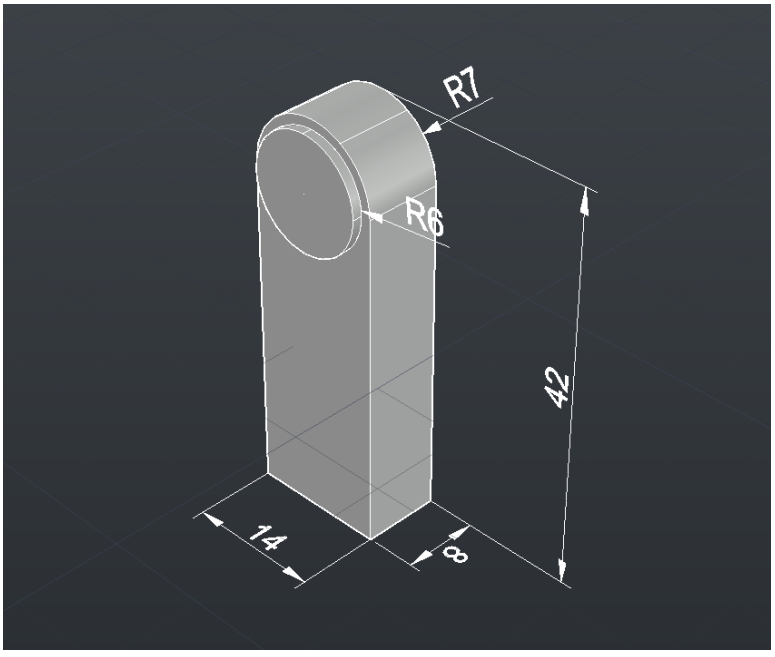
AutoCAD je komerčná softvérová aplikácia na tvorenie technických návrhov, kreslenie, tvorbu modelov pomocou počítača. Je vyvinutý spoločnosťou Autodesk. Softvér použijeme na tvorbu jednoduchých modelov častí školského robota na účely vizualizácie.

Unity je softvér od firmy Unity Technologies, ktorý je primárne zameraný na tvorbu hier. Unity je multiplatformový grafický tzv. „engine", ktorý podporuje skripty v programovacom jazyku C#. My tento softvér použijeme na vytvorenie samostatnej aplikácie, ktorá bude vizualizovať školského robota a jeho aktuálnu polohu v 3D priestore.

Microsoft Visual Studio je vývojové prostredie od firmy Microsoft. Toto vývojové prostredie podporuje mnoho programovacích jazykov. V základnej inštalácii sú podporované jazyky C, C++, VB.NET a C#. Súčasťou je editor kódu s inteligentným dokončovaním kódu Intellisense, debugger na debugovanie aplikácii a aj vizuálne dizajnéri.

3 Výsledky a diskusia

Model školského robota sa skladá zo štyroch častí. Zmerali sme rozmery všetkých častí ramena a následne sme vytvorili jednotlivé modely. AutoCAD dokáže exportovať modely v rôznych formátoch. Avšak ani jeden z nich nie je priamo kompatibilný s Unity. Po pridaní rozšírenia dokáže AutoCAD exportovať priamo .obj súbory alebo sa použije voľne dostupný externý konvertor. Na konverziu existujú aj stránky kde sa dá skonvertovať .dwg súbor na .obj.

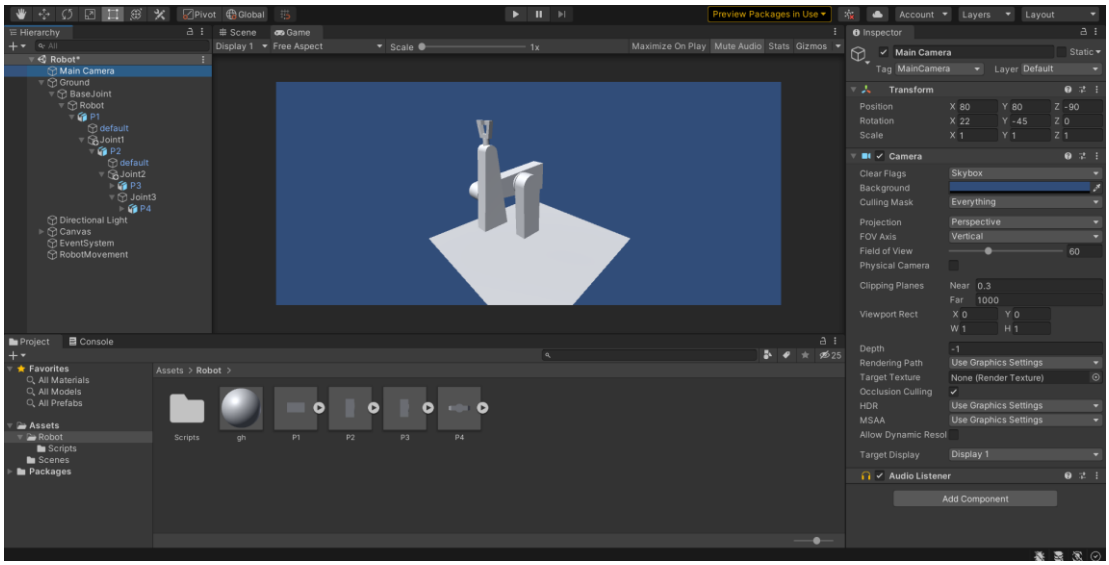


Obr. 4 Model časti robotického ramena pripevneného ku základni
Fig. 4 Model of the part of robotic arm attached to base

Po vytvorení projektu v Unity importujeme do tzv. „assetov" všetky modely. Prvým krokom je vytvorenie pevnej základni, na ktorej bude robot postavený (obr. 4).

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Následne pridávame kĺb a naň napájame jednotlivé časti robota. Po vytvorení celého modelu posunieme kameru do polohy, aby bolo dobre vidieť celý model. Do scény je pridané smerové svetlo, aby bol celý model osvietený. Taktiež pre jednotlivé časti pridáme textúry.



Obr. 5 Scéna robotického ramena v Unity
Fig. 5 Scene of robotic arm in Unity

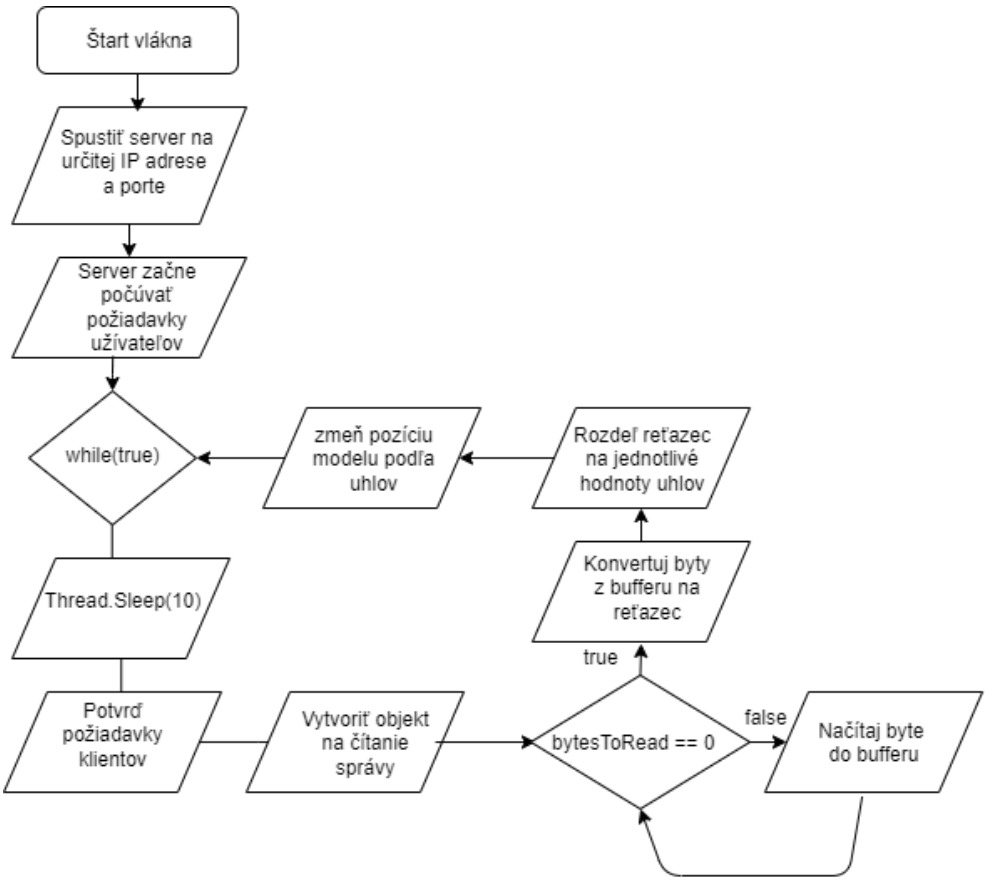
Unity podporuje aj funkciu prepojenia s Microsoft Visual Studiom. To uľahčuje debugging a tvorenie skriptov. V unity sme vytvorili skript sme nazvali RobotMovement (obr. 5). Tento skript je písaný programovacím jazykom C# a má dve úlohy. Prvou je TCP/IP komunikácia a druhou je pohyb jednotlivých častí modelu robotického ramena. Vizualizácia sa správa ako server a čaká na pripojenie klienta. Túto funkciu sme dosiahli použitím .NET knižnice System.Net a System.Net.Sockets. Táto knižnica obsahuje veľa funkcií na jednoduchšiu prácu s TCP/IP komunikáciou a dobrú dokumentáciu.

Je dôležité aby server zisťoval neustále či klient existuje alebo či klient neposiela správu. Treba, aby táto funkcionalita bežala na samostatnom vlákne a teda nebola nijako obmedzená zvyškom programu. Na to sme použili knižnicu System.Threading, v ktorej sú možnosti práce s vláknami. Pozíciu jednotlivých kĺbov získava vizualizácia od klienta. Správa príde vo forme bajtov a treba ju konvertovať do reťazca a následne sa správa rozdelí na jednotlivé uhly. Následne sú hodnoty uhlov prekonvertované na číselnú hodnotu, ktorá reprezentuje uhol od nulovej pozície a pohne sa s modelom. To má za úlohu funkcia Rotate(). Používa vstavanú funkciu tzv. „enginu" Unity transform, ktorá v 3 rozmernom priestore dokáže otáčať jednotlivé časti. Pri tomto posune sa automaticky počíta aj s pohybom viacerých častí teda ako so sústavou telies. Toto je možné vďaka zadefinovaným kĺbom. Pri prvom načítaní vizualizácie je model robota nastavený, tak ako keby bolo robotické rameno po kalibrácii. Pri spustení aplikácie v režime reálnych dát je nutné aby prebehla kalibrácia. Vizualizácia robotického ramena počas kalibrácie nie je presná, pretože uhol otočenia môže byť záporný čo je vo vizualizácii mimo rozsah.

Na vývoj aplikácie na riadenie robotického ramena sme si vybrali program Visual Studio Community 2022 a programovací jazyk C#. Jedným dôvodom prečo sme si vybrali jazyk C# je používanie rovnakého programovacieho jazyka ako vo vizualizačnej aplikácii tak i v riadiacej aplikácii. Taktiež je veľkou výhodou, že pri použití tzv. „WindowsForms", kde a používa programovací jazyk C#, je jednoduchá práca s dizajnérom. Tvorba grafického

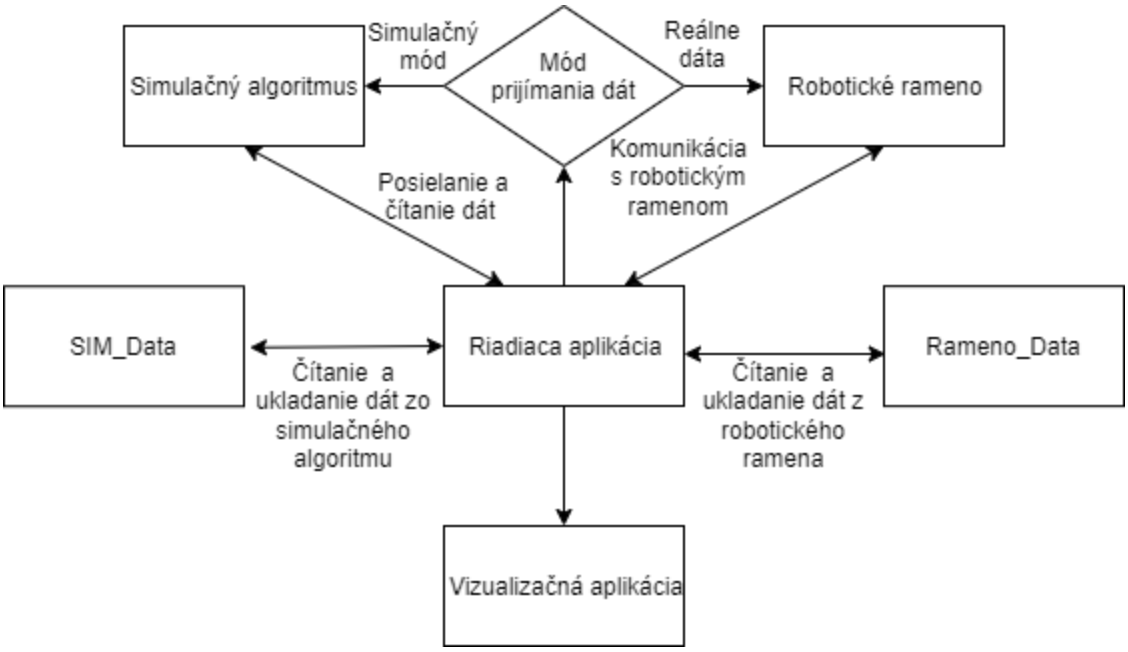
DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

rozhrania je jednoduchá a s okamžitým náhľadom. Pre údaje o pozíciách boli vytvorené dve triedy. Trieda „Rameno_data“ v sebe drží údaje prijaté z robotického ramena (obr. 6). Údaje, ktoré riadiaca jednotka školského robota posiela sú pozície počítadiel pre všetky kĺby a zároveň informácie o koncových spínačoch. Informácie o koncových spínačoch treba aj pri kalibrácii robotického ramena.



Obr. 6 Vývojový diagram čítania dát od klienta
Fig. 6 Flowchart of reading data from client

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 7 Všeobecný diagram toku údajov a komunikácie riadiacej aplikácie
Fig. 7 Control application general diagram of data flow and communication

Aplikácia podporuje aj simulačný režim, ktorý dokáže simulovať pripojené robotické rameno. Všetky údaje sú algoritmom generované a treba okrem pozícií robotického ramena, ktoré sú v prípade simulačného režimu ukladané ako uhol otočenia kĺbu, zaznamenávať smer pohybu kĺbu, cieľový uhol a bitovú hodnotu, či bol dokončený pohyb pri riadení príkazom. Tieto údaje sa ukladajú v triede SIM_Data (obr. 7).

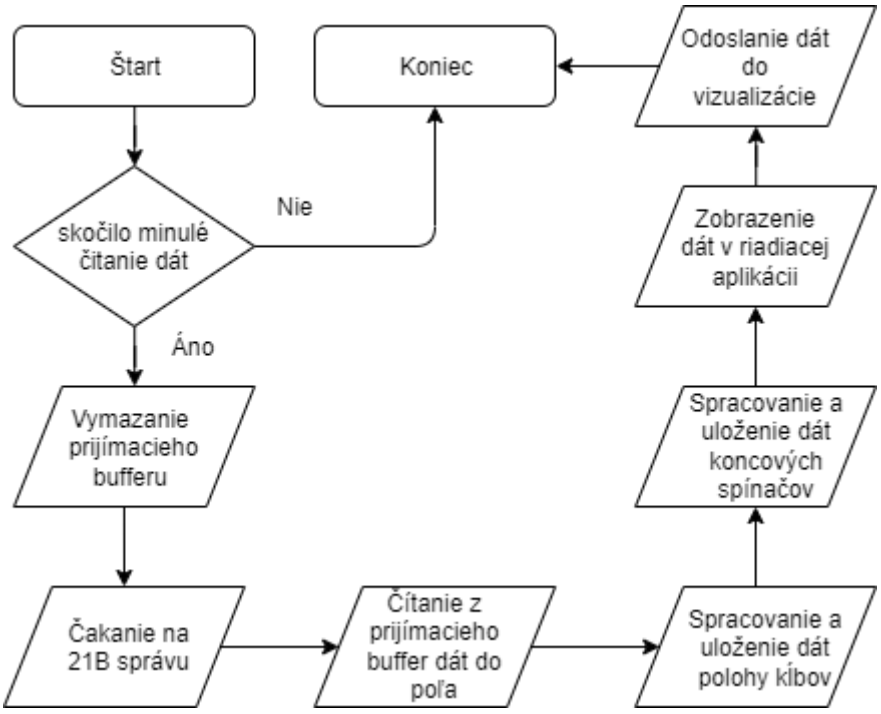
Komunikácia s robotickým ramenom, ktorá je realizovaná cez redukčný kábel USB na sériový port, je riešená .NET knižnicou System.IO.Ports. táto knižnica pridáva objekt na sériovú komunikáciu.

Nastavenie sériového portu:

- BaudRate: 115200
- DataBits: 8
- HandShake: žiadny
- Parita: žiadna
- Veľkosť buffera čítania: 4096B
- Veľkosť buffera odosielania: 2048B
- Stop bity 1
- Prah čítania 1B
- Časový limit čítania: žiadny
- Časový limit zápisu žiadny

V programe pri zvolení čítania reálnych je spustený časovač, ktorý posiela každých 100 ms požiadavku na nové údaje ak minulé čítanie prebehlo úspešne (obr. 8). Údaje o polohe sú vo forme čísla s veľkosťou dva bajty. Teda hodnota polohy je číslo od 0 do 65536. Na konverziu z bajtovej podoby na uint16 formát čo zabezpečuje vstavaná funkcia .NET knižnice BitConverter.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 8 Diagram funkcie časovača na čítanie údajov
Fig. 8 Timer´s flowchart of data reading function

Stav koncových snímačov je prijímaný v jednom bajte, kde jednotlivé bity určujú či je daný koncový spínač zapnutý. Pre zistenie hodnoty bitu v bajte je v programe pomocná funkcia GetBit s dvomi vstupnými parametrami a to bajtom a pozíciou bitu, ktorý je kontrolovaný. Výsledkom je booleovská hodnota ak je bit 1 výsledkom je pravda inak je návratová hodnota nepravda. Táto funkcia využíva bitový posun a logický súčin.

Súčasťou čítacieho algoritmu je aj príkaz na odoslanie načítaných údajov do vizualizačného programu. Ako aj vizualizačný program používa TCP/IP komunikáciu na prijímanie údajov, tak i riadiaci program používa TCP/IP komunikáciu na posielanie údajov, či už simulačných alebo reálnych. Taktiež sa používa .NET knižnica System.Net.Socket. Správa sa posiela ako reťazec, kde sú hodnoty jednotlivých uhlov kĺbov oddelené bodkočiarkou. V prípade reálnych údajov sa používa pomocná funkcia ktorá konvertuje počet krokov na hodnotu uhlu. Používa sa vzorec (1):

$$a = \frac{s \times a_{max}}{s_{max}} \ (°) \qquad (1)$$

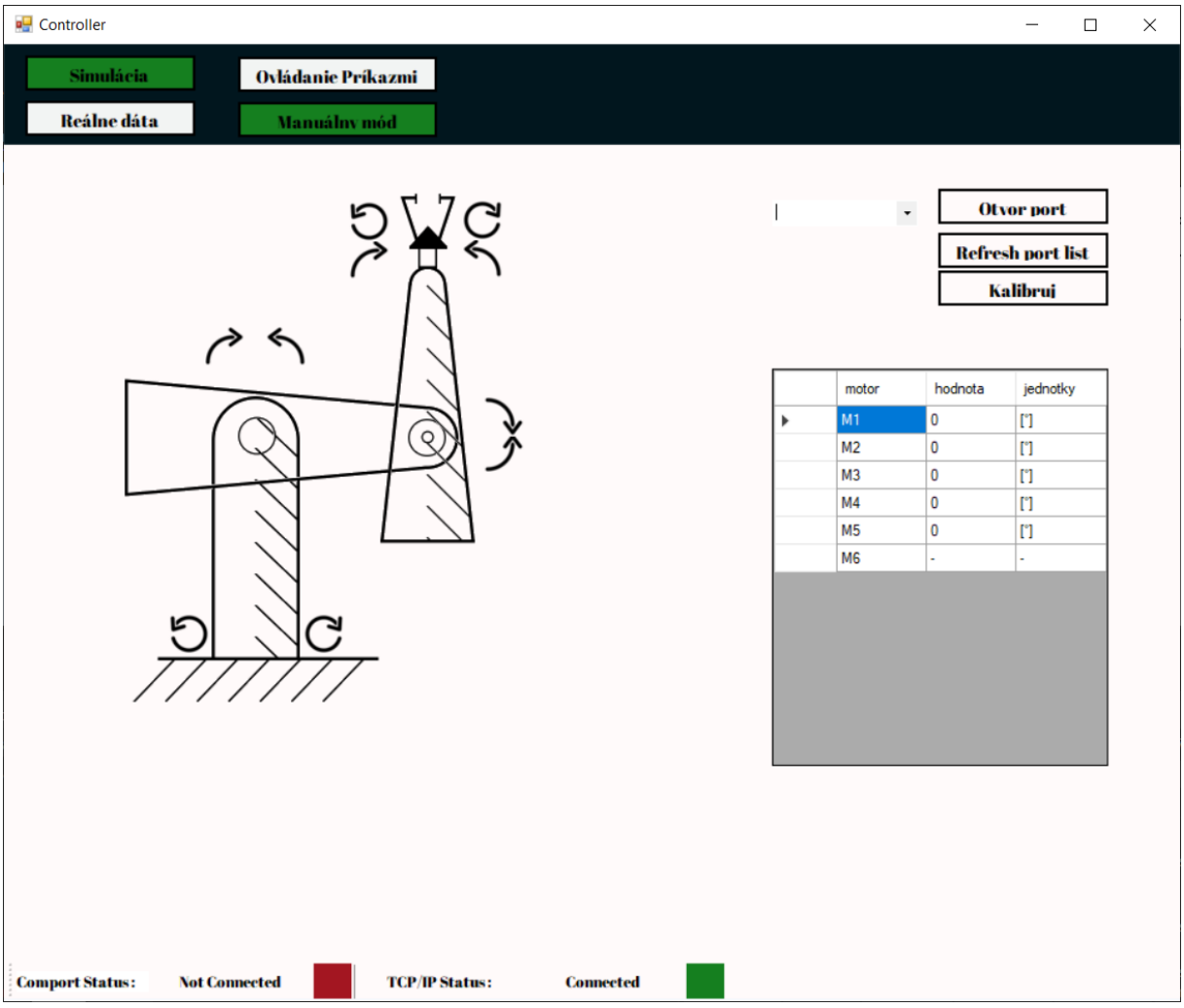
Kde:

a = prepočítaný uhol, °,
s = počet krokov,
a_{max} = maximálny rozsah uhla, °,
s_{max} = maximálny rozsah v krokoch.

Where:

a = calculated angle, °,
s = number of steps,
a_{max} = maximal possible angle range, °,
s_{max} = maximal possible steps range.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 9 Grafické rozhranie aplikácie na riadenie robotického ramena
Fig. 9 Graphical user interface of application controlling robotic arm

Maximálny rozsah v stupňoch a krokoch je zmeraný po kalibrácii rozsahu. Rozsah je daný rozdielom medzi reakciou oboch koncových spínačov. Ako maximálna hodnota sa berie posledná hodnota, kde nie je zopnutý koncový spínač.

Na vytvorenie grafického rozhrania sa používa dizajnér, ktorý je súčasťou WindowsForms projektu. Súčasťou grafického rozhrania sú :

- Tlačidlá na výber módu prijímania dát:
  - simulačný mód,
  - reálne dáta.
- Tlačidlá na výber typu príkazov
  - ovládanie príkazmi,
  - manuálne ovládanie,
- Ovládanie COM portu
  - zatvorenie/otvorenie portu,
  - začítanie zoznamu COM zariadení.
- Tlačidlo kalibrácie robota.
- Tabuľka s aktuálnymi hodnotami pozícií.
- Ovládacia plocha.
- Statusbar s informáciami o pripojených zariadeniach

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

- tlačidla na ovládanie,
- obrázky robota,
- pole na zadanie požadovanej hodnoty.

4 Záver

Nami vytvorená aplikácia dokáže ovládať školské robotické rameno. Ovládanie môže byť manuálne alebo poslaním príkazu posunu na určitú polohu. Aplikácia periodicky komunikuje s robotickým ramenom, od ktorého získava informácie o pozíciách respektíve o pootočení jednotlivých častí zariadenia. Aplikácia obsahuje aj simulačný režim, pri ktorom netreba, aby bolo rameno pripojené k počítaču a teda sa dalo skontrolovať, čo robotické rameno urobí len pomocou vizualizácie.

Takáto aplikácia má mnoho ciest akoby mohla byť ďalej vyvíjaná. Veľkým prínosom pre automatizáciu by bolo plnenie príkazov v určitom poradí, zatiaľ čo momentálne sa dá posielať iba jeden príkaz. Momentálny stav aplikácie umožňuje aj takúto funkcionalitu pridať.

Aplikácia má aj kalibráciu, ktorá dá robotické rameno do počiatočnej polohy čo zabezpečuje že pohyb je zakaždým presný.

5 Literatúra

PROLIFIC .2013. In alldatasheet.com [online]. © 2013 [cit. 2022-04-03]. Dostupné na:<https://html.alldatasheet.com/html-pdf/116844/ETC1/PL2303/499/5/PL2303.html >

Silicon Laboratories. 2009. In alldatasheet.com [online]. © 2009 [cit. 2020-04-03]. Dostupné na: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/595157/SILABS/C8051F340.html >

MOHMMED, Moami – BEERBOHM, Max. 2019. Visual C#.NET: Windows Forms Programming with C#. Nezávisle publikované. 96. ISBN 13: 9781708566869

MIKULAJOVÁ, Viktória. 2020. Konštrukčný a technologický návrh demontáže zariadení v radiačnom poli robotom: diplomová práca. Nitra : SPU. 65 s.

Súhrn

Práca je zameraná na programovanie aplikácie na riadenie robotického ramena. Prvým krokom bolo vybratie programovacieho prostredia a programovacieho jazyka s ktorým budeme schopní takúto aplikáciu spraviť a taktiež spôsob ako budeme vizualizovať. Po oboznámení s funkcionalitou riadiacej jednotky sme následne mohli začať s vývojom. Požité bolo vývojové prostredie Visual Studio pre riadiacu časť projektu a Unity pre vizualizačnú časť projektu. Programovací jazyk je pre obe C# a použité boli .NET knižnice. Komunikácia jednotlivých častí je realizovaná pomocou sériovej linky alebo pomocou TCP/IP komunikácie. Veľkou súčasťou vývoja bolo aj optimalizovanie programu a využívanie viacerých vlákien aby nebola žiadna časť aplikácie spomaľovaná. Výsledkom je funkčná aplikácia na riadenie robotického ramena s vizualizáciou. Aplikácia obsahuje aj simulačný režim, kde netreba použiť robotické rameno pri overení funkcie, pričom o polohách sú simulované.

Kľúčové slová: Riadiaci program, Visual Studio, Unity, Vizualizácia, TCP/IP komunikácia, Sériová linka, programovací jazyk C#, .NET

ZVÁRACÍ ROBOT
MEDZINÁRODNÁ ŠTUDENTSKÁ VEDECKÁ KONFERENCIA
INTERNATIONAL STUDENT SCIENTIFIC CONFERENCE

SAMUEL LODUHA

Abstract

This scientific article is characterized by the issue of welding robots and their benefits for industry. Explains concepts such as robot, collaborative welding robot or welding. It also provides information on the benefits of welding robots. help how to automate the workshop using the collaborative welding robot Cobot. Describes the procedure for fillet welding. Also a description of arc welding and a description of the suitability of the robot selection for the given method. The last part provides a brief overview of the most well-known companies that provide welding collaborative robots on the market.

Key words: robot, collaborative robot, welding, arc welding, automation

1 Úvod

Coboty fungujú na princípe spolupráce človeka a robota. Sú prínosom vďaka uľahčovaniu či zrýchľovaniu práce, pomáhajú firme rásť bez preťažovania zamestnancov. Ich úlohou je odbremenenie od rutinných a vyčerpávajúcich činností a tak sa stáva práca efektívnejšia a zmysluplnejšia. Cieľom tejto práce je priniesť teoretické poznatky z oblasti zváracích robotov, priniesť prehľad o spoločnostiach, ktoré ponúkajú takýto sortiment, vysvetliť výhody zváracích robotov a tak aj prínos samotnej automatizácie v procese zvárania. Popisuje oblúkové zváranie prostredníctvom kolaboratívneho robota, programovanie kútového zvaru. Kolaboratívne roboty sú ideálnymi spolupracovníkmi uplatňujúcimi sa v širokom spektre činností – od CNC až po balenie tovaru. Možno ich uplatniť v malých, stredných aj veľkých firmách. Coboty majú svoje miesto všade tam, kde možno procesy zautomatizovať. Samotná investícia sa môže vrátiť do pár mesiacov, priemerná návratnosť kolaboratívnych robotov UR je približne 195 dní. Mnohé firmy zabezpečujú implementáciu robotov do výroby, to znamená všetko od návrhu až po servis.

2 Materiál a metódy

Definícia robota

Ak by sme mali použiť jednoduchú definíciu, môžeme povedať „Stroj schopný vykonať komplexnú sériu akcií automaticky, zvlášť programovateľný počítačom“. Druhy robotov môžeme rozdeliť podľa autonómie, účelu, metodológie návrhu, anatómie a typu inteligencie. Avšak najčastejšie sa rozdeľujú podľa funkcie, dizajnu a anatómie. Niektoré príklady sú: Roboty android napodobňujú ľudské pohyby a formy a sú obľúbené roboty pre rozvoj umelej inteligencie a automatov. Napríklad cyborg. Priemyselné roboty sú vyrábané na pomoc človeku pri opakovaných úlohách manipulácie a výroby.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Zváracie roboty

Zváracie priemyselné roboty sú schopné vďaka ich vysokej presnosti zaručiť bezchybnú a opakovateľnú kvalitu zvarov. Začlenenie robotického zvárania do výroby prináša technologické aj ekonomické výhody. S využitím zváracích robotov možno automatizovať výrobu od prototypu až po veľkú sériu výrobkov. Zváracie roboty sú veľmi hospodárne a v rámci malého pracovného priestoru sú schopné najrôznejších úloh vysoko-rýchlostného zvárania kovov i rezania. Priemyselné roboty sa hodia pre širokú škálu aplikácií zvárania elektrickým oblúkom, laserového zvárania, rezania alebo spájkovania.



Obr. 1 Zvárací robot
Fig. 1 Welding robot

Výhody zváracích robotov

S rozvojom moderných technológií sú priemyselné roboty neodmysliteľnou súčasťou v rôznych priemyselných odvetviach.

- **Zvýšenie kvality zvaru** - priemyselná automatizácia získava na popularite hlavne vďaka tomu, že roboty majú oproti ľudskej sile mnoho výhod. Jednou z nich je rýchlosť a presnosť. Presnosť zváranie a schopnosť opakovateľnosti potom zaručuje dokonalé a rovnako vysoko kvalitné zvary.
- **Zníženie výrobných nákladov** - to, že priemyselné roboty zvyšujú efektivitu výroby a znižujú výrobné náklady nie je žiadnou novinkou. Nie inak tomu je aj u zváracích robotov. Vďaka možnosti centrálneho naprogramovania aj niekoľkých strojov naraz možno zvýšiť množstvo vyrobených predmetov. Okrem toho využitie robotov znižuje nároky na ľudské zdroje. Ľudská sila tak môže byť využitá v inej časti procesu výroby.
- **Široká škála aplikácií** - zváracie roboty sa hodia pre širokú škálu aplikácií zvárania elektrickým oblúkom, laserového zvárania, spájkovania alebo rezanie. Stávajú sa pri výrobe viacúčelovým pomocníkom.
- **Zlepšenie kvality a bezpečnosti pracoviska** - robotizácia nielen uľahčuje prácu ľuďom, ale zároveň zvyšuje kvalitu výrobkov, pretože presné naprogramovanie de facto vylučuje chybovosť, ktorá by inak ľudským faktorom mohla byť často spôsobená. Okrem toho je pri práci s robotmi potreba dodržiavať oveľa vyššie bezpečnostné opatrenia. Sú tak chránené nielen roboty, ale hlavne ľudské zdravie.
- **Malá montážna plocha** - nespornou výhodou kompaktných zváracích robotov je aj to, že pre svoju prácu potrebujú len relatívne malú plochu. Sú preto vhodné aj do menších výrobných hál, prípadne šetrí priestory, ktoré možno využiť pri výrobe efektívnejšie.
- **Univerzálny špecializovaný softvér kompatibilný so všetkými výrobcami** - systém, ktorý uľahčuje programovanie a nastavovanie robota je kompatibilný so všetkými výrobcami navádzacích zariadení (laserov) a zároveň sa všetkými výrobcami zváracích strojov.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

- **Nastavovanie robotov z jedného miesta** - digitálne prepojené nastavovanie z jedného miesta znižuje časovú náročnosť pre obsluhu jednotlivých strojov. Najnovšie riadiace centrá sú schopné sledovať až 32 strojov z jedného miesta.
- **Automatická kompenzácia zmien polohy horáka** - vďaka špeciálnym systémom, ako je napríklad iRVision TorchMate, dochádza k automatickej kompenzácii zmien polohy horáka a konca drôtu. Šetrí sa tak cenný výrobný čas, pretože obmedzuje nutnosť opráv horáka a opätovného nastavovania dráhy zvárania.

Oblúkové zváranie

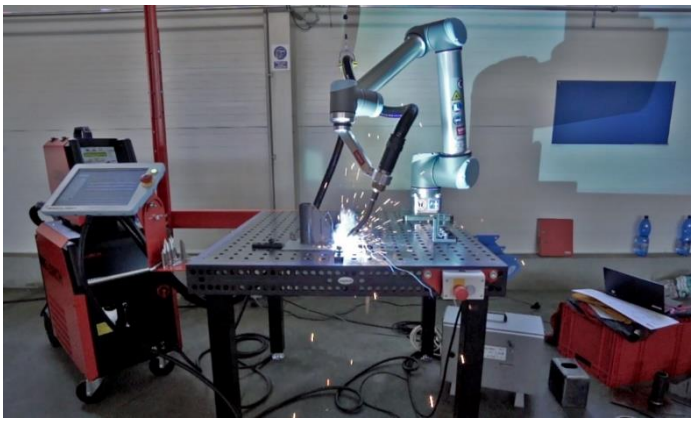
Jedna z najpopulárnejších zváracích metód hlavne z hľadiska nízkych nákladov. Proces zahŕňa elektrický oblúk ktorý vyžaruje elektrický prúd, čiže zdroj tepla. Aj keď sa môže rôzne procesy môžu líšiť, vždycky sa jedná o prechod elektrického prúdu materiálom ktorý by bez tohto zariadenia bol považovaný za nevodivý. Tento typ zvárania sa používa v rámci montážneho zvárania. Jeho výhoda je vysoká kvalita zvarových spojov a považuje sa vysoko flexibilnú. Nevýhodou je nízka produktivita hlavne pri porovnaní s metódami MIG, MAG a ZPT. K tomu je tu zvýšená možnosť tvorby chýb.

Oblúkové zváranie s robotmi

Špeciálne navrhnuté na oblúkové zváranie- séria robotov Arc Mate bola vytvorená špeciálne na účely oblúkového zvárania a je výsledkom dlhoročných skúseností v oblasti robotiky a zvárania. S užitočným zaťažením až do 20 kg a dosahom do 2,0 m je táto séria vhodná na širokú škálu využitia v oblasti oblúkového zvárania, zvárania laserom, spájkovania a rezania. Na splnenie celej škály požiadaviek sú k dispozícii rôzne modely. Bez ohľadu na model sú stroje vybavené množstvom rozličných nástrojov na zvýšenie ich všestrannosti, čím pomáhajú zefektívniť vaše postupy.

Kolaboratívny zvárací robot - Cobot

Zvárací kolaboratívny robot (Cobot, alebo Kobot) je automatizované zariadenie, ktoré je navrhnuté tak, aby mohlo spolupracovať s človekom. Po nastavení sa Cobot pohybuje s vysokou presnosťou a produkuje robotické zvary. Vďaka nižšej hmotnosti konštrukcie, zabudovanému bezpečnostnému systému a nižším rýchlostiam pohybu, takýto zvárací robot nie je potrebné umiestňovať do bezpečnostnej kóje, ako je tomu pri priemyselných zváracích robotoch. Oproti tomu má výhodu aj v jednoduchosti programovania. Tým sa znižuje cena na jeho zaradenie do výroby a umožňuje užšiu spoluprácu s človekom.

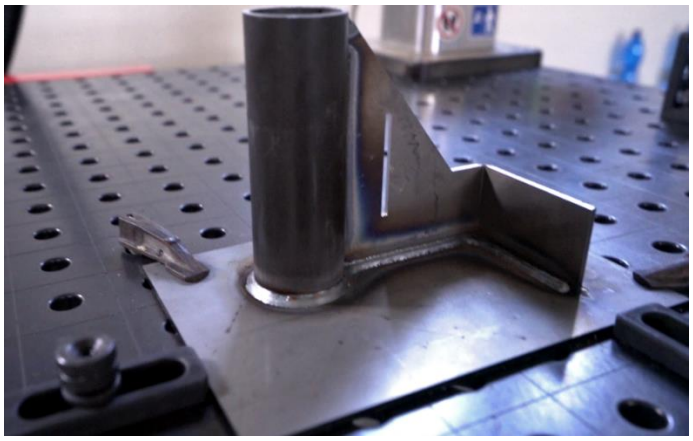


Obr. 2 Zvárací Cobot pri práci
Fig. 2 Welding Cobot at work

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

3 Výsledky a diskusia

Priemyselné roboty poskytujú presnosť a opakovateľnosť pre všetky aplikácie s oblúkovým zváraním. Vďaka svojej konštrukcii so štíhlym ramenom a dutým zápästím dokážu roboty na oblúkové zváranie značky FANUC preniknúť aj do najužších miest a zároveň si poradia aj s extrémne vysokým užitočným zaťažením. Roboty značky FANUC' sú výsledkom dlhoročných skúseností v oblasti robotiky a oblúkového zvárania. Dokonale sa hodia na široké spektrum priemyselných aplikácií s oblúkovým zváraním, ako je zváranie laserom, spájkovanie a rezanie. Na splnenie rôznych požiadaviek je dostupná široká paleta modelov, z ktorých všetky sú vybavené rozličnými nástrojmi na zvýšenie ich všestrannosti, ako aj bezpečnosti a efektívnosti procesov oblúkového zvárania.



Obr. 3 Výrobok vytvorený zváracím robotom
Fig. 3 Product created by a welding robot



Obr. 4 Zvárací robot od spoločnosti FANUC
Fig. 4 FANUC welding robot

Všestranná prevádzka prakticky v každej priemyselnej oblasti. Zváracie roboty FANUC disponujú vysokým výkonom a vysokými kapacitami užitočného zaťaženia, vďaka čomu sú ideálnym riešením pre využitie zvárania.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 5 Zvárací robot od spoločnosti ABB
Fig. 5 ABB welding robot

Nezávisle na procese zvárania, ktorý používate, či už ide o oblúkové zváranie, bodové zváranie alebo laserové zváranie, ABB má dokonalé riešenie, ktoré presne splní vaše požiadavky.



Obr. 6 Zvárací robot od spoločnosti YASKAWA
Fig. 6 YASKAWA welding robot

Spoločnosť Yaskawa je jedným z popredných svetových výrobcov v oblasti pohonov techniky, priemyselnej automatizácie a robotiky so sídlom v japonskom Kitakyushu. Spoločnosť založená v roku 1915 je vnímaná ako priekopník v odvetviach robotiky a vďaka inováciám sa neustále usilujú o optimalizáciu produktivity a efektivity strojov a priemyselných systémov.



Obr. 7 Zvárací robot od posločnosti KUKA
Fig. 7 KUKA welding robot

Zváracie roboty KUKA sa vyznačujú maximálnou produktivitou a vysokou kvalitou zvarov pri nízkych prevádzkových nákladoch a jednoduchom ovládaní. Značka prezentujúca

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

pokrok, ktorej jediným cieľom je zabezpečiť zákazníkom rozhodujúci náskok. S touto požiadavkou stanovuje KUKA globálne štandardy.

Postup zautomatizovania zváracej dielne s využitím zváracieho Cobota

Zvárač, ktorý pracuje so zváracím robotom najskôr Cobota nastaví, kontroluje výrobu a deleguje na neho únavné rutinné činnosti. Zaškolený operátor v automatizovanej zváracej dielni vďaka kobotovi pozvára potrebné kusy, kým skúsený zvárač využije svoje vedomosti pri komplikovanejších špecifických zvaroch. Výsledkom je v prvom rade zvýšenie produktivity výroby. Opakovaná robotická kvalita zvarových spojov má na svedomí menej nepodarkov a zníženie potreby dodatočného brúsenia zvarov, či opracovania tepelne deformovaných kusov. Navyše ste vďaka moderným digitálnym technológiám práve urobili krok ku štvrtej priemyselnej revolúcii - Industry 4.0.

Nastavenie Cobota zvládne každý zvárač, ktorý ovláda smartphone.

Programovanie, ktoré pri priemyselných robotoch vyžaduje kvalifikovaných integrátorov a trvá niekoľko týždňov je pri využití zváracieho Cobota omnoho jednoduchšie. Je pomerne intuitívne a zvládne ho aj bežný užívateľ inteligentného telefónu. S využitím funkcie Free-Drive môžete pohodlne rukou doviesť horák do požadovanej polohy, asistent zvárania zasa odporučí nastavenie parametrov pre konkrétny kus. Po naprogramovaní môže Cobota obsluhovať aj operátor, ktorý nikdy zváračku nedržal v ruke.

Programovanie kútového zvaru

Pomocou funkcie Free-Drive ručne - umiestnime rameno do štartovacej pozície. Zvolíme bod pre začiatok zvárania a na ovládacom paneli ho jemne vyladíme.Nastavíme štart zvárania a pomocou asistenta nastavíme zváracie parametre.Zvolíme koncový bod zvárania a nastavíme stop zváracieho procesu. Zvolíme pohyb návratu do východzej štartovacej pozície.

4 Záver

Tento článok prináša súhrn informácií o tom, čo je to kolaboratívny zvárací robot, druhoch zváracích robotov, spoločnostiach, ktoré sa zaoberajú výrobou takýchto zariadení. Objasňuje výhody použitia kolaboratívnych robotov a tak objasňuje prínosy automatizácie v oblasti zvárania v dnešnej dobe. Rieši problematiku oblúkového zvárania a prináša obraz aplikácie kolaboratívnych zváracích robotov v spojení s výrobnou činnosťou založenou na zváraní.

Zavedenie zváracích robotov do výroby prináša mnoho výhod či už sa jedná o zníženie výrobných nákladov, zvýšenie kvality založenej na vysokej presnosti a sile takýchto strojov, postačujúcej malej plochy pre prácu takýchto robotov. Taktiež automatizácia v procese zvárania poskytuje vďaka špeciálnym systémom kompenzáciu zmien polohy horáka a konca drôtu čo má za následok šetrenie cenného výrobného času, pretože obmedzuje nutnosť opráv horáka a opätovného nastavovania dráhy zvárania.

Nespornou výhodou a dôvodom prečo zavádzať zváracie roboty do výroby je aj fakt, že možno dosiahnuť vysokú kvalitu zvaru a Univerzálny špecializovaný softvér je kompatibilný so všetkými výrobcami, takže automatizáciu nemožno vnímať ako nedostupnú metódu rozvoja spoločnosti.

5 Literatúra

BARTÁK, J. – KUBÍČEK, J. – DANĚK, L. – KANDUS, B. 2014. Technológie svařováni a zařízení. 2 vyd. Plzeň : Praha 316s.

Druhy robotov.In slovak.encyclopedia [online]. © 2022 [cit. 2022-03-29]. Dostupné na <https://slovak.encyclopedia-titanica.com/significado-de-robot#menu-2>

Dual Robots Welding Mobile Trailers. In Youtube [online]. © 2018 [cit. 2022-03-29]. Dostupné na <https://www.youtube.com/watch?time_continue=49&v=RbmsiB-mOCI&feature=emb_title>

Oblúkové zváranie. In zvaranie.eu [online]. © 2013 [cit. 2022-03-29].Dostupné na <http://www.zvaranie.eu/oblukove-zvaranie/>

Zváranie. In typesofwelding [online]. © 2022 [cit. 2022-03-29].Dostupné na <https://www.typesofwelding.net/index.html>

Súhrn

Táto práca sa zaoberá problematikou zváracích robotov a ich prínosov pre priemysel. Objasňuje pojmy ako robot, kolaboratívny zvárací robot či zváranie. Ďalej prináša informácie o výhodách zváracích robotov. Pomáha pochopiť ako automatizovať dielňu použitím kolaboratívneho zváracieho robota Cobota. Popisuje postup programovania kútového zvaru. Taktiež prináša popis oblúkového zvárania a popisuje vhodnosť výberu robota pre danú metódu. V poslednej časti prináša stručný prehľad najznámejších spoločností ktoré na trhu poskytujú zváracie kolaboratívne roboty.

Kľúčové slová: robot, kolaboratívny robot zváranie, obľúkové zváranie, automatizácia

Poďakovanie
Ďakujem pani učiteľke Ing. Anne Hudecovej za pomoc pri príprave na medzinárodnú študentskú vedeckú konferenciu.

HODNOTENIE VYBRANÝCH FYZIKÁLNYCH PARAMETROV DREVA A DREVNÝCH KOMPOZITOV VO VZŤAHU K ICH VYUŽITIU V PRAXI
EVALUATION OF SELECTED PHYSICAL PARAMETERS OF WOOD AND WOOD COMPOSITES IN RELATION TO THEIR USE IN PRACTICE

PETER MARTINEC – MONIKA BOŽIKOVÁ

Abstract

Thermal characteristics represented by thermal parameters are influenced by structure, temperature, moisture content, etc. Based on these facts the main aim of this article is presentation of thermophysical parameters as thermal conductivity, thermal diffusivity and volume specific heat for five selected samples of wood with different moisture content and wood fibres orientation. The next examined samples were Oriented Strand Boards made from the same types of wood. Thermal parameters were examined by dynamic plane source method and the values of volume specific heat were calculated from definition equation. Experimentally obtained relations between thermal conductivity, thermal diffusivity and relative moisture content have increasing progress mathematically described by regression equations and coefficients of determination. From the practical point of view are beneficial detected thermal parameters of wood composites.

Key words: thermal conductivity, thermal diffusivity, volume specific heat, OSB, relative moisture content

1 Úvod

V priebehu spracovania dreva a výrobkov na báze dreva často dochádza k mechanickým a tepelným procesom. Najmä pri tepelnom spracovaní dochádza k zmenám teploty, ktoré ovplyvňujú vlhkosť dreva, pretože transport tepla nemožno oddeliť od transportu vody. Pri transporte tepla drevom a výrobkami na báze dreva, sa uplatňuje najmä šírenie tepla vedením, ktoré je podmienené existenciou teplotného gradientu v danom materiály, ktorý je možno matematicky popísať pomocou Fourierovho zákona vyjadreného rovnicou (1) (Gustafsson, 1991), (Sobota, 2014):

$$\vec{q} = -\lambda \cdot grad\, T \tag{1}$$

Kde: λ – tepelná vodivosť, $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
$\vec{q}$ – vektor hustoty ustáleného tepelného toku, $W \cdot m^{-2}$
grad T – gradient teploty, $K \cdot m^{-1}$ (Künzel – Linda, 2012).

Where: λ – thermal conductivity, $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
$\vec{q}$ – steady heat flux density vector, $W \cdot m^{-2}$

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

grad T – temperature gradient, $K \cdot m^{-1}$ (Künzel – Linda, 2012).

Rýchlosť vyrovnávania teploty v materiáli počas nestacionárnych procesov charakterizuje teplotnú vodivosť *a* ($m^2 \cdot s^{-1}$) definovanú v literatúre (Suleiman a i., 1999, Troppová a i. 2015, Adl – Zarrabi, 2004). Objemová tepelná kapacita $c\rho$ ($J \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}$) je vyjadrená ako pomer tepelnej a teplotnej vodivosti (Bouguerra a i., 2001, Nakaya a i., 2016). Poznatky o tepelných vlastnostiach materiálov vyrobených na báze dreva sa uplatňujú v rôznych priemyselných aplikáciách napr.: determinujú kvalitu dreva, palív vyrobených z drevnej hmoty, spôsoby konverzie paliva, použitie dreva a drevných kompozitov v stavebnom priemysle, ale aj v iných oblastiach priemyslu (Zi – Tao a i., 2011). Problematika merania termofyzikálnych parametrov dreva a drevných kompozitov je prezentovaná v literatúre Sonderegger a Niemz (2012), Li a i. (2013), Adl – Zarrabi – Boström (2004).

Z vyššie uvedených dôvodov bola nosným cieľom výskumu identifikácia vybraných termofyzikálnych parametrov rôznych druhov drevín a drevných kompozitov ktoré sa vyrábajú na Slovensku z drevného odpadu. V rámci výskumu bola použitá pri realizácii experimentov metóda DPS – dynamického plošného zdroja. Jedným z hlavných prínosov realizovaného výskumu je určenie matematických závislosti termofyzikálnych parametrov dreva s rôznou vlhkosťou a tiež vybraných termofyzikálnych parametrov drevných kompozitov – OSB dosiek. Merania závislosti termofyzikálnych parametrov boli realizované pre tangenciálny a radiálny smer orientácie drevných vlákien.

2 Materiál a metódy

V rámci identifikácie termofyzikálnych parametrov (tepelná vodivosť, teplotná vodivosť a objemová tepelná kapacita) boli merané vzorky dreva a drevných kompozitov – OSB dosiek. Merania boli vykonané na piatich druhoch vzoriek dreva: mäkké drevo – smrek (*Picea abies*) a borovica (*Pinus*), tvrdé drevo – buk (*Fagus silvatic*) a dub (*Quercus robur*) a stredne tvrdé drevo – gaštan (*Aesculus hippocastanum*). Relatívna vlhkosť meraných vzoriek bola z intervalu (0 – 35)%.

Pre účely merania termofyzikálnych parametrov OSB dosiek boli vyrobené špeciálne vzorky z drevného odpadu s majoritným obsahom drevín, pričom pôvodné drevo z ktorého sme získali odpad na výrobu OSB dosiek malo v prvom prípade tangenciálny smer orientácie a v druhom prípade radiálny smer. Drevo, z ktorého boli vyrobené OSB dosky, malo relatívnu vlhkosť v intervale (22 – 26)% a vzorky skúmaných OSB mali konečnú relatívnu vlhkosť od 4% do 7%. Rozmery všetkých meraných vzoriek boli rovnaké (150 mm x 150 mm a hrúbka 15 mm). Experimentálna identifikácia tepelných parametrov bola vykonaná v laboratórnych podmienkach s teplotou vzduchu 20 °C, atmosférickým tlakom 101,3 kPa a relatívnou vlhkosťou vzduchu 42,5%. Relatívna vlhkosť ω_{rel} meraných vzoriek bola vypočítaná ako pomer hmotnosti vody a hmotnosti suchej vzorky vynásobený 100% (Glass – Zelinka, 2010). Na stanovenie obsahu vlhkosti bola použitá gravimetrická metóda. Hmotnosť vzoriek dreva počas procesu sušenia bola meraná analytickými laboratórnymi váhami Kern ADB (Kern, Nemecko) s presnosťou 0,0001 g. Na sušenie vzoriek bola použitá laboratórna pec s teplotou sušenia (103 ± 2) °C. Pre porovnanie údajov boli hodnoty ω_{rel} zisťované aj pomocou analyzátora vlhkosti MAC 210/WH (Radwag LLC, USA). Tepelné parametre boli merané prístrojom Isomet 2104 (Applied Precision Ltd., Slovensko). Pri meraní bola použitá plošná sonda. Použité prístroje sú znázornené na Obr. 1 – 4.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 1 Váhy série AG/600C
Fig. 1 Series AG/600C scales



Obr. 2 Analyzátor vlhkosti MAC 210/HW
Fig. 2 Moisture analyzer MAC 210/HW



Obr. 3 ISOMET 2104
Fig. 3 ISOMET 2104



Obr. 4 Plošná sonda
Fig. 4 Surface probe

3 Výsledky a diskusia

V prvej sérii meraní boli stanovené hodnoty tepelnej vodivosti, teplotnej vodivosti a objemovej tepelnej kapacity v tangenciálnom smere. V druhej sérii meraní boli skúmané

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

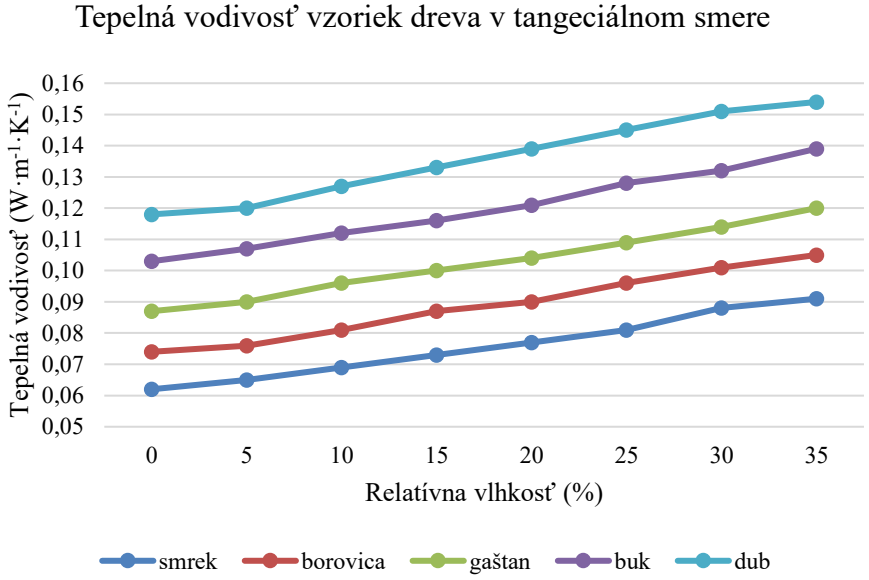
vzorky identických drevín v radiálnom smere. Každý bod v grafických závislostiach znázornených na Obr. 5 – 7 predstavuje aritmetický priemer z dvadsiatich meraní. Všetky experimentálne výsledky boli štatisticky spracované. Vypočítané relatívne pravdepodobné chyby boli v rozsahu (0,115 – 0,365)%. Na základe výsledkov regresnej analýzy boli identifikované regresné rovnice popisujúce vzťah medzi nameranými termofyzikálnymi parametrami a relatívnou vlhkosťou ω_{rel}. Tepelnú vodivosť λ ako funkciu relatívnej vlhkosti pre vzorky mäkkého, stredne tvrdého a tvrdého dreva s tangenciálnym a radiálnym smerom drevených vlákien, možno vo všeobecnosti popísať lineárnou funkciou – rovnica (2).

$$\lambda = A + B \cdot \omega_{rel} \quad (2)$$

Kde: λ – tepelná vodivosť, $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
ω_{rel} – relatívna vlhkosť, %

Where: λ – thermal conductivity, $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
ω_{rel} – relative humidity, %

Tepelná vodivosť vzoriek dreva s relatívnou vlhkosťou od 0% do 35% s tangenciálnou orientáciou vlákien dreva (Obr. 5) bola pre mäkké drevo – smrek v intervale (0,062 – 0,091) $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ a pre vzorky borovice v rozmedzí (0,074 – 0,105) $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. Pre vzorky tvrdého dreva boli experimentálne zistené nasledovné hodnoty tepelnej vodivosti: buk (0,103 – 0,139) $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ a dub (0,118 – 0,154) $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$, pre stredne tvrdé drevo – gaštan boli zistené hodnoty (0,087 – 0,120) $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. Matematický popis k rovnici (2) pre jednotlivé závislosti tepelnej vodivosti vzoriek dreva je uvedený v Tab. 1.



Obr. 5 Závislosť tepelnej vodivosti dreva od relatívnej vlhkosti v tangenciálnom smere
Fig. 5 Dependence of thermal conductivity of wood on relative humidity in tangential direction

Tab. 1 Výsledky regresnej analýzy pre závislosti tepelnej vodivosti
Tab. 1 Results of regression analysis for thermal conductivity dependences

Tepelná vodivosť vzoriek dreva (TS – tangenciálny smer, RS – radiálny smer)			
Koeficienty regresnej rovnice	A $(W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}) \cdot (\%)^{-1}$	B $(W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1})$	R^2

Vzorka	TS	RS	TS	RS	TS	RS
Smrek	0,0009	0,0007	0,0608	0,0718	0,9914	0,9917
Borovica	0,0009	0,0009	0,0725	0,0830	0,9933	0,9831
Gaštan	0,0009	0,0010	0,0861	0,0983	0,9957	0,9987
Buk	0,0010	0,0012	0,1018	0,1162	0,9938	0,9844
Dub	0,0011	0,0013	0,1164	0,1308	0,9918	0,9798

V rámci numerického vyhodnotenia boli stanovené rozdiely hodnôt tepelnej vodivosti v tangenciálnom smere pre vzorky tvrdého a stredne tvrdého dreva. Hodnoty sa líšili v priemere o viac ako 37,2% v porovnaní s referenčnou vzorkou gaštana. V prípade mäkkých driev ako sú smrek a borovica bol zistený priemerný rozdiel v hodnotách 32,5% pre tangenciálny smer. Hodnoty tepelnej vodivosti v radiálnom smere boli vyššie ako hodnoty namerané v tangeciálnom smere. Hodnoty λ boli najvyššie pre dubové drevo (0,134 – 0,174) $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. Najnižšie tepelné vodivosti boli experimentálne určené pre smrek (0,072 – 0,097) $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$. Z porovnania hodnôt tepelnej vodivosti dreva λ v radiálnom smere je zrejmé, že tvrdé drevo má priemernú tepelnú vodivosť o 33,3 % vyššiu ako stredne tvrdé a mäkké drevo o 31,8 % nižšiu ako referenčná vzorka stredne tvrdého dreva gaštanu.

Výsledky experimentálnych meraní teplotnej vodivosti sú prezentované na Obr. 6. Všetky identifikované grafické závislosti mali nelineárny priebeh, ktorý možno matematicky popísať polynomickou funkciou druhého stupňa – rovnica (3).

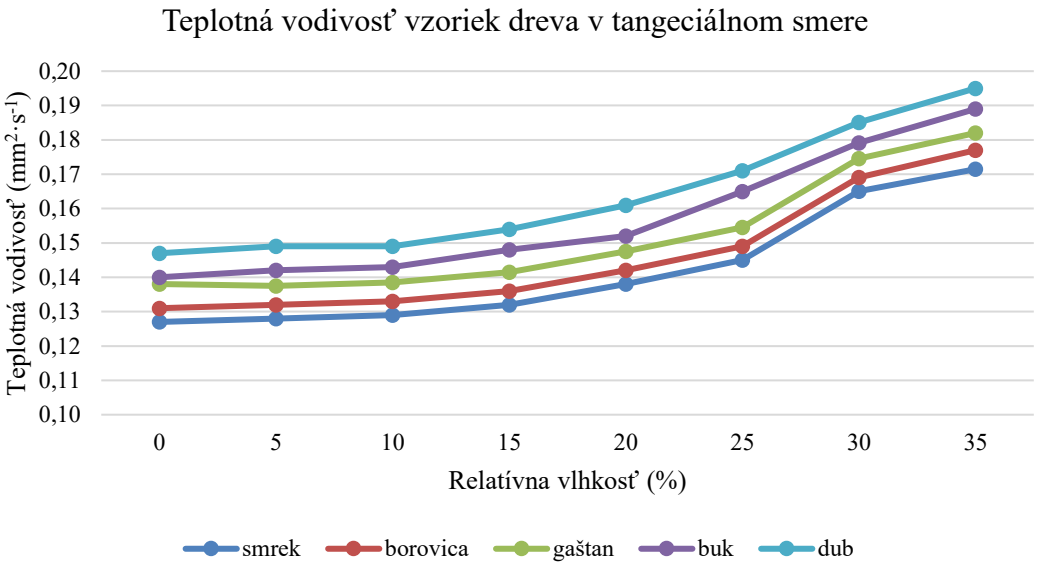
$$a = C \cdot \omega_{rel}^2 + D \cdot \omega_{rel} + E \quad (3)$$

Kde: C, D, E – koeficienty regresnej rovnice, $mm^{-2}.s^{-1}$
ω_{rel} – relatívna vlhkosť, %

Where: C, D, E – regression function coefficients, $mm^{-2}.s^{-1}$
ω_{rel} – relative humidity, %

Koeficienty regresnej rovnice C, D a E a koeficienty determinácie R^2 pre závislosť $a = f(\omega_{rel})$ mali hodnoty uvedené v Tab. 2. Teplotná vodivosť pre tangenciálnu orientáciu drevných vlákien s relatívnou vlhkosťou v rozmedzí (0 – 35)% bola pre mäkké drevo (0,127 – 0,177) $mm^2 \cdot s^{-1}$. Pre vzorky tvrdého dreva mala teplotná vodivosť hodnoty z intervalu (0,140 – 0,195) $mm^2 \cdot s^{-1}$. Priemerný rozdiel medzi hodnotami teplotnej vodivosti v tangenciálnom a radiálnom smere bol pre tvrdé drevo 1,98% a pre vzorky mäkkého dreva od 1,88% do 2,05%.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 6 Závislosť teplotnej vodivosti dreva od relatívnej vlhkosti v tangenciálnom smere
Fig. 6 Dependence of thermal conductivity of wood on relative humidity in tangential direction

Tab. 2 Výsledky regresnej analýzy pre závislosti teplotnej vodivosti
Tab. 2 Results of regression analysis for thermal conductivity dependences

Teplotná vodivosť vzoriek dreva (TS – tangenciálny smer, RS – radiálny smer)								
Koeficienty regresnej rovnice	$C \cdot 10^{-5}$ $(mm^{-2} \cdot s^{-1}) \cdot (\%)^{-2}$		$D \cdot 10^{-4}$ $(mm^{-2} \cdot s^{-1}) \cdot (\%)^{-1}$		E $(mm^{-2} \cdot s^{-1})$		R^2	
Vzorka	TS	RS	TS	RS	TS	RS	TS	RS
Smrek	5	5	-4	-4	0,1278	0,1302	0,9774	0,9879
Borovica	5	5	-5	-5	0,1320	0,1346	0,9811	0,9900
Gaštan	5	5	-6	-6	0,1385	0,1413	0,9805	0,9800
Buk	5	5	-2	-2	0,1407	0,1434	0,9911	0,9830
Dub	5	5	-2	-2	0,1475	0,1501	0,9945	0,9837

Tretím skúmaným parametrom bola objemová tepelná kapacita, ktorá bola vypočítaná ako pomer tepelnej vodivosti k teplotnej vodivosti. Jednotlivé hodnoty boli porovnané s experimentálnymi výsledkami získanými pomocou analyzátora tepelných parametrov Isomet 2104. Rozdiel medzi nameranými a vypočítanými hodnotami bol menší ako 0,15%. Identifikované grafické závislosti pre objemovú tepelnú kapacitu sú znázornené na Obr. 7 Výsledky regresnej analýzy reprezentované koeficientami regresnej rovnice a koeficiantami determinácie sú zhrnuté v Tab. 3. Matematicky možno závislosť objemovej tepelnej kapacity od relatívnej vlhkosti popísať rovnicou (4).

$$c\rho = F \cdot \omega_{rel}^2 + G \cdot \omega_{rel} + H \quad (4)$$

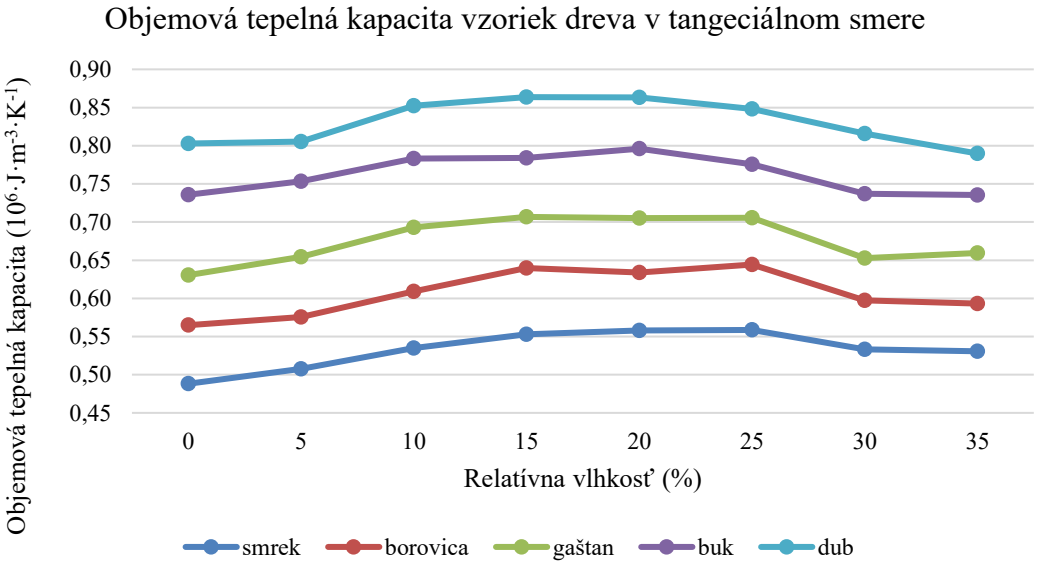
Kde: F, G, H – koeficienty regresnej rovnice, $J.m^3.K^{-1}$
ω_{rel} – relatívna vlhkosť, %

Where: F, G, H –coefficients of regression equation, $J.m^3.K^{-1}$

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

ω_{rel} – relative humidity, %

Výsledky výpočtov objemovej tepelnej kapacity pre všetky skúmané vzorky s tangenciálnou orientáciou drevných vlákien boli z nasledovných intervalov: smrek (0,488 – 0,531)·10^6 J·m^{-3}·K^{-1}, borovica (0,565 – 0,593)·10^6 J·m^{-3}·K^{-1}, buk (0,736 – 0,735)·10^6 J·m^{-3}·K^{-1}, dub (0,803 – 0,790)·10^6 J·m^{-3}·K^{-1}a gaštan (0,630 – 0,659)·10^6 J·m^{-3}·K^{-1}. Objemové tepelné kapacity vzoriek dreva zistené v radiálnom smere boli: smrek (0,503 – 0,575)·10^6 J·m^{-3}·K^{-1}, borovica (0,582 – 0,664)·10^6 J·m^{-3}·K^{-1}; buk (0,758 – 0,820)·10^6 J·m^{-3}·K^{-1}, dub (0,813 – 0,890)·10^6 J·m^{-3}·K^{-1} a gaštan (0,649 – 0,728)·10^6 J·m^{-3}·K^{-1}.



Obr. 7 Závislosť objemovej tepelnej kapacity dreva od relatívnej vlhkosti v tangenciálnom smere

Fig. 7 Dependence of volume heat capacity of wood on relative humidity in tangential direction

Všetky namerané a vypočítané hodnoty objemovej tepelnej kapacity boli porovnané s hodnotami uvedenými v literatúre (Glass – Zelinka, 2010), (Radmanović a i., 2014) a (Igaz a i., 2017), pričom bola zistená čiastková zhoda výsledkov. Vo všeobecnosti možno konštatovať, že všetky hodnoty termofyzikálnych parametrov dreva, ktoré boli merané v tangenciálnom a radiálnom smere sú významne ovplyvnené jednak relatívnou vlhkosťou dreva, ale aj štrukturálnymi charakteristikami dreva (hustota dreva, smer vlákien, tvrdosť dreva).

Z dôvodu teoretickej interpretácie výsledkov bola vykonaná korelačná analýza. Korelačné koeficienty pre všetky termofyzikálne parametre vzoriek dreva boli v rozmedzí (0,971 – 0,999), čo znamená veľmi silnú koreláciu.

Tab. 3 Výsledky regresnej analýzy pre objemovú tepelnú kapacitu

Tab. 3 Results of regression analysis for volume heat capacity

Objemová tepelná kapacita dreva (TS – tangenciálny smer, RS – radiálny smer)								
Koeficienty regresnej rovnice	F·10^{-4} (J·m^{-3}·K^{-1})·(%)$^{-2}$		G·10^{-4} (J·m^{-3}·K^{-1})·(%)$^{-1}$		H (J·m^{-3}·K^{-1})		R^2	
Vzorka	TS	RS	TS	RS	TS	RS	TS	RS
Smrek	-2	-2	67	69	0,4846	0,4991	0,9459	0,9326

Borovica	-2	-2	80	83	0,555	0,5717	0,8458	0,8634
Gaštan	-2	-2	82	85	0,6281	0,6469	0,8478	0,8520
Buk	-2	-2	63	65	0,7337	0,7557	0,8581	0,8811
Dub	-2	-2	79	82	0,7920	0,8157	0,8955	0,9037

V poslednej sérií meraní boli skúmané vzorky OSB dosiek a súhrnné výsledky sú uvedené v Tab. 4. Vo všeobecnosti mali termofyzikálne parametre OSB dosiek vyššie hodnoty, rozdiely v hodnotách jednotlivých termofyzikálnych parametrov sú uvedené v Tab. 5.

Tab. 4 Termofyzikálne parametre OSB dosiek
Tab. 4 Thermophysical parameters of OSB boards

Tepelná vodivosť, teplotná vodivosť a objemová teplotná kapacita OSB dosiek						
Termofyzikálny parameter	λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)		a ($mm \cdot s^{-1}$)		$c\rho \cdot 10^6$ ($J \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}$)	
Vzorka	TS	RS	TS	RS	TS	RS
Smrek	0,077	0,087	0,138	0,142	0,558	0,613
Borovica	0,090	0,099	0,142	0,145	0,634	0,683
Gaštan	0,104	0,119	0,147	0,150	0,707	0,793
Buk	0,121	0,139	0,152	0,156	0,796	0,891
Dub	0,139	0,156	0,161	0,164	0,863	0,951

Tab. 5 Rozdiely medzi termofyzikálnymi parametrami dreva a OSB dosiek
Tab. 5 Differences between thermophysical parameters of wood and OSB boards

Rozdiely medzi termofyzikálnymi parametrami						
Termofyzikálny parameter	$\Delta\lambda$ (%)		Δa (%)		$\Delta c\rho$ (%)	
Vzorka	TS	RS	TS	RS	TS	RS
Smrek	17,56	18,46	24,43	7,81	17,21	9,84
Borovica	12,51	18,42	7,40	7,58	15,16	10,07
Gaštan	15,54	15,55	7,14	6,91	17,66	8,10
Buk	13,93	13,08	7,58	7,04	18,01	5,71
Dub	15,55	15,83	8,69	8,05	14,58	7,20

Výsledky poukazujú na skutočnosť, že zmena štruktúry materiálu reprezentovaná rôznou veľkosťou fragmentov, usporiadaním stavebných častíc, použitie spojiva a tužidla pri výrobe OSB dosiek má významný vplyv na termofyzikálne parametre.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

4 Záver

Prezentované výsledky poukázali na skutočnosť že termofyzikálne parametre umožňujú charakterizovať tepelný transport v dreve a drevných kompozitoch. Z hľadiska makroskopickej a mikroskopickej štruktúry bol zistený významný vplyv orientácie drevných vlákien na tepelnú vodivosť. Z výsledkov experimentov vyplýva fakt, že teplotná vodivosť sa mení iba minimálne pri zmene orientácie drevných vlákien. Keďže boli merané termofyzikálne parametre mäkkého, tvrdého a stredne tvrdého dreva z numerickej analýzy dát vyplynulo, že vzorky dreva s vyššou hustotou vlákien majú vyššie hodnoty tepelných parametrov. Numerické vyhodnotenie experimentálne získaných výsledkov pre vzorky OSB dosiek poukázalo na kvantifikovateľný vplyv druhu dreva na ich termofyzikálne parametre. Prezentované výsledky nachádzajú svoje uplatnenie pri predikcii tepelného správania sa dreva a drevných kompozitov v priebehu procesu spracovania, skladovania a ich použitia. Štúdium vplyvu vnútorných a vonkajších faktorov je nevyhnutné pre zabezpečenie kvality drevených stavebných konštrukcií, ktoré sa používajú v moderných stavbách nízkoenergetických drevodomov.

5 Literatúra

ADL-ZARRABI, Bijan. 2004. Determination of Thermal Properties of Wood and Wood Based Products by Using TPS. Proc. 8th world conference on timber engineering, Lahti, Finland.

ADL-ZARRABI, Bijan – BOSTROM, Lars – WICKSTROM, Ulf. 2006. Using the TPS method for determiningthe thermal properties of concrete and wood at elevated temperature. In FireMater [online], vol. 30, no. 5, pp. 359-369 [cit. 2022-03-15]. ISSN 1099-1018. Dostupné na: <DOI: 10.1002/fam.915>.

BOUGUERRA, Ahmed a i. 2001. Measurement of thermal conductivity, thermal diffusivity and heat capacity of highly porous building materials using transient plane source technique. In International Communications in Heat and Mass Transfer [online], vol. 28, vol. 8, pp. 1065-1078 [cit. 2022-03-10]. ISSN 0735-1933. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/S0735-1933(01)00310-4>.

GLASS, Samuel V. – ZELINKA, Samuel L. 2010. Moisture relations and physical properties of wood. In: Wood handbook : wood as an engineering material: chapter 4. Centennial (Eds. General technical report FPL). GTR-190, Madison, U.S., vol. 190, pp. 4.1-4.19 [cit. 2022-03-10].

GUSTAFSSON, Silas E., 1991. Transient plane source techniques for thermal conductivity and thermal diffusivity measurements. In Review of Scientific Instruments [online], vol. 62, no. 3, pp. 797-804 [cit. 2022-03-14]. ISSN 0034-6748. Dostupné na: <https://doi.org/10.1063/1.1142087>.

HRČKA, Richard – KURJATKO, Stanislav 2006. Thermal properties of elm wood (Ulmus scabraMill.). In: Wood Structure and Properties [online]. Zvolen : Arbora Publishers [cit. 2022-03-14]. ISBN 80-968869-4-3.

IGAZ, Rastislav a i. 2017. Thermophysical Properties of OSB Boards versus Equilibrium Moisture Content. In BioResources [online], vol. 12, no. 4, pp. 8106-8118 [cit. 2022-03-20]. ISSN: 1930-2126. Dostupné na: <DOI: 10.15376/biores.12.4.8106-811 >.

LI, K.Y a i. 2013. Determining thermalphysical properties of pyrolyzing New Zealand medium densityfibreboard (MDF). In Chemical Engineering Science [online], vol. 95, pp. 211-220 [cit. 2022-03-20]. ISSN 0009-2509. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2013.03.019>.

LINDA, Miloslav - KUNZEL, Gunnar – HROMASOVA, Monika. 2012. Temperature Measurement in Technical Applications. In Engineering of Rural Development [online]. CULS in Prague 2012, pp. 145-150 [cit. 2022-03-16]. ISBN 1691-5976. Dostupné na: <https://www.tf.llu.lv/conference/proceedings2012/Papers/025_Linda_M.pdf>.

NAKAYA, Takashi a i. 2016. Thermal Conductivity and Volumetric Specific Heat of Low-Density Wooden Mats. In Forest Products Journal [online], no. 66, vol. 5, pp. 300-307 [cit. 2022-03-20]. ISSN : 0015-7473. Dostupné na: <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-15-00045>.

RADMANOVIĆ, Kristijan – ĐUKIĆ, Igor - PERVAN, Stjepan. 2014. Specific Heat Capacity of Wood. In Drvna Industrija [online],vol. 65, no.2, pp. 151-157 [cit. 2022-03-14]. ISSN 1847-1153. Dostupné na: <https://doi.org/10.5552/drind.2014.1333>.

SOBOTA, Tomasz. 2014. Fourier's Law of Heat Conduction. In: Encyclopedia of Thermal Stresses [online]. Dordrecht : Springer [cit. 2022-03-14]. ISBN 978-94-007-2739-7. Dostupné na: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-2739-7_384>.

SONDEREGGER, Walter – NIEMZ, Peter, 2012. Thermal and moisture flux in soft fiberboards. In European Journal of Wood and Wood Products [online], vol. 70, pp. 25-35 [cit. 2022-03-20]. ISSN ISSN 1436-736X. Dostupné na: <https://doi.org/10.1007/s00107-010-0498-7>.

SULEIMAN B. – LARFELDT J. – LECKNER, B. 1999. Thermal conductivity and diffusivity of wood. In Wood Science and Technology [online], no. 33, pp. 465-473 [cit. 2022-03-25]. ISSN 1432-5225. Dostupné na: <https://doi.org/10.1007/s002260050130>.

ZI-TAO, Yu a i. 2011. Experimental Measurements of Thermal Conductivity of Wood Species in China: Effects of Density, Temperature, and Moisture Content. In Forest Products Journal [online], vol. 61, no. 2, pp. 130-135 [cit. 2022-03-25]. ISSN 0015-7473. Dostupné na: <https://doi.org/10.13073/0015-7473-61.2.130>.

TROPPOVA E., SVEHLIK M., TIPPNER J. and WIMMER, R., 2015. Influence of temperature and moisture content on the thermal conductivity of wood-based fibreboards. In Materials and Structures, vol. 48, pp. 4077-4083 [cit. 2022-03-18]. ISSN 1871-6873. Dostupné na: <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0467-4>

Súhrn

Tepelné charakteristiky reprezentované termofyzkálnymi parametrami sú ovplyvnené štruktúrou, teplotou, vlhkosťou atď. Na základe týchto skutočností je hlavným cieľom tohto článku prezentácia termofyzikálnych parametrov ako sú tepelná vodivosť, teplotná vodivosť a objemová tepelná kapacita piatich vybraných vzoriek dreva s rozdielnou relatívnou vlhkosťou a orientáciou drevených vlákien. Ďalšími skúmanými vzorkami boli OSB dosky vyrobené z identických druhov dreva. Termofyzikálne parametre boli skúmané metódou dynamického plošného zdroja a hodnoty objemovej tepelnej kapacity boli vypočítané z definičného vzťahu. Experimentálne získané vzťahy medzi tepelnou vodivosťou, teplotnou vodivosťou a relatívnou vlhkosťou majú rastúci priebeh, ktorý je matematicky popísaný regresnými rovnicami a

koeficientmi determinácie. Z pohľadu praxe sú hlavným benefitom najmä experimentálne identifikované tepelné parametre drevných kompozitov.

Kľúčové slová: tepelná vodivosť, teplotná vodivosť, objemová tepelná kapacita, OSB doska, relatívna vlhkosť

Poďakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Dopytovo-orientovaný výskum pre udržateľné a inovatívne potraviny, Drive4SIFood 313011V336, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

MONITOROVANIE ČISTIARNE ODPADOVÝCH VÔD POMOCOU RÁDIOKOMUNIKAČNÝCH SYSTÉMOV
MONITORING OF WASTEWATER TREATMENT PLANS USING RADIO COMMUNICATION SYSTEMS

TOMÁŠ MLINARCSIK – LUKÁŠ VACHO

Abstract

When treating wastewater at domestic and municipal wastewater treatment plants, the technological process is usually controlled by programmable logic controllers (PLCs). This control is usually without the transmission of monitored parameters to a remote workplace. This work is focused on the construction of a monitoring device with the transmission of monitored parameters to the control room using an Internet connection with a development module based on 8-bit microcontroller AT MEGA 2560 with expansion modules. The monitoring device is designed so that the intervention in the already existing control system is almost zero.

Key words: AT MEGA 2560, ethernet, RTC, monitoring, WWTP

1 Úvod

Nevyhnutnou a nenahraditeľnou zložkou pre živé organizmy je voda. Pri každodennom používaní vody v domácnostiach, priemysle, zdravotníctve a poľnohospodárstve dochádza k jej znečisteniu. Takto znečistenej vode hovoríme odpadová voda. Odpadové vody sa čistia v čistiarni odpadových vôd (ČOV). V čistiarni odpadových vôd sa z odpadovej vody odstránia rôzne chemické a biologické formy znečistenia pomocou rôznych technologických zariadení (strojne stierané hrablice, dúchadlá s prevzdušňujúcimi elementami, dávkovacími čerpadlami a podobne) a výsledným produktom je vyčistená voda vypúšťaná prevažne do recipientu. Technologický proces čistenia odpadových vôd je riadený presne danými algoritmami a sledovaním jednotlivých prevádzkových parametrov. Zložitosť jednotlivých systémov je daná prevažne veľkosťou ČOV. Na riadenie a monitorovanie technologických procesov sa používajú PLC, DCS, SCADA systémy. Pri veľkých ČOV (nad 2000 EO) je na vzostupe používanie SCADA a DCS systémov riadenia. Pri ČOV do 2000 EO (domové, kontajnerové, obecné ČOV) sa používajú PLC riadiace systémy zvyčajne bez prenosu údajov na vzdialené dispečerské pracovisko.

Použitie týchto systémov s prenosom monitorovaných parametrov na vzdialené dispečerské pracovisko sa pri obecných čistiarňach odpadových vôd zvyčajne nerealizuje z dôvodu ekonomickej náročnosti. Riešením tohto problému je možnosť dobudovania monitorovacieho zariadenia s prenosom monitorovaných parametrov na vzdialené dispečerské pracovisko pomocou open-sourse platforiem.

Cieľom tejto práce je vytvoriť finančne dostupné vzdialené monitorovacie zariadenie na báze bezdrôtového prenosu cez mobilnú sieť pre kontrolu čistiarne odpadových vôd bez stálej obsluhy s už jestvujúcim riadiacim systémom inštalovaným pri výstavbe ČOV.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

2 Materiál a metódy

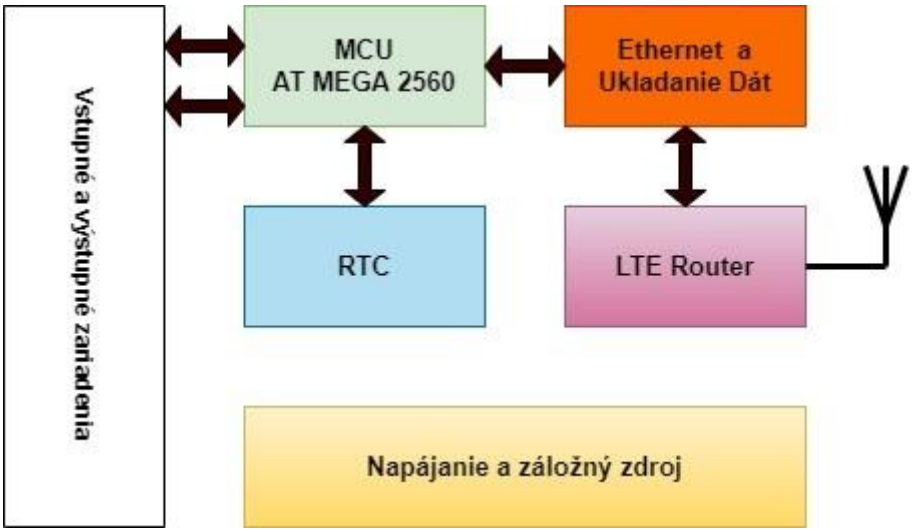
Prvým krokom bude stanovenie počtu a druhu monitorovaných zariadení a sledovaných veličín. Predmetom skúmania je ČOV v obci Golianovo s kapacitou 1600 ekvivalentných obyvateľov (EO). Podľa zákona č 364/2004 Z.z. §2 písm. s) je „Ekvivalentným obyvateľom (1 EO) množstvo biologicky odstrániteľného organického znečistenia vyjadreného hodnotou ukazovateľa biochemická spotreba kyslíka za päť dní (BSK5), ktorá je ekvivalentná znečisteniu 60 g BSK5 produkovanému jedným obyvateľom za deň."

Navrhnuté zariadenie bude sledovať nasledovné zariadenia a parametre technologickej linky ČOV:

- 3 x dúchadlo KUBÍČEK VHS 3D28B-080K príkon 5,5 kW
- 2 x čerpadlo v prítokovej šachte HCP 50AFU21.5 WD príkon 1,5 kW
- ostatné zariadenia technologickej linky (strojné hrablice, ventilácia duchárne, miešadlá...) označené ako „ZDRUŽENÁ PORUCHA"
- sledovanie napájania rozvádzača (výpadok fáz, sled fáz)
- sledovanie teploty v rozvádzači
- sledovanie zadymenia v rozvádzači
- počet motohodín dúchadiel

Metodika postupu práce bola rozdelená do niekoľkých bodov, podľa ktorých sme postupovali. Najskôr bolo potrebné analyzovať jestvujúci riadiaci systém. Rozvádzač s riadiacim systémom je umiestnený v miestnosti obsluhy ČOV. Pozostáva z PLC značky DELTA DVP14SS2 s rozširujúcimi kartami DVP-16SP a DVP-16SM a displeja pre konfiguráciu prevádzkových hodnôt procesu a zobrazenie poruchových stavov.

Riadiaci systém nemá diaľkové monitorovanie zo vzdialeného pracoviska. Bloková schéma navrhovaného monitorovacieho systému je zobrazená na nasledujúcom obrázku.



Obr. 1 Bloková schéma monitorovacieho zariadenia
Fig. 1 Block diagram of the monitoring devices

Ako riadiaci modul bola použitá vývojová doska s mikrokontrolérom ATmega 2560. K uvedenému modulu boli pripojené ďalšie rozširujúce moduly a snímače ako Ethernetový modul Wiznet W5100 s integrovanou čítačkou SD karty, modul reálneho času (RTC) ZS-042, a teplotný snímač DS18B20.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Základné parametre teplotného snímača DS18B20:

- napájacie napätie: 5V±0,1,
- rozsah meraných teplôt: -55°C až +125°C,
- presnosť ±0,5°C od -10°C do +85°C,
- programovateľné rozlíšenie od 9 bitov do 12 bitov.

Ako snímač dymu a horľavých plynov bol použitý snímač MQ-2. Základné údaje snímača dymu a horľavých plynov MQ-2:

- napájacie napätie: 5V±0,1,
- odpor vyhrievacie článku: 33Ω ± 5 %,
- detekujúce koncentrácie plynov:
  - 200ppm-5000ppm LPG a propán,
  - 300ppm-5000ppm bután,
  - 5000ppm-20000ppm metán,
  - 300ppm-5000ppm vodík,
  - 100ppm-2000ppm alkohol a dym.

Ako záložný zdroj napájania pre monitorovací systém v prípade poruchy hlavného napájania sa používa Li-ion batéria typu LC 18650 spolu s integrovaným ochranným nabíjacím obvodom proti prebíjaniu a podbitiu batérie a Step-Up (boost) menič pre napájanie z batérie. Záložný zdroj napájania je riešený ako samostatný modul z dôvodu náhrady za iný typ v prípade rozšírenia základného modulu o ďalšie funkcie a zvýšeným energetickým nárokom zariadenia. Špecifikácia modulu pre batériu LC18650:

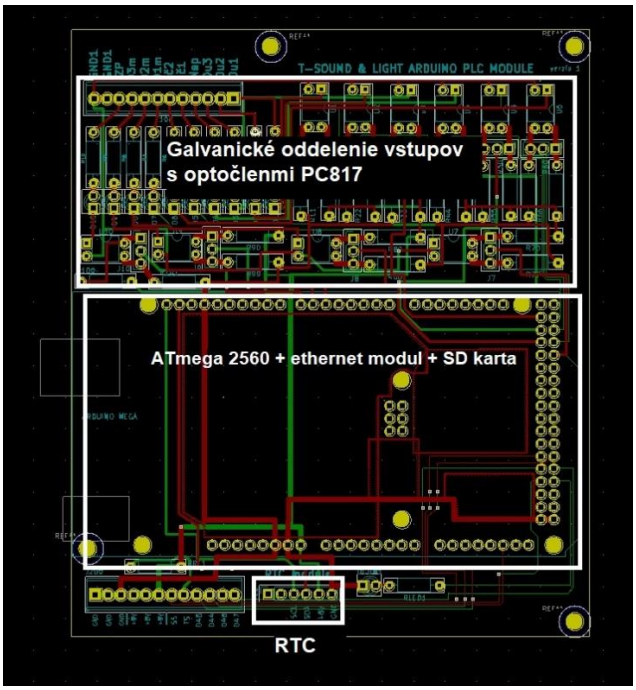
- vstupné napätie: 4.2V – 8V,
- výstupné napätie: 5V / 3.3V,
- výstupný prúd: 3.3V – 1A; 5V – 3A (kontinuálne max 2.2A),
- nabíjací prúd: 600 mA.

Pripojenie k bezdrôtovej sieti a internetu zabezpečuje router ZyXEL LTE4506-M606 pomocou ethernetového kábla. Napájanie záložného zdroja je cez sieťový adaptér POSB05200A-micro. Ide o univerzálny adaptér s výstupným napätím 5V a maximálnym výstupným prúdom 2A. Tento adaptér je možné nahradiť akýmkoľvek iným typom dostupného sieťového adaptéra so zhodným výstupným napätím a prúdom. Základné parametre sieťového adaptéra POSB05200A-micro:

- výstupná časť:
- výstupné napätie: 5V,
- výstupný prúd (max.): 2A,
- výstupné zvlnenie a šum (max.): 100mV,
- vstupná časť:
- rozsah vstupného napätia 90 ÷ 264 VAC,
- frekvenčný rozsah 47 ÷ 63 Hz,
- účinnosť (typ.) 81,27%,
- spotreba energie bez zaťaženia (max.) 0,075W.

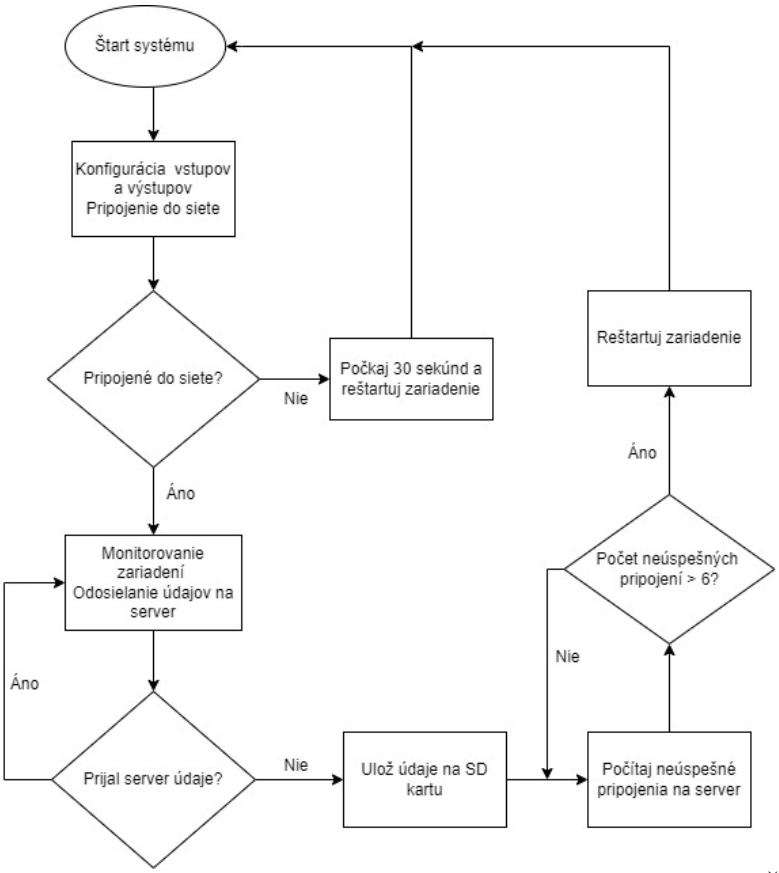
Ďalej bola navrhnutá elektrická schéma a doska plošných spojov v programe KiCad.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 2 Návrh DPS v programe KiCad a umiestnenie modulov
Fig. 2 DPS design in KiCad program and location of modules

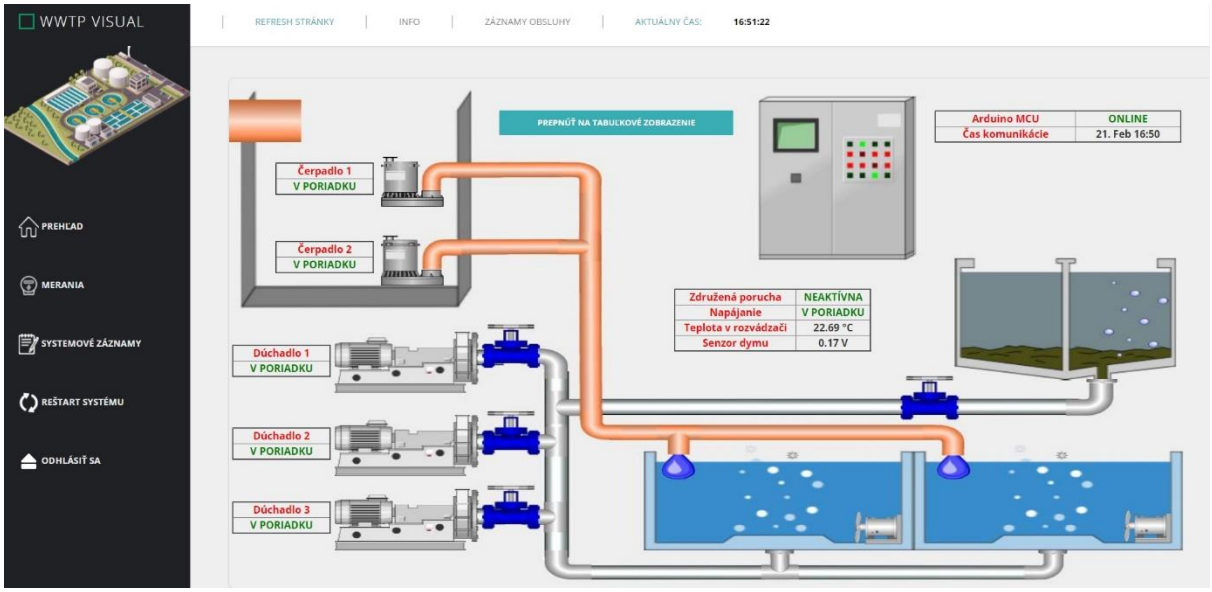
Následne sme pristúpili k príprave softvérovej časti monitorovacieho zariadenia. Princíp činnosti monitorovacie zariadenia je uvedený na obr.3.



Obr. 3 Vývojový diagram princípu monitorovacieho systému v ČOV
Fig. 3 Flow chart of the principle of the monitoring system in ČOV

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Po otestovaní funkčnosti bolo potrebné navrhnúť a vyrobiť skrinku pre monitorovacie zariadenie a záložný zdroj. Návrh skriniek bolo potrebné uskutočniť tak, aby zariadenia mohli byť inštalované na DIN lištu v rozvádzači. Skrinky obsahujú vetracie otvory pre prirodzené vetranie komponentov. Na jej návrh bol použitý program Solidworks a skrinka bola vyrobená na 3D tlačiarni. Na vizualizáciu monitorovaných údajov bola vytvorená webová stránka v jazyku PHP a server, na ktorom je uložená webová stránka. Server bol vytvorený pomocou aplikácie WampServer s databázou MySQL na ukladanie monitorovaných údajov. WampServer je prostredie pozostávajúce z troch serverov (Apache, MySQL a MariaDB), interpreter skriptov (PHP) a tiež phpMyAdmin pre webovú správu databáz MySQL. Na hlavnej webovej stránke sú zobrazené monitorované zariadenia a sledované veličiny buď v grafickej, alebo tabuľkovej podobe. V ľavej a hornej časti webovej stránky sa nachádza menu, kde je možné vybrať nasledujúce podstránky: Karta "PREHĽAD" zobrazuje stav zariadení graficky alebo v tabuľke. Súčasne je na tejto karte zobrazenie ubehnutých motohodín dúchadiel v dvoch grafoch. V uvedenej tabuľke je zobrazený aj čas poslednej komunikácie. Pri bezporuchovom stave sa zobrazuje hlásenie "V PORIADKU“. Pri poruche niektorého zariadenia je zobrazené hlásenie "PORUCHA". Združená porucha upozorňuje na poruchy zariadení, ktoré nie sú uvedené v tabuľke alebo v grafickom zobrazení (napríklad miešadlá, strojne stierané hrablice, ventilácia duchárne). V tomto prípade je bezporuchový stav hlásený zobrazením hlásenia "NEAKTÍVNA", pri poruche je zobrazené hlásenie "PORUCHA". Na karte "MERANIA" je zobrazená história záznamov. Uvedené záznamy je možné filtrovať podľa daných kritérií a to 24 hodín, 7 dní, 30 dní a všetky záznamy. Na karte "SYSTÉMOVÉ ZÁZNAMY" je prehľad udalostí zaznamenaných systémom a to prihlásenia a odhlásenia úžívateľov, neúspešné pokusy o prihlásenia, požiadavky na reštart hardvéru. Karta "ODHLÁSIŤ SA" slúži na odhlásenie užívateľa zo systému. Karta "REFRESH STRÁNKY" slúži na okamžité obnovenie zobrazenia a zobrazenia najnovšieho obsahu danej karty. Na karte "INFO" sú stručne popísané údaje o ČOV a monitorovacom systéme. Do karty "ZÁZNAMY OBSLUHY" môže obsluha pridávať rôzne záznamy obsluhy, ako napr. vykonaný servis, údržba strojov a podobne. Súčasne je možné tieto záznamy vyhľadávať.



Obr. 4 Webová stránka zobrazujúca monitorované údaje
Fig. 4 Website displaying monitored data

Ďalším krokom bola inštalácia zariadenia do jestvujúceho elektrického rozvádzača, otestovanie funkčnosti zariadenia a skúšobná prevádzka.



Obr. 5 Nainštalované monitorovacie zariadenie v rozvádzači (1. základný modul monitorovacieho zariadenia, 2. záložný zdroj napájania)
Fig. 5 Monitoring device installed in the control cabinet (1. basic monitoring device module, 2. backup power supply)

3 Výsledky a diskusia

Za mesiac október 2021 bolo uložených 7943 záznamov do databázy MySQL. Monitorované údaje sa odosielajú na server v časových odstupoch 5 minút. Analýzou jednotlivých záznamov je možné určiť:

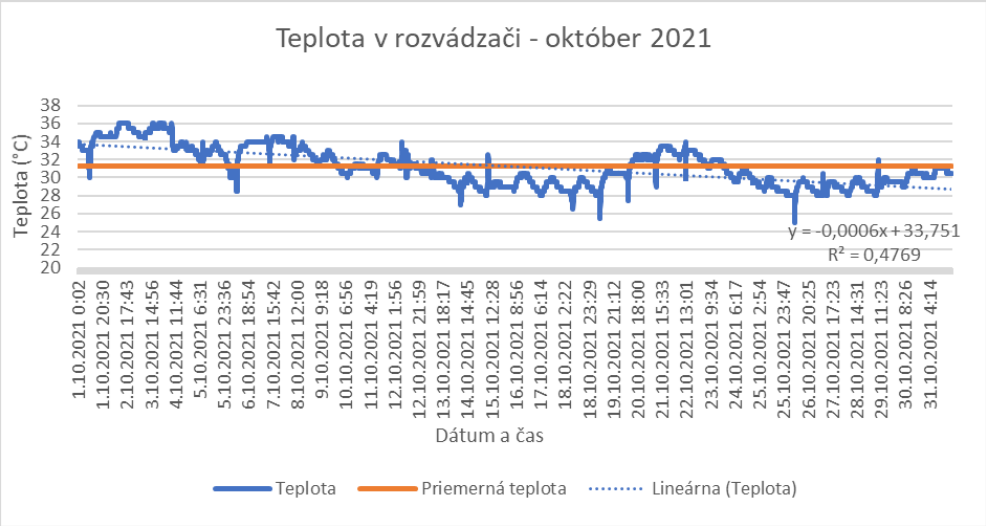
- počet a dobu trvania porúch na monitorovaných zariadeniach za zvolené časové obdobie,
- vývoj teploty v elektrickom rozvádzači za zvolené časové obdobie,
- sledovanie hodnôt dymového snímača za zvolené časové obdobie,
- motohodiny dúchadiel za zvolené časové obdobie,
- priemernú teplotu v elektrickom rozvádzači za zvolené časové obdobie,
- priemernú hodnotu dymového senzora za zvolené časové obdobie,
- počet časových odstupov medzi komunikáciou klient-server, ktorá trvala dlhšie ako nastavený časový odstup 5 minút (porucha komunikácie).

	id	time	Teplota	Priemer	napstav	duch1	duch2	duch3	Dymo	Priem	pump1	pump2	duchadlo_1	duchadlo_2	duchadlo_3	zp	Rozdiel
4	26412	1.10.2021 0:12	34	31,220697	1	1	1	1	0,43	0,4335	1	1	1116,58	1520,33	333,59	1	5,016667
5	26413	1.10.2021 0:17	34	31,220697	1	1	1	1	0,43	0,4335	1	1	1116,58	1520,33	333,59	1	4,966667
6	26414	1.10.2021 0:22	34	31,220697	1	1	1	1	0,43	0,4335	1	1	1116,58	1520,33	333,59	1	5
7	26415	1.10.2021 0:27	34	31,220697	1	1	1	1	0,43	0,4335	1	1	1116,58	1520,33	333,59	1	5,016667
8	26416	1.10.2021 0:32	34	31,220697	1	1	1	1	0,43	0,4335	1	1	1116,58	1520,33	333,59	1	4,966667
9	26417	1.10.2021 0:37	34	31,220697	1	1	1	1	0,43	0,4335	1	1	1116,58	1520,33	333,59	1	5
10	26418	1.10.2021 0:42	34	31,220697	1	1	1	1	0,43	0,4335	1	1	1116,58	1520,33	333,59	1	4,983333
11	26419	1.10.2021 0:47	33,5	31,220697	1	1	1	1	0,43	0,4335	1	1	1116,58	1520,33	333,59	1	4,983333
12	26420	1.10.2021 0:52	33,5	31,220697	1	1	1	1	0,43	0,4335	1	1	1116,58	1520,33	333,59	1	5
13	26421	1.10.2021 0:57	33,5	31,220697	1	1	1	1	0,43	0,4335	1	1	1116,58	1520,33	333,59	1	5
14	26422	1.10.2021 1:02	33,5	31,220697	1	1	1	1	0,43	0,4335	1	1	1116,58	1520,33	333,59	1	5

Obr. 6 Údaje z databázy MySQL zobrazené v programe MS Excel 2019
Fig. 6 Data from the MySQL database displayed in the MS Excel 2019

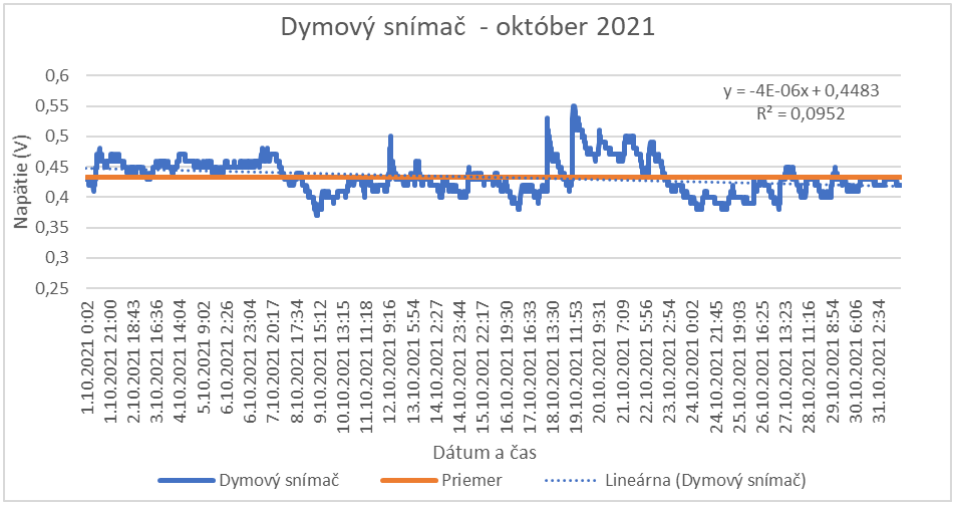
DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Prehľad monitorovaných údajov je zobrazený na nasledovných grafoch. Hodnoty dátumu a času v uvedených grafoch nie je možné zobraziť všetky z dôvodu veľkého počtu záznamov (7943). Sú vybrané náhodné údaje z celkového počtu, pričom zobrazený priebeh je vytvorený zo všetkých záznamov.



Obr. 7 Graf stavu teploty v rozvádzači za mesiac október 2021
Fig. 7 Graph of the temperature in the switchboard for the month of October 2021

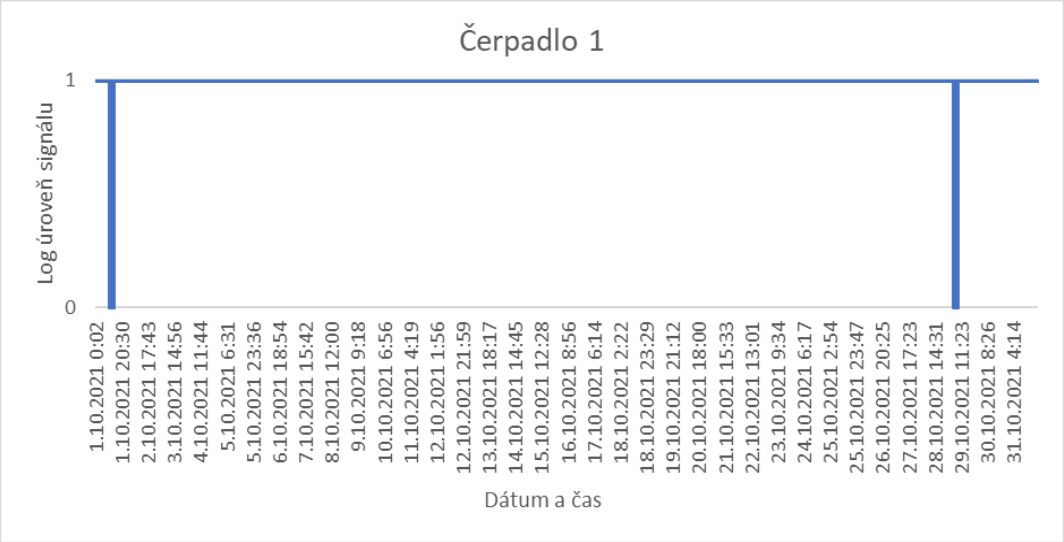
V grafe na obr.7 je znázornená teplota v elektrickom rozvádzači za mesiac október 2021. Uvedený rozvádzač má nútené vetranie ventilátorom a nachádza sa vo velíne ČOV. Meraním teploty v rozvádzači sledujeme celkovú teplotu v rozvádzači. Predpokladáme normálnu prevádzkovú teplotu v rozmedzí 26 až 36 °C. Sledovaním teploty je možné včas identifikovať vznikajúce poruchy v rozvádzači a zanesenie prachových filtrov núteného chladenia. Kolísanie teploty v rozvádzači je spôsobené prácou frekvenčných meničov dúchadiel podľa daných parametrov technologického procesu a z malej časti pôsobením vonkajších vplyvov (teplota v miestnosti velínu, slnečné žiarenie). Na základe veľkosti koeficientu determinácie R2=0,4769 je stupeň tesnosti definovaný ako výrazná tesnosť. Na základe toho predpokladáme lineárny priebeh teploty.



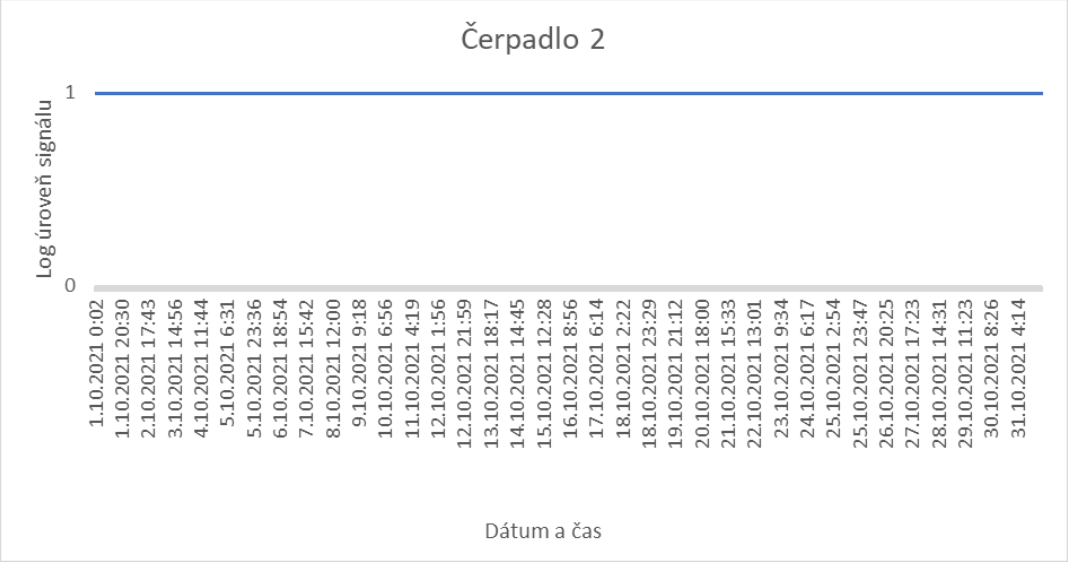
Obr. 8 Graf hodnôt dymového snímača MQ2 za mesiac Október 2021
Fig. 8 Graph of MQ2 smoke sensor values for the month of October 2021

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Dymový snímač sleduje úroveň možného zadymenia v rozvádzači. Dymový snímač nebol kalibrovaný, poskytuje iba informatívnu hodnotu. V prípade potreby merania presných koncentrácií plynov je nutné použitie kalibrovaného snímača. Zvýšené hodnoty zobrazené v grafe boli spôsobené zvýšenou koncentráciou plynov, ktoré je schopné zaznamenať daným snímačom. Na zistenie o aký druh plynov sa jednalo by bola potrebná ďalšia analýza. Na základe veľkosti koeficientu determinácie R^2= 0,0952 je stupeň tesnosti definovaný ako nízka tesnosť. Na základe toho predpokladáme, že úroveň zadymenia v rozvádzači nemá lineárny priebeh. Zobrazenie porúch monitorovaných zariadení v grafoch.

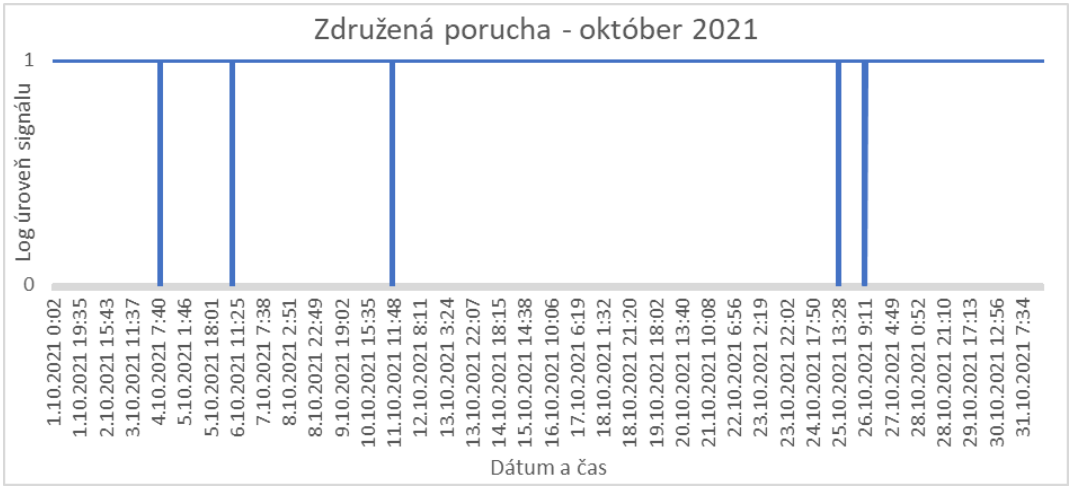


Obr. 9 Graf signalizujúci poruchy čerpadla č.1
Fig. 9 Graph indicating faults of pump no. 1



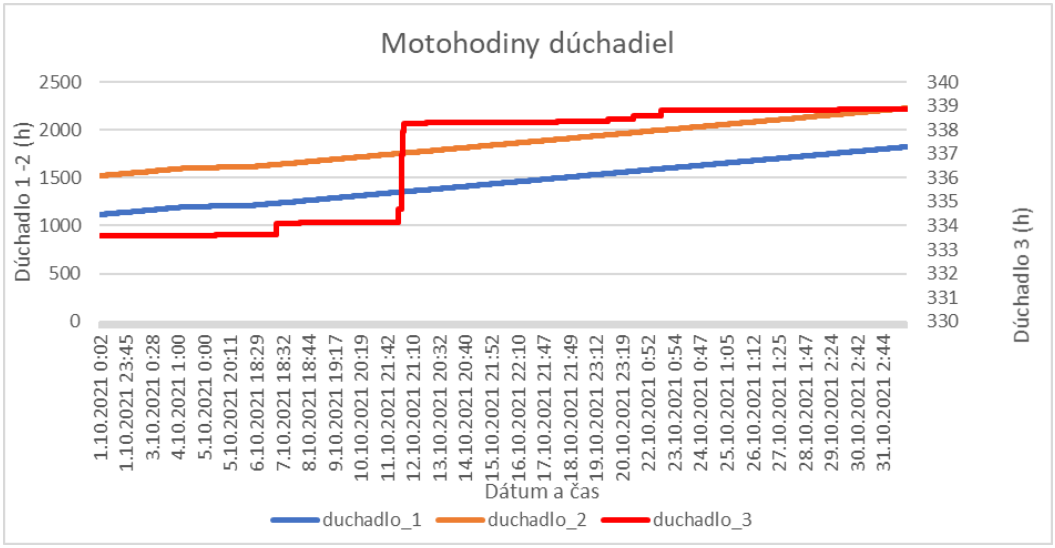
Obr. 10 Graf signalizujúci poruchy čerpadla č.2
Fig. 10 Graph indicating faults of pump no. 2

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 11 Graf signalizujúci združenú poruchu
Fig. 11 Graph indicating associated fault

Signalizáciu porúch je možné zobraziť v grafoch, kde porucha je signalizovaná úrovňou 0. Úroveň 1 predstavuje bezporuchový stav. Z uvedených grafov vyplýva, že čerpadlo č.1 malo poruchu dvakrát v mesiaci október spôsobenú zanesením obežného kolesa nečistotami a vypnutím nadprúdovej ochrany elektromotora. Čerpadlo č.2 pracovalo v danom časovom úseku bez poruchy. Na ostatných zariadeniach technologickej linky vznikla porucha päťkrát za sledované obdobie. Zobrazenie motohodín dúchadiel:



Obr. 12 Graf zobrazujúci motohodiny dúchadiel
Fig. 12 Graph indicating operating hours of blower

Motohodiny na dúchadlách sa merajú z hľadiska plánovania údržby dúchadiel (výmeny prevádzkových kvapalín, kontrola opotrebenia klinových remeňov a pod.) Z uvedeného grafu pokladáme nárast motohodín za lineárny. Na dúchadle č.3 bol prírastok 5 motohodín spôsobený prevzdušňovaním stabilizovaného kalu v uskladňovacej nádrži

4 Záver

Z analýzy údajov v databáze MySQL možno konštatovať, že monitorovacie zariadenie pracuje spoľahlivo a plní daný účel. Z uvedených grafov možno vyvodiť závery, ako pracovali monitorované zariadenia počas mesiaca október 2021. Počas uvedeného obdobia bola

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

priemerná teplota v rozvádzači 31,22°C, priemerná hodnota dymového snímača bola na úrovni 0,4335 V. Tým je možné konštatovať, že k zadymeniu rozvádzača nedošlo, pretože úroveň napätia, ktorá je vyhodnotená ako zadymenie rozvádzača je 1 V. Na čerpadle č.1 boli v uvedenom časovom období 2 poruchy a to v dňoch 01.10.2021 a 29.10.2021. Čerpadlo č.2 pracovalo bez poruchy. Na monitorovaných zariadeniach, pri ktorých je porucha označená ako "združená porucha" došlo počas uvedeného obdobia k 5 poruchám. Následnou analýzou bol identifikovaný zdroj poruchy. Poruchu spôsobovalo čerpadlo kalovej vody. Pri kontrole uvedeného čerpadla bolo zistené poškodenie ložiska motora. Počet motohodín na dúchadle č.1 vzrástol o 704 motohodín a na dúchadle č.2 o 705 motohodín. Dúchadlo č.3 je využívané ako záložné dúchadlo, prípadne na prevzdušnenie kalu v uskladňovacej nádrži. Počet motohodín na tomto zariadení vzrástol o 5 motohodín.

5 Literatúra

Zákon č.364/2004 o vodách a o zmene zákona Slovenskej národnej rady č. 372/1990 Zb. o priestupkoch v znení neskorších predpisov (vodný zákon).

HUGHES, John. 2016. Arduino: A Technical Reference: A Handbook for Technicians, Engineers, and Makers. Sebastopol, USA : O'Reilly Media. ISBN 9781491921760.

BLUM, Richard. 2014. Sams Teach Yourself Arduino™ Programming in 24 Hours [online]. 800 East 96th Street, Indianapolis, Indiana, 46240 USA : SAMS [cit. 2021-12-8]. ISBN 9780133764147.

NIXON, Robin. 2014. Learning PHP, MySQL, JavaScript, CSS & HTML5: A Step-by-Step Guide to Creating Dynamic Websites 3rd Edition. 3rd. Sebastopol, CA : O'Reilly Media. ISBN 978-1-491-94946-7.

Delta Electronics, "Delta Programmable Logic Controller DVP Series," DVP datasheet, Oct. 2021 [Revised Oct. 2021].

F. R. Spellman, Water and Wastewater Treatment Plant Operations, 3rd ed. CRC Press: Florida, 2014, pp.68–73.

Súhrn

Pri čistení odpadových vôd pri domových a obecných čistiarňach odpadových vôd riadia technologický proces zvyčajne programovateľné logické automaty (PLC). Toto riadenie je väčšinou bez prenosu monitorovaných parametrov na vzdialené pracovisko. Táto práca je zameraná na skonštruovanie monitorovacieho zariadenia s prenosom monitorovaných parametrov na dispečerské pracovisko pomocou internetového pripojenia s vývojovým modulom založeným na 8 bitovom mikrokontroléri AT MEGA 2560 s rozširujúcimi modulmi. Monitorovacie zariadenie je navrhnuté tak, aby zásah do už jestvujúceho riadiaceho systému bol skoro nulový.

Kľúčové slová: AT MEGA 2560, ethernet, RTC, monitorovanie, ČOV

Príspevok vznikol s podporou projektu KEGA, Implementácia technológií Priemyslu 4.0 do výučby inžinierskeho študijného programu "Riadiace systémy vo výrobnej technike", č.: 006SPU-4/2021.

POČÍTANIE OSÔB ZALOŽENÉ NA DETEKCII TVÁRE

PETER OBERT, LADISLAV TÓTH

Abstract

Counting methods have changed over time. In modern times, we have access to modern technologies, including artificial intelligence. Using it, I will create a program in the C# programming language for counting people using a scanning device such as a webcam, the output of which will then be processed using the Haar cascade classifier. The application uses an algorithm created by me to count people by dividing the scanned area into two parts. No tracking algorithms are included, which significantly reduces hardware requirements. Such an application can be used mainly for safety in the workplace and also for eliminating accidents.

Key words: people counter, artificial intelligence, facial detection

1 Úvod

Počítanie osôb je veľmi užitočná technika na zaistenie bezpečia. Takáto informácia sa dá ďalej použiť na zvyšovanie bezpečnosti, zlepšovanie služieb alebo aj na vedenie štatistík.

V dnešnej dobe by však metódy ako dosadenie človeka na takúto pozíciu, či počítanie tzv. „klikerom“ neboli efektívne. V modernej dobe totiž stúpa trend využívania umelej inteligencie. Dokáže nám pomôcť už prakticky pri všetkom, od predpovede počasia až po komplexné úlohy, ako je napríklad šoférovanie auta. Medzi takýmito úlohami môžeme nájsť aj využitie pri spracúvaní obrazu. Stačí vyhľadať výraz „pes“ a zobrazia sa všetky fotky vášho štvornohého miláčika (Google Photos, 2015).

Moja práca bude rovnako tak využívať umelú inteligenciu na detegovanie tvárí a následné počítanie osôb. Cieľom bude vytvoriť počítačovú aplikáciu na počítanie osôb pomocou algoritmov spracovania obrazu a detekcie tváre z kamerou nasnímaného farebného obrazu. Čiastkovým cieľom bude napríklad lokalizácia aplikácie, keďže potenciálne môže mať zahraničný dosah, množstvo užitočných funkcií pre lepšie porozumenie programu alebo aj intuitívny dizajn pre lepšiu orientáciu.

V posledných rokoch sa predstava o strojovom počítaní objektov skutočne rozmohla a aktuálne ju môžeme vidieť vo viacerých odvetviach. Jej pôsobenie môžeme nájsť najmä v priemysle, kde tvorí neoddeliteľnú súčasť výrobných procesov. Za jeden z príkladov môžeme považovať automatické, vysokorýchlostné triedenie výrobkov na dobré a zlé, respektíve správne a nesprávne vyrobené. Strojové počítanie taktiež pomáha viesť interné štatistiky spoločnosti. Môžeme sa tak dozvedieť koľko výrobkov sa vyrobilo za minútu a z toho usúdiť efektivitu výroby. Na dosiahnutie takýchto cieľov sa používajú mnohé technológie vrátane implementovania umelej inteligencie ktorú použijem aj ja. Pomocou takzvaného strojového videnia, počítače dokážu nájsť rozdiel medzi jednotlivými časťami obrazu. Táto skutočnosť následne môže prerásť do samotného detegovania, či dokonca až rozlišovania objektov.

O umelej inteligencií môžeme povedať, že sa jedná o sled krokov ktoré simulujú premýšľanie živého človeka. Je to snaha zautomatizovať intelektuálne úlohy ktoré normálne vykonávajú ľudia (François Chollet, 2017). V skutočnosti, známky umelej inteligencie začínali ako presne zadefinovaný súbor pravidiel. Program konal na základe podmienok ktoré

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

mu programátor zadefinoval v kóde. Postupom času a rozvojom umelej inteligencie, sa pre poriadok verejne začalo používať rozdelenie na „slabú“ a „silnú“ umelú inteligenciu. Toto rozdelenie značne pomohlo zaujatým lepšie porozumieť významu a potenciálnym schopnostiam umelej inteligencie.

Za slabú umelú inteligenciu môžeme považovať napríklad aplikáciu, ktorá dokáže pomáhať len v určitom smere či odvetví. Nejedná sa teda o stroj, ktorý by dokázal spraviť všetko o čo požiadame. O silnej umelej inteligencií môžeme zatiaľ hovoriť len v teoretickej rovine nakoľko sa ju ešte reálne nepodarilo vyvinúť. Silná umelá inteligencia sa na druhej strane snaží skutočne vytvoriť myseľ alebo inteligenciu, ktorá doslova disponuje a rozumie ďalším mentálnym stavom (Johnathan Charles Flowers, 2019).

Strojové učenie, alebo tzv. „Machine Learning“, je veľmi podstatnou oblasťou umelej inteligencie, ktorej úlohou je dodať postupy a podmienky pri zadaných vstupných dátach a výstupných dátach – výsledkoch. Strojové učenie môžeme rozdeliť na strojové učenie s učiteľom, bez učiteľa a s posilňovaním. Každá táto vetva predstavuje svoje vlastné využitie. Zatiaľ čo strojové učenie s učiteľom je efektívne na triedenie dát ktoré majú svoje označenia, čiže reálnym príkladom by mohla byť napríklad detekcia tváre, strojové učenie bez učiteľa má hojné využitie v štatistikách keďže sa v takom odbore pracuje s neoznačenými dátami. Tie sa následne zhlukujú do zväzkov na základe ich podobností. Strojové učenie s posilňovaním má zas využitie napríklad v zefektívňovaní výrobných procesov, nakoľko mu dokážeme dať len vstupné prostredie a premenné, ktoré dokáže meniť. Ich postupným upravovaním a skúšaním kombinácií sa dokáže dostať na efektívnejšie využitie zdrojov na rýchlejšie a presnejšie výsledky výroby. Podstata posilňovania je v algoritme odmeňovacieho systému, ktorý „odmení“ toto strojové učenie za správne rozhodnutie.

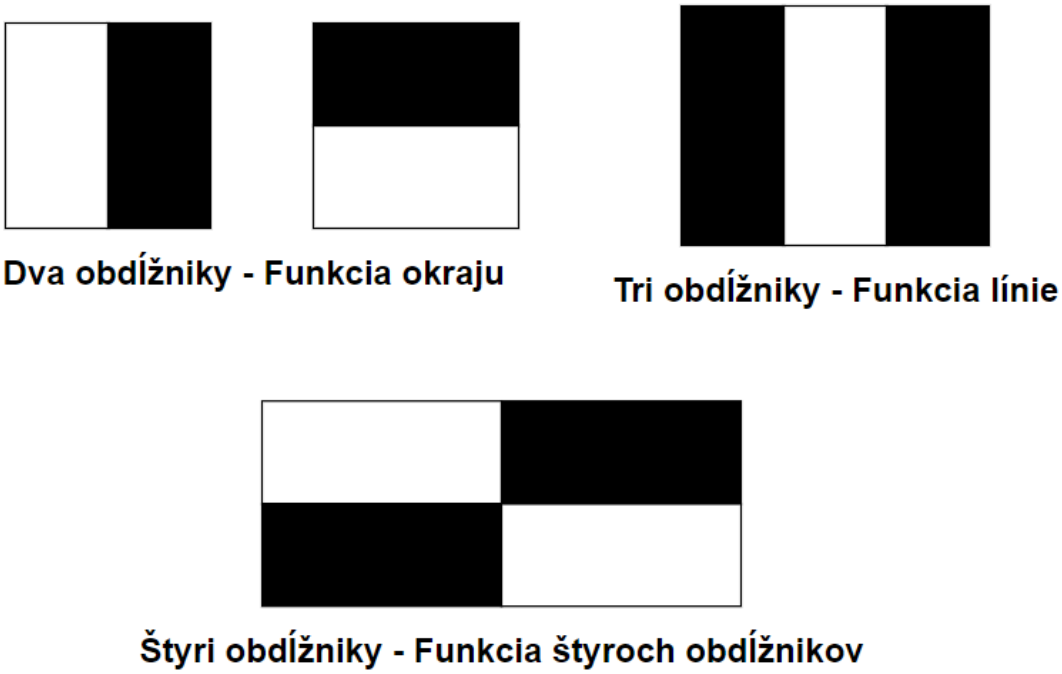
Na detekciu tváre je k dispozícií hneď niekoľko funkčných prvkov. Prvým z nich je samotný programovací jazyk, v ktorom budeme vytvárať program. K dispozícií je viacero programovacích jazykov. Napríklad jazyk Python sa vyznačuje svojou jednoduchou syntaxou. Pri porovnaní s ostatnými programovacími jazykmi, v tomto jazyku sa dá naprogramovať rovnaká aplikácia s použitím menšieho počtu riadkov kódu. Na druhej strane by mohol byť použitý jazyk C#, ktorý je vhodný pre začiatočníkov, keďže má miernu krivku učenia. Má však vyššie nároky na počítačový výkon a operácie vykonáva pomalšie. Jeho syntax je odvodená z jazyka C++.

Ďalším kľúčovým funkčným prvkom sú knižnice. Tvoria jadro využitia umelej inteligencie, nakoľko v sebe majú zadefinované postupy, ktorými dokážu docieliť požadovaných výsledkov. Knižnica OpenCV je notoricky známa svojou efektivitou. Bola napísaná v jazyku C++ avšak má natívnu podporu aj pre jazyk Python. Druhou knižnicou je TensorFlow, vytvorená spoločnosťou Google. Jej využitie nie je najefektívnejšie v sektore detekcie tváre, na rozdiel od knižnice OpenCV, ktorá je priamo dedikovaná na detekciu tváre, avšak aj takéto využitie je s použitím TensorFlow možné. Obe knižnice majú svoje prekladače pomocou ktorých dokážu podporovať ďalšie programovacie jazyky. Pre jazyk C# používa knižnica OpenCV svoj prekladač EmguCV. Rovnako knižnica TensorFlow používa TensorFlowSharp pre podporu jazyka C#. Jedná funkcia prekladačov je podpora jazykov, ktoré nie sú natívne podporované. Častokrát sa o nich hovorí aj ako o obaľovacích vrstvách, pretože nepridávajú žiadnu doplňujúcu funkcionalitu.

Matematik Alfred Haar vynašiel Haarove funkcie v roku 1909. Sú to funkcie ktoré sa v modernej dobe používajú práve pri používaní umelej inteligencie v oblasti strojového videnia. Medzi jeho najznámejšie a najpoužívanejšie funkcie patria obdĺžnikové funkcie ktoré sú zložené z dvoch, niekedy až troch či štyroch obdĺžnikov ktoré definujú rozdiely v ich obsahu. Pri strojovom videní sa hlavne jedná o úroveň jasu ktorá sa v danej oblasti nachádza.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Ak teda jedna časť vstupného obrazu je tmavšia ako druhá, a zároveň sú tieto dve oblasti rozdelené pomerne viditeľnou úsečkou, môžeme nájsť zhodu s Haarovými funkciami.



Obr. 1 Najpoužívanejšie Haarove funkcie v oblasti detekcie tváre

Fig. 1 The most used Haar functions in the field of face detection

Tieto funkcie sa rovnako používajú v Haarovom kaskádovom klasifikátore, ktorý pomocou modelu a funkcií dokáže posúdiť či sa jedná o hľadaný objekt alebo nie. Ako som spomenul, model je jedna z jeho základných častí. Je to v podstate čiernobiela podobizeň objektu, ktorú chceme aby tento model obsahoval. Zvyčajne sa modely vytvárajú trénovaním pomocou mnoho obrázkov rovnakého alebo veľmi podobného objektu. Pri poskytnutí dostatočného množstva kvalitných obrázkov chceného objektu, sa model dokáže dostatočne zamerať na presnejšiu vizualizáciu daného objektu.

Postupom času ľudia začali vytvárať tieto modely a väčšina z nich je voľne dostupná na stiahnutie. Vývojári projektu OpenCV na stránkach Github zverejnili radu modelov tvárí či už čelne alebo z profilu. Jednotlivé modely majú viacero alternatívnych vydaní, ktoré sú natrénované iným štýlom, ako napríklad na menšom počte tvárí či iných uhlov.

2 Materiál a metódy

Nakoľko cieľ bude splnený v rámci počítačovej aplikácie, potrebujem dostatočne výkonný počítač ktorý nebude mať problém s algoritmami obsiahnutými v detekcií tváre a rovnako tak bude spoľahlivý aj v ostatných častiach programu. Pre tento účel som si vybral môj domáci počítač s nasledovnými parametrami. Aplikácia by mal byť schopná plynulého chodu na akomkoľvek počítači, ktorý bude mať operačný systém Microsoft Windows, bude disponovať procesorom aspoň Intel Core i3 a bude môcť poskytnúť aspoň 1 GB pamäte RAM.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Tab. 1 Parameters of home computer

Tab. 1 Parametre domáceho počítača

Domáci počítač	
Parameter	Hodnota
Operačný systém	Windows 10
Základná doska	Gigabyte Z97X-Gaming 3
Model procesora	Intel Xeon E3-1241 v3
Počet jadier procesora	4
Počet vlákien procesora	8
Pamäť Cache procesora	8 MB
Taktovacia frekvencia procesora	3,5 GHz
Pamäť RAM	16 GB
Typ pamäte RAM	DDR3
Model grafickej karty	NVidia GeForce GTX 970
Pamäť grafickej karty	4 GB

Pre vytvorenie programu budem používať programovací jazyk C# kvôli kompatibilite a integrácií. Ako vývojárske prostredie budem používať Microsoft Visual Studio pre svoju jednoduchú správu knižníc, aplikácie a jej nastavenia. Pre samotné snímanie obrazu budem používať jednu z dvoch mne dostupných kamier.

Tab. 2 Parameters of capturing devices

Tab. 2 Parametre snímacích zariadení

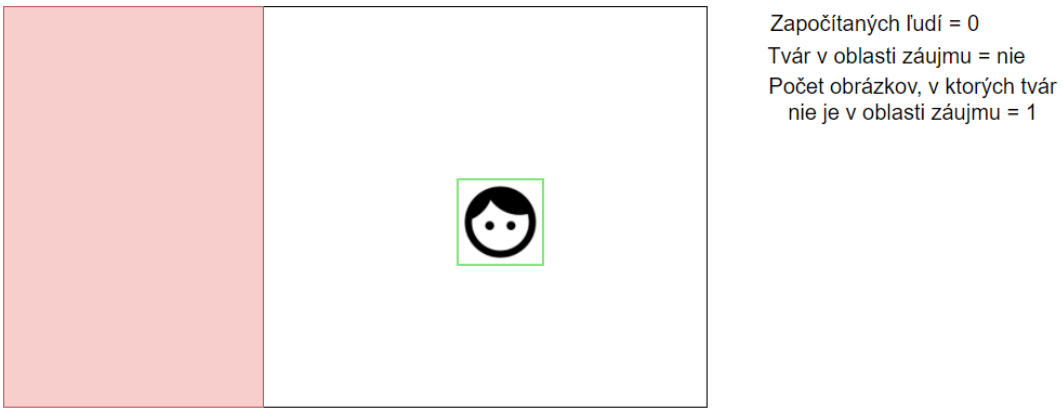
Parameter	Hodnota	
Zariadenie	Elgato Facecam	Microsoft Lifecam
Rozlíšenie	1920x1080	640x480
Pomer strán	16:9	4:3
Snímky za sekundu	60	30
Zorné pole	55°	82°
Ostrenie	Áno (30 – 120 cm)	Nie
Senzor	Sony® STARVIS™CMOS	CMOS
Mikrofón	Nie	Áno
Typ zapojenia	USB-A 3.0 (alebo vyššie)	USB-A 1.1 alebo 2.0
Plug n Play	Nie	Áno
Podpora Windows	Áno	Áno

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Podpora Linux	Áno	Nie

Z tabuľky 2 možno vidieť, že webkamera Elgato Facecam má oveľa lepšie parametre v každom smere oproti webkamere Microsoft Lifecam. Táto kamera bola predstavená spoločnosťou Elgato v roku 2021 a disponuje najmodernejšími technológiami. Na druhej strane, webkamera Lifecam od spoločnosti Microsoft ponúka oveľa horšie parametre, keďže bola predstavená v roku 2009 pre nenáročných používateľov. Tieto rozdielne parametre mi pomôžu zistiť rozdiely v detegovaní tvárí a taktiež v plynulosti chodu programu.

Pre detekciu tváre človeka budem používať Haarov kaskádový klasifikátor ktorý je uvedený vyššie. Program tiež musí obsahovať algoritmus na počítanie tvárí ľudí, aby splnil hlavný cieľ práce. Existuje mnoho metód akými sa dajú ľudia počítať, avšak zďaleka najpoužívanejšia je metóda sledovania tváre. Tvári človeka na snímanom obraze sa dočasne priradí identifikátor a klasifikátor si vytvorí presný model danej tváre. Následne, ak si bude dostatočne istý že má vytvorený presný model tváre, pripočíta ho do premennej. Táto metóda je však veľmi náročná na výkon, a bez požadovanej výkonnosti by spracúvanie vstupného obrazu trvalo príliš dlho. Preto som sa rozhodol vyvinúť vlastný algoritmus počítania ľudí ktorý je oveľa jednoduchší, výkonovo efektívnejší a nemá žiadne nevýhody navyše oproti spomínanej metóde počítania tvárí pomocou identifikátora, ktorá spočíva v rozdelení snímaného obrazu na dve oblasti. Oblasť záujmu (ROI – Region of interest) a oblasť mimo ROI. Ak klasifikátor nájde v snímanom obraze tvár, algoritmus zistí jej pozíciu na osi X v rámci okna programu. Následne sa algoritmus dostane do bodu kedy sa musí rozhodnúť. Ak je tvár mimo ROI, snímka sa započíta do pomocnej premennej na zber počtu snímok v ktorých je tvár mimo ROI. Naopak, ak sa nachádza v ROI, pripočíta sa do počtu zachytených tvárí a zároveň sa pomocná premenná na detekciu tváre v ROI, nastaví na pozitívnu hodnotu. Touto pomocnou premennou sa eliminuje opakované počítanie rovnakej tváre v ROI.



Obr. 2 Tvár mimo oblasti záujmu

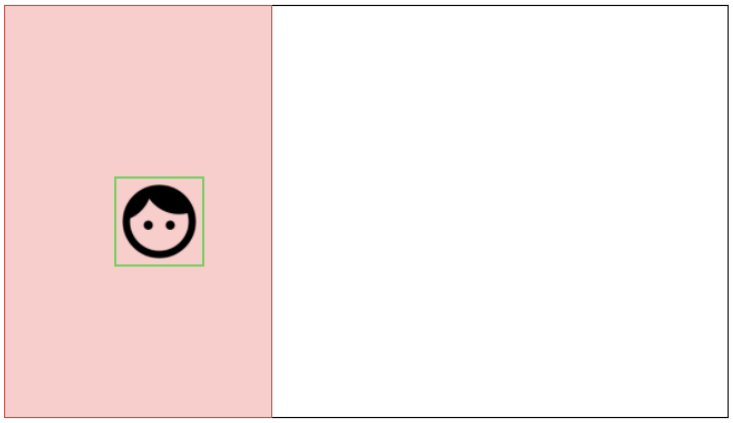
Fig. 2 Face outside the region of interest

Na obrázku 2 môžeme vidieť stav programu, v ktorom sa detegovaná tvár nenachádza v oblasti záujmu. Následne, na pravej strane môžeme vidieť že počet započítaných ľudí je v tomto momente nula, taktiež pomocná premenná „Tvár v oblasti záujmu“ vykazuje zápornú hodnotu. V takomto prípade program začne počítať počet snímkov v ktorých nie je tvár v oblasti záujmu.

Keďže algoritmus sleduje dve základné podmienky ako či sa tvár nachádza v oblasti záujmu, a či prešlo dvadsať snímkov odkedy nebola žiadna v oblasti záujmu, pokrýva všetky

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

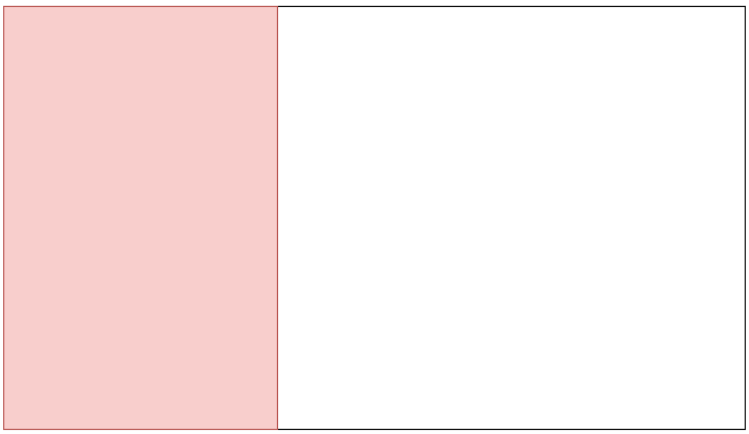
základné možnosti ktoré by v skutočnom prostredí mohli nastať. Tieto podmienky totiž určujú či a kedy algoritmus bude môcť akceptovať ďalšiu tvár na započítanie.



Obr. 3 Tvár v oblasti záujmu

Fig. 3 Face inside the region of interest

Druhý možný stav môžeme vidieť na obrázku 3 kde sa detegovaná tvár nachádza v oblasti záujmu. Povedzme, že sa započítalo už viac ako dvadsať snímkov, v ktorých tvár nie je v oblasti záujmu. Okolnosti spĺňajú všetky podmienky na započítanie ďalšieho človeka. Osoba prejde do oblasti záujmu. V ten moment sa započíta tvár, pomocná premenná „Tvár v oblasti záujmu“ sa prepíše na kladnú hodnotu a druhá pomocná premenná „Počet obrázkov, v ktorých tvár nie je v oblasti záujmu“ sa prepíše na nulu. Ak by v tomto momente prešiel ďalší človek do oblasti záujmu, nezapočíta sa keďže neprešlo dvadsať snímkov, v ktorých nie je tvár v oblasti záujmu, od doby čo osoba opustila oblasť záujmu.



Obr. 4 Dvadsať snímkov od doby, kedy človek opustil oblasť záujmu

Fig. 4 Twenty frames since person left the region of interest

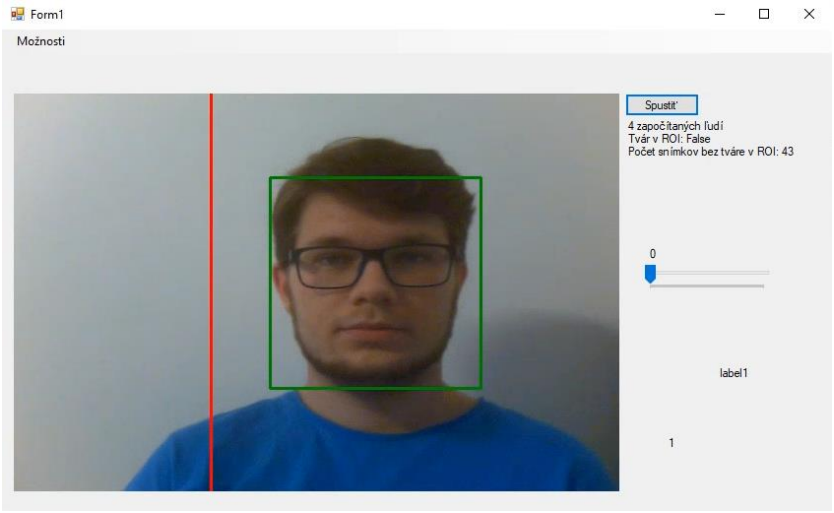
3 Výsledky a diskusia

Program je plne schopný detegovať ľudské tváre pomocou predtrénovaného modelu poskytnutého z projektu OpenCV na stránkach Github. Keďže program je určený pre dobre osvetlené výrobné haly, nie je potrebné využívať primárny čelný model tváre. Oveľa lepšie mi v tomto prípade poslúžil alternatívny model ktorý svojimi vlastnosťami zvýšil presnosť počítania osôb.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Pomocou algoritmu počítania ľudí, je možné aj počítanie osôb pomocou detekcie tvárí. Algoritmus funguje spôsobom, akým je opísaný v druhej kapitole. Oproti algoritmom sledovania osôb má oveľa menšie nároky na hardvér a program je použiteľný aj v prostrediach, kde hardvér s vysokým výkonom nie je prioritou.

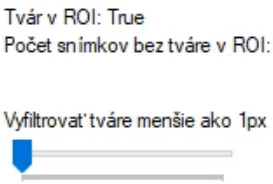
Do programu som pridal aj položku na zapínanie počítacej čiary a teda vertikálnej čiary ktorá rozdeľuje oblasti bližšie popísané v druhej kapitole. Túto čiaru je možné nastaviť do voliteľnej polohy na osi X. V prípade že počítací algoritmus započíta osobu, táto čiara zmení farbu z červenej na zelenú v malom časovom intervale. Dôvodom pridania tejto funkcie je vizuálne oboznámenie o započítaní osoby.



Obr. 5 Prototyp funkčného počítania osôb

Fig. 5 Prototype of functional people counting algorithm

Funkcia "Mód vývojára" zobrazí dva parametre, pomocné premenné „Tvár v oblasti záujmu" a „Počet snímok, v ktorých tvár nie je v oblasti záujmu". Ako z názvu funkcie vyplýva, jedná sa o funkciu zameranú skôr na hľadanie dôvodov chybného detegovania, poprípade počítania osôb. Po zakliknutí sa tieto premenné zobrazia v ľavej časti okna, pod tlačidlami spúšťania a zastavovania snímaného obrazu.

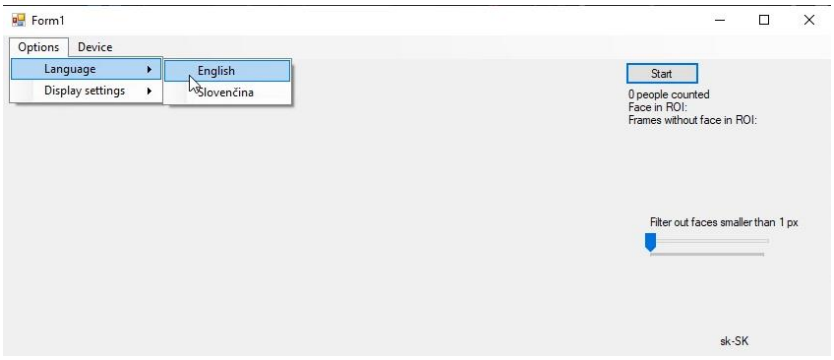


Obr. 6 Zobrazenie módu vývojára vo finálnej verzii programu

Fig. 6 Showcase of developer mode in the final version of program

Keďže má program potenciálne využitie aj v zahraničných výrobných halách, pridal som aj lokalizáciu programu do slovenského a anglického jazyka. Pre efektívnejšie pracovanie programu, sa zvolený jazyk zapisuje do nastavení programu. V dôsledku tohto zápisu sa zvolený jazyk nastaví vždy pri zapnutí programu bez nutného opätovného nastavovania. Ak si ho užívateľ nezvolí, jazyk programu sa zvolí podľa nastavení systému. Zaisťujú tak komfortný prehľad všetkých funkcií a ich ovládanie.

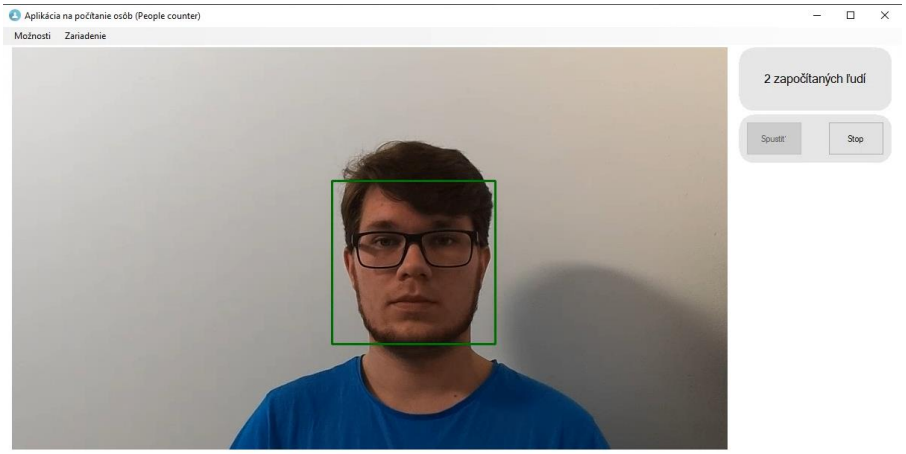
DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 7 Nastavenie jazyka programu v rozpracovanej verzií

Fig. 7 Language settings in developing version of the program

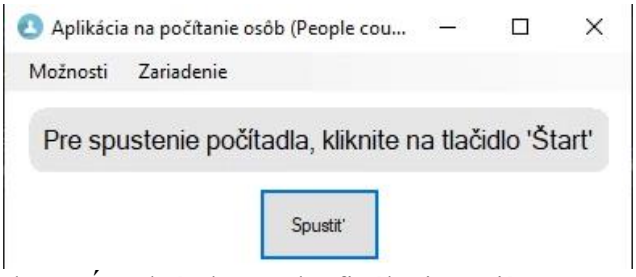
Program som upravil aj po grafickej stránke, pretože zarovnané prostredie pôsobí krajšie a môže zvýšiť efektivitu používania programu. Preto som vytvoril metódu na adaptáciu okna. Táto metóda má za úlohu upraviť veľkosti jednotlivých prvkov v závislosti od veľkosti obrazovky. Preto sa najprv získavajú parametre samotnej obrazovky a od nej sa následne odvíja veľkosť zobrazovanej plochy zo snímacieho zariadenia od ktorej záleží aj pozícia tlačidiel a funkcií programu. Taktiež som pridal metódy na vykresľovanie zaoblených obdĺžnikov pre intuitívnejší vzhľad aplikácie.



Obr. 8 Finálna verzia programu

Fig. 8 Final version of the program

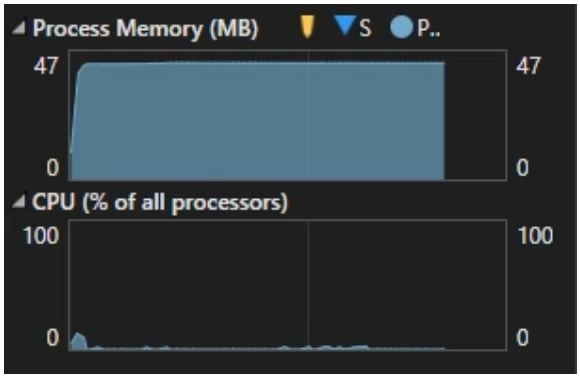
Tieto grafické prvky sa nachádzajú za tlačidlami Štart a Stop, zároveň tak pod dôležitými textami ako je počet započítaných osôb a informácia o spustení snímania obrazu zo zariadenia.



Obr. 9 Úvodná obrazovka finálnej verzií programu

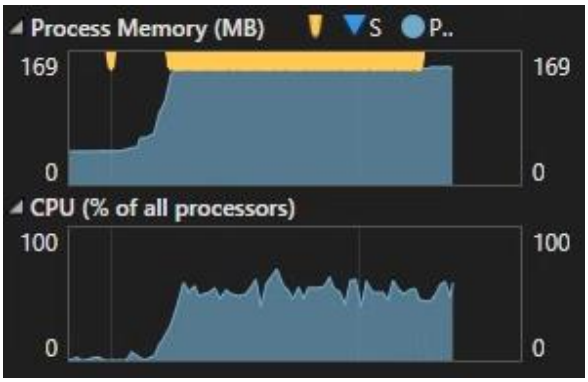
Fig. 9 Introduction screen in final version of the program

Z hľadiska optimalizácie, program používal menej ako 1 GB pamäte RAM ako som predpokladal v druhej kapitole. Pre zobrazenie tohto údaju postačilo vstavané monitorovanie zdrojov vo vývojárskom prostredí Microsoft Visual Studio.



Obr. 10 Využívanie zdrojov počas úvodnej obrazovky
Fig. 10 Resources usage while on introduction screen

Na obrázku 10 možno vidieť program počas úvodnej obrazovky využívájúci 47 MB pamäte RAM a 0% procesorového výkonu. Po stlačení tlačidla „Spustiť“, program začne spracúvať obraz poskytnutý snímacím zariadením.



Obr. 11 Využívanie zdrojov počas spracúvania obrazu v reálnom čase

Fig. 11 Resources usage during image processing in real time

Počas detekcie tváre program používa konštantných 169 MB pamäte RAM a zároveň v priemere 53% procesorového výkonu.



Obr. 12 Doba spracúvania obrazu

Fig. 12 Duration of image processing

Ak v snímanom obraze nebola žiadna čo i len podobizeň tváre, programu trvalo spracúvanie jednej snímky obrazovky od 20 až do 40 ms ako je vidieť na obrázku 12 (vľavo). Následne môžeme vidieť dobu spracúvania obrazu s jednou osobou (v strede), a s tromi

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

osobami (vpravo). Dôvodom kolísania môže byť fakt že webkamery nie sú dokonalé a zachytávajú aj nejaké zrnenie. Rôzna poloha týchto nechcených zŕn teda môže zapríčiniť rôzne percentuálne podobizne tváre a tým pádom meniť počet použitých Haarových funkcií.

4 Záver

Program deteguje ľudské tváre pomocou predtrénovaného modelu bez problémov. Deteguje ich dokonca aj v horších svetelných podmienkach. Nízka chybovosť detekcie predstavuje spoľahlivosť programu.

Po detekcií program posunie snímku do algoritmu počítania osôb ktorý bol vysvetlený v podkapitolách vyššie. Na základe polohy počítacej čiary a podmienok započítania osoby, sa algoritmus rozhodne či osobu započíta alebo nie. Pokročilé funkcie ako "Mód vývojára" následne dokážu pomôcť pri zvyšovaní spoľahlivosti programu. Nechýba ani lokalizácia programu ktorá vie zaručiť správne ovládanie programu aj v zahraničí.

Podstatou tejto práce bolo navrhnúť a vytvoriť funkčný prototyp počítania osôb zo snímaného obrazu, čo sa aj podarilo. Aplikácia je plne funkčná, deteguje všetky mnou odskúšané tváre a po prechode osoby z ľavej časti snímanej plochy do pravej, sa táto osoba započíta.

5 Literatúra

Fotky Google – všetky vaše fotky, usporiadané a ľahko vyhľadateľné. 2015 [online] Kalifornia, USA : Google, aktualizované 2021. [cit. 2021-10-29]. Dostupné na: <https://www.google.com/photos/about/ >.

CHOLLET, François. 2017. *Deep Learning with Python.* New York : Manning Publications. 4 s. ISBN 978-1617294433

FLOWERS, Johnathan. 2019. *Strong and Weak AI: Deweyan Considerations* : výskumná správa. Worcester : Worcester State University. 1 str.

BRADSKI, Gary – KAEBLER, Adrian. 2008. *Learning OpenCV.* 1005 Gavenstein Highway North, Sebastopol, CA : O'Reilly Media, Inc. 1 s. ISBN 978-0-596-51613-0.

DADHICH, Abhinav. 2018. *Practical Computer Vision.* Birmingham, B3 2PB, UK : Packt Publishing Ltd. 12 s. ISBN 978-1-78829-768-4.

GREGOR, Michal - GREGOR, Milan. Umelá inteligencia, explózia inteligencie a technologický pokrok. ProIN, 11s.(v tlači), 2014.

CHINNAMGARI, Sunil Kumar. 2019. *R Machine Learning Projects: Implement supervised, unsupervised, and reinforcement learning techniques using R 3.5*. Packt Publishing Ltd. 313 s. ISBN 978-1-78980-794-3.

TICHÝ, Ľuboš. 2016. Počítání průchodů osob dveřmi s využitím stacionární kamery : bakalárska práca. Brno : VUT. 38 s.

Súhrn

Postupom času sa metódy počítania osôb menili. V modernej dobe máme prístup k moderným technológiám ku ktorým patrí aj umelá inteligencia. Pomocou nej vytvorím program v programovacom jazyku C# na počítanie osôb pomocou snímacieho zariadenia ako webkamera, ktorej výstup bude následne spracovaný pomocou Haarovho kaskádového klasifikátora. V aplikácií sa používa mnou vytvorený algoritmus na počítanie osôb pomocou delenia snímanej oblasti na dve časti. Žiadne algoritmy na sledovanie osôb nie sú obsiahnuté čo výrazne znižuje nároky na hardvér. Takáto aplikácia sa dá využiť najmä pre bezpečnosť na pracovisku a taktiež pre eliminovanie úrazov.

Kľúčové slová: počítanie ľudí, umelá inteligencia, detekcia tváre

LOKALIZÁCIA A ZÁZNAM PREJDENEJ DRÁHY POHYBUJÚCEHO SA OBJEKTU V INTERIÉRI POMOCOU KAMERY A ALGORITMOV SPRACOVANIA OBRAZU
LOCATING AND RECORDING THE TRAVELED PATH OF A MOVING OBJECT IN INTERIOR USING CAMERA AND IMAGE PROCESSING ALGORITHMS

MARTIN OČKAY, LADISLAV TÓTH

Abstract

The article devotes to topic, which is pretty known in robotic and controls systems. Tracking position of object either in inside or outside environment is topic, where you can use various methods. Methods of tracking position, these principles and examples are described in paragraph current state tackled topic.

The goal of article was created system to tracking travelled track moving object, what is in our case mobile robot. On robot is attached emphasize point. System is capturing colour of this point, which we choose. Colour filters is handled with HLS colour model implemented in system. Position of object and his motion are captured in graphic file in coordinate file xy. In final file is detailed overview passed track, distance and scale. To system is implemented function, which after focused of target with certain predefined height will determined distance from object. Along capturing position is possible use tracking to table, where are value about position writes to table. Possibility of saving in various formats.

I chapter results of master thesis are detailed resembled certain algorithm in block schemes, where are described logic of whole program graphically and whole his functions and ways of calculations. Described are individual options, which system offer as possibility to display and easier approach. One of really important subchapter is set up coordinate system with very similar and precise explaining essence entire drawing and report track. Next really important subchapter is accuracy. Measurement have proved that accuracy created systems is from 97.75% to 100% in graphic view. In table view is accuracy from 98,9% to 100%.

Key words: localization, path, image processing, HSL

1 Úvod

Záznam prejdenej dráhy využíva veľa odvetví na rôzne účely. Technológia zameriavania objektov sa využíva v rôznych odvetviach, od športu až po techniku. Spôsobov na záznam dráhy je veľmi veľké množstvo po celom svete, keďže základný princíp sledovania objektov radarom bol položený už v roku 1895 ruským fyzikom A. S. Popovom. Základný princíp spočíva vo využívaní elektromagnetického vlnenia k prenosu signálu od vysielača k prijímaču. Pokusy s rádiovými vlnami vykonával v roku 1904 aj nemecký fyzik Ch. Huelsmeyer, ktorý odrážal rádiové vlny od lodí na rieke Rýn. Avšak už v roku 1935 škótsky elektrotechnik sir R. Watson-Watt skonštruoval prvý prakticky použiteľný prístroj pre rádiovú detekciu lietadiel pomocou mikrovĺn. Tým sa stal skutočný vynálezca radarov. Radary sa

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

používajú na lokalizovanie objektov, ktoré nie sú viditeľné, nie sú v našom dosahu, alebo opisujú veľkú dráhu. Ďalší systém ktorý je vo svete veľmi populárny je systém GPS. Vývoj systému GPS bol rozdelený do troch fáz. Prvá fáza začala v roku 1973 a trvala do roku 1979. Prvá fáza sa zameriavala hlavne na výrobu družíc. Druhá fáza prebiehala v rokoch 1979 až 1985 a zameriavala hlavne na vývoj družíc. Posledná tretia fáza, ktorá začala v roku 1985 bola zameraná na výrobu 28 družíc druhého bloku.

Pre objekty, ktoré sú viditeľné z jedného bodu v miestnosti, alebo sa pohybujú v malom priestore rádovo pár metrov, na zachytenie ich pohybu je možné použiť rôzne snímače alebo ich zaznamenať kamerovými systémami a pomocou algoritmov spracovania obrazu, ktoré sú uvedené v nasledovných kapitolách.

2 Materiál a metódy

Na účely merania, nastavenia systému, celkovej konfigurácie a odmerania presnosti systému bola použitá pingpongová loptička ako sledovaný objekt. Loptička je ružovej farby, aby bola v kontraste z okolím. Jej veľkosť je 40 mm.

Pre nahradenie robota a účely výskumu a testovania programu je použité autíčko na diaľkové ovládanie. To je najlepší spôsob na odskúšanie funkčnosti programu, pretože presne vieme určiť prejdenú vzdialenosť a dráhu. Na tento účel je dostačujúce obyčajné autíčko na diaľkové ovládanie.

Pri písaní práce bol použitý notebook Lenovo Ideapad 320. Radí sa do línie Lenovo Ideapadov, ktoré sú určené pre všetky účely. Notebook patrí do základnej a strednej triedy a je určený prevažne na kancelárske účely.

Tab. 1 Technické parametre notebooku Lenovo Ideapad 320

Procesor	AMD A12-9720P RADEON R7 4x2,70GHz 3600 MHz
RAM	8GB 1200 MHz
Operačný systém	Windows 10
Grafická karta	AMD RADEON 530 4GB 720MHz

Kamera Niceboy Vega X Lite je univerzálna full HD kamera. Kamera je pripojená k počítaču pre zaznamenávanie objektu. Obraz z kamery sa zobrazuje vo vytvorenom systéme a po uplatnení filtrov sníma priamo len vybratý objekt.

Tab. 2 Technické parametre kamery Niceboy Vega X Lite (Niceboy; 2020)

Rozlíšenie videa	Full HD (1920 × 1080p); 30 FPS HD (1280 × 720p); 30 FPS
Objektív	120°
Displej	LCD
Batéria	750 mAh, Li-Ion, vymeniteľná
Rozmery kamery	58 × 41 × 29 mm

Programovací jazyk C# v integrovanom vývojárskom prostredí Visual Studio Community 2019. Visual Studio je integrované vývojové prostredie od spoločnosti Microsoft.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Používa sa na vývoj počítačových programov, ako aj webových stránok, webových aplikácií. Využíva integrovaný kompilátor, ktorý pracuje ako na úrovni kódu, tak na úrovni stroja. Ďalšie vstavané nástroje zahŕňajú dizajner formulárov na tvorbu aplikácii s GUI, dezajner webu, tried a databázových schém.

AForge.NET je knižnica počítačového videnia a umelej inteligencie, ktorú pôvodne vytvoril Andrew Kirillov pre .NET Framework. Zdrojový kód a binárne súbory projektu sú k dispozícii za podmienok Lesser GPL a GPL (GNU General Public License). Knižnice sa používajú hlavne na počítačové videnie, spracovanie obrazu a spracovanie videa, vrátane komplexnej knižnice obrazových filtrov. Knižnica umelých neurónových sietí implementuje niektoré bežné sieťové architektúry a algoritmy učenia.

3 Výsledky a diskusia

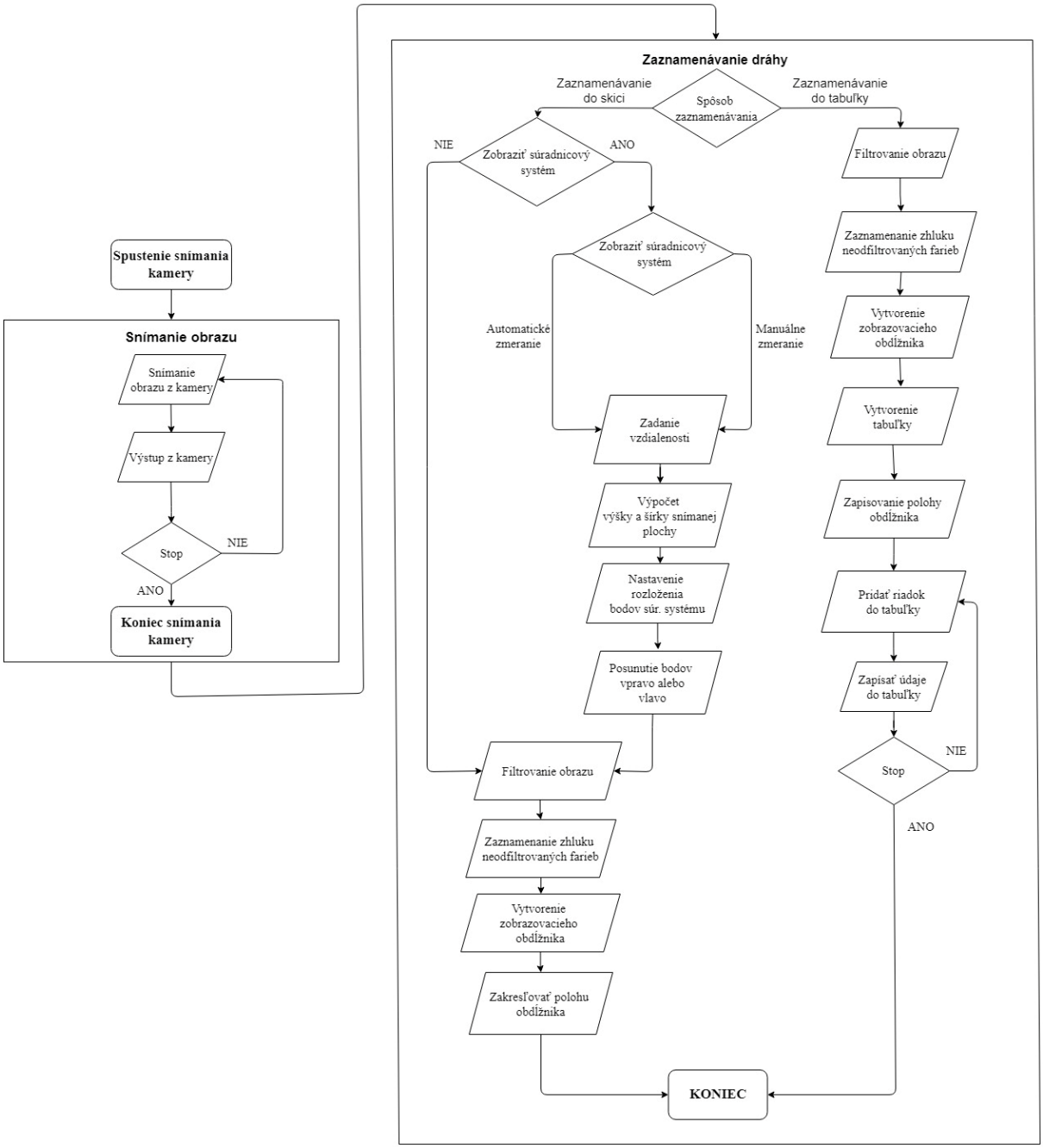
Na obrázku 1 sa nachádza vývojový diagram zobrazujúci celý proces zaznamenávania dráhy objektu. Vývojový diagram je rozdelený na dve hlavné časti. V prvej časti, ide o zaznamenávanie obrazu kamery a zobrazovanie obrazu v systéme. Druhá časť je zameraná na filtrovanie obrazu a spôsob zakresľovania alebo zapisovania dráhy objektu. Bloky sú rozšírené o ďalšie funkcionality, ktoré nie sú v blokovej schéme zobrazené. Sú to funkcionality, ako napríklad uloženie alebo vymazanie grafického záznamu dráhy. Poskytujú základné ovládanie a spríjemňujú používateľské rozhranie systému. Kamera po pripojení k počítaču zaznamenáva obraz v systéme. Použitím farebného modelu HLS, je možné dostatočne presne odfiltrovať z obrazu farby a ponechať farby potrebné na zaznamenanie objektu. Zameranie objektu je hotové vtedy, keď je okolo objektu stabilne znázornený biely štvorec alebo obdĺžnik.

Pri filtrovaní obrazu dochádza k odfiltrovaní farieb, ktoré netreba alebo sú nechcené, čiže na obraze sú viditeľné iba neodfiltrované farby a zbytok obrazu je čierny. Pri formáte HLS je potrebné nastaviť rozsahy filtrov. Filtre sú aplikované na obraz v *Picture boxe*, čiže po aplikovaní filtrov je viditeľná iba neodfiltrovaná oblasť. Filtre sú pridané do programu cez Aforge.NET knižnice a obsahujú triedu *.colorfiltering* slúžiaca pre aplikovanie farebných filtrov na danú oblasť. Na zaznamenanie objektov, počítanie objektov a rozoznávanie neodfiltrovaných objektov je použitá trieda *.blobcounter. Blobcounter* rozpozná miesta, kde je pri sebe veľa podobných častíc jednej farby, ale na obrazovke ich bližšie nešpecifikuje. Špecifikovanie a zaznamenanie sa vykonáva triedou *.rectangle,* čo spôsobí, že sa okolo rozpoznaného objektu vykreslí presný obdĺžnik. Po vykreslení obdĺžnika a tým aj zameraním objektu je možné vykresliť jeho polohu do skici. Pre vykresľovanie dráhy zaznamenávaného objektu je použitá trieda *graphic*. *Graphic* umožňuje použitím pera alebo štetca (podľa toho čo sa kreslí alebo píše) kresliť.

Pre správne zaznamenanie prejdenej polohy je najdôležitejšie vedieť dáta správne prepočítať. Preto je potrebné, aby bolo zrejmé o akú vzdialenosť sa daný objekt pohol v súradniciach X a Y. Podľa toho však závisí aj vzdialenosť kamery od objektu a rozlíšenie kamery.

Pre správne zaznamenanie prejdenej polohy je najdôležitejšie vedieť dáta správne prepočítať. Preto je potrebné, aby bolo zrejmé o akú vzdialenosť sa daný objekt pohol v súradniciach X a Y. Podľa toho však závisí aj vzdialenosť kamery od objektu a rozlíšenie kamery.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 1 Bloková schéma vytvoreného systému

Od vzdialenosti kamery od objektu záleží aj veľkosť snímanej plochy kamerou. Čiže ak vzrastá vzdialenosť, tak sa zväčšuje aj snímaná plocha a tým pádom sa musí upravovať aj súradnicový systém. Program ponúka 2 možnosti ako nastaviť vzdialenosť kamery od objektu. Prvou možnosťou je manuálne odmerať túto vzdialenosť, druhou možnosťou je automatické zmeranie zaznamenaním objektu určitej veľkosti.

Vzhľadom na to akú plochu daná kamera sníma sa musí meniť aj šírka a výška, akú systém ukazuje. Preto treba vypočítať konštanty, s ktorými bude systém pracovať. Potrebné konštanty priamo súvisia so vzdialenosťou kamery od objektu.

$$K_v = \frac{l}{h_v} \tag{1}$$

Konštanta pre výšku K_v (1) sa vypočíta ako pomer vzdialenosti kamery od objektu l a výšky zaznamenávaného obrazu h_v v cm.

$$K_{š} = \frac{l}{h_{š}} \quad (2)$$

Konštanta pre šírku $K_{š}$ (2) sa vypočíta ako pomer vzdialenosti kamery od objektu l a šírky zaznamenávaného obrazu $h_{š}$ v cm. Danú filozofiu prepočtov som zvolil pre jednoduchšie a pohodlnejšie nastavovanie súradnicového systému. V prípade vynechania prepočtov nastavovania a počítania konštánt bolo by nutné pri každej zmene vzdialenosti zmerať aj danú výšku a šírku plochy snímanú kamerou.

Pre ľahšie odčítanie prejdenej vzdialenosti sú do programu pridané pomocné mriežky. Vzdialenosti jednotlivých dĺžok sú preto určené tak, aby boli dobre viditeľné a navzájom sa neprekrývali. Dĺžky na osiach sú zobrazované v intervaloch 2,5; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 35 a 40 cm, pričom každý interval platí pre inú vzdialenosť kamery od obrazu. Pre to aby sa bod dĺžky vykreslil v správnej vzdialenosti bolo treba určiť jednotkovú dĺžku. Jednotková dĺžka je dĺžka na osy X alebo Y, ktorá určuje vzdialenosť od bodu 0 po prvý najbližší bod. Jednotková dĺžka závisí na veľkosti *Picture boxu,* do ktorého sa vykresľuje dráha. Pre správne upravenie vzdialeností jednotlivých dĺžok bolo potrebné zistiť akú vzdialenosť treba pridať alebo ubrať k základnej dĺžke, aby sa docielila požadovaná presnosť systému. Pridanie alebo ubratie vzdialenosti je prerátané na základe jednotkovej dĺžky, kde sa najprv priradí jednotková dĺžka k jednotlivému intervalu a tento interval vyhodnotí vzdialenosť skutočnej dĺžky od základnej dĺžky a tým posunie veľkosť základnej dĺžky.

Snímanie dvoch objektov znamená uplatniť tú istú časť kódu, ktorá zaznamenáva jeden objekt. Na snímanie objektov inej farby treba pridať do programu druhý výstup z kamery. Na snímanie dvoch objektov treba najprv zamerať v *Picture box 1* prvý objekt a následne v *Picture box 2* zamerať druhý objekt inej farby. Po zameraní objektov, začína vykresľovanie pričom druhý objekt je zobrazený červenou farbou pre lepšie odlíšenie dráhy.

Zapisovanie údajov do tabuľky poskytuje numerické údaje o polohe objektu. Údaje o polohe sú poskytované v centimetroch pričom hodnoty zobrazujú vzdialenosť objektu od počiatočnej polohy (poloha, kde bol objekt prvý krát zaznamenaný). Najprv prebehne odčítanie aktuálnych súradníc X a Y v grafickom zázname dráhy od začiatočných súradníc. Tým sa zistí o aký počet pixelov sa pohol objekt na ose X alebo Y. Získané číslo sa následne vydelí počtom pixelov. Keď už je vypočítaný o koľko centimetrov sa pohne daný objekt na obrazovke, môže prebehnúť výpočet na zistenie skutočnej vzdialenosti, podľa veľkosti mierky. Súčinom prejdenej dráhy na obraze a veľkosťou jedného dielika osiach X a Y sa vypočíta skutočná vzdialenosť prejdeného objektu od jeho začiatku.

Systém môže premeniť obdržané dáta do grafickej podoby pre lepšie pochopenie a prečítanie získaných údajov. Čo znamená, že je možnosť vykreslenie dát z tabuľky spať do grafického zobrazenia. Vykreslené dáta sa zobrazia v novom. Na začiatku sa určia prvotné premenné a prebehnú známe výpočty na nastavenie súradnicového systému. Po vykreslení súradnicového systému prebehne cyklus pre vykreslenie samotnej dráhy, z dát získaných v tabuľke.

Presnosť je najdôležitejšia vlastnosť pre všetky systémy zaznamenávajúce dráhu objektu. Presnosť definovaná ako dĺžka prejdenej dráhy v skutočnosti a jej presné opísanie v systéme s navrhnutým súradnicovým systémom. Na meranie presnosti boli vytvorené 3 body a to základný bod a bod vo vodovodnej ose vzdialený od neho 20 cm. Posledný bod je vzdialený od základného bodu taktiež 20 cm, ale o ose zvislej. Je dôležité poznamenať, že kamera je vo vzdialenosti 90 cm od objektu. Po priložení objektu na začiatočný bod je aktivované vykresľovanie dráhy objektu. Objekt sa pohybuje od začiatočného bodu k bodu vodorovnému, pokračuj k bodu zvislému a následne naspäť na začiatok. Po odčítaní dráhu zo systému a bližšom pohľade je zrejmé, že objekt prekročil hranicu 20 cm vo vodorovnom smere ju prekročil o 2 px a vo zvislom smere o 3 px. Čo znamená že vo vodorovnom smere to je 1,50 mm a vo zvislom smere to je 2,25 mm. Tieto hodnoty sú potrebné pre výpočet chyby.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Chyby je potrebné počítať pre vodorovný a zvislý smer rozdielne, lebo sú to oddelené časti kódu v ktorých sú nastavené iné referenčné hodnoty. Výpočet chyby sa počíta nasledovne:

$$\delta_{VOD} = \frac{Nameraná\ hodnota - Požadovná\ hodnota}{Požadovná\ hodnota} * 100$$

Dosadenie hodnôt do rovnici pre vodorovnú os

$$\delta_{VOD} = \frac{20{,}150-20}{20} * 100 \quad (3)$$

Výsledok chyby pre vodorovnú os v %

$$\delta_{VOD} = 0{,}75\%$$

Dosadenie hodnôt do rovnici pre zvislú os

$$\delta_{ZVIS} = \frac{20{,}225-20}{20} * 100 \quad (4)$$

Výsledok chyby pre zvislú os v %

$$\delta_{ZVIS} = 1{,}125\%$$

Vzniknutá chyba vo zvislej osy (4) je o niečo väčšia ako chyba vo vertikálnej osy (3). Môže to byť spôsobené malou chybou v prepočtoch, ktoré sa nepodarili odstrániť. Ďalšie možnosti vzniknutých chýb môžu byť použitím filtra na obraz a pohybom objektu sa môže zaznamenávaná plocha meniť a tým mierne meniť aj dráhu, chyba sa môže vyskytnúť aj pri nepresnom uložení daného bodu na hranicu 20 cm.

Presnosť pre zaznamenávanie dráhy môže byť ovplyvnená vzdialenosťou kamery od objektu. Čím je objekt ďalej tým je ťažšie ho presne zamerať, je náročnejšie určiť správne hodnoty filtrov čo môže ovplyvniť záznam pradenej dráhy objektu. Pri správnom nastavení filtrov a za konštantného svetla v miestnosti je vidieť objekt vo vzdialenosti 2 metrov od kamery.

Tab. 3 Presnosť meraní pre rôzne vzdialenosti kamery od objektu

Vzdialenosť od objektu [cm]	Odchýlka od požadovanej vzdialenosti na vodorovnej osy [px]	Odchýlka od požadovanej vzdialenosti na zvislej osy [px]	Presnosť pre vodorovnú os [%]	Presnosť pre zvislú os [%]
30	4	3	98,500	98.875
50	1	2	99,625	99,250
70	5	3	98,125	98,875
90	5	5	98,125	98,125
110	2	4	99,250	98,500
130	6	4	97,750	98,500
150	6	5	97,750	98,125
175	4	0	98,500	100
200	0	1	100	99,625

Ako je zrejmé z tabuľky, presnosť programu neklesla pod 97% v žiadnom meraní. Najnižšia presnosť bola pri vzdialenosti 150 cm kamery od objektu, kde presnosť na vodorovnej ose je 97,750% a na zvislej osi 98,125%. Naopak a najprekvapivejšie najväčšia presnosť je zaznamenaná na najvzdialenejšom meraní, kde bola kamera umiestnená 200 cm od objektu. Presnosť vodorovnej osy je 100%, čiže nevznikla žiadna chyba a presnosť zvislej osi je 99,625%, kde vznikla iba minimálna chyba.

Znázornenie krátkej ukážky, použiteľnosti a experimentu, ako program v skutočnosti funguje pridáva práci skutočné opodstatnenie. Ako robot sa pohyboval do všetkých smerov na

vopred definované pozície. Jasný bod v kontraste s okolím bola pingpongová loptička pripevnená na spomínané autíčko.



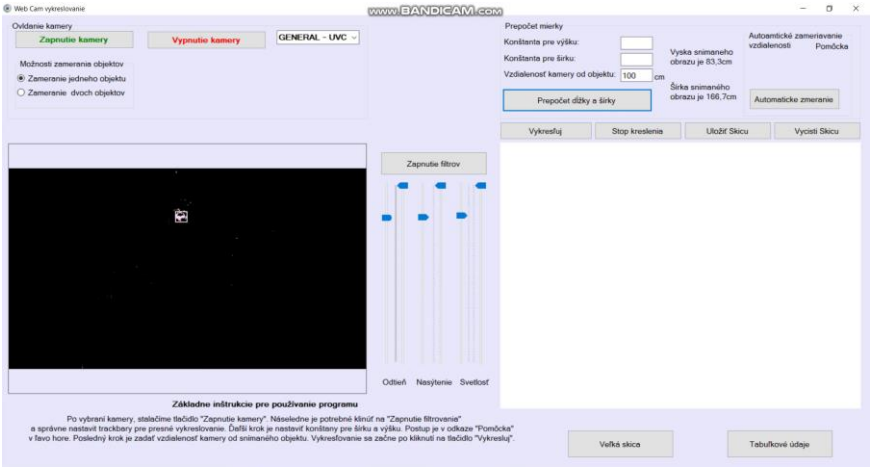
Obr. 2 Znázornenie kamery s určenými bodmi



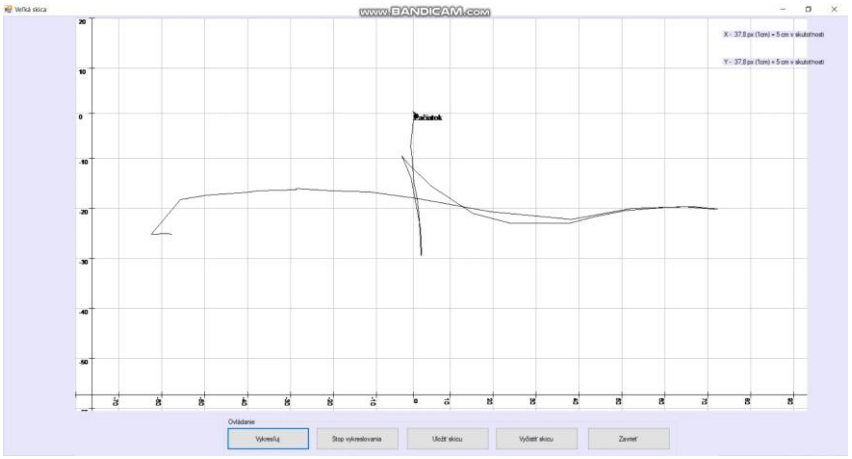
Obr. 3 Zobrazenie určených bodov pod kamerou

Na obrázku 3 je jasne vidieť všetky 4 body, na obrázku 2 nie viditeľný bod 2, pretože je zakrytý kamerou. Začiatočný alebo štartovací bod je označený ako 0. Nad začiatočným bodom je bod 1, je vzdialený od začiatočného bodu 30 cm vo zvislom smere. Robot teda prejde rovno 30 cm, tam sa zastaví a otočí a nasmeruje do bodu 2 vzdialeného 75 cm v horizontálnom smere od bodu 2. Posledný tretí bod je 65 na horizontálnej osi a 25 na vertikálnej od začiatočného bodu.

Po zapnutí systému zapneme kameru a nastavíme filtre. Následne zadáme vzdialenosť objektu od kamery predstavujúce 100 cm. Klikom na tlačidlo „Prepočet výšky a šírky“ sa nastaví súradnicový systém. Pre lepšiu viditeľnosť a prehľadnosť je použitý formulár „Veľká skica“.

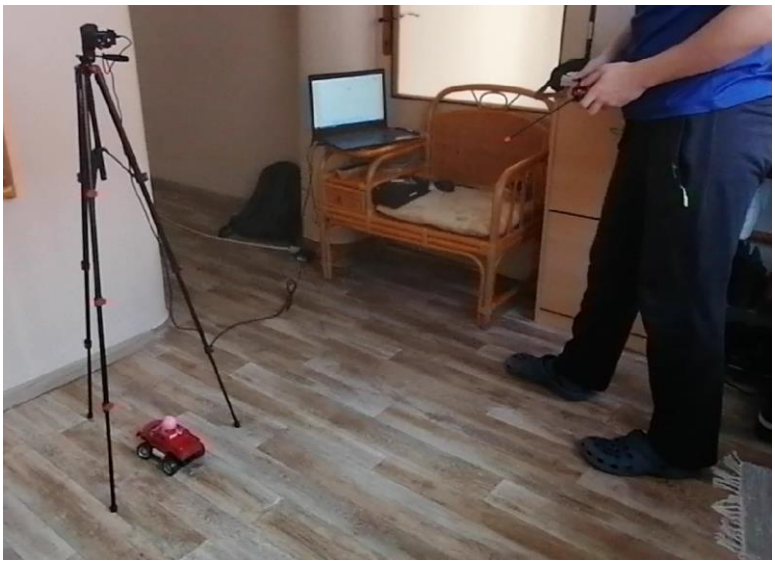


Obr. 4 Základné nastavenia programu



Obr. 5 Zaznamenanie dráhy vo veľkej skici

Ako je vidieť v obrázkoch vyššie, zaznamenávanie bolo úspešné. V horizontálnej osi sú mierne odchýlky v horizonte 1 cm – 2 cm, čo však môže byť spôsobené aj nepresným pohybom autíčka a nepresným zastavením na stanovených bodoch, čo sa však nedá ovplyvniť. Týmto je možné považovať systém za plne funkčný a schopný prevádzky.



Obr. 6 Finálny záber praktickej skúšky systému

4 Záver

Práca sa venuje problematike lokalizácie a záznamu prejdenej dráhy objektu pomocou použitia farebných filtrov na obraz kamery. Riešená problematika je významná a aktuálna v odvetviach robotiky a navigácie, či už robotov alebo ľudí. Nosný cieľ práce spočíval vo vytvorení systému pre zameriavanie polohy a dráhy pohybujúceho sa objektu zaznamenaného farebnými filtrami HLS, ktorý sa podarilo úspešne realizovať. Bola vypracovaná podrobná metodika práce obsahujúca použité materiály, čo bola pingpongová loptička znázorňujúca jasný bod. V ďalšej časti boli opísané prístroje, ako použitý notebook Lenovo, alebo webkamera Niceboy s ich technickými parametrami a vlastnosťami. Aplikácia bola napísaná vo Visual Studio Community s programovacím jazykom C#. Taktiež je priblížená aj AForge.NET knižnica pre zaznamenávanie objektu. Výsledky práce sú prezentované vo forme tabuliek, grafických závislostí, blokových schém a obrázkov. V rámci výsledkov sú vyhodnotené, sumarizované, výsledky experimentálnej činnosti a podrobného spracovania

a vysvetlenia fungovania a narábania s vytvoreným systémom. V kapitole výsledky a diskusia je vypracovaná bloková schéma programu popisujúca hlavnú funkciu systému a jej kód. Hlavné časti blokovej schémy tvorí snímanie obrazu kamery, algoritmus pre filtrovanie obrazu, algoritmus pre súradnicový systém v grafickej podobe a algoritmus pre vypočítanie vzdialenosti v numerickej (tabuľkovej) podobe. Algoritmus na snímanie obrazu z kamery, ktorej výstup je viditeľný v systéme, nie je náročný a celkovo pomerne známy, ale pre nasledovné pochopenie práce ho bolo potrebné bližšie objasniť. Algoritmus na filtrovanie zahŕňa zmenu rozsahov pre filtrovanie požadovaných objektov určitej farby. Jedna z najzaujímavejších a zároveň najnáročnejších funkcií systému na vypracovanie bolo vytvorenie súradnicového systému. V článku sú opísané vytvorené výpočty, princípy, nastavovanie a kalibrácia systému pre eliminovanie chyby. Posledná časť blokovej schémy sa zameriava na numerické (tabuľkové) zobrazenie a výpočet polohy objektu, podobne ako pre grafickú podobu sú v tejto časti zahrnuté výpočty a princíp funkcie. Pozornosť treba upriamiť aj na presnosť systému, ktorá je podstatná v podobných systémoch. Meraniami sa dokázalo, že presnosť vytvoreného systému sa pohybovala od 97,75% po 100% v grafickom zobrazení. Pre tabuľkové zobrazenie sa presnosť pohybovala od 98,9% po 100%. V práci je vypočítané a dokázané s akou správnosťou funguje daný systém, aké chyby sú pri jednotlivých meraniach a ako mohli vzniknúť. Chyby sú vypočítané ako pre grafické zobrazenie tak aj pre numerický (tabuľkový) formát. Poslednou zaujímavou časťou je využitie systému v praxi, kde je systém použitý v reálnych podmienkach, pričom sú zobrazené aj jeho výsledky.

5 Literatúra

DELIBASIS, Konstantion – PLAGIANAKOS, Vasilios – MAGLOGIANNIS, Illias. *Real Time Indoor Robot Localization Using a Stationary Fisheyq Camera*[online]. 2013. [cit 19-05-2021]. Dostupné na webovej stránke (word wide web): <www.link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-41142-7_25>.

IMTHIYAS, M.P.. *Indoor Environment Mobile Robot Localization*[online]. 2001. [cit 19-05-2021]. Dostupné na webovej stránke (word wide web): <www.researchgate.net /publication/49618595_Indoor_Environment_Mobile_Robot_Localization>.

RICHARDS, M. a spol.. *Principles of Moder Radar: Radar Applications*[online]. Raleig, 2013 [cit 22-05-2021]. NC: SciTech Publishing. ISBN: 978-1-89111-154-8.

WILFF, Christian. *Radartutorial*[online]. 2012. [cit. 11-04-2021]. Dostupné na webovej stránke (word wide web): < www.radartutorial.eu/druck/Buch1.pdf>.

ŽÁRA, Jiří – BENEŠ, Bedřich – SOCHOR, Jiří a spol.. *Moderní počítačová grafika* [online]. 2005. [cit. 11-4-2021]. 2. vydanie. Computer Press. 609 s.. ISBN 80-251-0454-0. Dostupné na webovej stránke (word wide web): <www.dcgi.fel.cvut.cz/cgg/Moderni PocitacovaGrafika/kniha.pdf>.

Súhrn

Práca sa venuje problematike, ktorá je v robotike a riadiacich systémoch veľmi známa. Zaznamenávanie polohy objektu či už vo vnútornom, alebo vo vonkajšom prostredí je téma, pri ktorej sa dajú použiť rôzne metódy. Metódy zaznamenávania polohy, ich princípy a príklady sú podrobne opísané v kapitole súčasný stav riešenej problematiky.

Cieľom práce bolo vytvoriť systém na zaznamenávanie prejdenej dráhy pohybujúceho sa objektu v našom prípade mobilného robota. Na robota, ktorého kamera zaznamenáva je

pripevnený bod výraznej farby, ktorá je v kontraste s okolím. Systém pracuje na princípe zaznamenávania farby, ktorú si zvolíme. Filtrovanie farieb prebieha pomocou HLS farebného modelu implementovaného v systéme. Poloha objektu a jeho pohyb sú zaznamenávané v grafickom súbore v 2D súradnicovým systémom. Vo výslednom súbore je podrobný prehľad prejdenej dráhy, vzdialenosti a mierky. Do systému je implementovaná funkcionalita, ktorá pri zameraní objektu s určitou preddefinovanou veľkosťou určí vzdialenosť od objektu. Pri zaznamenávaní polohy je možné použiť aj zaznamenávanie do tabuľky, kde sú hodnoty polohy vypísané do tabuľky. Tabuľku možno uložiť. Po znovu načítaní uloženej tabuľky do systému je možné tieto hodnoty vykresliť do grafickej formy.

V kapitole výsledky práce sú podrobne rozobrané jednotlivé algoritmy vo forme blokových schém, kde je graficky opísaná logika celého program, všetky jeho funkcie a spôsoby výpočtov. Blokový diagram a jeho časti sú postupne rozdelené do kapitol a podrobne popísané a vysvetlené. Opísané sú aj jednotlivé možnosti, ktoré systém ponúka, ako aj možnosti zobrazovania a jednoduchšieho prístupu. Jednou z veľmi dôležitou podkapitolou je podkapitola nastavenie súradnicového systému s veľmi podrobným a presným vysvetlením podstaty celého vykresľovania a záznamu dráhy. Ďalšou dôležitou podkapitolu je presnosť, pretože vyhodnocuje fungovanie a chyby spôsobené systémom, čiže udáva správnosť vykresľovania a tým aj celého systému.

Kľúčové slová: lokalizivanie, dráha, spracovanie obrazu, HSL

Týmto s chcem vyjadriť veľkú vďaku pánovi školiteľovi Ing. Ladislavovi Tóthovi, PhD. za trpezlivosť, pomoc pri písaní a úprave práce. Veľmi si vážim Vaše cenné rady a odbornú pomoc a čas, ktorý ste nad touto prácou strávili.

ROBOTY FANUC A TVORBA PROGRAMU
FANUC ROBOTS AND PROGRAM DESIGN

MARKO OLEXA

Abstract

Robots are becoming more and more important in our lives. The automation of the production process brings a number of benefits, such as increased accuracy, efficiency and quality.

This scientific article provides theoretical information about the components of the robot, also describes the types of robots and their use in practice. It manifests itself in the issue of creating a program for the robot, provides information about the axes of the robot, the systems in which it moves, the types of movements performed by the robot. It conveys knowledge about the structure of robots. It provides guidance as theoretical knowledge in practice on the desired result. In this case, the aim is to approximate the process of creating the FANUC logo. The robot was programmed online, ie directly at the workplace.

Key words: robot, programming, FANUC, creation of program, robot components

1 Úvod

V dnešnej dobe je jedným z ukazovateľov úrovne automatizácie priemyselne zameraných podnikov zavedenie priemyselných robotov, ktoré dokážu vo veľa prípadoch nahradiť ľudskú prácu a tým zvyšovať kvalitu a efektivitu výroby. Ich výhodou je, že dokážu pracovať nepretržite, ich výkonnosť nepadá v dôsledku únavy a vylučuje sa chybovosť zavinená ľudským faktorom. Zavedením robota do výroby vieme znížiť výrobné náklady a aj čas nevyhnutný na vykonanie určitých činností a pritom zvýšiť kvalitu.

Prvá časť práce sa zameriava na teoretický opis základných častí robota, klasifikácie robotov, popisuje ich konkrétne použitie. Ďalej vysvetľuje princíp osí otáčania robota, rozdeľuje pohybové sústavy na jointovú a worldovú. Popisuje teachpendant, efektor, manipulátor a samotné riadenie robota. Práca prebiehala v priestoroch Regionálneho tréningového centra SSOŠ Polytechnickej na robotovi LR Mate 200iD 4s od spoločnosti Fanuc.

V druhej časti podáva návod, ako vytvoriť program na základe ktorého sa robot pohybuje a tak splní nami predpísanú úlohu. Prináša praktickú ukážku zápisu programu.

2 Materiál a metódy

Spoločnosť FANUC

Spoločnosť FANUC začala s vývojom NC v roku 1955 a odvtedy sa zameriava na automatizáciu tovární. Pôsobí v oblasti FA, ktorá zahŕňa základné technológie, ktoré pozostávajú z NC (numerické riadenie), serva, laserov a robotov, na ktoré sa tieto základné technológie aplikujú, ako aj robotických strojov. Vďaka úsiliu aplikovať technológie IoT/AI vo všetkých oblastiach, vrátane FA, robotov a robotických strojov, môžu zákazníci využívať produkty tejto spoločnosti efektívnejšie. Taktiež ponúka službu so zásadou neukončovať

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

podporu produktov pokiaľ ich zákazníci používajú. Prostredníctvom takýchto aktivít prispieva k rozvoju výrobného priemyslu v Japonsku a v zámorí podporou automatizácie a efektívnosti v továrňach zákazníkov.

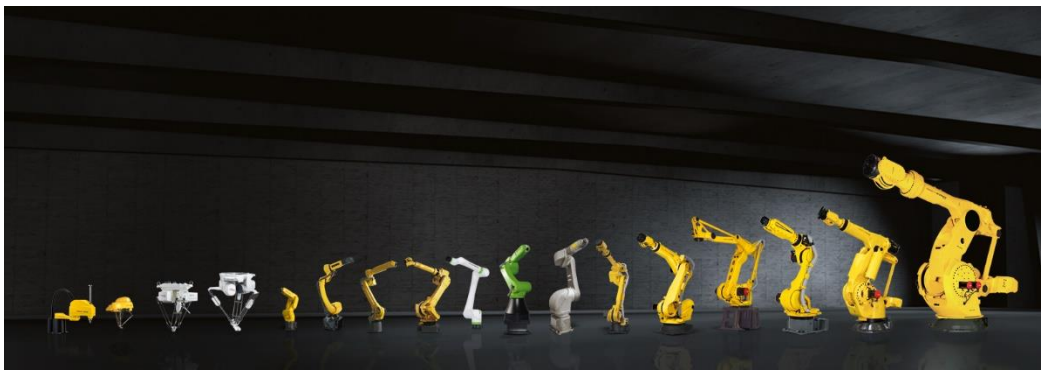
Obr. 1 Logo spoločnosti FANUC
Fig. 1 FANUC Corporation logo

Druhy robotov a ich použitie:

- **Robo-drilly -** CNC frézy- určené na frézovanie bez rizika ľudskej chyby. sú počítačovo riadené.
- **Roboshot** - vstrekový lis - do kovovej formy sa vstriekne roztavený plast a tak vytvorí odliatok.
- **Robocut** - elektrická vyrezávačka (cutter) - rezanie kovov pomocou drôtu ktorý je sústavne pod el. prúdom. režú sa tým kovy ktorými sa neskôr sústruží, frézuje a reže do iných kovov.
- **Robonano** - frézy a sústruhy s vysokou presnosťou (vyrábanie odliatkov pre napr. šošovky).

Rozdelenie robotov:

- paletizéry - používajú sa na paletizáciu
- 6 osé priemyselné roboty - sú flexibilné, vysoká škála použitia a jednou z nich je aj paletizácia
- kolaboratívne roboty - vhodné na pracu s ludmi alebo pri ludoch (sú zelené narozdiel od bežnej žltej farby ktorá je typická pre roboty fanuc)
- delta roboty - vhodné na prácu kde je potrebná rýchlosť a presnosť
- SCARA roboty - ľahké montážne úlohy poprípade menšia paletizácia

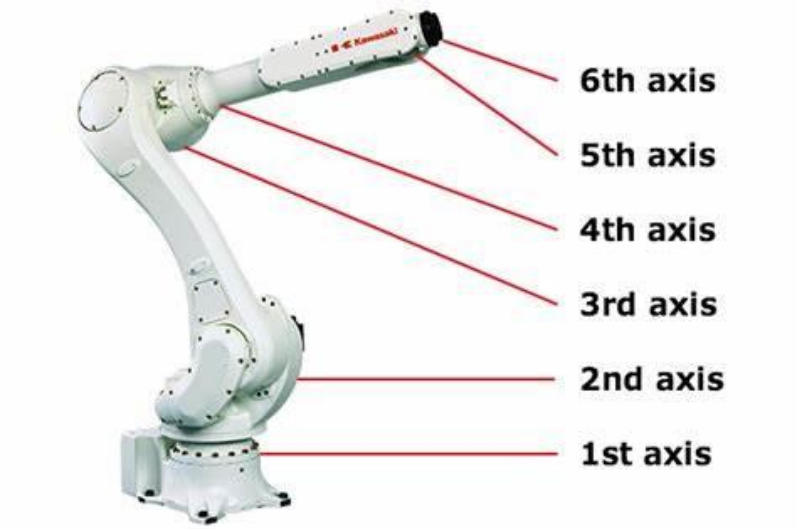


Obr. 2 Sortiment robotov spoločnosti Fanuc
Fig. 2 Robot's assortment of Fanuc Corporation

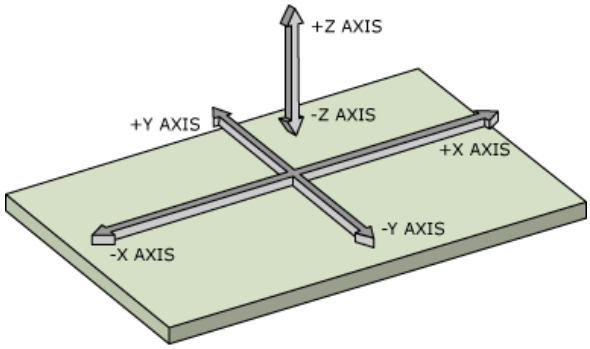
Pohybové sústavy:

- Jointová - pohybuje sa jednotlivý kĺb robota.
- World sústava- pohybuje sa po osiach robota (X,Y,Z)(karteziánsky suradnicovy system).

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



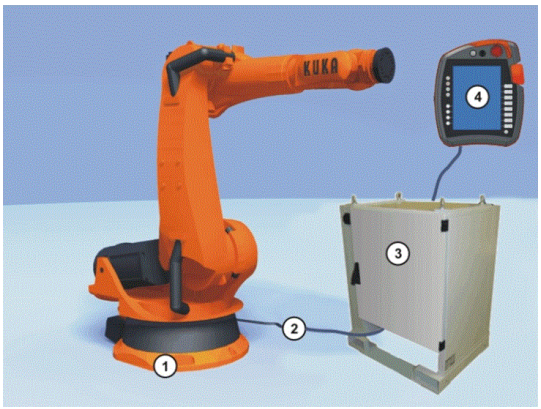
Obr. 3 Osi robota
Fig. 3 Robot axis



Obr. 4 Súradnicové systémy
Fig. 4 Coordinate system

Štruktúra zapojenia robotov:

- manipulátor (1) - je to robot alebo iný stroj ktorý manipuluje s materialom alebo objektmi
- efektor - časť robota s ktorou robot manipuluje s materiálom alebo objektmi
- spojovacie vedenia (2) - vedenie ktoré prenáša signál z riadenia robota do robota/manipulátora
- riadenie robota (3) - je to počitač alebo mozog robota
- teach-pendant (TP) (4) - je to kontroler cez ktorý može clovek ovladat robota



Obr. 5 Základné časti robota
Fig. 5 Robot's basic parts

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Jednou, bežne v praxi využívanou, metódou online programovania je programovanie prostredníctvom Teach pendantu. Ide pravdepodobne o najrozšírenejšiu formu programovania robotov, pripomína tablet, prostredníctvom ktorého dochádza k ovládaniu jednotlivých kĺbov robota a všetkých jeho dostupných funkcií. Pomocou Pendantu programátor dokáže presúvať robota do jednotlivých pozícií a ukladať ich do programu.

Robot LR Mate 200iD 4s

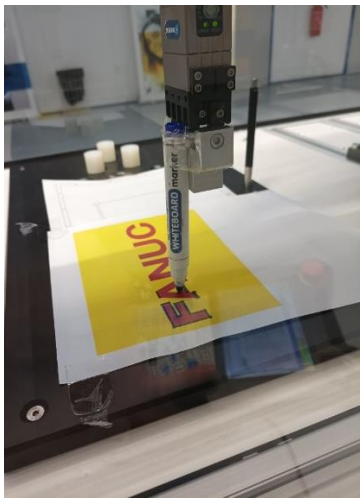
Je to kompaktný robot so 6 osami a krátkym ramenom navrhnutý na použitie v uzavretých priestoroch a kompaktných strojoch. Vyznačuje sa jednoduchou integráciou a je dostupný v celej škále možností použitia. Patrí k 6 osím robotom, dosah 550 m, nosnosť 4kg. Jeho výhodou je, že je najľahším modelom (hmotnosť 20kg) a tak ho možno nainštalovať takmer kdekoľvek. Vďaka úzkemu ramenu a kábeláže cez rameno a zápästie predstavuje ideálne riešenie pre stiesnené priestory. Ďalšou výhodou je jeho vysoká rýchlosť.

3 Výsledky a diskusia

Programovanie robotov možno popísať ako proces tvorby a testovania inštrukcií pre priemyselných robotov. Aby však bolo zaradenie robota do prevádzky naozaj efektívne, je potrebné čo najlepšie zadefinovať inštrukcie pre vykonanie úlohy na ktorú bol určený. Využitie robotov vo výrobe je práve závislé na vedomostiach a schopnostiach samotného programátora či jeho kreativite. Pre vytvorenie programu, na základe ktorého robot zrealizuje nákres vybraného loga je potrebné postupovať nasledovne:

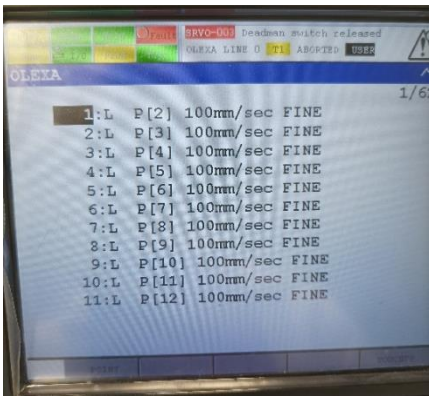
- vytlačiť predlohu, v tomto prípade logo spoločnosti FANUC. Zvoliť si metódu programovania – zvolené bolo online programovanie.
- stanoviť správnu sústavu v ktorej budeme pracovať – world alebo joint.
- vytvoriť názov programu.

Vytvorený program sa objaví v strome a v pamäti TeachPendantu. Následne možno zapísať do programu jednotlivé body pomocou tlačidla **POINT.** Nutné je dbať na neustále stlačenie Dead mena na oboch stranách aby bolo možné pohybovať sa robotom a tak obkreslovať stanovený tvar. Na každom začiatku a konci ramena písmena uložíme stanovenú pozíciu.

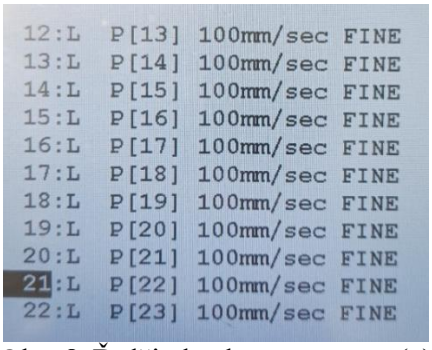


Obr. 6 Zaznamenávanie bodov pre tvorbu programu
Fig. 6 Recording points for program creation

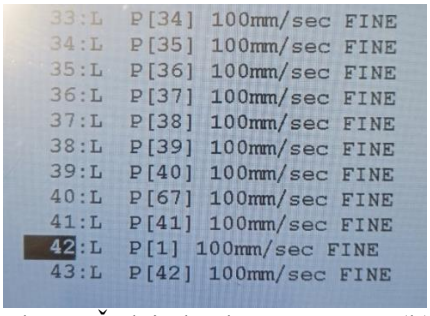
DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



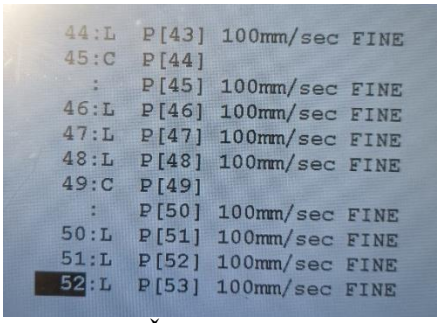
Obr. 7 Vkladanie polôh pre tvorbu písmen tvorených priamkami
Fig. 7 Positions insert to create letters formed by lines



Obr. 8 Ďalšie kroky programu (a)
Fig. 8 Next steps of the program (a)



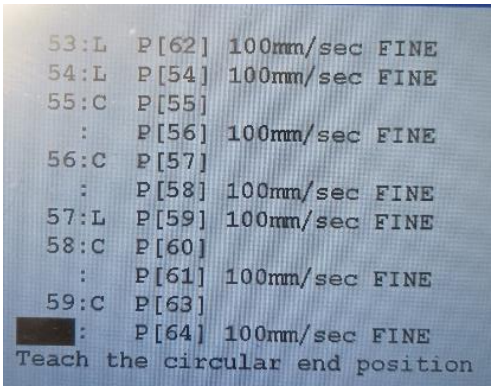
Obr. 9 Ďalšie kroky programu (b)
Fig. 9 Next steps of the program (b)



Obr. 10 Ďalšie kroky programu (c)
Fig. 10 Next steps of the program (c)

Pre rovné čiary daných písmen je potrebné použiť vhodný bod a to L – lineár, takýmto spôsobom vložíme polohy všetkých bodov písmen tvorených rovnými čiarami. Týchto bodov

bolo celkovo 53. Pre vytvorenie zaoblených písmen, v tomto prípade konkrétne písmena U a C je potrebné zmeniť bod lineárny bod na bod C – cirkular. Poloblúk vytvoríme na základe začiatočného bodu, medzibodu ktorý bude cirkular. Dôležité je program po napísaní spustiť a skontrolovať funkčnosť a napraviť prípadné chyby či odstrániť kolízie.



Obr. 11 Zaznamenávanie písmen tvorených oblúkom prostredníctvom bodu C
Fig. 11 Recording of letters formed by an arc through point C



Obr. 12 Kreslenie loga robotom LR Mate 200iD 4s
Fig. 12 Logo creation by LR Mate 200iD 4s robot

4 Záver

Automatizácia výroby je v súčasnosti trendom, ktorý sa neustále rozširuje a ponúka množstvo výhod. Roboty používané v priemyselnom prostredí ponúkajú široké možnosti, dokážu napríklad kresliť alebo premiestňovať objekty podľa stanovených požiadaviek.

Cieľom tejto práce bolo sprostredkovať teoretické informácie o druhoch a komponentoch robotov, popísať ich použitie, popísať druhy osí, súradnicových systémov, pohybov, predstaviť metódy programovania a úspešne navrhnúť program ktorým robot dokáže prekresliť požadovaný tvar, v tomto prípade logo spoločnosti FANUC.

Úlohou programátora v tomto prípade je podrobné premyslenie si plánu programovania, metódy programovania, ktorá bola zvolená online, predvídanie možných kolízií, prípadne zamedzenie ich vzniku. Programátor musí presúvať robotické rameno s kresliacim nástrojom do jednotlivých pozícií a zapisovať ich do programu. Pre rovné linky používa typ pohybu Linear, pre zahnuté Cirkular. Vhodnými kombináciami týchto typov dokáže dosiahnuť stanovený cieľ za ktorý sa považuje nápis obrysov loga spoločnosti Fanuc. Pre dosiahnutie cieľa bolo potrebné, aby bol programátor (autor) vybavený dostatočnými

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

poznatkami z oblasti programovania, aby vedel pohotovo reagovať na situácie ktoré vznikali počas práce a taktiež mal upevnené zručnosti v tejto činnosti.

5 Literatúra

DANIEL, E., KANDRAY, P.E. 2010. Programmable Automation Technologies. Industrial Press Inc. New York. OWEN-HILL, A. 2016. What are different programming methods for robots?. [online]. Dostupné na: <https://blog.robotiq.com/what-are-the-different-programming-methods-for-robots>

Fanuc. 2017. Fanuc [online]. 2021 [cit. 2022-03-29]. Dostupné na: <https://www.fanuc.com/about/index.html>.

One Fanuc. 2017. Fanuc [online]. 2021 [cit. 2022-03-29]. Dostupné na: <https://www.fanuc.com/>.

OWEN-HILL, A. 2016. What are different programming methods for robots?. [online]. Dostupné na: <https://blog.robotiq.com/what-are-the-different-programming-methods-for-robots>.

Robomachine Producs. 2017. Fanuc [online]. 2021 [cit. 2022-03-29]. Dostupné na: <https://www.fanuc.com/product/robomachine.html>.

Súhrn

Roboty zohrávajú čoraz väčšiu úlohu v našich životoch. Automatizácia výrobného procesu so sebou prináša rad výhod ako napríklad zvýšenie presnosti, efektívnosti a kvality. Tento článok podáva teoretické informácie o konštrukčných častiach robota, taktiež popisuje druhy robotov a ich použitie v praxi.

Ďalej sa zaoberá problematikou tvorby programu pre robota, podáva informáciu o osiach robota, systémoch, v ktorých sa pohybuje, druhoch pohybov realizovaných robotom. Sprostredkuváva poznatky o štruktúre zapojenia robotov. Prináša návod ako teoretické poznatky uplatniť v praxi na dosiahnutie požadovaného výsledku. V tomto prípade je cieľom priblíženie postupu tvorby loga spoločnosti FANUC. Programovanie robota prebiehalo online, to znamená priamo na pracovisku.

Kľúčové slová: robot, programovanie, FANUC, tvorba programu, komponenty robota

Poďakovanie

Ďakujem spoločnosti FANUC za odpornú prípravu v oblasti programovania robotov, taktiež pánovi Jánovi Videňanovi za pomoc pri realizácií daného programu a pani učiteľke Anne Hudecovej za pomoc pri písaní tejto práce.

MODIFIKÁCIA SPRACOVANIA SIGNÁLOV PRE STAND MOTORA S HYDROBRZDOU
MODIFICATION OF SIGNAL PROCESSING FOR HYDROBROST ENGINE STANDARD

RICHARD PASTOREK – IVAN JANOŠKO

Abstract

The article deals with software modification of the Texo-motor brake program, storage and processing of outputs in graphical form. The program is used for experimental purposes in the school laboratory at the Institute of Agricultural Technology, Transport and Bioenergy in Nitra for measurement (working parameters) and evaluation of measurements made on a stand with a hydraulic brake, as an experiment of the operation of elements in the car. We performed measurements with different parameters of engine operation, such as speed, simulation of the load on the engine. During the measurements, we not only measured the displayed parameters, but also saved and further processed them based on the modification of the program after the end of the measurement itself.

Key words: experimental engine stand, program modification, parameter evaluation,

1 Úvod

V súčasnej dobe spôsob akým fungujú spaľovacie motory zostal dodnes vo väčšej miere nepozmenený, aj keď sa výrobcovia neustále snažia o zníženie všetkých strát, súčasné poznanie naráža na obmedzujúce limity princípov fungovania spaľovacích motorov (CVUT, 2018: HORÁK, 2012).

Spaľovací motor je stroj, ktorý spálením paliva premieňa jeho chemickú energiu na mechanickú prácu. Pri činnosti motora vznikajú škodlivé emisie, ktoré predstavujú aktuálne veľký ekologický problém a priamo súvisiaci s množstvom spotreby paliva (JABLONICKÝ et al., 2020 : SYNÁK, 2020,2022). Spaľovací motor je komplexným transformátorom, ktorý je prezentovaný mnohými parametrami, ktoré sa navzájom ovplyvňujú a podmieňujú. Pre optimalizáciu významných parametrov z pohľadu funkčnosti, emisii, spotreby PHM je treba tieto parametre účelne zisťovať (DOŠKAŘ, 2008 : PAPOUŠEK, 2007 : STODOLA, 2003).

Príspevok je zameraný na zisťovanie a spracovanie významných parametrov prostredníctvom snímačov fyzikálnych veličín, ktoré sú súčasťou xperimentálneho skúšobného standu spaľovací motor - vodná brzda, kde brzdný moment je realizovaný prostredníctvom aktuátora s programovým ovládaním cez PC. Namerané údaje sa budú zaznamenávať do užívateľsky priateľského prostredia pre ďalšie spracovanie v programe MS Excel. Modifikácia meracieho a riadiaceho programu TEXO - motorová brzda sa prevedie v programe Visual Studio – C#.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

2 Materiál a metódy

Na experimenty sa bude používať štvorvalcový osemventilový zážihový motor s objemom 1242 cm^3 značky Fiat. Podrobnejšie parametre motora sú uvedené v tabuľke č. 1. Motor je súvisle pripojený na hydrobrzdovú sústavu brzdy, s ktorou je možné simulovať reálnu záťaž na motore, a teda vystaviť motor rôznemu zaťaženiu v kontrolovaných podmienkach prostredníctvom počítača.

Počas merania budeme zaznamenávať zvolené nasledovné parametre, ako teplotu výfukových plynov, výkon, aktuálne otáčky, spotrebu paliva, krútiaci moment vo zvolenom časovom intervale. Cieľom práce bude zaznamenanie výstupov so signálov z jedovlivých meracích vstupov v čase a následne programové spracovanie do programu MS Excel s tabuľkovým a grafickým výstupom.

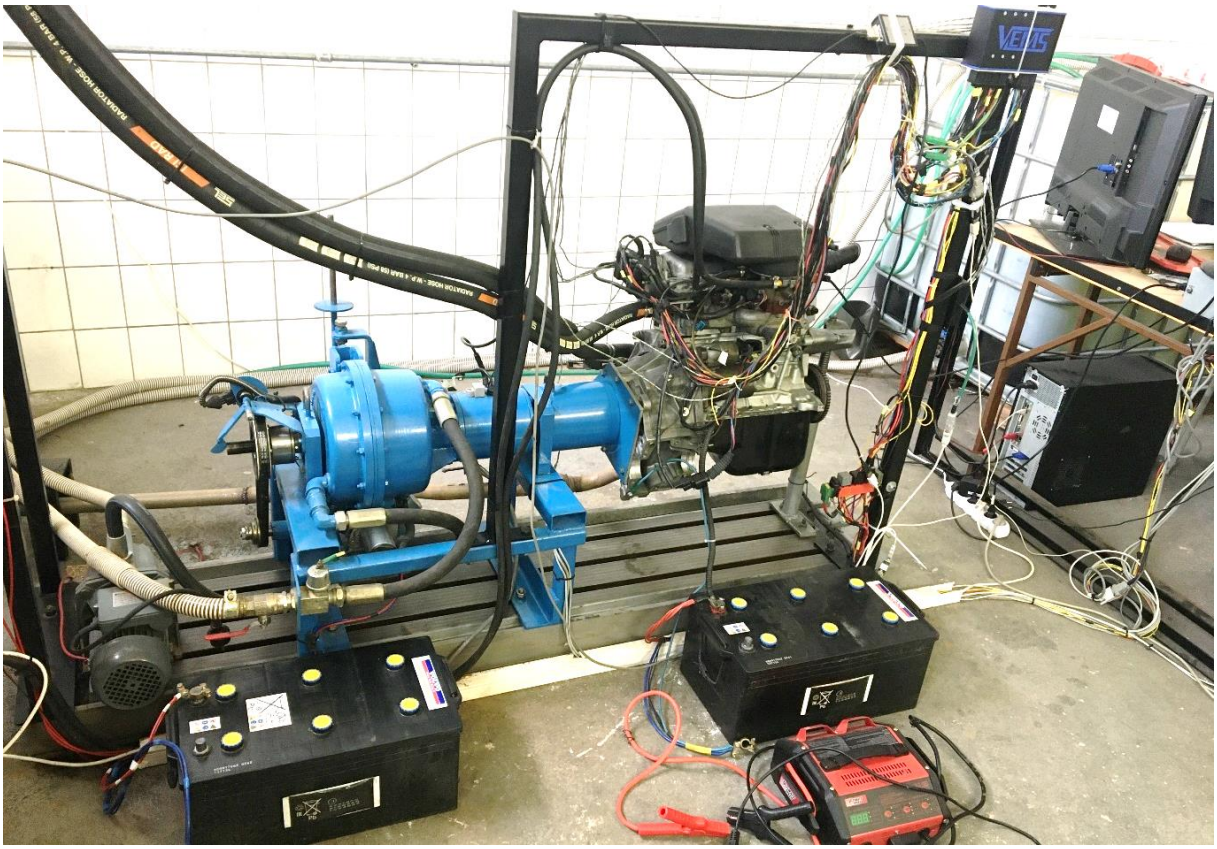
2.1.Charakteristika použitého materiálu:

- Riadiace a kontrolné pracovisko a motor s hydrobrzdou - obrázok č.1,
- Snímač teploty okolia (Snímač tlaku BOSCH 0 281 002 401) – obrázok č.2.
- Programovacia karta labjack-U12 – obrázok č.3,
- Laboratórna váha Radwag WTB 3 000 - tabuľka č.2,
- Teplotné senzory na zvodoch výfuku (NZB spec, K type thermocouple) Merací rozsah: 0...+1 100 °C

Tab. 1 Popis motora na ktorom prebehlo meranie
Tab. 1 Description of the engine on which the measurement took place

Počet valcov	4
Ventily na valec	2
Objem	1242 cm^3
Typ motora	ohc
Kompresný pomer	9,6 : 1
Max. výkon	44 kW
Max. krútiaci moment	98 Nm
Otáčky pri max výkone	5500 min^{-1}
Otáčky pri max. krútiacom momente	3000 min^{-1}
Palivový systém	jednobodové vstrekovanie
Vŕtanie x zdvih	70,8 x 78,9
Turbo	nie
Katalyzátor	áno

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 1 Sústava motora s motorovou brzdou
Fig. 1 Engine system with engine brake

Jednotlivé merania parametrov budeme vykonávať v priestoroch Ústavu poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky TF SPU v Nitre.

Laboratórna váha Radwag WTB 3 000

Popis vybraných, aktuálne rozhodujúcich funkcií váhy:

- možná odchýlka v hmotnosti 0,01 %,
- overenie hmotnosti (+/-),
- západka indikátora maximálnej stupnice,

Tab. 2 Technický popis Laboratórnej váhy Radwag
Tab. 2 Technical description Laboratory Radwag balance

Scale type:	WTB 3000
Max capacity	3000g
Readability	0,01g
Repeatability	0,03g
Linearity	±0,03g
Stabilization time	3 sec
Operation temperature	+15°C to +30°C
Display	LCD

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Snímač tlaku BOSCH 0 281 002 401 pre snímanie teploty okolia a tlaku okolia (obr.2).



Obr. 2 Snímač tlaku a teploty BOSCH
Fig. 2 BOSH pressure and temperature sensor

Programovacia karta labjack-U12

Univerzálny merací USB modul LabJack U12TM, je určený pre zber dát a ovládanie externých zariadení. Tento modul ponúka 8 analógových vstupov, 2 analógové výstupy, 20 digitálnych vstup/výstup a 32bitový čítač. Na ľavom konektore je vyvedených 8 analógových vstupov (AI0-AI7), dve svorky +5 V (pro možnosť napájania periférnych zariadení), 4 svorky GND (zem pre signál alebo pre napájanie +5 V) a svorka určená pre kalibráciu modulu U12 (CAL). Spoľahlivé a mechanicky odolné zariadenie s jednoduchou obsluhou.



Obr. 3 Programovacia karta labjack-U12
Fig. 3 Labjack-U12 programming card

Teplotné senzory na zvodoch výfuku

- typ NZB spec, K type thermocouple,
- presnosť ± 1% pri 1 000°C,
- merací rozsah: 0 – 1 100 °C s teplotou na vodiči max: 350 °C,
- Parametre (h: 2500 mm GGM-G-2x0,22; d: 2 mm Pyrosil – cone –; d: 6 mm H10 (1.4841)).

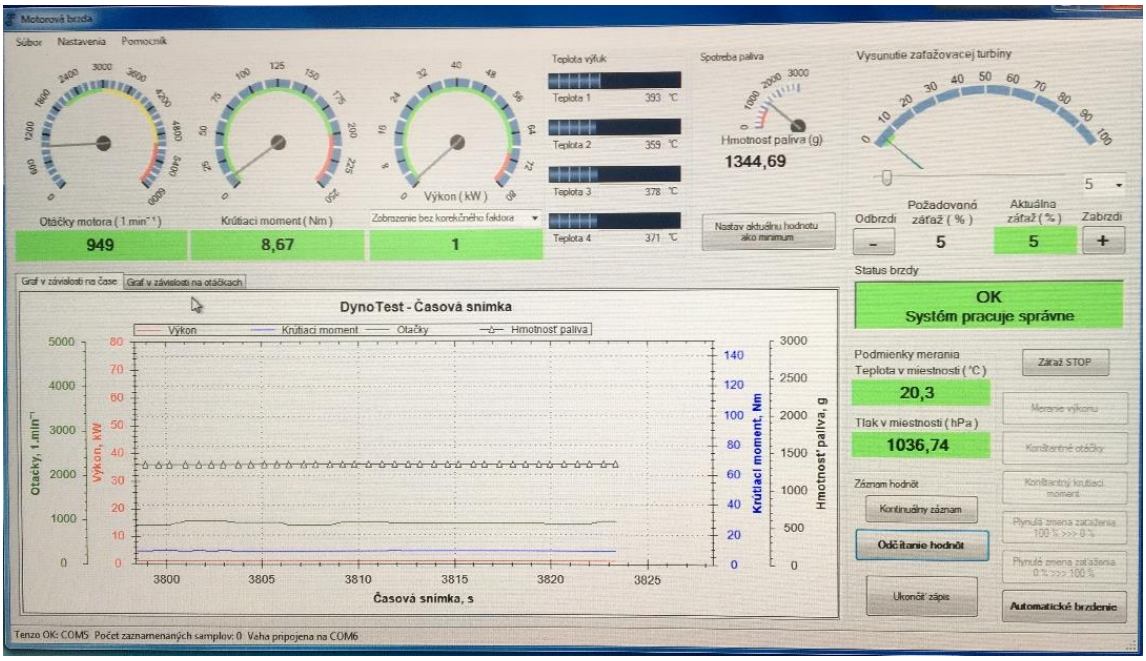
DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

2.2.Charakteristika programového vybavenia

- Texo – motorová brzda, riadiaci program,
- Microsoft Visual Studio s podporou jazykovej služby Visual C#.

2.2.1 Program TEXO-motorová brzda

Na obrázku č. 6 je užívateľské prostredie programu, ktoré slúži na zisťovanie rôznych dôležitých ukazovateľov chodu motora pri odlišných pracovných stavoch, ktoré sú: otáčky motora, krútiaci moment, výkon, atď.



Obr. 4 Ukážka programového prostredia TEXO – motorová brzda počas merania
Fig. 4 Demonstration of the TEXO motor brake program environment during measurement

2.2.2 Microsoft Visual Studio

Je vývojové prostredie od firmy Microsoft. Je veľmi všestranné vývojové prostredie so širokou škálou využitia, ktoré vieme využiť na vývoj napr. konzolových aplikácií, pre vývoj grafického rozhrania na rôznych platformách napr. MS Windows, Windows Mobile.

3 Výsledky a diskusia

V programe TEXO-motorová brzda bola realizovaná úprava zdrojového kódu, aby program hodnoty nielen zaznamenával ale aj vytvoril tabuľkový výstup z merania. Uložené hodnoty v tabuľkovom proccsore budú v jednotkách prislúchajúcej veličiny namerané v akvidištančnom intervale. Úprava bola realizovaná vo vývojovom prostredí Microsoft Visual Studio a to v jazyku Visual C# (Obr.5).

Pre výsledky merania sme nastavili polohu škrtiacej klapky do pozície 60 % maxima, pričom sme dosiahli maximálne otáčky merania 5 500 min^{-1} pri nulovej záťaži. Následne sme otáčky postupne znižovali po 500 min^{-1}. Otáčky sme neznižovali pomocou zmeny polohy škrtiacej klapky, ale zvyšovaním záťaže na motorovej brzde. V každom bode otáčok sme uskutočnili experimentálne meranie sledovaných veličín dobu cca 20 sekúnd. Experimentálne meranie sme ukončili pri 1 500 $otáčkach^{-1}$. Namerané hodnoty sme si pomocou programu TEXO motorová brzda priebežne ukladali do samostatných súborov.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

```
{
    if (ExistujeSample == true)
    {
        if (MessageBox.Show("Chcete uložiť zaznamenané vzorkové dáta?", "Ulož vzorky",
            MessageBoxButtons.YesNo, MessageBoxIcon.Question) == System.Windows.Forms.DialogResult.Yes)
        {
            saveFileDialogSample.Filter = "Excel CSV (*.csv)|*.csv";
            if (saveFileDialogSample.ShowDialog() == DialogResult.OK)
            {
                TextWriter TSub = new StreamWriter(saveFileDialogSample.FileName);
                TSub.Write(ZaznamSample);
                timerZaznam.Enabled = false;
                TSub.Close();
            }
        }
    }

    if (ExistujeKontinual == true)
    {
        if (MessageBox.Show("Chcete uložiť kontinuálny záznam?", "Ulož kontinuálny záznam",
            MessageBoxButtons.YesNo, MessageBoxIcon.Question) == System.Windows.Forms.DialogResult.Yes)
        {
        saveFileDialogKontinual.Filter = "Excel CSV (*.csv)|*.csv";
        if (saveFileDialogKontinual.ShowDialog() == DialogResult.OK)
        {
            TextWriter TSub = new StreamWriter(saveFileDialogKontinual.FileName);
            TSub.Write(ZaznamKontinual);
            timerZaznam.Enabled = false;
            TSub.Close();
        }
```

Obr. 5 Časť upraveného zdrojového kódu
Fig. 5 Part of modified source code

Na Obrázku 6 môžeme vidieť príklad sledovaných parametrov, nameraných hodnôt a uložených do súboru tabuľkového procesora. Okrem času merania to boli – krútiaci moment, otáčky, výkon, časová spotreby paliva, tlak a teplota okolia, teplota výfukových plynov na 1,2,3,4 valci.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Cas (h:m:s)	Vykon (kW)	Krut (Nm)	Otacky (1/min)	Tlak okolia (hPa)	Tepl okolia (°C)	Tepl1 (°C)	Tepl2 (°C)	Tepl3 (°C)	Tepl4 (°C)	Zataz (%)	Palivo (g)
2	15:39:26	40	69,61	5439	1027,27	22,5	545	523	524	549	4	1102,17
3	15:39:27	43	74,25	5548	1027,27	22,6	546	524	525	548	3	1099,43
4	15:39:28	42	71,46	5548	1024,12	22,4	547	525	525	547	2	1094,66
5	15:39:29	44	75,2	5548	1027,27	22,5	549	526	525	548	3	1091,95
6	15:39:30	40	71,56	5374	1027,27	22,5	550	526	527	549	4	1089,93
7	15:39:31	39	69,55	5374	1027,27	22,6	551	529	528	551	3	1087,22
8	15:39:32	40	71,94	5374	1027,27	22,5	551	530	529	552	3	1084,51
9	15:39:33	44	79,01	5374	1027,27	22,6	550	529	529	554	3	1081,78
10	15:39:34	43	74,65	5508	1024,12	22,5	551	529	529	554	2	1077,02
11	15:39:35	39	68,3	5508	1024,12	22,5	551	529	530	554	2	1074,3
12	15:39:36	41	70,91	5508	1027,27	22,5	551	530	533	554	5	1074,3
13	15:39:37	42	72,09	5624	1027,27	22,6	551	530	534	555	5	1069,52
14	15:39:38	42	71,31	5624	1027,27	22,6	552	530	534	555	4	1066,79
15	15:39:39	45	75,85	5624	1027,27	22,5	552	530	534	556	3	1064,23
16	15:39:40	44	74,92	5624	1024,12	22,5	554	531	535	555	2	1062,58
17	15:39:41	40	68,25	5527	1027,27	22,6	554	532	535	557	4	1059,25
18	15:39:42	43	74,27	5527	1024,12	22,6	553	531	535	556	2	1056,53
19	15:39:43	41	70,11	5527	1027,27	22,5	553	531	536	557	3	1056,53
20	15:39:44	40	70,01	5428	1024,12	22,5	555	532	537	559	3	1049,05
21	15:39:45	43	75,3	5428	1024,12	22,6	555	533	536	557	4	1046,99
22			Spotreba paliva v g/20 s = 55,18.					Spotreba paliva v kg/h = 9,93.				

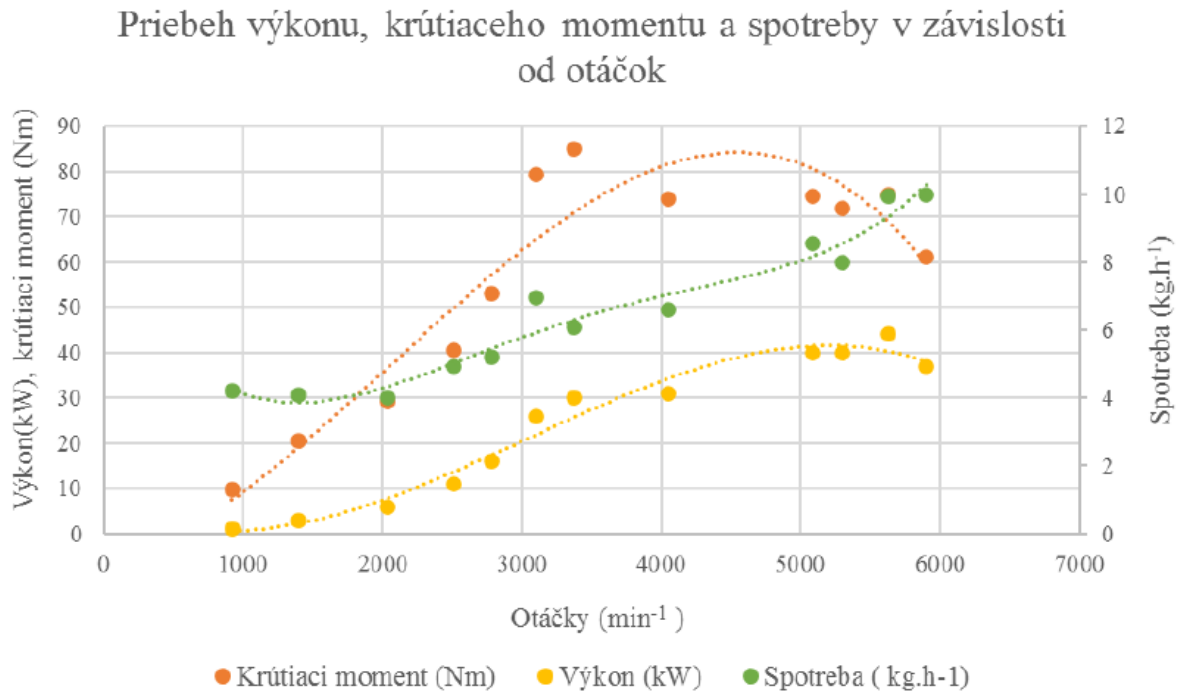
Obr. 6 Ukážka nameraných hodnôt v tabuľke MS Excel
Fig. 6 Example of measured values in MS Excel table

Pre výpočet spotreby paliva sme potrebovali vedieť hmotnosť paliva spotrebovaného vo zvolenom intervale pri sledovných otáčkach a zaťažení a následne zapísanou programom TEXO do tabuľky. Následne sme zmerali spotrebu motora v rôznych zaťaženiach a otáčkach v rámci jednotlivých meraní, vypočítali spotrebu paliva v gramoch za sekundu, ktorú sme prepočítali na spotrebu paliva v $kg.h^{-1}$. Príklad merania ukazuje, že spotreba paliva v intervale

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

(t = 20 sekúnd) dosiahla hodnotu 55,18 g.s^{-1} a prepočítaná spotreba paliva v kg.h^{-1} dosiahla hodnotu 9,93 kg.h^{-1} pri otáčkach v priemere 5 500 min^{-1}.

V rámci stanovených cieľov bola ďalšia pozornosť venovaná spracovaniu významných bodov - súborov parametrov do otáčkovej charakteristiky. Medzi spracované a zobrazené parametre sme zvolili krútiaci moment, otáčky motora, výkon a spotrebu paliva. Táto časť bola pracovaná zatiaľ ručne bez automatizovaného spracovania. Spracované údaje do vybranej otáčkovej charakteristiky je možné vidieť na Obr. 8, ktorá znázorňuje závislosti krútiaceho momentu, výkonu a spotreby paliva od otáčok, namerané na experimentálnom zariadení.



Obr. 7 Priebeh výkonu krútiaceho momentu a spotreby v závislosti od otáčok
Fig. 7 The course of power, torque and consumption as a function of speed

Charakteristika prezentuje, že max. výkon motor dosiahol pri otáčkach približne 5 600 min^{-1} hodnotu cca 43 kW, čo približne korešponduje s hodnotou udávanou výrobcom. Napriek miernemu zníženiu maximálneho krútiaceho momentu motora, je motor stále v pomerne dobrom technickom stave a je vhodný na ďalšiu prevádzku. Z vykonaných experimentov vyplynulo, že aj napriek občasným odchýlkam je zariadenie navrhnuté a zostrojené správne a svojím výpočtovým výkonom plne postačuje na danú aplikáciu.

4 Záver

Na meranie prevádzkových stavov experimentálneho zariadenia sú nevyhnutne potrebné snímače prevádzkových veličín, na ktoré sú kladené vysoké nároky na dosiahnutie primeranej/požadovanej presnosti (Kohout, 2008 : Zabler, 2004, Blaha, 2005, Majdan et al., 2011). Údaje zo snímačov sú multiplexne zaznamenávané do registrov a následne spracované pre ďalšie spracovanie základným programom TEXO pre meranie a riadenie experimentálneho zariadenia. V rámci sledovaných cieľov bol modifikovaný riadiaci program, ktorý umožňuje kontinuálne zaznamenávať sledované parametre s frekvenciou cca 1 Hz. Hoci meracia karta umožňuje multiplexné merania aj s výrazne vyššou frekvenciou (radovo kilo Hz), limitujúcim faktorom je meranie spotreby paliva, krútiaceho momentu a riadenie záťaže cez com-porty.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Možno však konštatovať, že merací a riadiaci program vo vymedzených frekvenčných charakteristikách pracuje korektne. Programová úprava umožňuje aktuálne merať zvolené parametre v ručnom, resp. automatizovanom režime. Ďalší priestor vidíme v automatizovanom spracovaní nameraných údajov do vhodných programových rutín podľa žiadaného výstupu obrazového, resp. tabuľkového formátu.

5 Literatúra

BLAHA, P.- VAVŘÍN, P. 2005. Řízení a regulace 1. Brno: Vysoké učení technické v Brne, 2005. 211 s. ISBN 80-902585-3-0.

DOŠKAŘ, P. 2008. Měření parametrů vozidlových motorů na válcovém dynamometru [online]. © 2008 [cit. 2020-04-15]. Dostupné na: 60 https://is.mendelu.cz/lide/clovek.pl?zalozka=13;id=3110;studium=14893;zp=9040;download_prace=1;lang=sk.>

HORÁK, J. 2012. Směšovací poměr a emise. [online] © 2012 [cit. 2020-02-11]. Dostupné na: < https://www.skola-auto.cz/wp-content/uploads/2018/03/Smesovaci_pomer.pdf>

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

JURIŠICA, L. - HUBA, M. 2002. Úvod do automatizácie. [online] © 2002 [cit. 2020- 02-10]. Dostupné na: < http://matlab.fei.tuke.sk/zar/subory/literatura/Jurisisa_Huba_ZAUT_K.pdf>

KOHOUT, L. 2008. Učební texty, Snímače teploty [online]. © 2008. Dostupné na:

PAPOUŠEK, M. – ŠTĚRBA, P. 2007. Diagnostika spalovacích motorů. Brno: Computer Press. 223 s. ISBN 978-80-251-1697-5.

MAJDAN, R. a kol. 2011. Elektrické príslušenstvo vozidiel. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita. 100 s. ISBN 978-80-552-0537-3.

STODOLA, J. 2003. Diagnostika motorových vozidel, sylaby k prednáškám, Ústav dopravní techniky, Fakulta strojního inženýrství, VUT, Brno, 288 s.

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.

ZABLER. E. 2004.Snímače v motorových vozidlech. Praha: 1. české vydavatelství. 148 s. ISBN 80-903132-5-6.

ALFATUNING.sk. 2013. Ako funguje riadiaca jednotka?. [online] © 2013 [cit. 2020-02-01]. Dostupné na: < http://www.alfatuning.sk/ako_funguje_riadiaca_jednotka.php?lang=sk>

AUTOBLINK.cz. 2019. Škrtíci klapka: jak funguje a jak se projavuje její porucha?. [online] © 2019 [cit. 2020-01-16]. Dostupné na:< https://autoblink.cz/skrtici-klapka-jak-funguje-a-jak-se-projevuje-jeji-porucha/>.

POWERTECH.cz. 2017. MAF senzor - Váha vzduchu. [online] © 2017 [cit. 2020-01-31]. Dostupné na:< https://www.chiptuning.cz/clanek/seznam-clanku/technika/maf-senzor-vaha-vzduchu>.

ZVYŠOVANIE ÚČINNOSTI SPAĽOVACÍCH MOTOROV. 2018. In České vysokoškolské učení technické v Praze.cz [online]. © 2014-2018 [cit. 2020-02-15]. Dostupné na: < https://www.fs.cvut.cz/web>.

Súhrn

Článok sa zaoberá softvérovou modifikáciou programu Texo-motorová brzda, ukladaním a spracovaním výstupov do grafickej podoby. Uvedený program sa používa na experimentálne účely v školskom laboratóriu na katedre dopravy a manipulácie na meranie (pracovných parametrov) a vyhodnocovanie meraní uskutočnených na stande motora s hydrobrzdou, ako experiment fungovania prvkov v automobile. Merania sme uskutočnili s odlišnými parametrami prevádzky motora, ako sú otáčky, simulácia záťaže na motore. Pri meraniach sme zobrazované parametre nielen merali, ale na základe úpravy programu po ukončení samotného merania uložili a ďalej spracovali.

Kľúčové slová: experimentálny model motora, úprava programu, hodnotenie parametrov,

ČISTIČKA VZDUCHU
AIR CLEANER

BRANISLAV PAULEN, TIMOTEJ NECHALA

Abstract

This work solves the device under the influence of light on viruses. The influence of light can be positive but also negative and in this work the positive aspect will be pointed out and at the same time how to use them for the benefit of improving the quality of life of people. These findings are also important for the design of our air scrubber project using a germicidal lamp. Due to the forced air flow through the fan in the enclosure of the computer case, the air is irradiated with a germicidal lamp and thus free of harmful viruses returns to the room in which it is located. Another advantage of this device is that the rooms can be safe even if the people are not exposed to COVID-19.

1 Úvod

Kedysi ľudia verili, že duchovia alebo bohovia ich rozsiahlou smrteľnou chorobou trestajú za ich chyby. Tento nevedecký prístup v minulosti často viedol k nesprávnym reakciám na epidémie . Prvá vedecky podložená pandémia moru zasiahla „starý kontinent“ v polovici 14. storočia. Spôsobila záhubu tretiny obyvateľstva vtedajšej Európy a zmenila tak sociálnu štruktúru svetadielu. Pravdepodobne išlo o pľúcny mor, no do dejín sa zapísal ako **„čierna smrť“**. Názov vznikol podľa jedného z príznakov – odumierania a sčernenia končekov prstov a ušných lalôčikov. vyhubeniu státisícových populácií.

V súčasnosti už vieme využiť vplyv svetla na vírusy je významný. Nasvedčujú tomu mnohé štúdie, ktoré zároveň podnietili záujem širšej laickej ale aj odbornej verejnosti o túto problematiku. Výsledkom snahy riešenia tejto problematiky svetelného žiarenia berúc do úvahy vplyv svetla na vírusy. Germicídne žiarenie patrí do oblasti UV - žiarenia. Vlnové dĺžky sa merajú v nm a UV oblasť sa nachádza medzi 13,6 až 400 nm.

Naša práca bola zameraná na využitia svetelných lúčov. Zariadenie ,ktoré sme zostrojili úspešne dokáže ničiť vírusy aj v prítomností osôb a zvýšení účinok má kvôli zosilneniu svetelného efektu odrazom svetelných lúčov od strán skrinky.

2 Materiál a metodika práce

Metodika práce:

1. Návrh práčky vzduchu – riešenie príprava.
2. Postup prípravy skrinky počítača - úpravy na skrinke.
3. Montáž vetracích časti ventilátora a germicídnej lampy.
4. Montáž elektrotechnických častí.
5. Zapojenie a skúšanie práčky vzduchu.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

3 Výsledky a diskusia

Naším zariadením sme dosiahli zvýšený efekt účinnosti na základe dvoch riadených ventilátorov na rýchlosť prúdenia vzduchu a tým , že sme v uzavretej skrinke využili efekt svetelného odrazu .Tým sa zvýšila účinnosť funkcie zariadenia. Toto nám potvrdilo aj skúšobné testovanie v jednej rodine .

Parametre čističky vzduchu CK 07

- Napájanie 230V striedavých
- Výkon zariadenia 25W
- Hlučnosť pri MIN 35dB, pri MAX 60 dB
- Výkon ventilátorov 96 m^3/hod
- Krytie zariadenia IP 20
- Germicídna lampa –UVC 253,7
- Životnosť lampy 9000 hodín.

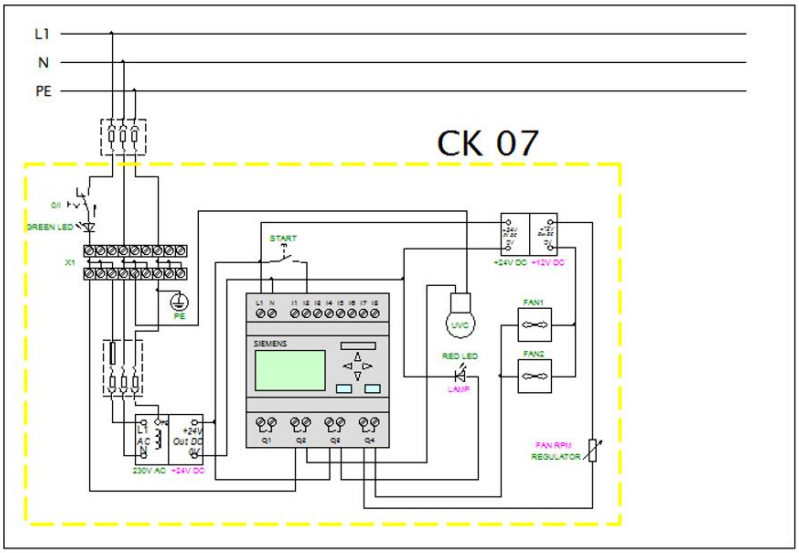
Návrh čističky vzduchu

-Schéma zapojenia elektronickej časti čističky vzduchu

-silnoprúdová časť a

-slaboprúdová časť.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 1 Elektronická schéma čističky vzduchu
Fig. 1 Electric schematic of air cleaner

Príprava počítačovej skrinky ATX pre čističku vzduchu.

Na čističku vzduchu sme použili vyradenú počítačovú skrinku z ktorej sme demontovali vnútorné časti a opravili vnútorné časti pre montáž nášho zariadenia.

Popis a technické parametre UVC lampy v čističke vzduchu

Technické parametre germicídnej lampy

- žiarivkové svietidlo
- UVC germicídne žiarivka 11W s päticou G23
- vlnová dĺžka - 253,7nm
- uhol vyžarovania - cca. 360 °
- životnosť - 9000 hodín
- dĺžka trubice A - max. 198mm
- celková dĺžka trubice C - max. 236mm
- priemer trubice D - max. 28mm
- celková váha - 285 gramov
- pracovná teplota -10 ° až 50 ° C

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

- pracovná vlhkosť - 0% až 90%
- krytie - IP20

4 Záver

Cieľom práce bolo navrhnúť a zhotoviť čističku vzduchu. Tento cieľ sme úspešne zrealizovali podľa metodiky práce .Na splnenie cieľa sme použili vyradenú počítačovú skrinku a SMART technológie ovládanie zariadenia cez mobil. Týmto sa náš výrobok stal inovatívny aj konkurencií podobných výrobkov na trhu v obchodoch. Hlavným naším prínosom je ochrana zdravia v boji proti vírusom.

5 Literatúra

DÁVID, M. 2020. Od moru v starovekom Ríme až po koronavírus z Wu-chanu. Stručné dejiny pandémií [online]. Dostupné na (Available on): < https://www.tyzden.sk/svet/63242/od-moru-v-starovekom-rime-az-po-koronavirus-z-wu-chanu-strucne-dejiny-pandemii--infografiky/>.

WAW Welding. 2021. Germicídny žiarič [online]. Dostupné na (Available on): < https://vaw.sk/co-je-germicidny-ziaric-ako-funguje-na-co-sa-vyuziva/>.

ZOLS. 2022. Germicídne žiarenie [online]. Dostupné na (Available on): <http://www.zols.sk/web/component/content/article/44-germicidy/137-germicidne-iarenie%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20strana%2017-19>.

Súhrn

Táto práca rieši zariadenie vplyvom svetla na vírusy. Vplyv svetla môže byť pozitívny ale aj negatívny a v tejto práci bude poukázané na pozitívny aspekt a zároveň na to ako ich využiť v prospech zlepšenia kvality života ľudí . Tieto zistenia sú dôležité aj pre návrh nášho projektu práčka vzduchu použitím germicídnej lampy. Vplyvom vynúteného prúdenia vzduchu cez ventilátor v uzavretom priestore počítačovej skrinky je ožarovaný vzduch germicídnou lampou a tým je zbavený škodlivých vírusov sa vracia späť do miestnosti v ktorej sa nachádza. Ďalšie výhody tohto nášho zariadenia sú v tom, že miestnosti môžu byť bezpečne aj osoby nedochádza k ožiareniu. Na našom zariadení boli použité nové SMART technológie riadenia prevádzky práčky vzduchu cez mobilnú aplikáciu možno doma spustiť aj pred príchodom domov tým sa zníži nebezpečenstvo infekcie ochorenia COVID-19.

Poďakovanie:

Touto cestou sa chceme poďakovať pánovi Ing. Vladislav Gubka PhD. za pomoc a konzultácie pri vypracovaní práce.

BRZDNÉ VLASTNOSTI VYBRANÝCH DRUHOV PNEUMATÍK
BRAKING CHARACTERISTICS OF THE SELECTED TYRE

RICHARD RAPOS – IVAN JANOŠKO

Abstract

This article deals with the comparison of the properties of summer tires and winter tires placed on the Toyota Yaris 1.0 VVTi. Dayton D110 summer tires with dimensions 175/65 R14 and Matador Sibir Snow winter tires with dimensions 175/65 R14 were compared. Measurements were made from three initial vehicle speed levels, namely 40, 60 and 80 kilometers per hour on a dry road. The measured values were processed by the measuring device and compared and evaluated by us. From the measured values, it was possible to observe that the assumptions of better braking properties in the given weather conditions were not fulfilled, as the age of the tires also played a big role, when 10 years older summer tires, achieved significantly worse results. Under the circumstances on a dry surface, newer winter tires have proven to be more suitable. Thus, the measurement shows that an important factor, especially on a dry surface, is not only the determination of the tires and the depth of their tread, but also the age and hardness of the tire (which increases with the aging of the tire).

Key words: tyres, vehicle, braking distance, deceleration

1 Úvod

S čoraz viac sa zvyšujúcim sa množstvom vozidiel na cestách a zároveň zvyšujúcou sa frekvenciou osobnej dopravy sa nesie aj zvýšenie rizika dopravných kolízií (Hockicko, 2013). Bezpečnú hranicu jazdy vozidla na vozovke obmedzujú fyzikálne zákony. Pneumatiky majú rozhodujúce vlastnosti nielen na bezpečnej prevádzke, ale majú aj významný vplyv na produkciu emisii a životné prostredie (Jablonický et all., 2020: Synak, 2020, 2022).

Základom zastavenia vozidla v požadovanom čase a čím kratšej dráhe sú kvalitne vyhotovené pneumatiky s vyhovujúcim dezénom a brzdná sústava vozidla. Dezén je tvorený výstupkami na pneumatiky a jeho účel je zlepšiť interakciu pneumatiky s vozovkou, resp. terénom. Vzhľadom na dnešnú dobu je veľmi náročné splniť tieto požiadavky (Polanský, 2013). Väčšina výrobcov automobilov preto sústreďuje svoju pozornosť skôr na brzdovú sústavu a pneumatiky, ktoré tvoria najdôležitejšie prvky ovplyvňujúce bezpečnosť jazdy (Jablonický et all, 2015). Z dôvodu bezpečnosti sú pneumatiky vybavované špeciálnymi typmi dezénov, materiálov a konštrukcií (Abrahám et al. 2015, 2021). V moderných automobilov veľkú rolu miery bezpečnosti taktiež ovplyvňujú automatické bezpečnostné elektronické systémy. Väčšinou sa stretávame s proti blokovacím, protišmykovým či stabilizačným systémom. Tieto systémy znižujú brzdnú dráhu, znižujú či úplne odstraňujú riziko šmyku a pomáhajú vozidlu udržať svoju dráhu. Za bežných okolností sú dôležitejšie brzdné schopnosti vozidla, než tie akceleračné. Cieľom tejto práce je porovnanie vlastností letných a zimných pneumatík rôzneho veku za rovnakých podmienok.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

2 Materiál a metódy

Na meranie bol použitý automobil Toyota Yaris. Toyota Yaris patrí do nižšej strednej triedy malých kompaktných vozidiel. Toyota začal model Yaris vyrábať v roku 1999, prvá generácia bola vyrábaná až do roku 2005, no model Yaris je v novších generáciách vyrábaný do dnes, vďaka veľkej obľube možno nájsť aj rôzne iné variácie. Testovaný automobil je vybavený zážihovým spaľovacím motorom s objemom 998 cm^3, ktorý poskytuje maximálny výkon 50 kW pri 6000 otáčkach za minútu. Testovaný automobil bol vyrobený v roku 2002, má najazdených 139143 km. Vozidlo nie je vybavené žiadnym bezpečnostným elektronickým systémom. Viac technických údajov v tabuľke nižšie (Tab.1).

Tab. 1 Technické parametre automobilu Toyota Yaris
Tab. 1 Technical parameters of Toyota Yaris vehicle

Druh vozidla	Osobný automobil
Továrenská značka, typ	Toyota Yaris
Rok výroby vozidla	2002
Najväčší výkon motora pri otáčkach	50 kW / 6000 min^{-1}
Zdvihový objem valcov	998 cm^3
Prevodovka/počet stupňov	Manuálna / 5 stupňová
Druh karosérie	Hatchback
Výrobca	Toyota M.M.F., Francúzsko
Prevádzková hmotnosť	880 kg



Obr. 1 Automobil Toyota Yaris 1.0 VVTi
Fig. 1 Toyota Yaris 1.0 VVTi vehicle

Testovanie bolo vykonávané za suchých poveternostných podmienok pri vonkajšej teplote 8°- 10°C. Testovanie prebiehalo na letných a zimných pneumatikách. Ako letné pneumatiky boli testované Dayton D110 s rozmermi 175/65 R14 82T a ako zimné

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

pneumatiky boli použité Matador Sibir Snow v rozmere 175/65 R14. Údaje o letných a zimných pneumatikách sú v tabuľke nižšie (Tab. 2 a 3 a na obr. 2 a 3).

Tab. 2 Technické parametre letných pneumatík Dayton D110
Tab. 2 Technical parameters of Dayton D110 summer tyres

Výrobca	Dayton	
Typ	D110	
Rozmer	175/65 R14	
Index záťaže a rýchlosti	82T	
Rok a mesiac výroby	2009, 11. týždeň (DOT 1109)	
	Tlak vzduchu v pneu	Hĺbka dezénu
Ľavé predné koleso	250 kPa	3,1 mm
Pravé predné koleso	250 kPa	3,1 mm
Ľavé zadné koleso	250 kPa	2,2 mm
Pravé zadné koleso	250 kPa	2,2 mm

Tab. 3 Technické parametre zimných pneumatík Matador Sibir Snow
Tab. 3 Technical parameters of Matador Sibir Snow winter tyres

Výrobca	Matador	
Typ	Sibir Snow	
Rozmer	175/65 R14	
Index záťaže a rýchlosti	82T	
Rok a mesiac výroby	2019, 19. týždňom (DOT 1919)	
	Tlak vzduchu v pneu	Hĺbka dezénu
Ľavé predné koleso	250 kPa	7,5 mm
Pravé predné koleso	250 kPa	7,5 mm
Ľavé zadné koleso	250 kPa	8 mm
Pravé zadné koleso	250 kPa	8 mm



Obr. 2 Letná pneumatika Dayton D110
Fig. 2 Dayton D110 summer tyre

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

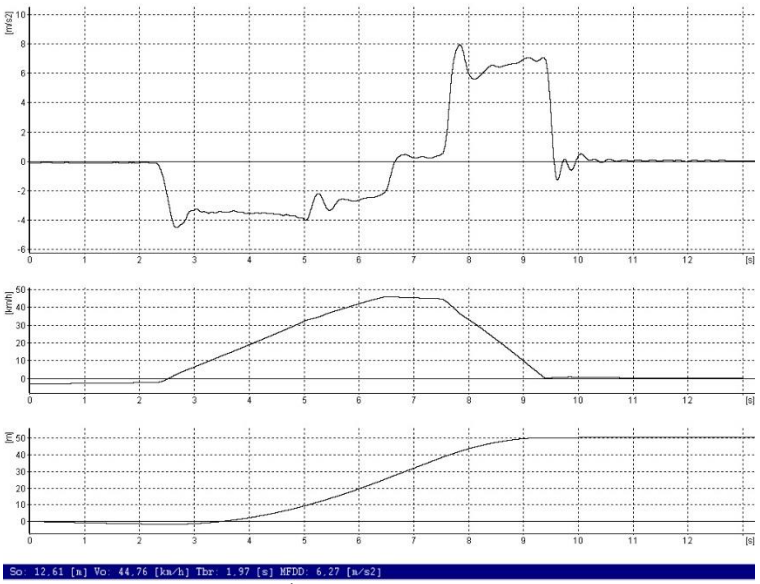


Obr. 3 Zimná pneumatika Matador Sibir Snow
Fig. 3 Matador Sibir Snow winter tyre

Pre realizáciu merania a spracovanie charakteristík brzdného spomalenia sa použil merací prístroj XL-Meter™Pro Alpha, ktorý dokáže merať kinematické parametre ako brzdná dráha, rýchlosť a brzdné spomalenie, čas a iné. Špeciálny softvér umožňuje vyhodnotiť namerané údaje numericky a graficky.

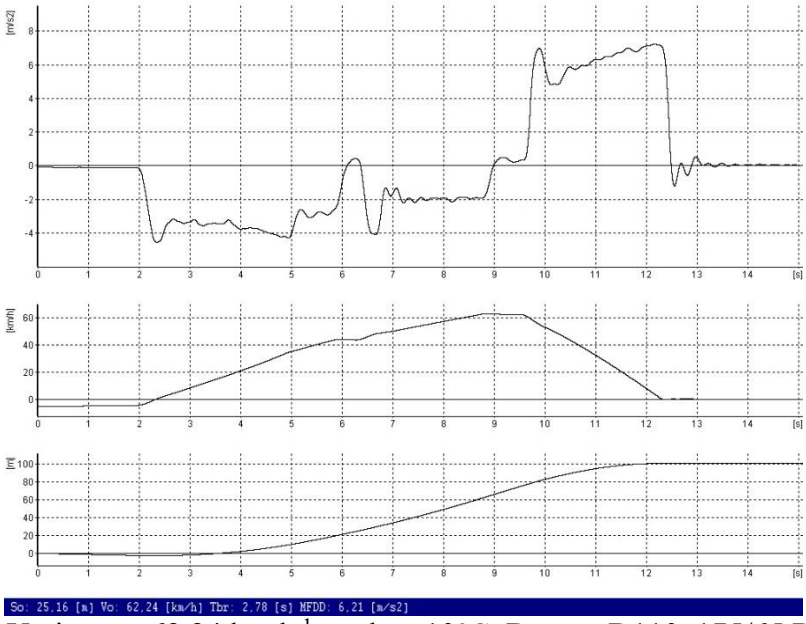
3 Výsledky a diskusia

Výsledné hodnoty merania deceleračných charakteristík sú znázornené na Obr. 4 až Obr. 9, na ktorých sú zobrazené záznamy o brzdnom spomalení, priebeh reálnej rýchlosti vozidla a prejdenej dráhy v závislosti na čase. Všetky namerané hodnoty a výsledky sú uvedené v tabuľkách 4 a 5. V tabuľke 4 sú uvedené dosiahnuté výsledky letných pneumatík, v tabuľke 5 sa nachádzajú dosiahnuté výsledky zimných pneumatík.



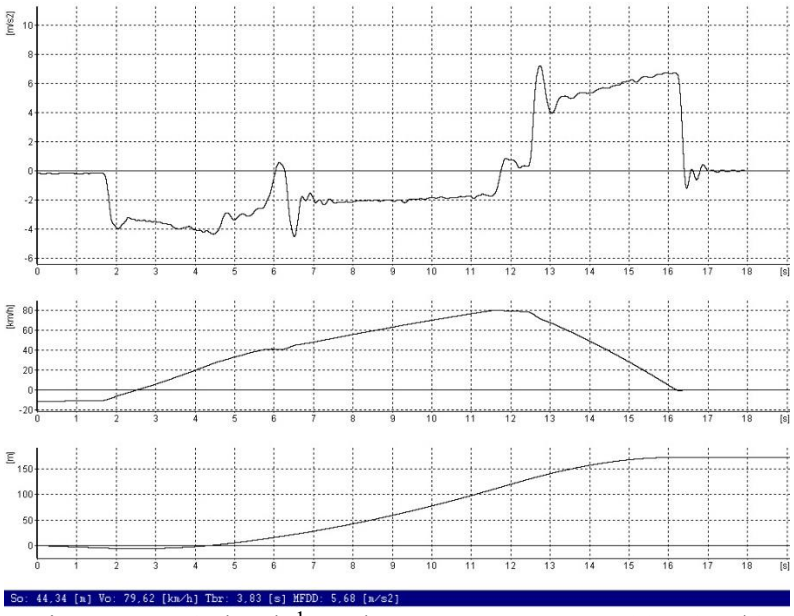
Obr. 4 Toyota Yaris, $v_0 = 44{,}76$ km.h^{-1}, teplota 10°C, Dayton D110 175/65 R14 82T, suchá vozovka, vozidlo bez ABS, 1 osoba
Fig. 4 Toyota Yaris, $v_0 = 44{,}76$ km.h^{-1}, temperature 10°C, Dayton D110 175/65 R14 82T, dry road, vehicle without ABS, 1 person

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 5 Toyota Yaris, $v_0 = 62{,}24$ km.h^{-1}, teplota 10°C, Dayton D110 175/65 R14 82T, suchá vozovka, vozidlo bez ABS, 1 osoba

Fig. 5 Toyota Yaris, $v_0 = 62{,}24$ km.h^{-1}, temperature 10°C, Dayton D110 175/65 R14 82T, dry road, vehicle without ABS, 1 person

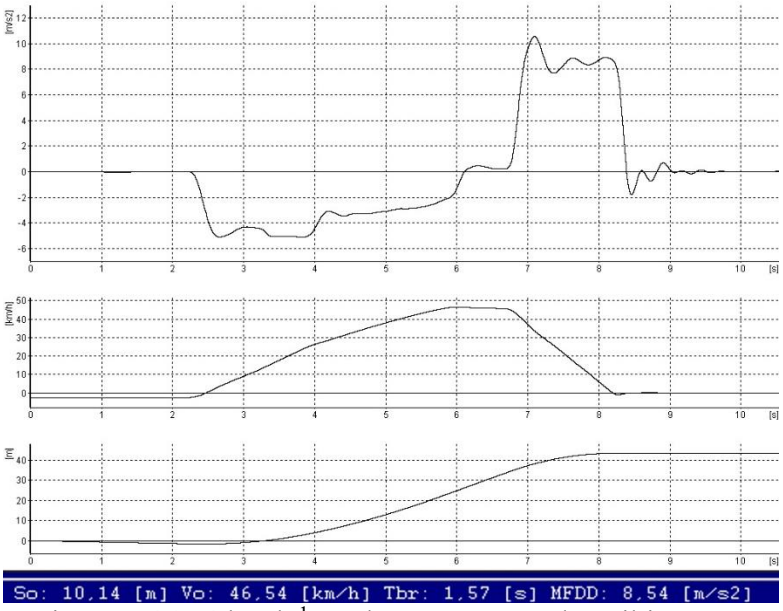


Obr. 6 Toyota Yaris, $v_0 = 79{,}62$ km.h^{-1}, teplota 10°C, Dayton D110 175/65 R14 82T, suchá vozovka, vozidlo bez ABS, 1 osoba

Fig. 6 Toyota Yaris, $v_0 = 79{,}62$ km.h^{-1}, temperature 10°C, Dayton D110 175/65 R14 82T, dry road, vehicle without ABS, 1 person

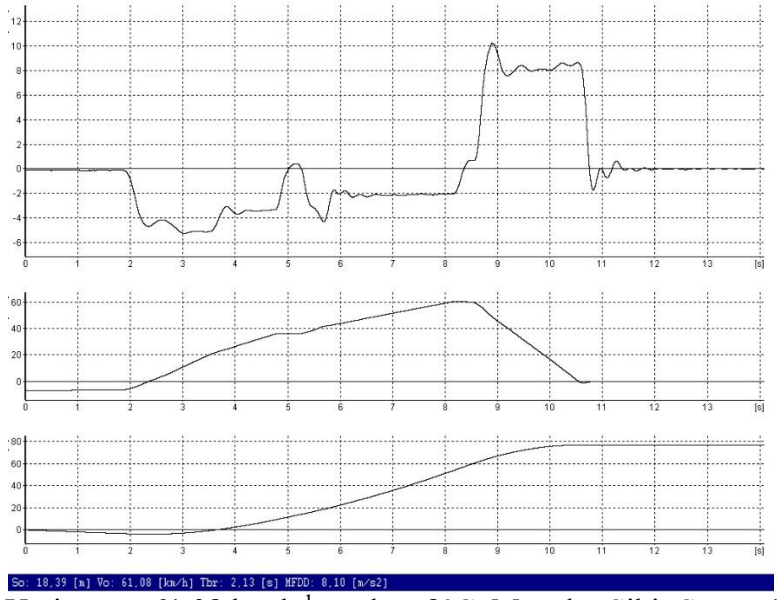
Predchádzajúce obrázky znázorňujú výsledky meraní letných pneumatík. Následne obrázky 7. 8. a 9. znázorňujú výsledky meraní zimných pneumatík.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 7 Toyota Yaris, v_0 = 46,54 km.h^{-1}, teplota 8°C, Matador Sibir Snow 175/65 R14 82T, suchá vozovka, vozidlo bez ABS, 1 osoba

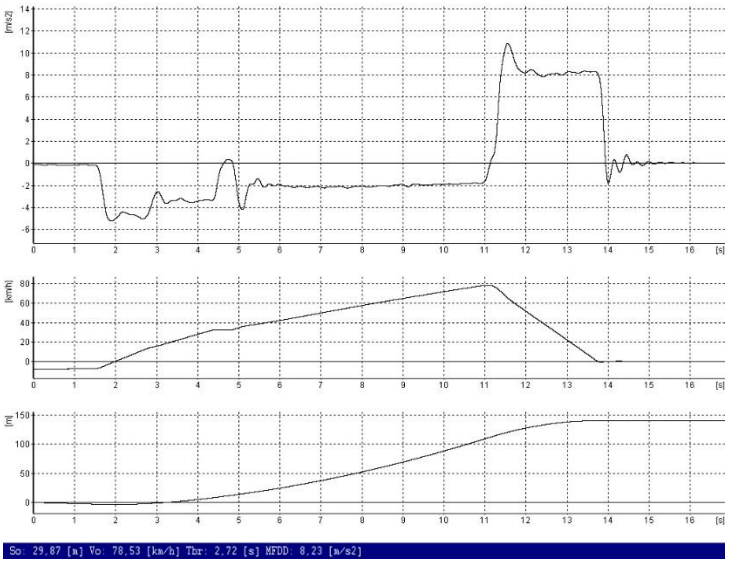
Fig. 7 Toyota Yaris, v_0 = 46,54 km.h^{-1}, temperature 8°C, Matador Sibir Snow 175/65 R14 82T, dry road, vehicle without ABS, 1 person



Obr. 8 Toyota Yaris, v_0 = 61,08 km.h^{-1}, teplota 8°C, Matador Sibir Snow 175/65 R14 82T, suchá vozovka, vozidlo bez ABS, 1 osoba

Fig. 8 Toyota Yaris, v_0 = 61,08 km.h^{-1}, temperature 8°C, Matador Sibir Snow 175/65 R14 82T, dry road, vehicle without ABS, 1 person

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 9 Toyota Yaris, v_0 = 78,53 km.h^{-1}, teplota 8°C, Matador Sibir Snow 175/65 R14 82T, suchá vozovka, vozidlo bez ABS, 1 osoba

Fig. 9 Toyota Yaris, v_0 = 78,53 km.h^{-1}, temperature 8°C, Matador Sibir Snow 175/65 R14 82T, dry road, vehicle without ABS, 1 person

Tab. 4 Namerané hodnoty brzdenia vozidla Toyota Yaris, letné pneumatiky na suchej podložke

Tab. 4 Toyota Yaris, summer tyres, dry road breaking reading

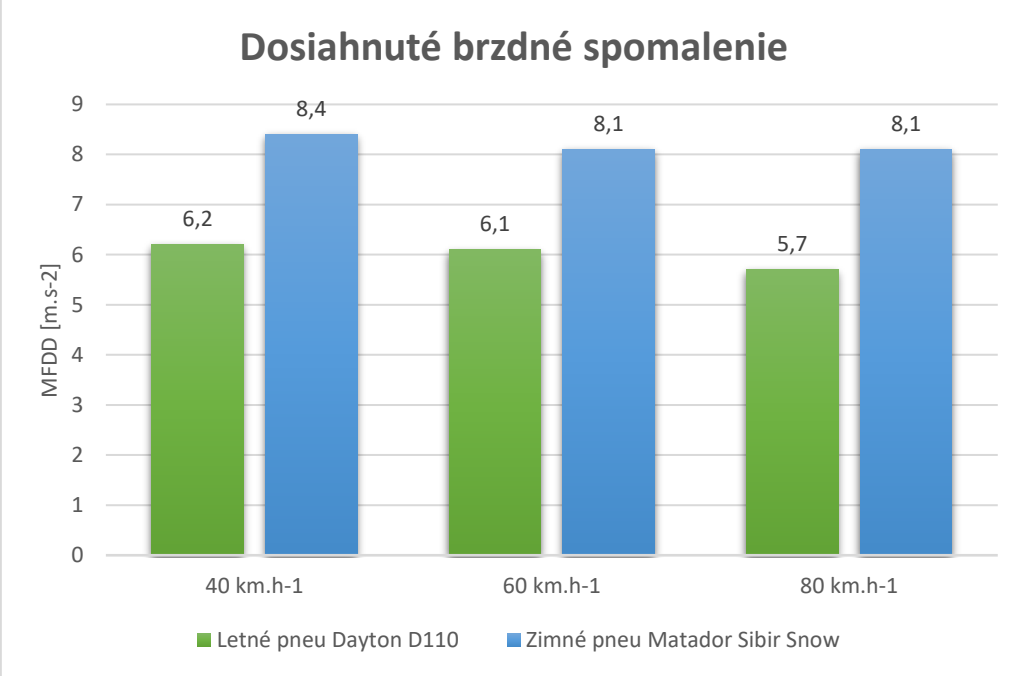
Druh vozidla	Toyota Yaris		
Typ pneumatík	Letná pneu. Dayton D110 175/65 R14 82T		
Meranie/teplota	Letné / 10 °C		
Východisková počiatočná rýchlosť	40 km.h^{-1}	60 km.h^{-1}	80 km.h^{-1}
Brzdná dráha (vozovka)	9,7 m	21,8 m	39,9 m
Namerané hodnoty z XL-Metra			
S_0 dráha	12,0 m	25,1 m	44,3 m
V_0 rýchlosť	44,4 km.h^{-1}	62,5 km.h^{-1}	79,4 km.h^{-1}
Tbr čas	1,92 s	2,78 s	3,83 s
MFDD stredné spomalenie	6,2 m.s^{-2}	6,1 m.s^{-2}	5,7 m.s^{-2}

Tab. 5 Namerané hodnoty brzdenia vozidla Toyota Yaris, zimné pneumatiky na suchej podložke

Tab. 5 Toyota Yaris, winter tyres, dry road breaking reading

Druh vozidla	Toyota Yaris		
Typ pneumatík	Zimné pneu. Matador Sibir Snow 175/65 R14 82T		
Meranie/teplota	Zimné / 8 °C		
Predpísaná počiatočná rýchlosť	40 km.h^{-1}	60 km.h^{-1}	80 km.h^{-1}
Brzdná dráha (vozovka)	9,0 m	15,6 m	26,3 m
Namerané hodnoty z XL-Metra			
S_0 dráha	10,2 m	17,4 m	28,1 m
V_0 rýchlosť	46,3 km.h^{-1}	60,9 km.h^{-1}	78,3 km.h^{-1}
Tbr čas	1,56 s	2,08 s	2,64 s
MFDD stredné spomalenie	8,4 m.s^{-2}	8,1 m.s^{-2}	8,1 m.s^{-2}

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 10 Dosiahnutné maximálne brzdné spomalenie z určených rýchlostí
Fig. 10 Maximum breaking deceleration reached from the specified speeds

Letné pneumatiky Dayton D110 s rozmermi 175/65 R14 82T, ktoré boli vyrobené v roku 2009 a majú hĺbku dezénu 2,2-3,1mm (Tab.2), boli schopné vyprodukovať brzdné spomalenie na suchej bitumenovej podložke a=5,7-6,2 $m.s^{-2}$ (Tab.4). Zimné pneumatiky Matador Sibir Snow v rozmere 175/65 R14 82T, vyrobené v roku 2019 s hĺbkou dezénu 7,5-8mm (Tab.3) vyprodukovali brzdné spomalenie na suchom bitumenovom povrchu a= 8,1-8,4 $m.s^{-2}$ (Tab.5).

Po porovnaní výsledkov z tabuľky 4 a tabuľky 5 môžeme zhodnotiť, že namerané hodnoty brzdného spomalenia na suchej podložke sú vyššie v prípade zimných pneumatík Matador Sibir Snow v rozmere 175/65 R14 82T v porovnaní s hodnotami dosiahnutými na letných pneumatikách Dayton D110 v rozmere 175/65 R14 82T z dôvodu lepšej priľnavosti, na ktorú výrazne vplýva aj výrazne lepšia zmes, čo súvisí tiež s nižším vekom zimných pneumatík, ktoré boli vyrobené o 10 rokov neskôr. Brzdné spomalenie dosiahlo v prípade zimných pneumatík o cca 35% vyššie hodnoty, čo je veľmi výrazný a iba čiastočne očakávaný rozdiel. Toto platí pre v prípade suchého povrchu a vonkajšej teploty v rozsahu 8-10°C.

4 Záver

Táto práca testuje a porovnáva brzdné vlastnosti vybraných druhov pneumatík. Experimentálnym spôsobom bolo merané brzdné spomalenie a od brzdného spomalenia závisiaca brzdná dráha. Meranie bolo uskutočnené na suchej bitúmenovej vozovke pri podobných teplotách. Odborná literatúra uvádza, že zimné pneumatiky nie sú schopné dosiahnuť také jazdné vlastnosti ako letné pneumatiky pri vyššej teplote. Rozhodujúcim faktorom je v spomínanom prípade výrobný materiál a jeho použitá zmes. Zimné pneumatiky sú zväčša vyrobené z mäkšej zmesi, ktorá sa pri vysokej teplote stáva až príliš mäkkou. To by malo brzdnú dráhu predĺžiť a taktiež znížiť úroveň ovládateľnosti vozidla. Toto sa však v našej praxi nepotvrdilo.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Spomínaná teória však neuvažuje s vekom pneumatík. Z našich vykonaných meraní vyplýva, že spravidla tvrdšia zmes letných pneumatík nemusí byť vždy vyhovujúca a zvyšujúcim sa vekom pneumatík sa ich tvrdosť zvýši až na príliš vysokú hodnotu, ktorá výrazne zhoršuje adhézne a brzdné vlastnosti. Pri meraní na suchej bitúmenovej podložke pri vonkajšej teplote v rozsahu 8-10°C dosahovali mäkšie a novšie zimné pneumatiky Matador Sibir Snow oveľa lepšie brzdné vlastnosti, ako letná pneumatika Dayton D110 staršej výroby. Slovenská legislatíva nijak vek pneumatík nelimituje, sú uvádzané len hraničné hodnoty dezénu pneumatík. Z nášho merania však vyplýva, že zanedbávaný parameter vie byť výrazne rozhodujúci na adhézne vlastnosti pneumatiky, teda staršia pneumatika už nespĺňa svoje požadované adhézne vlastnosti.

5 Literatúra

ABRAHÁM, R. - MAJDAN, R. - DRLIČKA, R. Possibilities of improving the wheel tractor drive force transmission to soil. In Research in agricultural engineering. ISSN 1212-9151, 2015, vol. 61, special iss., s. S37-S42.

ABRAHÁM, R. - MAJDAN, R. - KOLLÁROVÁ, K. - TKÁČ, Z. - OLEJÁR, M. - MATEJKOVÁ, E. - KUBÍK, Ľ. Frequency spectra analysis of drawbar pulls generated by special driving wheels improving tractive performance. In Sensors. ISSN 1424-3210, 2021, vol. 21, iss. 19, art. no. 2903 [19] s. Dostupné na internete: <https://doi.org/10.3390/s21092903>

Brzdná dráha pneumatiky, dostupné na internetovej stránke: https://www.elektrony.sk/brzdna-draha-pneumatik

HOCKICKO, P. : Poznaj brzdnú dráhu svojho auta, Katedry fyziky, Elektrotechnická fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Dostupné na internete: https://ufv.science.upjs.sk/_projekty/smolenice/pdf_13/17_hockicko.pdf

JANCO M. , 2011, Brzdná dráha, redakcia Autorubik, dostupné na internete: http://www.autorubik.sk/clanky/brzdna-draha/

JABLONICKÝ, J. - TKÁČ, Z. - KOSIBA, J. - HALENÁR, M. - OPÁLENÝ, P. Possibilities of evaluation of the tractor service brake. In Traktori i pogonske mašine. ISSN 0354-9496, 2015, vol. 20, no. 1, s. 50-54.

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

JURNEČKA, Ladislav: Opotřebení pneumatik osobních automobilů [online]., Brno: FSI, Vysoké učení technické, 2012. 48 s., Dostupné na internete: < https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/5060/opotrebeni%20pneumatik.pdf?sequence =1>

NOVOTNÝ, T., 2013. Vek pneumatiky je rovnako dôležitý ako dezén – Redakcia SME, článok dostupný na internetovej stránke: https://auto.sme.sk/c/6962786/vek-pneumatiky-je-rovnako-dolezity-ako-dezen.html

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

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

Tento príspevok sa zaoberá porovnávaním vlastností letných pneumatík a zimných pneumatík umiestnených na vozidle Toyota Yaris 1.0 VVTi. Boli porovnávané letné pneumatiky Dayton D110 s rozmermi 175/65 R14 a zimné pneumatiky Matador Sibir Snow s rozmermi 175/65 R14. Merania sa uskutočňovali z troch počiatočných úrovní rýchlosti vozidla, a to 40, 60 a 80 kilometrov za hodinu na suchej vozovke. Namerané hodnoty boli spracované prístrojom a nami porovnané a vyhodnotené. Z nameraných hodnôt bolo možné pozorovať, že predpoklady lepších brzdných vlastností v daných poveternostných podmienkach sa nenaplnili, keďže veľkú rolu zahrala kvalita zmesi a aj vek pneumatík, kedy o 10 rokov staršie ležné pneumatiky dosahovali výrazne horšie výsledky. Za daných okolností na suchom povrchu sa ako vhodnejšie ukázali novšie zimné pneumatiky. Z merania teda vyplýva, že dôležitým faktorom hlavne na suchom povrchu nie je len určenie pneumatík a hĺbka ich dezénu, ale aj vek a tvrdosť pneumatiky (ktorá sa zvyšuje starnutím pneumatiky).

Kľúčové slová: pneumatiky, vozidlo, brzdné spomalenie, spomalenie

VYTVORENIE APLIKÁCIE PRE IDENTIFIKÁCIU DÁT Z FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU
DESIGN OF SOFTWARE FOR PROCESSING AND EVALUATION OF DATA FROM A PHOTOVOLTAIC SYSTEM

DAVID RÓŽA – MATÚŠ BILČÍK

Abstract

Photovoltaic systems contain a lot of data that needs to be processed. These electronic data is usually processed into a graphical form that human understands and can see the most relevant information. Data files contain a huge amount of data that is processed by software. The focus of this thesis is to create sophisticated software that processes this data. The problem usually occurs when some data is missing. The software will have to deal with these problems and evaluate the data as reliably as possible. The key parameters of the software are reliability, fast response, compatibility, and a modern look. The aim is to create statistics for certain time periods for several variables. This software can be used as a teaching equipment and graphically displaying data from a small photovoltaic power plant.

Key words: solar energy, photovoltaics, software, photovoltaic system

1 Úvod

Slnečná energia je nepochybne jedným z najrozšírenejším zdrojom obnoviteľnej energie v súčasnosti. Fotovoltaické zariadenia prešli dlhoročným technickým vývojom a zdokonaľovaním, vďaka čomu dosahujú vyššiu účinnosť než kedykoľvek predtým. Nespornou výhodou fotovoltaických systémov je, že môžu byť implementované na rôzne existujúce budovy, v takmer akejkoľvek lokalite. Fotovoltaický systém vyžaduje okrem fotovoltaických panelov aj iné zariadenia, ktoré zabezpečia spoľahlivú prevádzku celého systému. Veľmi relevantnou súčasťou komplexu týchto zariadení je aj softvérové vybavenie na zapisovanie a vyhodnotenie dát.

V súčasnej dobe sa častokrát stretávame s enormnými objemami dát, výnimkou nie sú ani fotovoltaické systémy. Veľké objemy dát vyžadujú sofistikované spracovanie, zvyčajne pomocou rozličných softvérov a výpočtovej techniky. Bez logického spracovania by dáta človeku nedávali žiadny zmysel. Mnohé elektronické systémy, obzvlášť fotovoltaické, zapisujú dáta v pravidelných časových intervaloch. Efektívne vyhodnotenie dát je podmienené čo najlepšiemu porozumeniu problematiky fotovoltaických systémov.

Okrem logického spracovania a vytvorenia funkcií grafov bude zámerom navrhnúť a vytvoriť grafické rozhranie, ktoré bude mať prehľadný a moderný dizajn. Celkový účel aplikácie je užívateľa efektívne informovať o spracovaných údajoch a poskytnúť najrelevantnejšie informácie o fotovoltaickom systéme.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

2 Materiál a metódy

Fotovoltaický systém sa nachádza na budove pedagogickej fakulty, Masarykovej univerzity v Brne. Tento systém má inštalovaný výkon 40kWp. Obsahuje 8 fotovoltaických polí, z ktorých jedno je bifaciálne, jedno fotovoltaické pole integrované do fasády budovy a zvyšné sú monofaciálne fotovoltaické panely. Celková plocha FV systému je 337,2 m^2. Fotovoltaické panely sú pripevnené ku špeciálnej oceľovej konštrukcií s celkovou hmotnosťou 13 ton. Táto konštrukcia zaisťuje stabilitu celého systému a odolnosť voči poveternostným podmienkam. (Sládek, 2005)



Obr. 1 Fotovoltaický systém (tzb-info.cz, 2022)
Fig. 1 Photovoltaic system (tzb-info.cz, 2022)

Bifaciálne fotovoltaické panely ponúkajú viacero výhod v porovnaní s monofaciálnymi fotovoltaickými panelmi. Majú tendenciu mať vyššiu účinnosť v porovnaní s monofaciálnymi panelmi, pretože dokážu zachytiť svetlo na dvoch povrchoch. Sklo pokrýva prednú aj zadnú stranu modulu s antireflexnou vrstvou. Bifaciálne panely sú najužitočnejšie, keď sú nainštalované v blízkosti reflexných povrchov, ako sú napr. strechy alebo rôzne svetlo sfarbené povrchy budov. Práve vďaka tomu dosahujú najvyššiu možnú účinnosť. (Duval, 2021)



Obr. 2 Bifaciálny fotovoltaický panel (Bilčík, 2020)
Fig. 2 Bifacial photovoltaic panel (Bilčík, 2020)

Technické špecifikácie fotovoltaických modulov:

Tab. 1 Technické parametre modulu SI 72-110 (Solartec.eu, 2022)
Tab. 1 Technical parameters of SI-72-110 module (Solartec.eu, 2022)

Typ panelu	Monokryštalický - monofaciálny
Počet FV článkov	72 ks (4“ Si)
Maximálny výkon (Pmax)	110 Wp
Napätie pri Pmax	17,4 V
Maximálne napätie systému	760 V
Menovitý prúd pri Pmax	6,32 A

Tab. 2 Technické parametre modulu SBI2G 72-90BR-MC (Solartec.eu, 2022)
Tab. 2 Technical parameters of SBI2G-72-90BR-MR module (Solartec.eu, 2022)

Typ panelu	Monokryštalický - bifaciálny
Počet FV článkov	72 ks (4“ Si)
Maximálny výkon (Pmax)	90 Wp
Napätie pri Pmax	35,2 V
Maximálne napätie systému	600 V
Menovitý prúd pri Pmax	2,56 A

Hodnotu intenzity ožiarenia v blízkosti systému meriame pomocou zariadenia, ktoré sa nazýva pyranometer. Pyranometer je snímač, ktorý premieňa prijaté slnečné žiarenie na elektrický signál, ktorý je možné elektronicky merať. Pyranometer CMP11 použitý vo fotovoltaickom systéme má spektrálny rozsah od 285 do 2800 nm. Operačný rozsah teploty sa pohybuje od -40 do +80 °C. Možná denná odchýlka dosahuje menej ako 2%. Citlivosť je na úrovni 7 až 14 µV/W/m^2. Zariadenie pracuje s úrovňou presnosti 0,1%. (campbellsci.eu, 2022)



Obr. 3 Pyranometer CMP11 (campbellsci.eu, 2022)
Fig. 3 Pyranometer CMP11 (campbellsci.eu, 2022)

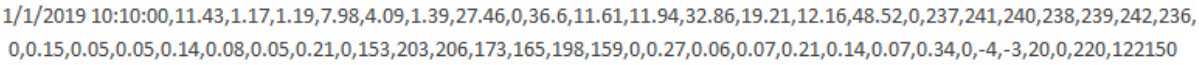
Veľmi podstatné zariadenie zakomponované do fotovoltaického systému je invertor. Je to zariadenie, ktoré premieňa jednosmerný elektrický prúd (DC) vytvorený fotovoltaickým systémom, na striedavý elektrický prúd (AC), ktorý je využiteľný v elektrickej sieti.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Tab. 3 Invertor FRONIUS IG (Fronius.com, 2022)
Tab. 3 Invertor FRONIUS IG (Fronius.com, 2022)

	IG 40	IG 60 HV
Menovitý výstup	3500 W	4600 W
Sieťové napätie	230 V	230 V
Max. účinnosť	94,3 %	94,3 %
Sieťová frekvencia	50 Hz	50 Hz
Max. vstupný prúd (DC)	29,4 A	35,8 A

Dáta fotovoltaického systému sú zaznamenávané v pravidelnom intervale, každých 5 minút. V každom riadku sú zaznamenané hodnoty, ktoré sú namerané systémom. Zapísané sú vo formáte súboru csv. Pri niektorých veličinách je zapísaných až 8 hodnôt. Tieto hodnoty sú zapísané v poradí, pre jednotlivé FV polia, od IG1 až po IG8. Tieto zápisy platia najmä pre: energiu, výkon, el. prúdy a napätia, a to vždy v poradí od IG1 po IG8. IG1 je bifaciálny panel, IG2-IG7 sú monofaciálne panely a IG8 je panel vo fasáde.


1/1/2019 10:10:00,11.43,1.17,1.19,7.98,4.09,1.39,27.46,0,36.6,11.61,11.94,32.86,19.21,12.16,48.52,0,237,241,240,238,239,242,236,
0,0.15,0.05,0.05,0.14,0.08,0.05,0.21,0,153,203,206,173,165,198,159,0,0.27,0.06,0.07,0.21,0.14,0.07,0.34,0,-4,-3,20,0,220,122150

Obr. 4 Dátový súbor vo formáte csv
Fig. 4 Data file in csv format

Dáta v súbore sú zapísané v nasledujúcom poradí:

- Dátum a čas – zapísané vo formáte mesiac, deň, rok, hodiny a minúty, oddelené medzerou, lomkami a dvojbodkami.
- Energia (pre FV polia IG1 až IG8) – Táto fyzikálna veličina vyjadruje elektrickú prácu vykonanú za jednotku času. Udávaná je v jednotkách W.h.
- AC výkon (pre FV polia IG1 až IG8) – činný výkon, udávaný vo wattoch (W).
- Sieťové napätie (pre FV polia IG1 až IG8) – spravidla dosahuje hodnotu okolo 230V. Uvádzané v jednotkách Volt (V).
- Striedavý prúd (pre FV polia IG1 až IG8) – elektrický prúd v elektrickej sieti. V jednotkách Ampér (A).
- Jednosmerné napätie (pre FV polia IG1 až IG8) – FV panely vytvárajú jednosmerné napätie, ktoré nemení v čase svoje polaritu. Uvádza sa vo voltoch (V).
- Jednosmerný prúd (pre FV polia IG1 až IG8) – z FV systému sa transformuje na striedavý prúd prostredníctvom invertora. Udávaný je v ampéroch (A).
- Teplota FV panelu – uvádzaná v °C.
- Vonkajšia teplota vzduchu – uvádzaná v °C.
- Intenzita slnečného ožiarenia – udáva sa v jednotkách $W.m^2$. Merané pomocou pyranometra.
- Rýchlosť vetra – uvádza sa v jednotkách km/h.
- Globálny osvit – uvádza sa v jednotkách $W.m^2$.

- Atmosférický tlak – v jednotkách hPa.

Cieľom bude vytvoriť z týchto dát aplikáciu, ktorá vyhodnotí údaje v grafickej podobe.

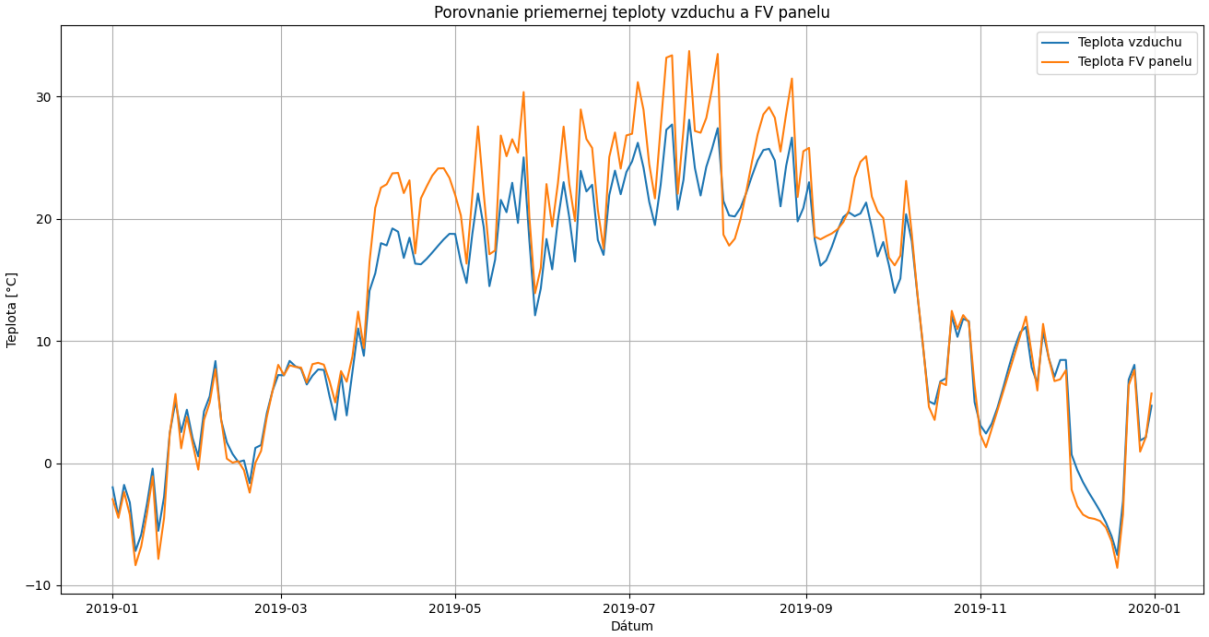
3 Výsledky a diskusia

Prvým cieľom bolo vytvorenie úvodného okna, ktoré oboznámi užívateľa s informáciami a vytvorí základnú stránku s prepojeniami na ostatné okná. Z úvodného okna je možné prejsť do zoznamov s grafmi, do galérie so snímkami fotovoltaického systému a zobraziť základné informácie o aplikácií.

V zoznamoch, v ktorých sa nachádzajú grafy pre jednotlivé veličiny je možné si vybrať interval zobrazenia dát. Intervaly sú určené pre niektoré veličiny ako ročné obdobia, celoročné priebehy sú dostupné pre všetky veličiny v zoznamoch.

Všetky grafy boli vytvorené pomocou aplikácie a obrázky, v ktorých sú interpretované, sú z tejto aplikácie. Grafy sú v tomto dokumente zámerne priložené v svetlom režime, v aplikácií je použitý tmavý motív.

Graf znázorňujúci celoročný priebeh denných priemerných teplôt:

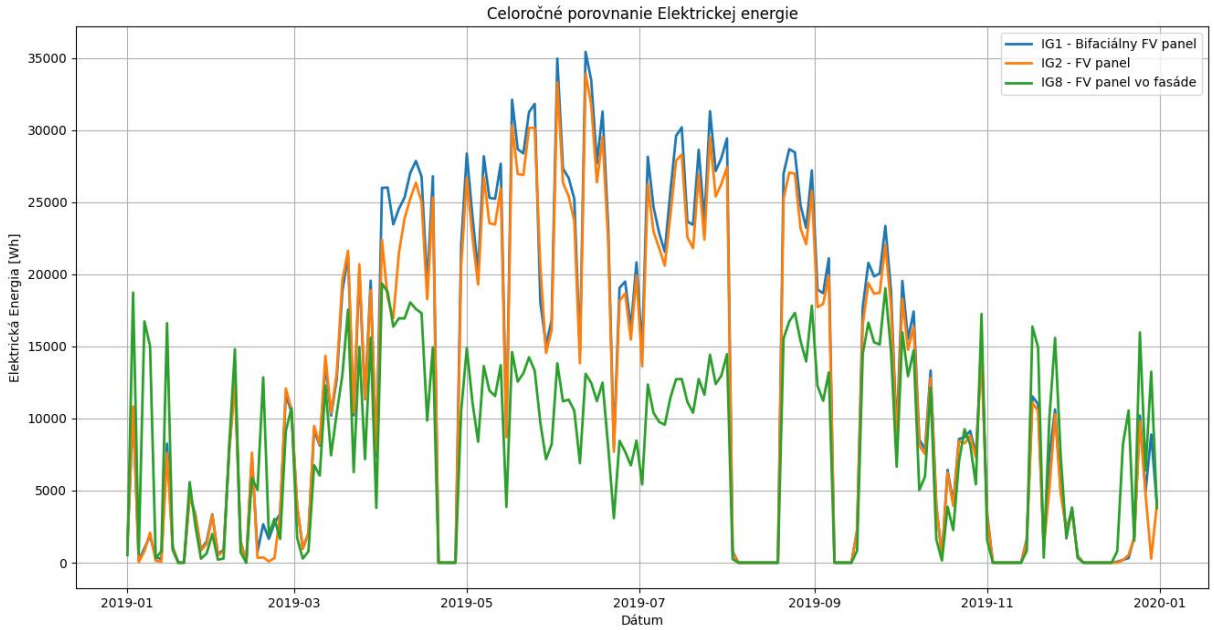


Obr. 5 Priemerná teplota vzduchu a FV panela
Fig. 5 Average air temperature and FV panel

V niektorých dňoch nastali výpadky zaznamenávania hodnôt. Z tohto dôvodu sme nemali úplne kompletný súbor dát z celého roka. Táto chyba mohla nastať napr. poruchou PC, ktorý zapisoval namerané hodnoty systému. Tento fakt sme nevedeli ovplyvniť, preto sme na chýbajúce dáta aplikovali funkciu lineárnej interpolácie pre chýbajúce hodnoty. Táto funkcia vyplnila prerušenia krivky v grafe, vďaka čomu nevznikali „diery" v grafoch.

Ďalšia veličina, pre ktorú sme vytvorili funkciu grafu, bola energia. Graf pre celoročný priebeh maximálnej zaznamenanej energie vyzeral takto:

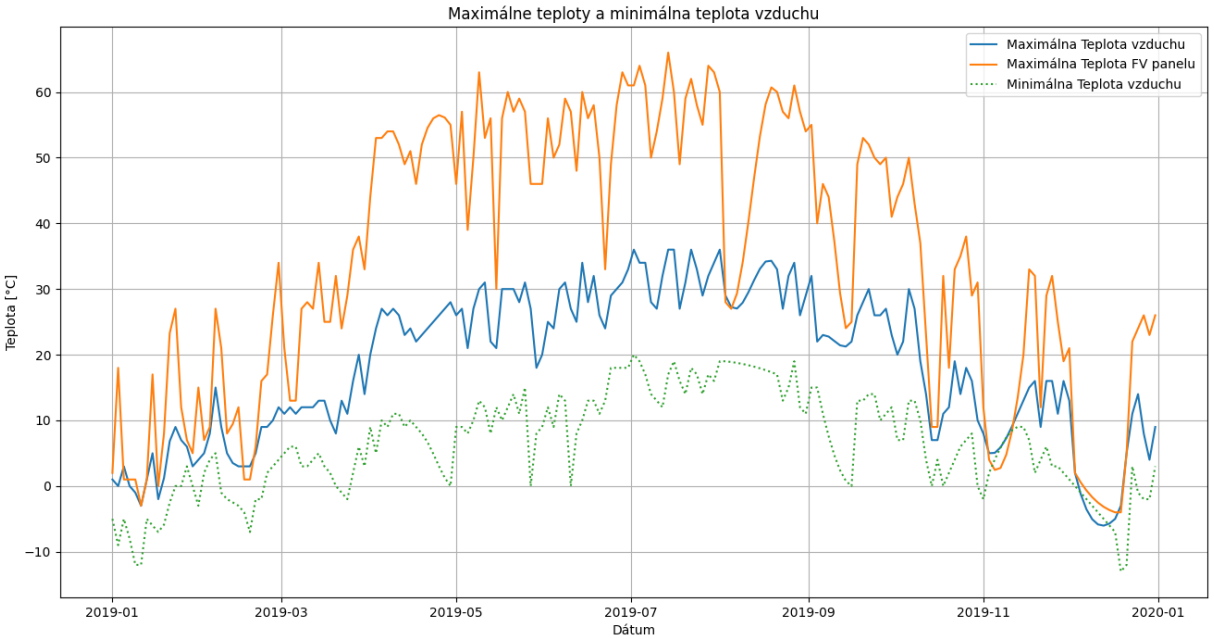
DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 6 Graf max. energie
Fig. 6 Max. energy graph

Na niektorých miestach v grafe môžeme vidieť nulové hodnoty. Tieto hodnoty značia výpadky záznamu systému. Najrozsiahlejší výpadok nastal v mesiaci august, bol zaznamenaný od 3. do 18. dňa v tomto mesiaci. V zimných mesiacoch dosahoval najvyššiu účinnosť práve fotovoltaický panel umiestnený vo fasáde, pretože je inštalovaný pod uhlom 90°. Tento sklon dosahuje v zimných mesiacoch najvyššiu účinnosť, v letných naopak - najnižšiu.

Nasledujúci graf (Obr. 7) znázorňuje maximálne zaznamenané hodnoty teplôt i minimálnu hodnotu teploty vzduchu.



Obr. 7 Maximálne a minimálne hodnoty teploty
Fig. 7 Maximum and minimal values of temperature

Maximálne hodnoty teploty fotovoltaického panelu dosahovali v letných mesiacoch až 60 °C. Táto teplota nie je ideálna pre panel. Kremíkové fotovoltaické panely pri takejto teplote dosahuje nižšiu efektivitu ako pri ideálnej teplote, ktorá je približne 25 °C.

Nasledujúci graf (Obr. 8) vyjadruje špičkové el. prúdy, ktoré pretekali cez fotovoltaické panely. Vyjadrené sú taktiež maximálne hodnoty. Charakteristika je nasledujúca:



Obr. 8 Špičkové el. prúdy (AC)
Fig. 8 Peak electric currents (AC)

Špičkové prúdy na jednotlivých paneloch dosahujú hodnotu až 17,5A. Bifaciálny dosahoval v letných mesiacoch mierne vyššie hodnoty, ako zvyšné panely. V prípade panelu vo fasáde platí taktiež tvrdenie, že v letných mesiacoch je jeho účinnosť nižšia, avšak v zimných vyššia, než pri zvyšných paneloch.

4 Záver

V aplikácií sme vytvorili množstvo grafov, porovnávali sme jednotlivé veličiny pre ročné obdobia či celý rok. Viaceré komparácie fotovoltaických polí dokazujú, že bifaciálny fotovoltaický panel je najúčinnejší. Zvýšená účinnosť sa podľa hrubých výpočtov pohybovala v letných mesiacoch okolo 10% v porovnaní s klasickým FV poľom. S klasickým FV poľom sme porovnávali aj fotovoltaické panely integrované vo fasáde budovy. Tieto FV panely preukazovali v zimnom ročnom období vyššiu účinnosť v porovnaní s ostatnými FV poľami. Rozhodujúci parameter v tomto prípade je odlišný uhol sklonu tohto FV poľa, nakoľko FV panely integrované vo fasáde sú inštalované pod uhlom 90°. Tento sklon práve v zimných mesiacoch zabezpečuje vyššiu účinnosť FV panelov. Celoročne tento sklon nie je výhodný, čo môžeme vidieť v letných mesiacoch. Pre celoročné využitie FV panelov je v rámci našej lokality najvýhodnejší sklon pod uhlom 45°.

Ďalšou podstatnou úlohou pri tvorbe grafov bolo vysporiadať sa s chýbajúcimi dátami. V súbore dát chýbalo niekoľko týždňov údajov, čo mohlo byť spôsobené chybou v počítači, ktorý zapisoval hodnoty do súboru. Chýbajúce dáta pre teploty sme doplnili pomocou lineárnej interpolácie, nakoľko v tomto prípade nebolo možné doplniť nulové hodnoty. Aby sa predišlo rozsiahlym výpadkom dát tohto systému, bolo by vhodné v budúcnosti zvýšiť spoľahlivosť systému, ktorý zapisuje dáta do csv súboru, prípadne častejšie kontrolovať tento systém.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Stanovený cieľ práce sme splnili a vytvorili sme kompletnú aplikáciu na spracovanie, vyhodnotenie a zobrazenie dát z fotovoltaického systému. Všetky dáta sme premyslene spracovali, prevzorkovali a vyhodnotili vo forme grafov. Grafiku všetkých okien a komponentov sme navrhli samostatne, v nástroji na návrh grafických rozhraní. Výsledkom práce je softvér, ktorý všetky funkcie, okná a komponenty zlúčil do jednej aplikácie, ktorá umožní užívateľovi získať rýchly prehľad o celoročných dátach z malej fotovoltaickej elektrárne.

5 Literatúra

BILČÍK, Matúš. 2020. Creation of the Photovoltaic System Power Model and Assessment of its Instalation Influence on the Agricultural Building Energy Balance: Vytvorenie výkonového modelu fotovoltaického systému a posúdenie vplyvu jeho inštalácie na energetickú bilanciu poľnohospodárskeho objektu : diplomová práca. Nitra: Slovenská Poľnohospodárska Univerzita. 227 s.

CMP11 Pyranometer. 2022. In CampbellSci [online]. © 2022 [cit. 2022-02-15]. Dostupné na: <https://www.campbellsci.eu/cmp11>

DUVAL, George. 2021. Bifacial Solar Panels: What Are They And How Do They Work. In Semprius.com [online]. © 2021 [cit. 2022-02-16]. Dostupné na: <https://www.semprius.com/bifacial-solar-panels/>

Fronius IG 40, IG 60 HV. 2022. In Fronius.com [online]. © 2022 [cit. 2022-02-25]. Dostupné na: <https://www.fronius.com/~/downloads/Solar%20Energy/Operating%20Instructions/42%2C0410%2C0827.pdf>

Photovoltaic power plant - Solartec Holding. 2022. In Solartec.eu [online]]. © 2022 [cit. 2022-03-05]. Dostupné na: <https://www.solartec.eu/en>

Pyranometers: What you need to know. 2022. In CampbellSci.com [online]. © 2022 [cit. 2022-02-16]. Dostupné na: <https://www.campbellsci.com/blog/pyranometers-need-to-know>

SLÁDEK, Petr. 2005. 40 kWp fotovoltaický systém na Pedagogické fakultě Masarykovy univerzity v Brně. In tzb-info.cz [online], © 2005 [cit. 2022-02-05]. Dostupné na: <https://www.tzb-info.cz/2815-40-kwp-fotovoltaicky-system-na-pedagogicke-fakulte-masarykovy-univerzity-v-brne>

Súhrn

Fotovoltaické systémy obsahujú množstvo údajov, ktoré je potrebné spracovať. Tieto elektronické údaje sú zvyčajne spracované do grafickej podoby, ktorej človek porozumie a môže vidieť najrelevantnejšie informácie. Dátové súbory obsahujú enormné množstvo údajov, ktoré spracováva softvér. Cieľom práce je vytvorenie sofistikovaného softvéru, ktorý tieto dáta spracuje. Problém nastáva zvyčajne vtedy, keď nejaké údaje chýbajú. Softvér sa bude musieť s týmito problémami vysporiadať a dáta vyhodnotiť čo najspoľahlivejšie. Kľúčovými parametrami softvéru sú spoľahlivosť, rýchla odozva, kompatibilita a moderný vzhľad. Cieľom je vytvoriť štatistiky za určité časové obdobia pre viacero premenných. Tento softvér je možné využiť ako učebnú pomôcku na grafické zobrazenie dát z malej fotovoltaickej elektrárne.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Kľúčové slová: slnečná energia, fotovoltaika, softvér, fotovoltaický systém

Chcem vyjadriť poďakovanie vedúcemu mojej práce Ing. Matúšovi Bilčíkovi, PhD. za hodnotné rady a pripomienky pri vytváraní tejto záverečnej práce.

SLEDOVANIE VPLYVU TEPLOTY NA VYBRANÉ VZORKY BRZDOVEJ KVAPALINY
MONITORING THE INFLUENCE OF TEMPERATURE ON SELECTED BRAKE FLUID SAMPLES

ADRIÁN ŠEVČÍK – PETER HLAVÁČ

Abstract

In the article, we focused on the analysis of temperature dependencies of rheological properties for a selected type of fluid in automobiles and the identification of deviations and their possible causes. The introductory section contains a general description of brake fluids and an overview of the authors who dealt with similar issues of brake fluids. The description also includes the characteristics of the measuring instruments and tests used. In this work, two samples of brake fluid and a description of the temperature dependencies of the measured rheological properties were processed by using the exponential function and the polynomial function of the second degree, to which regression equations, and also the coefficient of determination were applied. The second part is focused on comparing and identifying variations between properties and describing their possible causes. Based on the resulting findings, the overall condition of individual measured samples was determined and evaluated. The sample of used brake fluid had lower density, dynamic and kinematic viscosity values in the measured temperature range. Higher differences between both viscosities were obtained at lower temperatures, but approximately from 50 °C these values were almost identical. For the sample of used brake fluid was measured water content in this fluid, and the result showed increased water content of 3 % in the brake fluid which is unsatisfactory.

Key words: brake fluid, dynamic viscosity, kinematic viscosity, density, temperature

1 Úvod

Brzdová kvapalina patrí medzi najdôležitejšie kvapaliny v automobile z hľadiska bezpečnosti jazdy. Je potrebné túto kvapalinu v pravidelných intervaloch kontrolovať a meniť. Dlhodobé používanie brzdovej kvapaliny spôsobuje jej znečistenie, zmeny, pokles či nárast jej fyzikálnych vlastností (BK, 2016).

Cieľom našej práce bude analýza teplotných závislostí reologických veličín pre vybranú kvapalinu v automobiloch a identifikácia odchýlok a ich možných príčin.

Brzdová kvapalina slúži na prenášanie tlaku z brzdového pedálu na hydraulické komponenty v brzdách automobilu, a tým premieňa pohybovú energiu na tepelnú. Brzdová kvapalina patrí medzi najdôležitejšie kvapaliny v automobile, preto sú na ňu vyvíjané vysoké požiadavky (Čabák, 2016).

Rozdelenie brzdových kvapalín:

- **DOT 3** – je vytvorená na báze glykol-éteru. Je vhodná pre bežné vozidlá na typické účely. Nevýhody brzdovej kvapaliny DOT 3 spočívajú v pohlcovaní vlhkosti z okolia a nízkeho bodu varu.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

- **DOT 4** – s príchodom ABS systému bolo potrebné vytvoriť kvalitnejšiu brzdovú kvapalinu, ktorá odolá vyšším teplotám pri brzdení. DOT 4 je veľmi podobná DOT 3 vytvorená na báze glykol-éteru s prísadami, ktoré zvyšujú jej bod varu (Tab. 1). Používa sa pre motorky, závodné ale aj bežné vozidlá. Nevýhoda brzdovej kvapaliny DOT 4 spočíva v pohlcovaní vlhkosti z okolia.
- **DOT 5** – Tento typ brzdovej kvapaliny je vytvorený na báze silikónu, z toho dôvodu je nekompatibilný s iným typom brzdovej kvapaliny. Brzdová kvapalina DOT 5 nepohlcuje vlhkosť z okolia a pôsobí ako ochranný prostriedok proti korózii a poškodzovaniu materiálov. Tento typ kvapaliny je drahý a používa sa len pre navrhnuté vozidlá (Carley, 2019).
- **DOT 5.1** – je vytvorený na báze glykol-éteru, preto je podobná ako DOT 3 a 4, ale má vyšší bod varu ako kvapalina DOT 5 a nižšiu viskozitu (Carley, 2019).

Tab. 1 Suchý bod varu brzdovej kvapaliny po pohltení vody z okolia
Tab. 1 Dry boiling point of brake fluid after absorbing ambient water

Obsah vody [%]	Suchý bod varu [°C]
0	220
1	182
2	158
5	128

Problematikou brzdových kvapalín sa zaoberali aj iní autori ako napr. Kóňa (2017), ktorý vo svojej práci porovnával teplotné závislosti reologických vlastností dvoch značiek brzdových kvapalín DOT 3, alebo Májik (2015), ktorý porovnával teplotné závislosti reologických vlastností novej a použitej brzdovej kvapaliny DOT 5. Zahraniční autori ako Wright et al. (2017) vo svojej publikácií o ťažkej technike porovnával závislosti mnohých typov brzdových kvapalín, či Bu et al. (2018), ktorí zisťovali vplyv teplotných závislostí reologických vlastností brzdovej kvapaliny, ako hydraulického média na účinok brzdenia pomocou skúšobnej stolice.

2 Materiál a metódy

Brzdová kvapalina Starline DOT 4 je na báze glykolu. Brzdová kvapalina Starline je určená pre všetky typy kotúčových a bubnových brzdových systémov, osobných aj nákladných automobilov vrátane vozidiel s ABS, ktorých výrobca požaduje špecifikácie brzdovej kvapaliny DOT 4. Fyzikálne vlastnosti brzdovej kvapaliny môžeme vidieť v Tab. 2. Brzdová kvapalina nie je výbušná a neoxiduje, vyznačuje svojou priezračne žltou farbou (Obr. 3) (SBK, 2020).

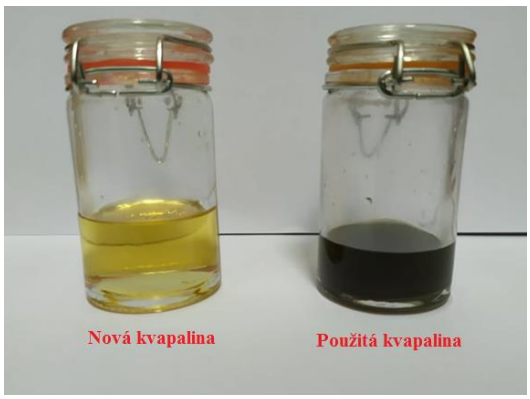
Vzorka použitej brzdovej kvapaliny Starline DOT 4 bola odobratá pri pravidelnej kontrole automobilu vo vybranom autoservise. Výmena použitej brzdovej kvapaliny Starline DOT 4 bola vykonaná po približne 22 000 km. Použitá brzdová kvapalina Starline DOT 4 bola odobratá z naftového automobilu. Použitá brzdová kvapalina Starline DOT 4 má tmavé sfarbenie (Obr. 1).

Tab. 2 Fyzikálne charakteristiky brzdovej kvapaliny Starline DOT 4
Tab. 2 Physical characteristics of Starline DOT 4 brake fluid

Meraná veličina	Teplota	Hodnota
Kinematická viskozita [$m^2 \cdot s^{-1}$]	- 40 °C	< 1800
Kinematická viskozita [$m^2 \cdot s^{-1}$]	40 °C	> 1,5
Relatívna hustota [$kg \cdot m^{-3}$]	-	1,06 – 1,08

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Bod varu [°C]	-	230 – 260

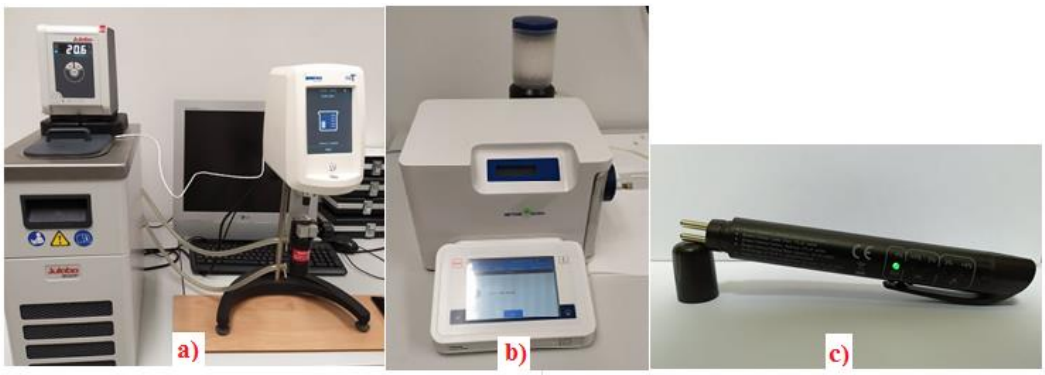


Obr. 1 Vzorky novej a použitej kvapaliny Starline DOT 4
Fig. 1 Samples of new and used Starline DOT 4 brake fluid

Viskozitu budeme merať rotačným viskozimetrom Brookfield DV2T s obehovým termostatom (Obr. 2a). Viskozimeter funguje na princípe merania krútiaceho momentu vretena otáčajúceho sa vo vzorke pri konštantnej rýchlosti. Pri meraní sme do adaptéra na vzorku vložili približne 15 ml brzdovej kvapaliny. Pri meraní v prípade potreby upravíme rýchlosť točenia vretena tak, aby sa krútiaci moment pohyboval vo vyhovujúcom rozpätí 10 % až 90 % (GTDV2T, 2019). Vzorky boli merané pri teplote 5 °C až do teploty 90 °C, po intervaloch 5 °C.

Hustotu budeme merať hustomerom Mettler Toledo DM40 (Obr. 2b). Hustomer funguje na princípe oscilácie U-trubičky, Táto trubica so vzorkou vibruje pri určitej frekvencii. Pri meraní sme do U-trubice hustomera vložili vzorku s približným objemom 10 ml (IIDM, 2019). Vzorky meriame pri teplote 0 °C do teploty 90 °C, po intervaloch 5 °C.

Test na obsah vody v brzdovej kvapaline budeme vykonávať pomocou Testeru brzdovej kvapaliny DEMA LED (Obr. 2c). Pred samotným meraním sondu ponoríme do vody, aby sme overili správnosť jeho funkcie. Pri obsahu vody 0 % sa rozsvieti zelená LEDka, ak obsah vody je od (1 – 2) % tak sa zároveň so zelenou LEDkou rozsvietia aj žlté LEDky. Ak by obsah vody v brzdovej kvapaline bol 3 a viac percent, tak sa zároveň so zelenou a žltou LEDkou rozsvietia červené LEDky, ktoré indikujú neakceptovateľný obsah vody v brzdovej kvapaline (NOBK, 2019).



Obr. 2 Obehový termostat s nerezovým kúpeľom a viskozimeter Brookfield DV2T, Hustomer Mettler Toledo DM40 a Tester brzdovej kvapaliny DEMA LED
Fig. 2 Circulation thermostat with stainless steel bath and Brookfield DV2T viscometer, Mettler Toledo DM40 Hustomer and DEMA LED brake fluid tester

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Pri meraniach bolo potrebné použiť vzorce na dopočítanie určitých reologických vlastností, ktoré boli (Janalík, 2010):

kinematická viskozita: $\nu = \frac{\eta}{\rho}$ (1)

tekutosť: $\varphi = \frac{1}{\eta}$ (2)

Kde: ν - kinematická viskozita, $m^2 \cdot s^{-1}$
η - dynamická viskozita, $Pa^{-1} \cdot s^{-1}$
ρ – hustota, $kg \cdot m^{-3}$

Where: ν - kinematic viscosity, $m^2 \cdot s^{-1}$
η - dynamic viscosity, $Pa^{-1} \cdot s^{-1}$
ρ – density, $kg \cdot m^{-3}$

Z nameraných hodnôt vytvoríme grafické závislosti vybraných veličín od teploty. Uvedené závislosti budeme modelovať pomocou regresných rovníc. Pri výbere typu regresnej rovnice bude dôležitý koeficient determinácie.
Pri závislosti dynamickej viskozity od teploty použijeme klesajúcu exponenciálnu funkciu:

$$\eta = D\, e^{-E(\frac{t}{t_o})} \quad (3)$$

Kde: D – koeficient regresnej rovnice, m.Pa.s
e – Eulerovo číslo, -
t – teplota, °C (t_o= 1 °C)

Where: D – regression equation coefficient, m.Pa.s
e – Euler´s number, -
t – temperature, °C (t_o= 1 °C)

Teplotnú závislosť kinematickej viskozity budeme modelovať tiež použitím klesajúcej exponenciálnej funkcie.

$$\nu = F\, e^{-G(\frac{t}{t_o})} \quad (4)$$

Kde: F – koeficient regresnej rovnice, $m^2.s^{-1}$
G – koeficient regresnej rovnice, 1

Where: F – regression equation coefficient, $m^2.s^{-1}$
G – regression equation coefficient, 1

V prípade závislosti hustoty od teploty aplikujeme klesajúcu polynomickú funkciu druhého rádu**:**

$$\rho = -A\,(\frac{t}{t_o})^2 - B\left(\frac{t}{t_o}\right) + C \quad (5)$$

Kde: A, B, C – koeficienty regresnej rovnice, $kg.m^{-3}$

Where: A, B, C – regression equation coefficents, $kg.m^{-3}$

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

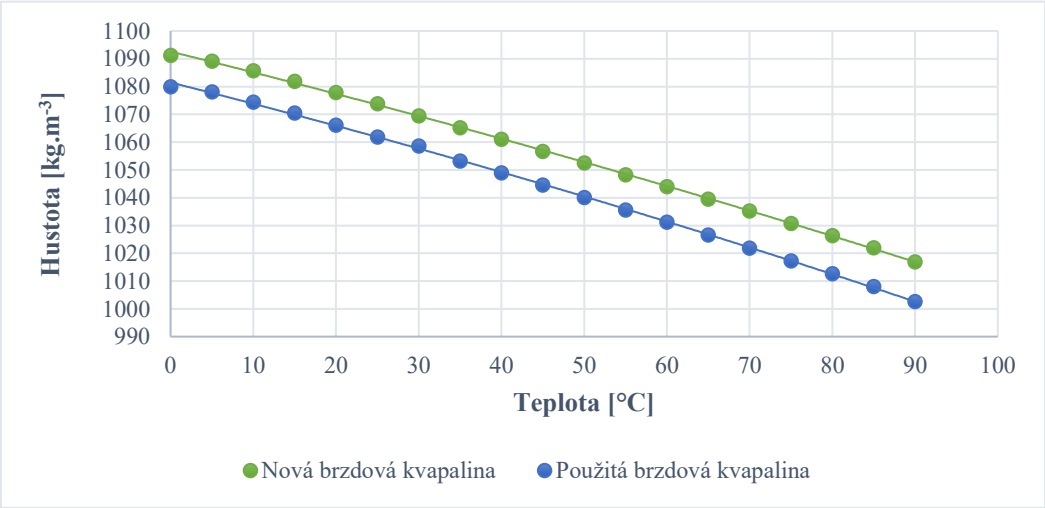
3 Materiál a metódy

V tejto kapitole sme uviedli popis a grafické znázornenie meraní dynamickej viskozity, kinematickej viskozity, hustoty a tekutosti skúmaných kvapalín, vzoriek použitej a novej brzdovej kvapaliny.

Z grafu závislosti hustoty použitej a novej brzdovej kvapaliny DOT 4 od teploty (Obr. 3) sme boli schopní sledovať rozdiel a trendy brzdových kvapalín pri ich zohrievaní s použitím klesajúcej polynomickej funkcie druhého stupňa (5). Koeficienty regresnej rovnice a koeficienty determinácie sú uvedené v Tab. 3. Vo svojej práci rovnaký typ funkcie použil aj Kóňa (2017).

Tab. 3 Koeficienty regresnej rovnice hustoty novej a použitej brzdovej kvapaliny DOT 4
Tab. 3 Density regression equation coefficients of new and used DOT 4 brake fluid

Vzorka	Koeficienty regresnej rovnice			
	A [kg·m^{-3}]	B [kg·m^{-3}]	C [kg·m^{-3}]	R^2
Použitý olej	0,0014	0,7511	1081,5	0,9996
Nový olej	0,0011	0,7387	1092,6	0,9996



Obr. 3 Teplotné závislosti hustoty novej a použitej brzdovej kvapaliny DOT 4
Fig. 3 Temperature dependences of the density of new and used DOT 4 brake fluid

Meraniami sme zistili, že použitá brzdová kvapalina dosahovala nižšie hustoty ako nová brzdová kvapalina. Rozdiel týchto kvapalín pri najnižšej meranej teplote 0 °C bol 11,2 kg·m^{-3}, pričom pri najvyššej meranej teplote 90 °C bol rozdiel 14,3 kg·m^{-3} Po dlhšom zisťovaní príčiny takýchto hodnôt sme dospeli k zisteniu, že pokles hustoty použitej brzdovej kvapaliny bol spôsobený zvýšeným percentom množstva vody v oleji z dôvodu pohlcovania vlhkosti z okolia. Touto problematikou sa zaoberal vo svojom článku aj Carley (2019), ktorý uviedol, že brzdová kvapalina na báze glykolu začína absorbovať vlhkosť z okolia pri vystavení kvapaliny vzduchu, cez mikroskopické póry v gumových hadiacich a starých tesneniach od okamihu, keď je vložená do brzdového systému (Carley, 2019).

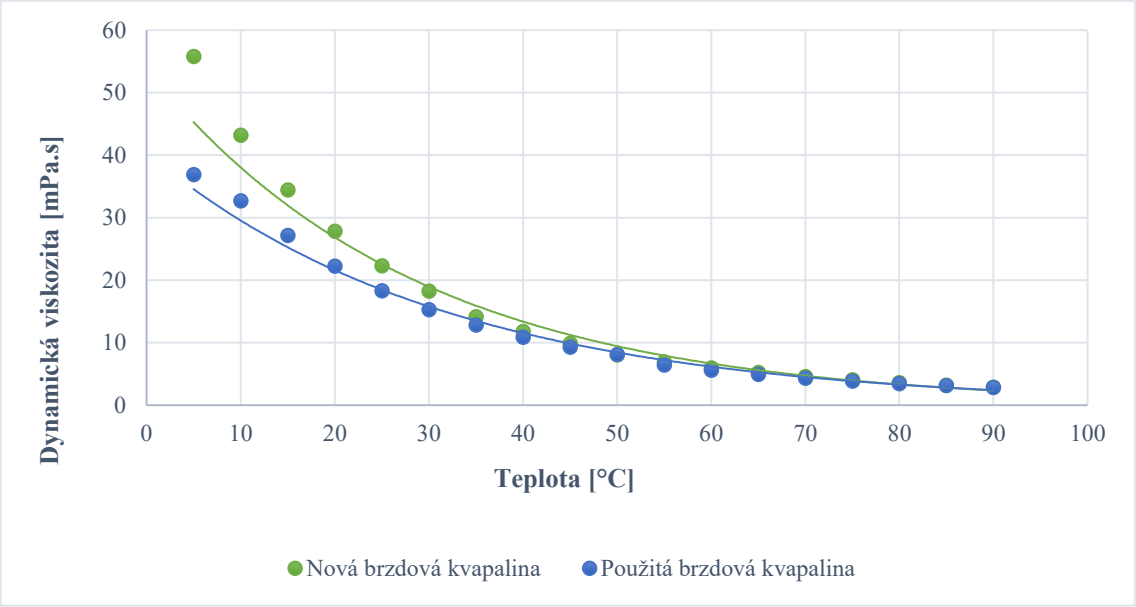
Z grafu závislosti dynamickej viskozity použitej a novej brzdovej kvapaliny DOT 4 od teploty (Obr. 4) sme boli schopní sledovať rozdiely a trendy dynamickej viskozity brzdových kvapalín pri ich zohrievaní s použitím klesajúcej exponenciálnej funkcie (3). Koeficienty regresnej rovnice a koeficienty determinácie sa nachádzajú v Tab. 4.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Tab. 4 Koeficienty regresnej rovnice dynamickej viskozity novej a použitej brzdovej kvapaliny DOT 4

Tab. 4 Coefficients of the regression equation of the dynamic viscosity of new and used brake fluid DOT 4

Vzorka	Koeficienty regresnej rovnice		
	D [mPa·s]	E [1]	R^2
Použitý olej	40,429	0,031	0,9915
Nový olej	53,899	0,035	0,9834



Obr. 4 Teplotné závislosti dynamickej viskozity novej a použitej brzdovej kvapaliny DOT 4

Fig. 4 Temperature dependences of the dynamic viscosity of new and used DOT 4 brake fluid

Výsledkom merania bolo, že použitá brzdová kvapalina dosahovala nižšiu viskozitu ako nová brzdová kvapalina. Dynamická viskozita použitej brzdovej kvapaliny pri najnižšej meranej teplote 5 °C dosahuje nižšie hodnoty ako nová brzdová kvapalina s rozdielom 18,9 mPa·s a s rozdielom tekutosti dosahujúcim 51,2 %. Pri najvyššej meranej teplote 90 °C bol rozdiel dynamickej viskozity medzi novou a použitou brzdovou kvapalinou 0,06 mPa·s a rozdiel v tekutosti dosiahol 2,1 %. Hodnoty dynamických viskozít brzdových kvapalín sa k sebe začali približovať od hodnoty približne 40 °C. Podobný klesajúci priebeh dynamickej viskozity v závislosti od teploty uviedli v článku Bu et al. (2018) a Májik (2015).

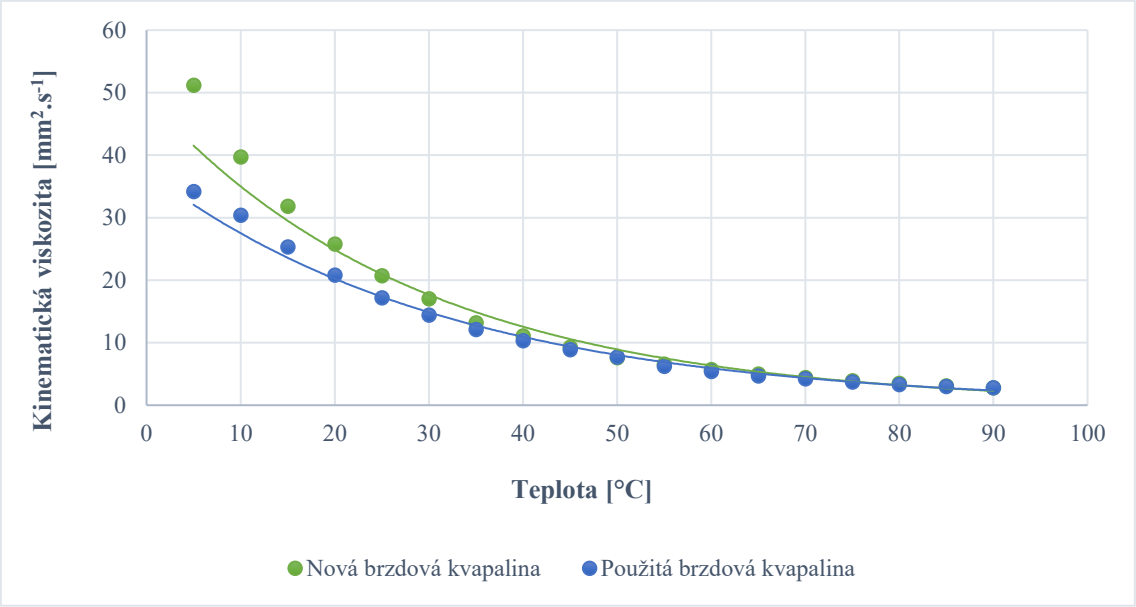
Na Obr. 5 je znázornená teplotná závislosť kinematickej viskozity brzdovej kvapaliny, kde môžeme vidieť podobný priebeh ako v prípade dynamickej viskozite brzdovej kvapaliny (Obr. 4), tiež s použitím klesajúcej exponenciálnej funkcie (4). Koeficienty regresnej rovnice sa nachádzajú v Tab. 5. Podobný priebeh závislostí zaznamenali aj iní autori ako Wright et al. (2017) alebo Kóňa (2017), ktorý vo svojej práci použil podobný priebeh závislostí kinematickej viskozity od teploty aj s použitím rovnakej exponenciálnej funkcie.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Tab. 5 Koeficienty regresnej rovnice kinematickej viskozity novej a použitej brzdovej kvapaliny DOT 4

Tab. 5 Coefficients of the regression equation of the kinematic viscosity of new and used brake fluid DOT 4

Vzorka	Koeficienty regresnej rovnice		
	F [$mm^2 \cdot s^{-1}$]	G [1]	R^2
Použitý olej	37,404	0,031	0,9915
Nový olej	49,266	0,034	0,983



Obr. 5 Teplotné závislosti kinematickej viskozity novej a použitej brzdovej kvapaliny DOT 4

Fig. 5 Temperature dependences of the kinematic viscosity of new and used DOT 4 brake fluid

Pri teplote 40 °C je minimálna hranica kinematickej viskozity brzdovej kvapaliny 1,5 $mm^2 \cdot s^{-1}$, maximálna hodnota kinematickej viskozity pri teplote - 40 °C je hodnota 1800 $mm^2 \cdot s^{-1}$ (SBK, 2020). Obe skúmané brzdové kvapaliny vyhovujú štandardom brzdových kvapalín. Avšak rozdiel medzi novou a použitou brzdovou kvapalinou pri najnižšej meranej teplote 5 °C dosahoval 17 $mm^2 \cdot s^{-1}$, a pri najvyššej meranej teplote 90 °C boli hodnoty kinematických viskozít rovnaké. Myslíme si, že tieto rozdiely pri nižších teplotách boli spôsobené zvýšením množstvom vody v brzdovej kvapaline.

Pre overenie našej teórie sme použitú brzdovú kvapalinu podrobili skúške pomocou testovacieho pera brzdovej kvapaliny. Rovnaký tester používal aj Vangelder, (2022) vo svojom článku pri zisťovaní obsahu vody v brzdovej kvapaline. Test odhalil zvýšený obsah vody v použitej brzdovej kvapaline. Na Obr. 6 môžeme vidieť rozsvietené LED svetlo červenej farby pri hodnote 3 %. Obsah vody v brzdovej kvapaline dosahuje hodnoty 3 %, čo je nevyhovujúca hodnota.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 6 Tester brzdovej kvapaliny DEMA LED indikujúci 3 % obsahu vody v brzdovej kvapaline DOT 4
Fig. 6 DEMA LED brake fluid tester indicating 3% water content in the DOT 4 brake fluid

4 Záver

Práca sa zaoberá problematikou teplotných závislostí reologických veličín pre brzdovú kvapalinu DOT 4. Pomocou grafického znázornenia môžeme sledovať teplotnú závislosť viskozity a hustoty od zvyšujúcej sa teploty. Zvyšujúcou sa teplotou nastáva pokles týchto fyzikálnych veličín, ktorý sme vyjadrili pre hodnoty viskozity klesajúcou exponenciálnou funkciou a polynomickou funkciou druhého stupňa pre hodnoty hustoty. K podobným závislostiam sa dopracovali aj iní autori (Májik, 2015; Kóňa, 2017; Wright et al. 2017; Bu et al., 2018). Taktiež na tieto funkcie boli aplikované regresné rovnice aj koeficienty determinácie. Koeficienty determinácie sa pohybovali v rozmedzí (0,9830 – 0,9996).

Z grafov hustôt a viskozít nameraných vzoriek novej a použitej brzdovej kvapaliny DOT 4 môžeme spozorovať pre vzorku použitej brzdovej kvapaliny nižšiu hustotu v celom rozsahu teplôt a zníženú viskozitu pri nižších teplotách. Tieto zmeny oproti vzorke novej brzdovej kvapaliny môžu byť spôsobené zvýšením obsahom vody v brzdovej kvapaline, ako vo svojom článku uviedol Carley (2019), že brzdové kvapaliny na báze glykolu začínajú pohlcovať vlhkosť z okolia cez gumené hadičky, mikroskopické póry a tesnenia už od okamihu, čo je kvapalina vložená do systému (Carley, 2019). Pre overenie tejto teórie sme vzorku použitého motorového oleja podrobili testu na obsah vody v brzdovej kvapaline ako použil aj Vangelder (2022), pomocou testeru, ktorý naše presvedčenie potvrdil. Vzorka použitej brzdovej kvapaliny obsahuje 3 % vody, čo je nevyhovujúce a nebezpečné. Carley (2019) vo svojom článku uviedol, že brzdová kvapalina DOT 4 nasáva vlhkosť z okolia pomalšie, ale pri akumulácii vlhkosti brzdová kvapalina DOT 4 trpí výrazným poklesom teploty varu. Obsah vody 3 % v brzdovej kvapaline znižuje teplotu varu o 50 % (Carley, 2019), čo z pôvodného bodu varu 230 °C spôsobí pokles na teplotu 115 °C. V tomto prípade by bolo vhodné skrátiť interval výmeny brzdovej kvapaliny.

Z pohľadu kontroly kvality a bezpečnosti je výskum vlastnosti reologických veličín prevádzkových kvapalín v automobiloch dôležitou súčasťou prevencie a zabezpečenia efektívneho a bezporuchového chodu automobilov. Avšak ide o širokú tému s množstvom možností a rozličných analýz, vhodných k podrobnejšiemu spracovaniu.

5 Literatúra

BK. 2016. Brzdová kvapalina. [online] [Cit.26.10.2019] Dostupné na: <http://www.awcar.sk/?Rady_a_n%E1vody:Brzdov%E1_kvapalina>.

BU, Weiyang – SHEN, Guang – Qiu, - Haifeng – LIU, Chunbao. 2018. Investigation on the dynamic influence of thermophysical properies of tranmission medium on the internal flow field for hydraulic retarder. In International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 126, no. 1, pp. 1367-1376 ISSN 0017-9310

CARLEY, Larry. 2019. Why Change Brake Fluid?. [online] [Cit.26.10.2019] Dostupné na: <https://www.aa1car.com/library/bfluid.htm>.

ČABÁK, Maroš. 2016. Pár zaujímavostí o brzdovej kvapaline. [online] [Cit.26.10.2019] Dostupné na: <https://www.topspeed.sk/par-zaujimavosti-o-brzdovej-kvapaline/10504>.

GTDV2T. 2019. Gel Timer DV2T Instrument. [online] aktualizované 2019. [cit.10.6.2020] Dostupné na: <https://www.brookfieldengineering.com/products/viscometers/gel-timer-instruments/gel-timer-dv2t-viscometer>.

IIDM. 2019. Instruction information density meters DM40. [online] [cit.2.11.2019] Dostupné na: <https://pim-resources.coleparmer.com/instruction-manual/33333-34-36-manual.pdf>.

JANALÍK, Jaroslav. 2010. Viskozita tekutin a její merení. Vysoká Škola Báňská-Technická Univerzita Ostrava, 2010. 91 s.

KÓŇA, Róbert. 2017. Skúmanie teplotnej stability technických kvapalín pri prevádzkových teplotách, zdroj: diplomová práca. Nitra : SPU. 57 s.

MÁJIK, Andrej. 2015. Analýza vplyvu teploty na reologické vlastnosti brzdových kvapalín, zdroj: diplomová práca: Nitra : SPU. 64 s.

NOBK. 2019. Návod na obsluhu tester brzdovej kvapaliny. [online] [cit.3.2.2020] Dostupné na: <https://www.uni-max.sk/getmedia/44ff1e3a-32ab-4581-a29b-fecb55da919c/sk_6512_01?ext=.pdf>.

SBK. 2020. STARLINE Brzdová kvapalina DOT 4. [online] aktualizované 2020 [cit.10.6.2020] Dostupné na: <https://www.autokelly.sk/File/AKX0/B64555EE-901B-ADD5-B003-EBEB01595FA2.PDF>.

VANGELDER, Kirk. 2022. Fundamentals of Automotive Techlogy. Burlington, Massachusetts: Jones & Bartlett Learning. 1344 s. ISBN 978-1-284-25158-6.

WRIGHT, Gus – DUFFY, Owen – HEARD, Scott. 2017. Fundamentals of Mobile Heavy Equipment. Burlington, Massachusetts: Jones & Bartlett Learning. 112 s. ISBN 978-1284112917

Súhrn

V práci sme sa zaoberali analýzou teplotných závislostí reologických veličín pre vybraný druh kvapaliny v automobile a identifikáciou odchýlok a ich možných príčin. Úvodná časť obsahuje všeobecný popis brzdových kvapalín a prehľad autorov, ktorí sa zaoberali podobnou problematikou brzdových kvapalín. V rámci popisu je taktiež zahrnutá aj charakteristika použitých meracích prístrojov a testov. V práci boli spracované dve vzorky brzdovej kvapaliny a opis teplotných závislostí meraných reologických veličín s použitím exponenciálnej funkcie a polynomickej funkcie druhého stupňa, na ktoré boli aplikované regresné rovnice a tiež koeficient determinácie. Druhá časť sa zameriavala na porovnanie a identifikáciu odchýlok medzi vlastnosťami a popis ich možných príčin. Na základe výsledných zistení, bola stanovená a zhodnotená celková kondícia jednotlivých meraných vzoriek. Vzorka použitej brzdovej kvapaliny mala nižšiu hodnotu hustoty v meranom teplotnom rozsahu a zníženú hodnotu viskozity po teplotu približne 50 °C, kedy sa hodnoty k sebe začali približovať. Vzorka bola podrobená meraniu na obsah vody v brzdovej kvapaline, ktorý preukázal zvýšený nevyhovujúci obsah vody 3 % v brzdovej kvapaline.

Kľúčové slová: brzdová kvapalina, dynamická viskozita, kinematická viskozita, hustota, teplota

ROBOTY ABB A ICH ČINNOSŤ
ABB ROBOTS AND THEIR OPERATION

MATÚŠ ŠTEFÁK

Abstract

This scientific article describes the basic principles and functional parts of robots and manipulators in industry and special technology. It provides information on the basic types of robots of the selected ABB company and describes its history and the use of robots. It also explains the problems of robots, their parts and their use. It explains the movements that the robot performs and the axes in which it works. In the second part of the comparison method of offline and online programming and so make a better decision when choosing a suitable method.

Keywords: robot, ABB, offline programming, online programming, robot parts

1 Úvod

Odhaduje sa, že len v Nemecku bude v roku 2040 chýbať na pracovnom trhu okolo 10 miliónov ľudí. Niet preto divu, že v nedávnom prieskume 84 % nemeckých odborníkov na priemysel označilo masívny nástup robotov a cobotov za jasnú vec. V sektore automotive sa globálne očakáva čoraz väčší dôraz na tri hlavné technológie.

Robotika nás sprevádza v našom svete už veľmi dlho. Slovo „robot“ prvý krát použil Karol Čapek v jeho divadelnej hre R.U.R ktorú napísal v roku 1920. Slovo „robot“ teda tento rok oslavuje storočnicu. Aj keď sa samotné slovo nezmenilo, to ako človek vníma robota a čo robot dokáže prešlo veľkým vývinom.

Za začiatok robotiky, ako ju poznáme, môžeme považovať robotickú kačicu pochádzajúcu z Francúzka. Kačica dokázala gágať, mávať krídlami a konať niekoľko pohybov špecifických pre kačku. Táto kačka však bola na míle vzdialená moderným robotom. Dnes môžeme roboty nájsť na každom rohu. Doma, v laboratóriách, nemocniciach, na farmách či vo výrobe.

2 Materiál a metódy

Ľudia sa snažia roboty naprogramovať tak, aby zvládali operácie na ľudskej úrovni. Existujú **tri hlavné kategórie**, v ktorých sa robotika vyvinula.

1. Spolupráca medzi robotom a človekom

Ľudia často vnímajú robotov ako niečo, čo ich má nahradiť. To však nie je pravdou. Budúcnosťou sa ukazujú kolaboratívne roboty, ktoré spolupracujú s ľuďmi. Takéto roboty spájajú ľudskú precíznosť a mechanickú presnosť. Zvýšenie počtu snímačov umožňuje nasadzovať roboty aj na miesta, kde by doteraz neboli schopné pracovať. Takéto roboty sa dokážu prispôsobiť podmienkam, ktoré vládnu okolo a v závislosti od toho napríklad meniť svoje pohyby.

2. Zlepšenie autonómneho pohybu

V súčastnosti je väčšina robotov okolo nás „nehybná“. Vykonáva operácie na jednom mieste alebo iba na vyhradenej trase ako autonómne dopravné vozíky (AGV) vo fabrikách. Len malé percento robotov sa môže pohybovať relatívne voľne. Takéto „voľné“ roboty by sa v

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

budúcnosti mohli používať napríklad na doručovanie zásielok na malé vzdialenosti v mestách. V súčastnosti sa takéto technológie už využívajú v oblastiach, kde je malá šanca, že sa robot poškodí. V jednom s našich nedávnych článkov sme tiež predstavili voľne sa pohybujúceho robota „Spota" od spoločnosti Boston Dynamics.

3. Inteligentnejšie roboty

Inteligencia robotov je priamo úmerná množstvu použitých snímačov. Druhá strana mince je však softvér. Programátori z celého sveta ustavične pracujú na čo najlepšej umelej inteligencii, ktorá by sa dokázala priblížiť chovaniu človeka. Pre robotov sú však ťažké aj pre nás pomerne jednoduché úlohy ako rozlišovanie objektov. Sú však aj oblasti, kde sa roboty nikdy nepriblížia ľuďom. Prežívanie smútku či radosti sa roboty pravdepodobne nikdy nedočkajú

Robot je automatický alebo počítačom riadený integrovaný systém, schopný autonómnej, cieľovo orientovanej interakcie s prirodzeným prostredím, podľa inštrukcií od človeka. Táto interakcia spočíva vo vnímaní a rozpoznávaní tohto prostredia a v manipulovaní s predmetmi, popr. v pohybovaní sa v tomto prostredí.
Robot sa skladá z nasledujúcich častí:

- základný prístroj
- senzory
- efektor (uchopovač)
- riadenie
- programovací prístroj

Základný prístroj je zostrojený z pevných častí, ktoré sú medzi sebou spojené otočnými kľbmi alebo lineárnymi osami. Pohon sa väčšinou uskutočňuje pomocou elektromotora, ktorý je vybavený meracím systémom. Meracie systémy zaznamenáva polohu , rýchlosť a zrýchlenie pohybov osí.

Efektor je pracovná časť základného prístroja. Manipuláciou je možné vykonávať pomocou uchopovača, nástroja alebo zariadenia.

Manipulovanie znamená niečo uchopiť, upnúť, uložiť, s niečím pohnúť , polohovať alebo priniesť na dané miesto.

Senzory nám slúžia na zaznamenávanie signálu. Môžu byť pripojené priamo k riadeniu robota. Signály spracovávaju interne. Senzory sa používajú napr. na určenie určitej polohy alebo rozpoznávanie obrobkov.

Riadenie koordinuje naprogamovaný priebeh pohybu. Pohybu osi pritom musia byť zasúladené.

Ručné programovacie prístroje slúžia na uvedenie do prevádzky a precízne zladenie priamo na mieste.

Pri výrobnom procese preberajú prístroje úlohy z oblasti:

- prepravy
- obrábania
- montáže
- zabezpečenia kvality

Roboty musia pre zvládnutie ich manipulačných úloh vykonávať rôzne pohyby.
Rozlišujeme ich na:

- Lineárne (translačné) pohyby
- Otáčavé (rotačné) pohyby

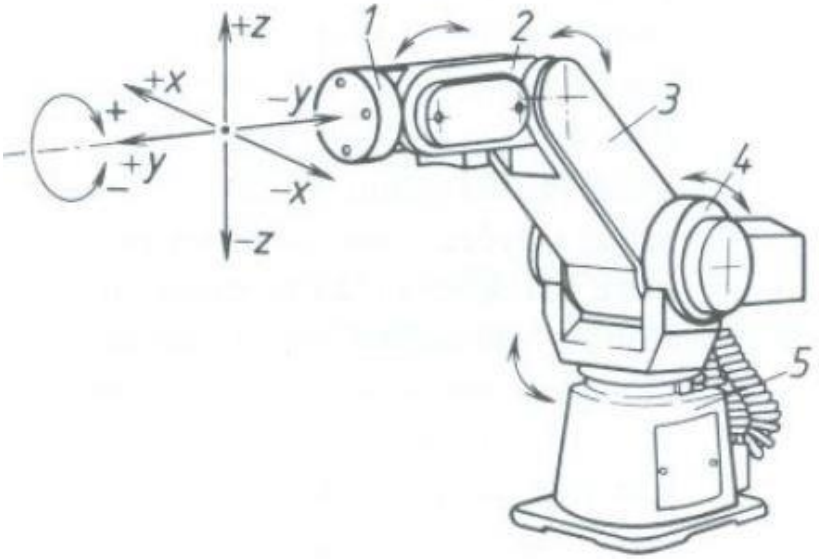
Existuje maximálne 6 od seba nezávislých možností pohybu. Tieto sa označujú aj ako **stupne voľnosti**. Pre voľný pohyb telesa v priestore potrebujeme:

3 translačné pohyby X,Y,Z a 3 rotačné pohyby A,B,C.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Roboty sa rozlišujú na základe ich kinematiky. Pod kinematikou rozumieme usporiadanie pohyblivých osí. Pritom sa osi rozdelujú na:

- T-osi (translačné)
- R-osi (rotačné)



Obr. 1 Osi robota
Fig. 1 Robot axis

Roboty následne delíme ešte na:

- Portálové roboty
- Roboty s otočným ramenom
- Roboty s kľbovým ramenom

Portálové roboty majú tri translačné osi (TTT-kinematika) a v dôsledku toho majú dve rotačné a jednu translačnú os .Používajú sa na nakladanie a vykladanie, ako aj na jednoduché montážné práce.

Roboty s otočným ramenom majú dve rotačné a jednu translačnú os (RTT-kinematika) . Sú špecialne vyvinuté pre montáž Roboty s otočným ramenom sa označujú aj ako SCARA roboty čož je skratka pre Selective Compliance Assembly Robot Arm (v preklade rameno robota špeciálne vyvinuté pre montáž, s cielenou ohybnosťou) . Vďaka usporiadaniu osí môže robot veľmi presne pracovať vov vertikálnom smere a vyvinúť vysokú silu pri spojovaní dielov . V horizontálnom smere je ohybný .

Roboty s kľbovým ramenom majú tri rotačné osi (RRR-kinematika). Vďaka ich pohyblivosti a rýchlosti sú univerzálne použiteľné.

Najdeme ich vo výrobe ako zváracie roboty , ako prepravné roboty medzi strojmi alebo pri osádzaní dosiek plošných spojov.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



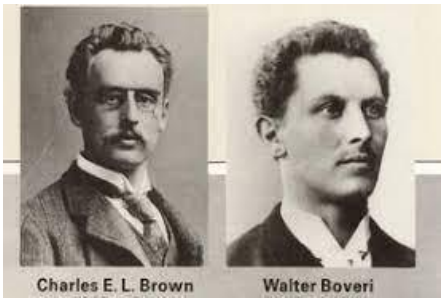
Obr. 2 Robot spoločnosti ABB
Fig. 2 ABB Robot

História ABB

ABB, spolu s jej zakladajúcimi spoločnosťami, je inovatívnou firmou so skúsenosťami a znalosťami, ktoré sa formujú už viac ako 130 rokov. Inovácie sú v našej DNA už od počiatkov elektriny samotnej. Odvtedy sa snažíme posúvať hranice technológií na novú úroveň.

BBC

Písal sa rok 1891 keď Charles E. L. Brown a Walter Boveri sa rozhodli že založia vo švajčiarskom meste Baden spoločnosť Brown, Boveri & Cie. Krátko na to sa Brown Boveri stala prvou firmou, ktorá prenáša elektrinu vysokonapäťovou prepojenou sústavou .



Obr. 3 Zakladatelia spoločnosti Brown, Boveri & Cie
Fig. 3 Brown, Boveri & Cie founders

V roku 1901 BBC zostrojila prvú parnú turbínu v Európe. V roku 1943 zostrojila prvý vysokorýchlostný 110 kV tlakovzdušný vypínač. A v roku 1971 zase BBC najvýkonnejší transformátor na svete s výkonom 1 300 MVA.

ASEA

Písal sa rok 1883 ked Ludvig Fredholm založil v Štokholme spoločnosť Elektriska Aktiebolaget na výrobu elektrického osvetlenia generátorov. V roku 1889 Jonas Wenström vynašiel trojfázový systém pre generátory, transformátory a motory. V roku 1932 ASEA vybudovala najväčší samochladiaci transformátor na svete s výkonom 2 500 kVA. Prvá atómová elektráreň vo Švédsku bola vybudovaná v roku 1972 a bude nasledovať ešte ďalších 9 z celkovo 12 reaktorov v krajine.

Najväčší prelom sa stáva keď v roku 1988 sa firmy BBC a ASEA spájajú a vytvárajú tak už pre nás známu firmu ABB ktorá má sídlo v Zürichu. Následne ABB spustila svoju činnosť k 5. januáru 1988 so 160 000 zamestnancami a tržbami vo výške 17 miliárd USD. Rok 1998 je významný udalosťou uvedenia na trh prvého robota s FlexPicker od tejto spoločnosti.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Je to delta robot vyvinutý špeciálne pre aplikácie odoberania a balenia. V roku 2008 ABB vytvorili NorNed, najdlhší podmorský HVDC kábel na svete o dĺžke 580 km, spája elektrickú sieť Nórska a Holandska s prenosovým výkonom 700 MW. V roku 2015 ABB predstavila trhu prvého skutočne kolaboratívneho robota na svete : YuMi . Inovatívny dvojramenný robot,ktorý dokáže pracovať bok po boku s človekom, otvoril dvere automatizácie úplne novým priemyselným segmentom.

ABB v roku 2017 prichádza na trh s ABB Ability – ponukou digitálnych riešení, ktoré spájajú zákazníkov s fenoménom internetu vecí . ABB Ability premieňa získavané dáta do náležitej reakcie a vytvára pre zákazníka novu novú pridanú hodnotu. Spoločnosť ABB je poprednou spoločnosťou vo svete digitálnych a automatizačných technológií, ktorá zamestnáva 105 000 ľudí. Spoločnosť je aktívna približne v 100 krajinách s hlavným sídlom v Zurichu. Akcie sú obchodované na burzách v Zurichu, Štokholme a New Yorku. Činnosť spoločnosti je rozdelená do 4 oddelení.

Spoločnosť ABB v dnešnej podobe vznikla v roku 1988, jej história však siaha až do 19. storočia. Úspech ABB tkvie predovšetkým v silnom zameraní sa na výskum a vývoj, vďaka čomu firma v priebehu ostatných 130 rokov mohla predstaviť viacero technologických noviniek a inovácií.

3 Výsledky a diskusia

Metódy programovania:

1. Programovanie robota offline je metódou, pri ktorej sa nepracuje priamo na pracovisku, ale vo **virtuálnom 3D prostredí** s pri ktorom dochádza k využitiu počítačovej simulácie. Pre programovanie sú teda potrebné 3D modely robota, efektora a pracoviska na ktorom robot pracuje. Dôležité je, aby rozmiestnenie jednotlivých modelov čo najviac odpovedalo realite.

Výsledkom je animácia robota ktorá zobrazuje vykonávanie zadaných inštrukcií. Prostredníctvom simulácie programátor môže otestovať logiku programu a pohyby jednotlivých kĺbov, ako aj vizuálne overiť funkčnosť programu pred jeho aplikovaním na reálneho robota.

Tab. 1 Výhody a nevýhody offline programovania
Tab. 1 Advantages and disadvantages of offline programming

Výhody offline programovania	Nevýhody offline programovania
Minimalizácia strát vo výrobe – nie je potrebné rušiť prevádzku robota pretože program je vytváraný vo virtuálnom prostredí a tak reálny robot môže fyzicky pracovať na danom pracovisku.	Presnosť 3D modelov – počítačové modely a ich umiestnenie v priestore nemusia úplne odpovedať realite. Program sa z tohto dôvodu dodatočne dolaďuje ešte priamo na pracovisku. Tento celý proces preto trvá dlhšie ako pri online programovaní.
Relatívna jednoduchosť – práca v simulačnom softvéri je intuitívna a manipulácia jednoduchá.	Potreba dodatočného testovania programu – simulácia nemusí byť schopná odhaliť všetky problémy a kolízie.
Testovanie niekoľkých variant programu – tvorba a testovanie niekoľkých variant programu predlžuje čas potrebný na programovanie, čo je v prípade online programovania nevýhodné.	Závislosť na funkčnosti softvéru – technické problémy so samotným softvérom môžu znemožniť programátorovi prácu.

2. Online programovanie prostredníctvom Teach pendantu (jednotka ručného riadenia)
Programovanie pomocou Teach pendantu je pravdepodobne najrozšírenejšia forma programovania robotov, pripomína tablet, prostredníctvom ktorého dochádza k ovládaniu jednotlivých kĺbov robota a všetkých jeho dostupných funkcií. Pomocou Pendantu programátor dokáže presúvať robota do jednotlivých pozícií a ukladať ich do programu. Teach Pendant je často dodávaný ako príslušenstvo ku robotom. Programovanie robota je veľmi precízne, pretože je možné zadávať presné súradnice v ľubovoľnom súradnicovom systéme ako aj natočiť jednotlivé kĺby robota presne podľa potreby.

Tab. 2 Výhody a nevýhody online programovania
Tab. 2 Advantages and disadvantages of online programming

Výhody online programovania	Nevýhody online programovania
Práca priamo na pracovisku – programátor pracuje v reálnom fyzickom prostredí, vďaka čomu má prehľad o umiestnení robota, prekážkach a podobne. Vie odhaliť a pružne reagovať na možné kolízie.	Straty vo výrobe – nakoľko robot počas tvorby alebo úprav programu nemôže pracovať vzniká z ekonomického pohľadu zníženie produkcie.
Testovania programu počas programovania – možnosť otestovania funkčnosti a efektivity programu priamo počas programovania. Možnosť reagovať na problémy pri plánovaní a doladenie niektorých častí.	Náročnosť programovania – v prípade dlhých pracovných cyklov a komplikovaných pohybov môže byť programovanie pre programátora fyzicky obtiažne.

4 Záver

Roboty prešli dlhým vývojom dokiaľ sa dostali do podoby akej ich poznáme dnes. Vzhľad robotov aj ich funkčné vlastnosti závisia od účelu použitia požadovaných technických parametrov. Pri práci s robotom musíme zvážiť aj vplyv rizík, nebezpečenstvá ktoré pôsobia na okolie počas práce s robotom. Aby sme neboli vystavení riziku nebezpečenstva musíme byť chránení integrálnymi krytmi (napr. krytom umiestneným cez prevodovku), pevnými alebo ochrannými krytmi.

Roboty sa stále viac stávajú našimi každodennými pomocníkmi. Inteligentnejšie roboty, autonómna mobilita či spolupráca medzi robotom a človekom sú hlavné kategórie, v ktorých sa robotika zlepšila. Naše roboty sú ale na míle ďaleko od tých zo sci-fi filmov. Raz sa možno dočkáme robotov, ktoré budú okolo nás chodiť po ulici. To je však budúcnosť, a tak zatiaľ roboty naďalej doma vysávajú, zvárajú automobily a pracujú na miestach pre človeka nebezpečných.

Táto práca podáva zhrnutie základných druhov robotov, ich častí, podáva informáciu o spoločnosti ABB ktorá sa špecializuje na priemyselnú robotickú techniku, popisuje jej históriu. Druhá časť práce prináša porovnanie offline a online metódy programovania. Sprostredkováva výhody a nevýhody offline a online programovania, každá táto metóda má svoje silné stránky, s ktorými sa spájajú aj slabé stránky a preto pri výbere správnej metódy je potrebné zvážiť všetky požiadavky kladené na výrobu. Potrebné je zvoliť si na základe toho či je preferenciou programovanie priamo na pracovisku a tým pružné reagovanie na riziko kolízii a chýb, avšak za cenu určitých strát vo výrobe. Alebo sa zvolí offline programovanie bez strát vo výrobe, ktoré prebieha vo virtuálnej realite s rizikom odchýlok od skutočného stavu a nutnosti prípadného doladenia programu priamo na mieste.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

5 Literatúra

História ABB. 2022. ABB [online]. © 2022 [cit. 2022-03-31]. Dostupné na: <https://new.abb.com/sk/o-nas/abb-v-skratke/historia>.

Maixner, L. et al. 2006. Mechatronika. Brno: Computer press. 280s. ISBN 80-251-1299-3

Matúš, M. 2016. ABB odhaľuje pomocou PixelPaint budúcnosť originálneho lakovania automobilov [online]. © 2022 [cit. 2022-03-31]. Dostupné na: <https://www.dailyautomation.sk/pixelpaint/>.

Vachálek, Ján & Takács, Gergely. (2014). Robotika (Robotics). 10.13140/RG.2.1.3042.9522.

Súhrn

Táto práca popisuje základne princípy a funkčné časti robotov a manipulátorov v priemysle a v špeciálnej technike. Podáva informáciu o základných druhoch robotov vybranej spoločnosti ABB a popisuje jej históriu a použitie robotov . Taktiež sa venuje objasneniu problematiky robotov, ich častí a ich použitiu. Vysvetľuje pohyby ktoré robot vykonáva a osi, v ktorých pracuje. V druhej časti porovnáva metódu offline a online programovania a tak umožňuje lepšie sa rozhodnúť pri výbere vyhovujúcej metódy.

Kľúčové slová: robot, ABB, offline programovanie, online programovanie, časti robota

Poďakovanie

Ďakujem pani učiteľke Ing. Anne Hudecovej za odpornú pomoc pri príprave tohto vedeckého článku.

POPIS ODPADOVÉHO PLASTU TERMOGRAVIMETRICKOU ANALÝZOU
PLASTIC WASTE DESCRIPTION BY THERMOGRAVIMETIC ANALYSIS

PETER TOMÁŠIK

Abstract

In this thesis we used TGA thermal analysis to examine selected industrial plastic waste– PLA filament for 3D printers. The work consists of theoretical and practical part. The empirical part of the thesis reflects the current state of tools and methods used in these analyzes. We obtained the data through measurements that provided us with answers to our questions. The study of the thermal and mechanical properties is very important, to find out if the given material is good enough for further investigation for technical or other possible uses.

Key words: thermal analysis, recycling, TGA, evaluation, waste, degradation, PLA

1 Úvod

Hlavným cieľom tejto práce je využitie termických analýz na popis vybraného priemyselného odpadu- plastový odpad PLA z 3D tlačiarní, V rámci teoretického ukotvenia vybranej problematiky čerpáme z viacerých zahraničných dokumentov a publikácií vydaných rôznymi knižnými organizáciami a organizáciami zameranými na vzdelávanie populácie. Súčasťou práce je definícia a popis viacerých vybraných metód, ktoré organizácie aplikujú pri analýze odpadu a jeho recyklácii. Empirická časť práce odráža momentálny stav nástrojov a metód používaných pri týchto analýzach. Naše dáta sme získali prostredníctvom TGA meraní, z ktorých sme vytvorili kategórie a ktoré nám poskytli odpovede na niektoré otázky.

Termická analýza všeobecne označuje meracie metódy, pri ktorých sú analyzované zmeny zloženia a vlastností skúmaných látok pri tepelnom zaťažení. Študovanými systémami sú rôzne látky alebo ich zmesi , najčastejšie pevné ako napríklad kovy, plasty, minerály, horniny a podobne. V našom prípade pôjde o PLA plastový odpad z 3D tlačiarní. Metódami termickej analýzy sú sledované a analyzované zmeny zloženia materiálu či zmeny ich vlastností. Počas tepelného zaťaženia vzorky dochádza k vyvolaniu alebo zmene intenzity procesu či chemickej reakcie, rozkladu, dehydratácie alebo fázovej premene, ktoré môžu byť sprevádzané zmenou hmotnosti, objemu, uvoľňovaním alebo spotrebovaním energie, zmenou vodivosti atď. Podľa vlastnosti, ktorej zmena je sledovaná ako funkcia teploty sa nazýva aj príslušná analýza. Tepelné zaťaženie vzoriek prebieha podľa určitého programu a môže byť dynamické, zahrievanie alebo ochladzovanie, alebo statické, pri konštantnej teplote v závislosti na čase. V súčasnosti existuje rad termoanalytických metód, medzi najpoužívanejšie patrí DTA, DSC a TGA (viď tabuľka 1), ktorou sme merali aj naše vzorky.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Tab. 1 Základné metódy termickej analýzy
Tab. 1 Basic methods of thermic analysis

Metóda	Sledovaná vlastnosť	Označenie
Termogravimetrická analýza	hmotnosť - meria sa hmotnosť vzorky v závislosti na teplote	TGA
Derivačná termogravimetria	zisťuje prvú deriváciu zmeny hmotnosti.	DTG
Diferenčná termická analýza	rozdiel teplôt - meria sa rozdiel teplôt mezi vzorkou a štandardom pri ohreve alebo pri chladnutí	DTA
Derivačná diferenčná termická analýza	sleduje prvú deriváciu teplotného rozdielu medzi vzorkou a referenčnou látkou.	(DDTA)
Diferenčná skenovacia kalorimetria	entalpia a tepelný tok – meria sa tepelný tok dodávaný do referentnej látky, tak aby teplotný rozdiel mezi vzorkou a štandardom bol nulový	DSC
Termomechanická analýza	rozmer a mechanické vlastnosti - sleduje sa deformácia vzorky pri zaťažení v závislosti na teplote	TMA
Termodilatometrická analýza	Objem- sleduje zmeny objemu	TD
Termooptometria	optické vlastnosti - meria sa napr. celkové svetlo alebo svetlo určitej vlnovej dĺžky, luminiscencia	TOA
Termoakustická analýza	akustické vlastnosti - sledujú sa charakteristiky zvukových vĺn po ich prechodom vzorkou	TAA

2 Materiál a metódy

Termogravimetria je základnou metódou termickej analýzy, ktorá študuje zmeny hmotnosti prebiehajúce v študovanej vzorke v závislosti od teploty. Výsledkom termogravimetrie je termogravimetrická krivka (TG-krivka), ktorá graficky znázorňuje závislosť hmotnosti na teplote [m = f(T)], prípadne na čase [m = f(t)]. TGA využíva kompenzačný princíp merania hmotnosti, kedy je vzorka po celú dobu experimentu v peci na rovnakom mieste, pričom akákoľvek zmena hmotnosti ľubovoľným smerom je mechanizmom termováh najprv zaznamenaná a bezodkladne kompenzovaná pohybom opačným smerom, ktorý vráti vzorku do pozície, kde sa nachádzala pred danou hmotnostnou zmenou. Výhoda popísaného je zrejmé – tým, že je vzorka po celú dobu experimentu v peci na rovnakom mieste, jej ohrev prebieha podľa vloženého teplotného programu. V prípade, že by vzorka v peci menila počas experimentu svoju pozíciu (tzn. zmeny hmotnosti by neboli kompenzované), dostávala by sa do miest s teplotou odlišnou od tej v pôvodnej pozícii. Inak povedané, lineárny nárast teploty na peci by nezodpovedal nárastu teploty na vzorke, ktorý by sa stal nelineárnym. Spomínaná zmena polohy vzorky je termováhami registrovaná rôznymi spôsobmi, najčastejšie optickým senzorom – nosiče vzorky čiastočne blokujú lúč dopadajúci zo zdroja žiarenia na detektor, pričom akákoľvek detekovaná zmena intenzity žiarenia je zaznamenaná ako zmena hmotnosti a vykompenzovaná do pôvodnej polohy, kedy je intenzita žiarenia dopadajúceho na detektor totožná s intenzitou pred zmenou hmotnosti.

Na naše merania sme použili simultánny termický analyzátor značky **Mettler Toledo** (obr.1), ktorý je dostupný v budove výskumného laboratória AgroBioTech, nachádzajúceho sa v priestoroch SPU v Nitre.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 1 - Prístroj TGA/DSC 1 Mettler Toledo
Fig. 1 TGA/DSC 1 Mettler Toledo device

Srdcom termogravimetrického analyzátora TGA/DSC 1 Mettler Toledo z Amerického Ohio je tzv. zostatková bunka. Zaujímavosťou tohto zariadenia je využívanie tých najšpičkovejších ultra-mikro a mikro váh na svete. Toto zariadenie môžeme jednoznačne považovať za jeden z najlepších prístrojov na termickú analýzu vôbec. Taktiež je vhodný na profesionálny vývoj alebo výskum.

Výhody analyzátora:

- veľmi vysoké rozlíšenia v celom rozsahu merania,
- vysoká efektívnosť automatizácie,
- vysoký rozsah merania vhodný pre malé a veľké vzorky,
- teplotná škála vo veľmi širokom rozsahu (teploty do 1 600 °C),
- plynotesná bunka zabezpečujúca vhodné prostredie merania.

Na veľmi presné odváženie použitých vzoriek sme použili analytickú váhu značky **KERN s modelom ABT 220-5DM** (obr.2). Presnosť váženia na váhe je nakalibrovaná na rozlíšenie 0,01 mg.



Obr. 2 Analytická váha
Fig. 2 Analytical balance

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Tab. 2 Základné vlastnosti analytickej váhy
Tab. 2 Basic properties of analytical balance

Presnosť váženia	0,01 mg / 0,1 mg
Maximálny rozsah váženia	220 g
Minimálne zaťaženie	1 mg
Hmotnosť	7 kg
Rozsah prevádzkovej teploty	od 10 °C do 30 °C
Vlhkosť vzduchu	maximálne 80 %
Časové rozmedzie nárastu signálu	3 s – 10 s

Posledným prístrojom, ktorý sme využili pri našich experimentoch bol chladič **Huber Ministat 230**, ktorý je zobrazený na Obr. 3.. Medzi hlavnú zaujímavosť a výhodu tohto prístroja patria rozmery, ktoré umožňujú umiestnenia v menších priestoroch, ako napríklad laboratória v priestoroch SPU. Chladič Huber nám asistoval v našom experimente ako doplnkový prístroj, ktorý nám slúžil na schladenie vzorky po vykonanom procese teplotného rozkladu.

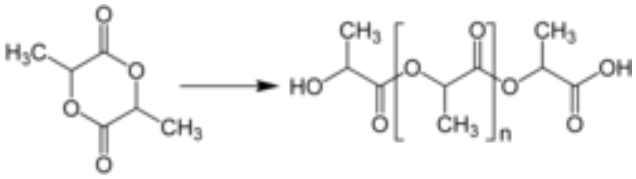


Obr. 3 Chladič Huber
Fig. 3 Huber cooler

Kyselina polymliečna, tiež známa ako poly(kyselina mliečna) alebo **polylaktid** (skratka **PLA**) je biologicky odbúrateľný, ako aj recyklovateľný termoplastický polyester so vzorcom hlavného reťazca $(C_3H_4O_2)_n$ alebo [–C(CH3)HC(=O)O–]n, formálne získaný kondenzáciou kyseliny mliečnej C(CH3)(OH)HCOOH so stratou vody (odtiaľ jej názov). Môže sa pripraviť aj polymerizáciou laktidu [–C(CH3)HC(=O)O–]2, cyklického diméru základnej opakujúcej sa jednotky. PLA sa stal obľúbeným materiálom vďaka tomu, že sa ekonomicky vyrába z obnoviteľných zdrojov. Kyselina mliečna ako surovina sa vyrába fermentáciou glukózy alebo sacharózy a je rafinovaná na vysokú čistotu. Aplikácie PLA boli vyvinuté ako obalový materiál na potraviny, textílie a v poslednej dobe aj ako inžinierske plasty. V roku 2010 mal PLA druhý najvyšší objem spotreby zo všetkých bioplastov na svete, hoci stále nejde o komoditný polymér. Jeho širokému použitiu bránili mnohé fyzické a spracovateľské nedostatky. PLA je najpoužívanejší plastový filamentový materiál v 3D tlači, odkiaľ sú aj naše vzorky (obr.4). Hoci sa názov „kyselina polymliečna“ bežne používa, nezodpovedá štandardnej nomenklatúre IUPAC, čo je „kyselina poly(mliečna)“.Názov

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

„kyselina polymliečna" je potenciálne nejednoznačný alebo mätúci, pretože PLA nie je polykyselina (polyelektrolyt), ale skôr polyester. Surovina pozostáva najmenej z 85 % esterov kyseliny mliečnej (z prírodných cukrov a škrobov). Na obr. 4 je vzorec chemickej reakcie premeny laktídu na polylaktíd, ktorý je východiskovou látkou na výrobu vlákna.



Obr. 4 Premena laktídu na polylaktíd termickou a katalytickou polymerizáciou
Fig. 4 Conversion of lactide to polylactide by thermal and catalytic polymerization

Vlastnosti :

- Hustota : 1,210–1,430 g·cm^{-3}
- Teplota topenia : 150 až 160 °C (302 až 320 °F; 423 až 433 K) [6]
- Rozpustnosť vo vode : 0 mg/ml
- Ťažnú pevnosť 32–45 cN/dtex
- Ťažnosť až 40 %
- LOI 26 a absorbuje 0,6 % vlhkosti.



Obr. 5 PLA náplň do 3D tlačiarní
Fig. 5 PLA filling for 3D printer

Recyklácia môže byť buď chemická alebo mechanická. V súčasnosti je pre PLA použiteľný identifikačný kód živice SPI 7 („iné"). V Belgicku spoločnosť Galactic spustila prvú pilotnú jednotku na chemickú recykláciu PLA (Loopla). Na rozdiel od mechanickej recyklácie môže odpadový materiál obsahovať rôzne nečistoty. Kyselina polymliečna sa môže chemicky recyklovať na monomér tepelnou depolymerizáciou alebo hydrolýzou. Po vyčistení možno monomér použiť na výrobu panenského PLA bez straty pôvodných vlastností (recyklácia od kolísky po kolísku) transesterifikáciou. Aktivačná energia PLA je väčšinou počítaná metódou OFW a jej hodnota kolíše medzi 110 a 195 kJ/mol, pričom v porovnaní so stupňom premeny môže byť buď konštantná alebo stúpajúca.

Degradácia - PLA sa abioticky rozkladá tromi mechanizmami:

- Hydrolýza: Odštiepia sa esterové skupiny hlavného reťazca, čím sa zníži molekulová hmotnosť.
- Tepelný rozklad: Komplexný jav vedúci k objaveniu sa rôznych zlúčenín, ako sú ľahšie molekuly a lineárne a cyklické oligoméry s rôznou Mw a laktid.

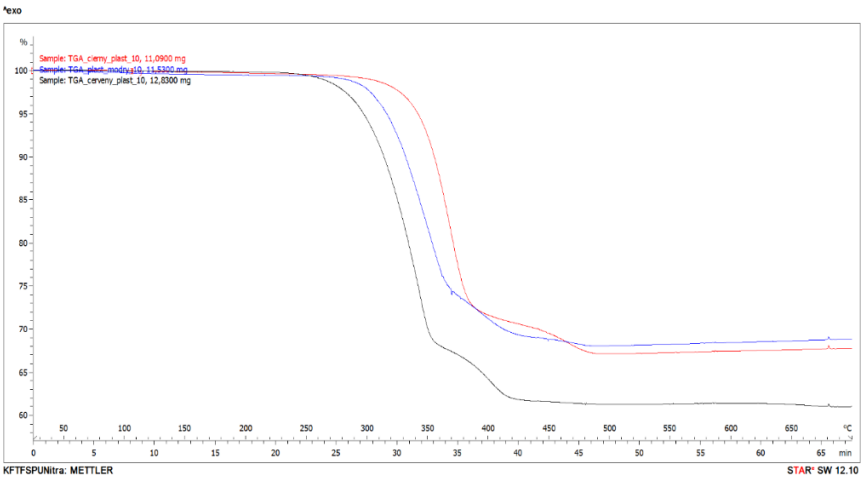
DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

- Fotodegradácia: UV žiarenie vyvoláva degradáciu. Toto je faktor hlavne tam, kde je PLA vystavený slnečnému žiareniu pri jeho aplikáciách v plastikárstve, obalových nádobách a fóliách.
- Hydrolytická reakcia je: -COO + H2O -> - COOH + -OH-

Rýchlosť degradácie je pri okolitých teplotách veľmi nízka. Štúdia z roku 2017 zistila, že pri 25 °C v morskej vode PLA nevykazovala žiadnu stratu hmoty za rok, ale štúdia nemerala rozpad polymérnych reťazcov ani absorpciu vody. V dôsledku toho sa zle rozkladá na skládkach av domácich kompostoch, ale účinne sa rozkladá v teplejších priemyselných kompostoch, pričom zvyčajne sa najlepšie rozkladá pri teplotách nad 60 °C.

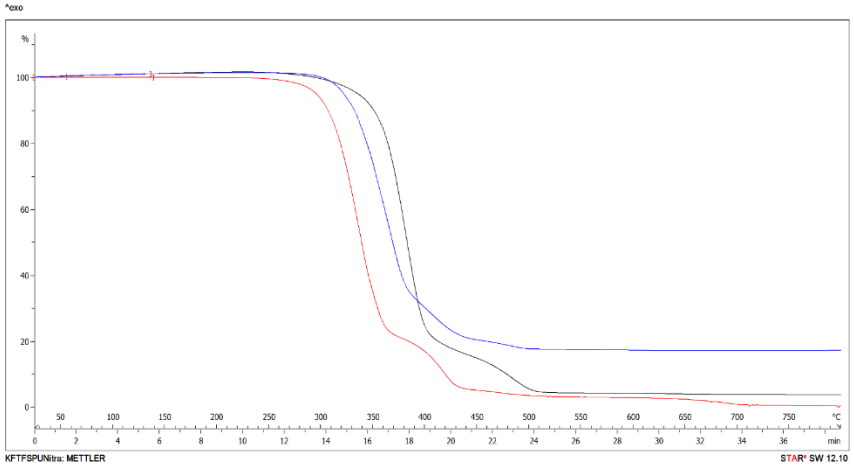
3 Výsledky

V našom meraní sme merali 3 vzorky PLA odpadu z 3D tlačiarne- jednu červenú, druhú modrú a tretiu čiernu. Prvé meranie môžeme vidieť na obr. 6 - graf termickej analýzy TGA pri rýchlosti ohrevu 10°C/min a hmotnosti vzoriek: červená=11,09mg; modrá=11,53mg a čierna=12,83mg.



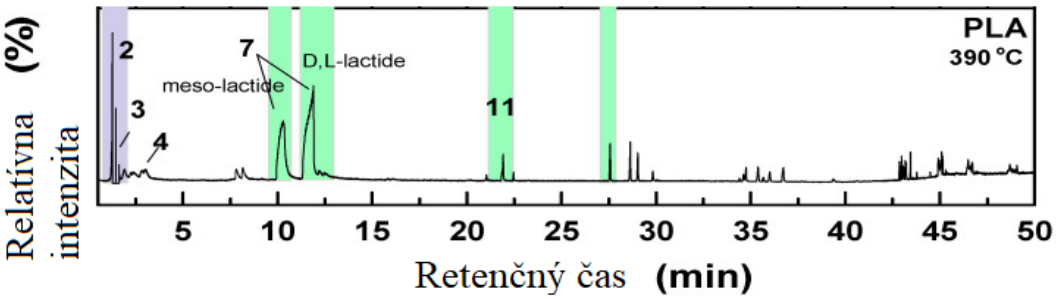
Obr. 6 Graf TGA vzoriek PLA (10 °C/min)
Fig. 6 TGA graph of PLA samples (10 °C/min)

Druhé meranie PLA vzoriek možno vidieť na obr. 7 - graf termickej analýzy TGA pri rýchlosti ohrevu 20°C/min.

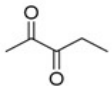
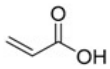
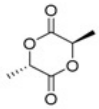
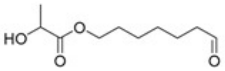


Obr. 7 Graf TGA vzoriek PLA (20 °C/min)
Fig. 7 TGA graph of PLA samples (20 °C/min)

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 8 Celkové iónové plynové chromatogramy čistého PLA (svetlomodré oblasti zvýrazňujú píky zodpovedajúce segmentu PLA, zatiaľ čo zelené oblasti ukazujú segmenty PHSu).
Fig. 8 Total ionic gas chromatograms of pure PLA (light blue areas highlight peaks corresponding to the PLA segment, while green areas show PHS segments).

Vrchol	PLA Teplota Pyrolýzy 390 °C	Mw (amu)	Možný produkt
2	1.27	56	acetaldehyde 
3	1.90	100	2,3-pentanedione 
4	2.85	72	acrylic acid 
9	10.25 11.88	144	meso-Lactide (3,6-dimethyl-1,4-dioxane-2,5-dione)  D,L-Lactide 
12	21.91	202	PLA trimer *or* 7-oxoheptyl 2-hydroxypropanoate 

Obr. 9 Možné produkty pyrolýzy, ktoré sa vyvinuli počas tepelného rozkladu PLA pri rôznych teplotách, ako bolo identifikované pomocou hmotnostnej spektrometrie na základe Py-GC chromatogramov.
Fig. 9 Possible pyrolysis products that developed during the thermal decomposition of PLA at different temperatures, as identified by mass spectrometry based on Py-GC chromatograms

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

4 Záver

Na záver môžeme povedať, že z meraní vyplýva, že najväčší úbytok hmotnosti PLA odpadu začína pri teplote zhruba 250-300°C , pri teplote okolo 350°C sa začína zmenšovať a ustáli sa až pri teplote zhruba 450-500°C. Ďalej sa pri skúmaní tepelnej degradácie PLA zistilo , že pri teplotách vyšších ako 200 °C intramolekulárne transesterifikačné procesy dominujú s tvorbou laktidu a cyklických oligomérov, ktorých cis-eliminácia vedie ku kyseline akrylovej a oligomérom. Štúdium tepelných a mechanických vlastností je veľmi dôležité, aby sa zistilo, či je daný materiál dostatočne dobrý na ďalšie skúmanie pre technické alebo iné možné použitie.

5 Literatúra

BROWN, M. E. 2007. Handbook of Thermal Analysis and Calorimetry. [online], Elsevier B.V. [cit. 2022-03-25]. 780. ISBN: 9780080556314 Dostupné na: https://www.sciencedirect.com/handbook/handbook-of-thermal-analysis-and-calorimetry/vol/5/suppl/C

CERESANA. 2017. www.ceresana.com [online]. © 2017 [cit. 2022-03-25]. Dostupné na: Bioplastics - Study: Market, Analysis, Trends | Ceresana (archive.org)

VERT, M. et al. 2019. Nomenclature and Terminology for Linear Lactic Acid-Based Polymers (IUPAC Recommendations 2019) in Pure and Applied Chemistry. [cit. 2022-03-25]. Dostupné na: "Nomenclature and Terminology for Linear Lactic Acid-Based Polymers (IUPAC Recommendations 2019)". IUPAC Standards Online. doi:10.1515/iupac.92.0001.

MARTIN, O.- Avérous, L. 2001. Poly(lactic acid): plasticization and properties of biodegradable multiphase systems. Polymer. 42 (14): 6209–6219. [cit. 2022-03-25]. Dostupné na: Poly(lactic acid): plasticization and properties of biodegradable multiphase systems - ScienceDirect

NAGARAJAN, Vidhya- Mohanty, Amar K.- Misra, Manjusri. 2016. "Perspective on Polylactic Acid (PLA) based Sustainable Materials for Durable Applications: Focus on Toughness and Heat Resistance". In ACS Sustainable Chemistry & Engineering. 4 [cit. 2022-03-25] (6): 2899–2916.. Dostupné na: doi:10.1021/acssuschemeng.6b00321.

Material Properties Database 2012. Matbase. [online]. © 2012. [cit. 2022-03-25]. Dostupné na: "Material Properties of Polylactic Acid (PLA), Agro Based Polymers"

American Polymer Standards Corporation. 2009. ampolymer.com [online]. © 2009. [cit. 2022-03-25]. Dostupné na: "Polylactic Acid. Material Safety Data Sheet"

SRITHEP, Y.; Pholharn, D. Plasticizer effect on melt blending of polylactide stereocomplex. E-Polymers 2017, *17*, 409–416.

CHRYSAFI, I., Ainali, N. M., & Bikiaris, D. N. (2021). Thermal Degradation Mechanism and Decomposition Kinetic Studies of Poly(Lactic Acid) and Its Copolymers with Poly(Hexylene Succinate). *Polymers*, *13*(9), 1365. https://doi.org/10.3390/polym13091365

BAGHERI, Amir Reza; Laforsch, Christian; Greiner, Andreas; Agarwal, Seema (July 2017). "Fate of So-Called Biodegradable Polymers in Seawater and Freshwater". *Global Challenges*. **1** (4): 1700048. doi:10.1002/gch2.201700048. PMC 6607129. PMID 31565274

Súhrn

V tejto práci sme pomocou TGA termickej analýzy preskúmali vybraný priemyselný plastový odpad – PLA filament pre 3D tlačiarne. Práca pozostáva z teoretickej a praktickej časti. Empirická časť práce reflektuje súčasný stav nástrojov a metód používaných pri týchto analýzach. Údaje sme získali meraním, ktoré nám poskytlo odpovede na naše otázky. Štúdium tepelných a mechanických vlastností je veľmi dôležité, aby sa zistilo, či je daný materiál dostatočne dobrý na ďalšie skúmanie pre technické alebo iné možné využitie.

Kľúčové slová: termická analýza, recyklácia, TGA, evaluácia, odpad, znehodnotenie, PLA

V prvom rade by som sa chcela veľmi pekne poďakovať pani doktorke Daniele Kunecovej za odborné rady, ochotu, trpezlivosť, dôveru a vľúdne slová, ktorými ma povzbudzovala a pomohla mi pri písaní práce. Ďalej sa chcem poďakovať rodine a priateľom za trpezlivosť, pochopenie a pomoc, ktorých mi venovali viac ako si zaslúžim. Ďakujem aj českým a slovenským knižniciam za neuveriteľne milý a priateľský prístup pri spolupráci. Nebyť všetkých vyššie spomenutých, práca by sa mi písala len veľmi ťažko. Ešte raz ďakujem.

ELEKTRICKÉ ZABEZPEČOVACIE SYSTÉMY
ELECTRICAL SECURITY SYSTEMS

SAMUEL ZÁHORA

Abstract

This scientific article focuses on the description of the components of electrical security systems and the design of a specific security system for a particular object. It deals with the description of the assembly of the electrical security system.

The designer must assess the potential risks, the importance of the object for determining the degree of security and also take into account the applicable standards. The result of the design phase is the determination of the degree of security based on risk analysis and established user requirements. The output itself is the program implementation of the design of the building on the basis of requirements arising from the client's ideas and the appropriate degree of protection.

Key words: electrical security system, building security, electric security control panel, passive infrared detector, keyboard, building design

1 Úvod

Človek má od nepamäti potrebu chrániť svoj majetok pred odcudzením a nie je tomu inak ani v dnešnej dobe. Na trhu možno nájsť veľké množstvo cenovo dostupných elektrických zabezpečovacích systémov.

V súčasnosti sa poplachové systémy často vnímajú ako komplexný inteligentný domový systém, ktorý možno použiť v kombinácii s rôznymi doplnkovými zariadeniami. Hlavnou požiadavkou na ne sú spoľahlivosť a funkčnosť, ďalej musia spĺňať určité stupne zabezpečenia.

Elektrické zabezpečovacie systémy sú konštruované s využitím najmodernejších technológií a inteligencie riadenia ktoré sú odrazom súčasných dostupných technológií.

2 Materiál a metódy

Elektrický zabezpečovací systém (EZS) je určený na detekciu a indikáciu prítomnosti narušiteľa v objekte alebo jeho snahy vstúpiť do stráženého objektu a následnú optickú alebo akustickú signalizáciu na konkrétnom mieste narušenia stráženého objektu alebo priestoru (Lovček 2015).

Taktiež ho možno charakterizovať ako súbor snímačov, tiesňových hlásičov, ústrední prostriedku poplachovej signalizácie, prenosových zariadení, zapisovacích či ovládacích zariadení, prostredníctvom ktorých je opticky alebo akusticky signalizované narušenie stráženého objektu či priestoru (Křeček, 2002).

Základné komponenty ktoré musí obsahovať:

- ústredňa,
- detektor,

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

- klávesnica,
- poplachové zariadenia,
- napájací zdroj,
- doplňujúce komponenty – ovládacie zariadenia a doplnkové zariadenia.

Ústredňa

Ústredňa je zariadenie, slúžiace na prijem vstupných elektrických signálov jednotlivých detektorov či tiesňových hlásičov, vyhodnocuje tieto signály a následne signalizuje narušenie objektu. Je tvorená na báze mikroprocesorov a ďalších obvodov. Celková úroveň systému je ovplyvňovaná programovým a technickým vybavením, ktoré tiež určuje koľko prvkov je možné k ústredni zapojiť.

Systém vytvorený prostredníctvom **ústredne DIGIPLEX EVO** poskytuje vysoký stupeň ochrany objektu. Poskytuje možnosť dokonale prispôsobiť sa režimu v chránenom objekte, aby v čo najmenšej miere zasahoval do života ľudí, ktorých má chrániť. Úlohou zbernicovej štruktúry a možnosti rádiovej komunikácie je minimalizácia potreby hrubých montážnych prác.

Ústredne SPECTRA SP sú hlavne určené na ochranu objektov strednej veľkosti (rodinné domy, kancelárie). Ich prednosťou je, že dokážu zladiť náročné požiadavky na bezpečnosť a komfort. Sú kompatibilné so strážnymi pultami, ale ponúkajú možnosť komunikovať aj priamo s klientom. Vedia majiteľa hlasovo zavolať a volania prijať. Spoľahlivo plnia povely vlastníka - cez drôtové a bezdrôtové klávesnice, diaľkové ovládače, cez telefón, mobil, internet...

MAGELLAN MG sú rádiové ústredne ktoré sú určené na ochranu objektov ktoré majú strednú veľkosť. Ich výhodou je, že dokážu zladiť náročné kritériá vzťahujúce sa na bezpečnosť a komfort. Ďalšou ich vlastnosťou je, že sú kompatibilné so strážnymi pultami, ale môžu komunikovať aj s klientom priamou cestou. Dokážu hlasovo majiteľa upozorniť a taktiež spoľahlivo plnia povely majiteľa prostredníctvom bezdrôtovej a drôtovej klávesnice, diaľkovým ovládačom, cez telefón, mobil, internet.

Ústredne SPECTRA SP sú hlavne určené na ochranu objektov strednej veľkosti (rodinné domy, kancelárie). Ich prednosťou je, že dokážu zladiť náročné požiadavky na bezpečnosť a komfort. Sú kompatibilné so strážnymi pultami, ale ponúkajú možnosť komunikovať aj priamo s klientom. Vedia majiteľa hlasovo zavolať a volania prijať. Spoľahlivo plnia povely vlastníka - cez drôtové a bezdrôtové klávesnice, diaľkové ovládače, cez telefón, mobil, internet...

MAGELLAN MG sú rádiové ústredne ktoré sú určené na ochranu objektov ktoré majú strednú veľkosť. Ich výhodou je, že dokážu zladiť náročné kritériá vzťahujúce sa na bezpečnosť a komfort. Ďalšou ich vlastnosťou je, že sú kompatibilné so strážnymi pultami, ale môžu komunikovať aj s klientom priamou cestou. Dokážu hlasovo majiteľa upozorniť a taktiež spoľahlivo plnia povely majiteľa prostredníctvom bezdrôtovej a drôtovej klávesnice, diaľkovým ovládačom, cez telefón, mobil, internet.

Ovládacie zariadenia sú prvky systému, ktorých slúžia na jeho zapnutie alebo vypnutie. Ako u všetkých prvkov určuje norma typ ovládacieho zariadenia podľa stupňa zabezpečenia Tieto zariadenia obsahujú aj indikačné prvky, určené na informovanie o stave ústredne a to opticky, akusticky alebo v kombinácii oboch Tieto prvky informujú aj o poruche zdroja, narušení slučiek, tiesňovom a poplachovom hlásení Ovládanie systému sa realizuje rôznymi typmi napríklad blokovací zámok, spínací zámok, kódová klávesnica, karta, diaľkový ovládač (Velas, 2010).

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 1 Klávesnica Paradox TM-70
Fig. 1 Paradox TM – 70 keyboard



Obr. 2 Klávesnica Paradox K641R
Fig. 2 Paradox K641R keyboard

Diaľkový ovládač používa sa na jednoduché ovládanie elektrického zabezpečovacieho systému, najčastejšie vstupných zariadení napojených na motor brány, osvetlenie, elektrický zámok atď. Komunikácia sa realizuje bezdrôtovými protokolmi výrobcov.



Obr. 3 Paradox REM15-868 Diaľkový ovládač
Fig. 3 Paradox REM15-868 remote control

PIR detektor (pasívny infračervený detektor) je zariadenie najčastejšie využívane v elektrických zabezpečovacích systémov na detekciu pohybu nepovoleného objektu Slúži na vyhodnotenie zmeny vyžarovaného frekvenčného spektra elektromagnetického vlnenia v infračervenom pásme. Obsahuje pyroelektrický prvok, ktorý je menič gradientného charakteru. To znamená, že je schopný detegovať len zmenu žiarenia dopadajúceho na detektor a nie jeho stálu úroveň, preto sa používajú ako detektory pohybu. Tento typ detektora sa používa hlavne v rámci priestorovej ochrany, ale stretneme sa s nim aj v perimetrickej ochrane (Nagy 2005).

Základné časti detektora:

- pyroelektrický prvok.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

- optický systém,
- elektronika analógového alebo digitálneho spracovanie snímaného signálu,
- indikačný LED prvok,
- tamper-signalizačný kontakt neoprávnenej manipulácie s detektorom,
- doplnkový obvod.

Rozdelenie detektorov je možné podľa niekoľkých rôznych kriterii:

- podľa spôsobu napájania (napájané, nenapájané),
- podľa vyžarovania signálu do chráneného priestoru (aktívne, pasívne),
- podľa charakteru stráženej oblasti (priestorové, smerové, bodové, líniové),
- podľa schopnosti obnovy funkcie (deštrukčne, nedeštrukčne).
- podl'a charakteru stráženej zóny (perimetrické, plášťové, priestorové, predmetové),
- podľa použitého fyzikálneho princípu (elektromechanické, elektromagnetické, elektroakustické) (Loveček, 2015).

Snímače rozbitia skla sú vhodným doplnkom priestorovej ochrany objektov. Ich úlohou je urýchlenie odoslania poplachového stavu ešte pred vstupom páchateľa do objektu avšak nechráni pred samotným pohybom páchateľa po objekte.

GLASSTREK

Tento duálny detektor rozbitia skla, ktorý pracuje na klasickej odporovej slučke s relé, aj na zberniciach ústrední DIGIPLEX.

Charakteristické znaky:

- digitálna analýza rozbitia v akustickej oblasti a tlakovej vlny v infrazvukovej časti spektra,
- nastaviteľná citlivosť,
- poskytuje maximálne potlačenie vplyvu parazitných signálov,
- pamäť poplachov,
- pracovná teplota -20 až +50 stupňov C,
- vhodný je pre najnáročnejšie aplikácie.



Obr. 4 Glassbreak Detector Paradox REM15-868
Fig. 4 Glassbreak Detector Paradox REM15-868

Sirény

Dávajú zreteľne najavo, že majiteľ chráni svoj majetok, už táto skutočnosť odrádza veľkú skupinu potenciálnych páchateľov, predstavuje spoľahlivý spôsob upovedomenia blízkeho okolia. Ich úlohou je zneistenie vlamača zvukovou a svetelnou kulisou, podnecuje ho ukončiť svoj pobyt v chránenom priestore a tak sa priamo znižuje škoda, ktorú po sebe zanechá. Exteriérové sirény sú vybavené magneto-dynamickým reproduktorom a majákom, varianty so zálohovaným akumulátorom zabezpečujú ochranu v prípade sabotáže napájania. Interiérové sirény sa často kombinujú so stroboskopom a zahmlievacími zariadeniami.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 5 Paradox SR150
Fig. 5 Paradox SR150



Obr. 6 Siréna SR 95
Fig. 6 SR 95 Siren

GSM komunikátor je komponent určený pre komunikáciu prostredníctvom GSM siete pripojený štyrmi vodičmi k ústredni a komunikuje protokolom od výrobcu. Hlási formou SMS alebo hlasovej správy, diaľkovo ovláda ústredňu a odosiela z jej informácie na pult centralizovanej ochrany.



Obr. 7 GMS komunikátor Paradox PCS250
Fig. 7 GMS communicator Paradox PCS250

LAN komunikátor je určený na komunikáciu prostredníctvom LAN v kombinácii s telefónnou linkou, k ústredni sa pripája prostredníctvom zbernice a využíva pri tom telefónny kábel a konektor. Umožňuje hlásenie udalostí SMS alebo hlasovou správou, diaľkové ovládanie ústredne prostredníctvom mobilu či internetu.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 8 Obr. LAN komunikátor Paradox IP 150
Fig. 8 LAN communicator Paradox IP 150

Napájací zdroj je zariadenie zabezpečujúce transformáciu napájacieho napätia 220V na napätie 13,8V. V ústredni zodpovedá za napájanie systému a dobíjanie akumulátora. Používajú sa buď varianty lineárnych štandardných transformátorov alebo nelineárnych impulzných zdrojov.



Obr. 9 Paradox PS25 doplnkový zdroj
Fig. 9 Paradox PS25 supply source

Záložný akumulátor má za úlohu po vypadnutí napájacieho zdroja okamžite a plne nahradiť napájací zdroj po dobu stanovenú normou.



Obr. 10 Akumulátor Pulsar 7Ah (trieda HPB)
Fig. 10 Acumulator Pulsar 7Ah (type HPB

Najčastesie používané materiály na inštaláciu

Krútená dvojlinka (angl. twisted pair, TP) alebo tiež krútený kábel pričom páry sú skrútené navzájom okolo seba. Vodiče v páre sú rovnocenné (žiaden z vodičov nie je pripojený na zem, alebo zdroj napätia) preto sa takýto kábel označuje tiež ako symetrický. Dôvodom skrútenia vodičov je, že definované skrútenie pomáha redukovať vzájomné rušenie a šumy z vonkajšieho prostredia, a zároveň bráni vyžarovaniu z páru do prostredia. Zakrútené vodiče majú vyššiu odolnosť voči súhlasnému typu rušenia (napätiu indukovanému do oboch vodičov súčasne) pretože vplyvom opačnej fázy sa indukované napätie navzájom vyruší.

UTP – netienená krútená dvojlinka je krútený párovaný kábel, ktorý nemá dodatočné tienenie.

FTP- tienená krútená dvojlinka je krútený párový kábel ktorý je dodatočne tienený fóliou alebo oplataním.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Zbernica je tvorená 4 vodičmi tienených káblov, na ktorý sa spoločne pripájajú snímače, klávesnice, prístupové moduly, zobrazovacie moduly, expandéry, rádiová nadstavba, výstupné moduly, integračný/tlačový modul, zbernicový doplnkový zdroj a posilňovače zbernice. Všetky tieto moduly majú svoju adresu, neustále komunikujú s ústredňou a dajú sa cez ňu programovať buď z klávesnice alebo prostredníctvom počítača.

3 Výsledky a diskusia

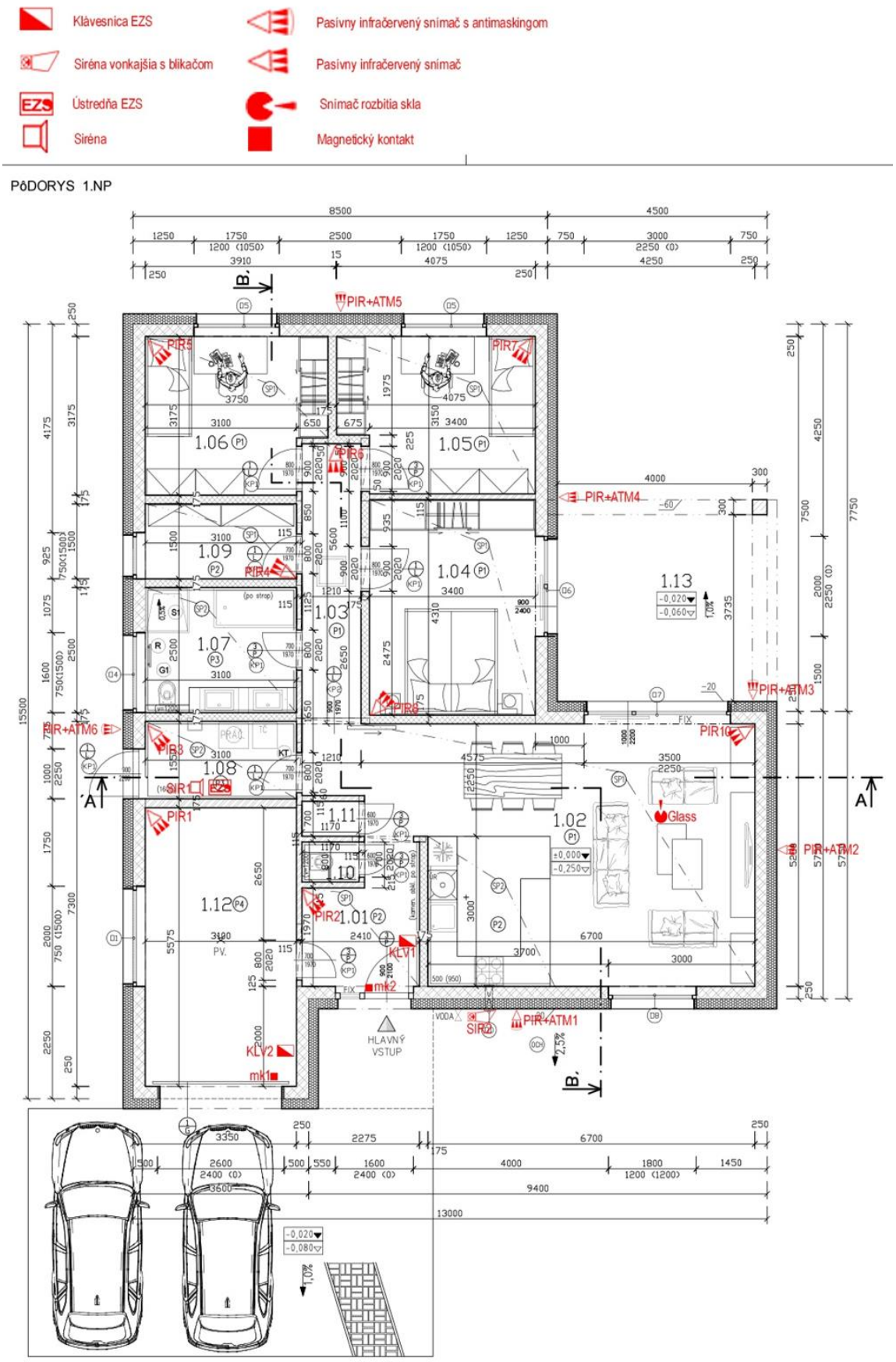
Návrh zabezečenia objektu EZS

Na základe kritérii zo strany zákazníka a požadovaného stupňa ochrany došlo k vypracovaniu návrhu zabezečenia budovy. Na projekte vybraného objektu je schematicky znázornené rozmiestnenie jednotlivých komponentov EZS. Legenda nad návrhom EZS popisuje význam daného grafického vyjadrenia schématickej značky.

Rozhodli sme sa použiť dve klávesnice z dôvodu lahšieho používania EZS. Klávesnice sa nachádajú pri vstupoch do objektu. To znamená že uživateľ po príchode by mal mať dosť času na odkódovanie objedku pred spustením poprachu. Na vonkajších stenách sa nachádzajú vonkajšie duálne čidlá s antimaskingom ktoré zaručujú vyššiu ochranu. Interiérová siréna sa umiestňuje pri ústredňu. Exteriérová siréna sa umiestňuje tak, aby bol zabezpečený čo najlepší zvukový dosah pre upozornenie okolia (susedov, okoloidúcich atď.).

Pasívne infračervené snímače sme zvolili na dané miesta tak, aby sa nachádzali v miestnosti do ktorej je možné sa vlámať, zabezpečiť včasné upozornenie na nežiadúci vstup osoby a taktiež zamedzenie falošných poplachov. Umiestnenie glasstreku sme zvolili pri presklenný balkón kde by mohol nastať predpoklad vlámania sa do objektu rozbitím skla. Magnetický kontakt je umiestnený na vstupnej bráne a vstupnáých dverách pre čo najrýchlejšiu reakciu.

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879



Obr. 11 Návrh elektrického zabezpečovacieho systému pre budovu
Fig. 11 Design of an electrical security system for a building

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

4 Záver

Elektrické zabezpečovacie systémy sa dostávajú do popredia vďaka ich spoľahlivosti, dostupnosti a vysokej úrovni bezpečnosti ochrany majetku, osôb či územia. Na trhu v dnešnej dobe možno nájsť široký sortiment produktov, ktoré dokážu vyhovujúco zabezpečiť základné ale aj doplňujúce požiadavky kladené na zabezpečenie objektu. Táto práca sprostredkováva informácie o základných komponentoch, ktoré najčastejšie tvoria EZS. Tento stručný prehľad poskytuje čitateľovi približnú predstavu o tom, čo všetko zastrešuje zabezpečujúca služba v prípade, že by sa rozhodol pre takýto systém.

Cieľom tejto práce bolo vytvorenie návrhu elektrického zabezpečovacieho systému pre vybraný objekt. Zrealizovaný bol na základe požadovaných kritérií, zohľadnení platných noriem i požiadaviek samotného zákazníka. Dôležitým parametrom sú aj finančné možnosti zákazníka a jeho osobné preferencie. Vybraný objekt sa podarilo zabezpečiť účelne so zreteľom na všetky tieto kritériá. EZS neposkytujú len ochranu majetku, vlastníkovi prinášajú aj pocit bezpečia a pokoja. Tento návrh môže slúžiť ako inšpirácia pre ľudí riešiacich podobnú problematiku alebo pre priblíženie predstavy o obsahu EZS.

5 Literatúra

VELAVELAS, A. 2016 Elektrické zabezpečovacie systémy Zilina EDIS, 2010. ISBN 978-80-554-0224-6

Paradox. 2022. Variant alfa [online]. © 2022 [cit. 2022-03-31]. Dostupné na: .https://www.variantalfa.eu/-variant-alfa

LOVEČEK. T. VELAS, A ĎUROVEC, M 2015 Poplachové systémy: Zalina EDIS, 2015. 230 s. ISBN 978-80-554-1144-6.

KŘEČEK. S a kol. 2002. Prirucka zabezpečovaci techniky. Blatná Blatenska tiskarna, 2002. 340 s. ISBN 80-902938-24.

Súhrn

Táto práca sa zameriava na popísanie komponentov elektrických zabezpečovacích systémov a návrh konkrétneho systému zabezpečenia určitého objektu. Zaoberá sa popisom zostavy elektrického zabezpečovacieho systému.

Projektant musí posúdiť potenciálne riziká, dôležitosť objektu pre stanovenie stupňa zabezpečenia a taktiež prihliadať na platné normy. Výsledkom fázy projektovania je určenie stupňa zabezpečenia na základe analýzy rizík a stanovených požiadaviek užívateľa. Samotným výstupom je programová realizácia návrhu zabezpečenia objektu na základe požiadaviek odvíjajúcich sa od predstáv klienta a vhodného stupňa ochrany.

Kľúčové slová: elektrický zabezpečovací systém, zabezpečenie objektu, ústredňa, pasívny infračervený, detektor, klávesnica, návrh objektu.

Poďakovanie

Ďakujem pani učiteľke Ing.Anne Hudecovej za pomoc s prípravou a firme Corado elektrik.s.r.o. za poskytnutý materiál.

NÁVRH PROGRAMU NA SPRACOVANIE DÁT Z TG ANALÝZY
COMPUTER PROGRAM DESIGNED FOR DATA PROCESSING OF TG ANALYSIS

MICHAL ZÁŇ

Abstract

During the making of this program, we used basic programing knowledge that to create an application that will further help with efficiency of work during a thermogravimetric analysis. This goal was reached, and the application is versatile and efficient in its design. Its output is shown in graphical form as well as in the form of numeric data. The platform we used is easy to customize when we need different outputs to be shown, but the basic information shown is enough to complete tasks made during almost every thermogravimetric analysis.

Key words: Python, Thermogravimetric analysis, application, graphical output

1 Úvod

Metódy termickej analýzy

Termická analýza je súbor metód, pri ktorých je v definovanej atmosfére sledovaná niektorá z vlastností vzorky v závislosti na čase alebo teplote, zatiaľ čo sa teplota vzorky kontrolovane mení. Metódami termickej analýzy môžeme sledovať pochody prebiehajúce pri zahrievaní alebo ochladzovaní vzoriek pevných látok. Sledované javy zahŕňajú dehydratáciu, oxidáciu, tepelnú disociáciu, kryštalizáciu, topenie, sublimáciu, polymerizáciu, fázové premeny a iné zmeny. Dielčie metódy termickej analýzy registrujú zmeny hmotnosti vzorky, uvoľňovanie alebo pohlcovanie tepla, objemové zmeny, rozmerové zmeny, vývoj alebo pohlcovanie plynov, zmeny elektrickej vodivosti a iné.
Pre štúdium pevných chemických látok sa a minerálov sú najčastejšie používané dynamické metódy analýzy, kde je vzorka zahrievaná alebo ochladzovaná konštantnou rýchlosťou podľa dopredu určeného programu. (Rosický, 1989)

Základné metódy termickej analýzy podľa sledovanej veličiny:

- Termogravimetria (TG) – Sledovanou veličinou je zmena hmotnosti analyzovanej vzorky
- Derivačná termogravimetria (DTG) – Zisťuje prvú deriváciu zmeny hmotnosti
- Diferenciálna termická analýza (DTA) – Sledovanou veličinou je teplotný rozdiel medzi vzorkou a referenčnou látkou
- Derivačná diferenčná termický analýza (DDTA) – Sleduje prvú deriváciu teplotného rozdielu medzi vzorkou a referenčnou látkou
- Diferenčná kompenzačná kalorimetria (DSC) – Meranou veličinou je reakčná entalpia. Delí sa na DSC s kompenzáciou príkonu a na DCS tepelného toku
- Termodilatometrická analýza (TD) – Sleduje zmeny objemu
- Simultánna termická analýza (STA) – Využíva súčasne dve metódy pre štúdium fyzikálnych vlastností (napríklad TG/DSC, TG/DTA...) (Rosický, 1989)

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Ďalšie metódy termickej analýzy:

- Elektrometrická analýza (ETA) – Meria zmeny elektrickej vodivosti
- Detekcia uvoľnených plynov (EGD) – registruje uvoľňovanie plynov z analyzovanej vzorky
- Analýza uvoľnených plynov (EGA) – určuje plynné zložky, stanovuje aj chemické zloženie plynných zmesí
- Diferenciálna tlaková analýza – meria rozdiel tlakov v komôrke s analyzovanou vzorkou
- Diferenciálna Calvetova kalorimetria – zaznamenáva tepelnú vodivosť v kalorimetri
- Termomechanické merania – metódy skúmajúce mechanické vlastnosti vzoriek (deformácia ohorku jeho namáhaním mechanickým napätím)
- Emanačná termická analýza – meria sa rýchlosť uvoľňovania inertných plynov (Rosický, 1989)

Väčšina metód termickej analýzy sleduje príslušné vlastnosti systému (hmotnosť, energiu, rozmer, vodivosť apod.) ako dynamickú funkciu teploty. Základným javom dôležitým pre tieto metódy je entalpia (ΔH). Každou fyzikálnu a chemickú zmenu je možné charakterizovať zmenou obsahu Gibbsovej voľnej energie (ΔG), ktorá je daná vzorcom 1

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S \quad (1)$$

Kde: ΔH- entalpia, J/kg
T - absolútna teplota, K
ΔS - entropia deja, -

Where: ΔH - enthalpy, J/kg
T – absolute temperature, K
ΔS – the events entropy, -

Každý systém sa snaží dosiahnuť taký stav, ktorému zodpovedá najnižšia hodnota Gibbsovej voľnej energie. Ako príklad môžeme uviesť prechod lásky z jednej kryštalickej formy do druhej, ktorá má za danej teploty menší obsah voľnej energie a teda je stálejšia. Vytváranie kryštalickej štruktúry alebo iného stavu s nižšou hodnotou voľnej energie môže byť topenie, var, sublimácia kryštalická premena a podobne. Každú premenu charakterizuje teplota a zmena entalpie. Zmenu entalpie môžeme sprevádzať aj zmena hmotnosti sledovanej látky. (Rosický, 1989)

TG analýza

1. Definícia:

Termogravimetrická analýza je technika merania, pri ktorej sa monitoruje hmotnosť látky ako funkcia teploty alebo času počas toho, ako je látka podrobená kontrolovanému teplotnému programu v kontrolovanej atmosfére. Alternatívnou definíciou je, že je to technika v ktorej sa po zahriatí materiálu zvyšuje alebo znižuje hmotnosť vzorky materiálu. (PerkinElmer INC, 2015)

Ide o techniku, ktorá sa rozšírene používa na určenie organických a neorganických obsahov v materiálov. Jej základným pravidlom funkcie je meranie zisku alebo stratu hmotnosti materiálu s veľkou precíznosťou pri zvyšujúcej sa teplote v inertnej alebo reaktívnej atmosfére plynu. Každá zmena hmotnosti zodpovedá fyzickému (kryštalizácia, fázová premena), alebo chemickému (oxidácia, redukcia, reakcia) procesu, ktorý sa deje pri zvyšujúcej sa teplote. Vzorka sa vkladá na platinovú dosku, alebo na dosku vyrobenú z oxidu

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

hlinitého a spolu s prázdnou doskou, alebo s doskou na ktorej je uložený štandard, sa vloží na dve veľmi precízne váhy uložené vo vnútri pece schopnej dosiahnuť veľmi vysoké teploty. Následne sa určí spôsob predprípravy vzoriek a procedúra sa začne. Termogravimetrickú analýzu (TGA) zvyčajne sprevádza aj Diferenciálna skenovacia kalorimetria (DSC). Je to technika, pomocou ktorej sa vypočítavajú zmeny entalpických energií, alebo zmeny tepelných kapacít, ktoré sprevádzajú fázovú premenu a/alebo energetické štiepenie ligandových väzieb. (Raja, 2021)

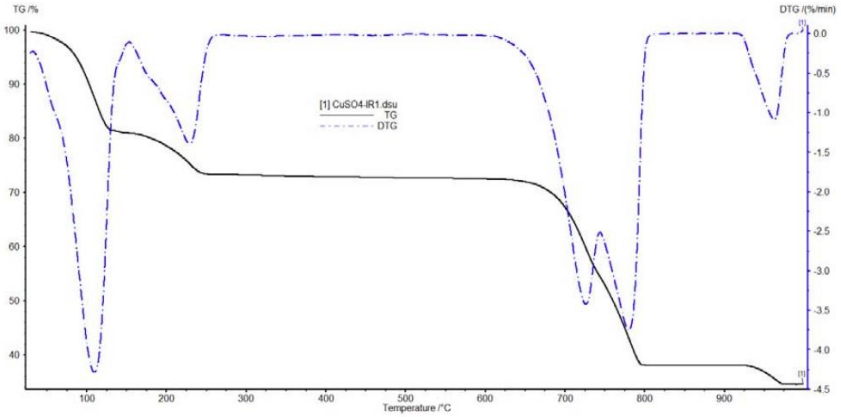
Zmeny hmotnosti látky sa vyjadrujú v závislosti na teplote m=f(T) resp. čase m=f(t) termodynamickými krivkami (Obr. 1). Zmeny hmotností látok pri ich zahrievaní môžeme vyjadriť rovnicou 2.

$$m_{AB}(s) = m_A(s) + m_B(g) \quad (2)$$

Kde: $m_{AB}(s)$ -hmotnosť konečnej látky, kg
$m_A(s)$ – hmotnosť látky A, kg
$m_B(s)$ - hmotnosť látky B, kg

Where: $m_{AB}(s)$ – the mass of the final supstance, kg
$m_A(s)$ – the mass of substance A, kg
$m_B(s)$ – the mass of substance B, kg

Pri zahrievaní totiž dochádza k uvoľňovaniu plynnej zložky, čo zapríčiňuje aj zníženie hmotnosti skúmanej látky. S týmito zmenami sa stretávame napríklad pri tepelnom rozklade monohydrátu šťavelanu vápenatého, ktorý v prvej fáze stráca kryštálovú vodu a ďalším zvyšovaním teploty sa odštiepuje CO a vzniká $CaCO_3$, ten pri ďalšom zvyšovaní teploty prechádza na CaO za uvoľnenia CO_2. Taktiež môže dochádzať k opačným javom, kedy látka pri zahrievaní zvýši svoju hmotnosť. Rovnica zmeny hmotnosti bude v tom prípade $m_A(s) + m_B(g) = m_{AB}(s)$. Príkladom môžu byť oxidácie neušľachtilých kovov, kedy vzniká oxid alebo hydroxid príslušného kovu. (Zýka, 1979)



Obr. 1 Krivka TG a jej derivačná krivka – DTG pre $CuSO_4.3H_2O$ (Zýka, 1979)
Fig. 1 TG curve and its derivated curve – DTG for DTG pre $CuSO_4.3H_2O$

Popis termogravimetrickej krivky

Termogravimetrické krivky podávajú informácie o zložení skúmanej vzorky, jej tepelnej stálosti, teplotnom rozkladu a tiež o produktoch vznikajúcich pri teplotnom rozklade. Na os x sa vynáša čas v minútach, poprípade teplota v °C alebo v K a na os y hmotnosť v mg alebo %. Termogravimetrická krivka vo svojom priebehu obsahuje úseky vodorovné s osou x, takzvané oneskorenia a zlomy. Oneskorenia sú úseky, kedy ešte nedošlo k žiadnej zmene

hmotnosti vzorky. Zlomy naopak naznačujú, že sa analyzovaná vzorka začína rozkladať (mení svoju hmotnosť). Po dosiahnutí určitej teploty nastáva ďalšie oneskorenie. Jednotlivé zlomy predstavujú úbytok hmotnosti. (Zýka, 1979)

Využitie výsledkov TG analýzy

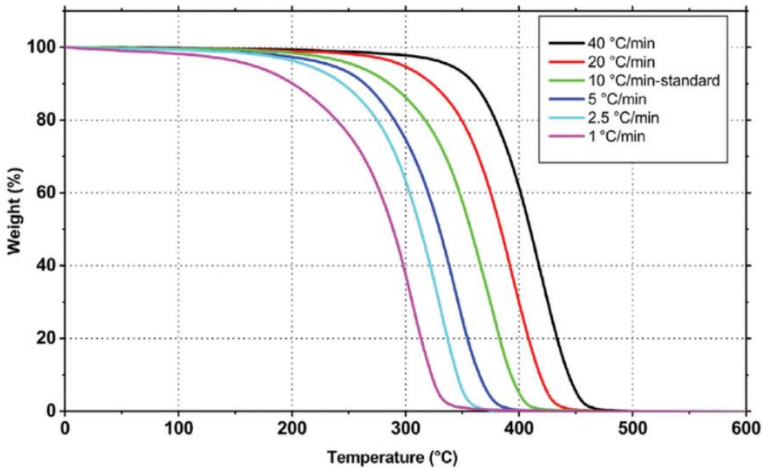
Informácie o rozklade látok počas termogravimetrickej analýzy je možné použiť na predpovedanie užitočnej životnosti niektorých polymerických materiálov. Informácia z analýzy sa používa na definovanie parametrov v Arrheniovej rovnici (rovnica 3), ktorá je síce jednoduchá ale veľmi presná. Vzťah vyjadruje tepelnú závislosť rýchlosti reakcie typicky používanej v chemických kinetických štúdiách. Tepelné rozkladanie je definované chemickou kinetikou. (McKeen, 2021)

$$\left(\frac{da}{dt}\right) = Ze^{\left(\frac{E\alpha}{RT}\right)\cdot(1-a)^n} \quad (3)$$

Kde: a - zlomok rozkladu
t - čas, s
Z - predexponenciálny faktor, 1/s
E_a - energia aktivácie, J/mole
R - plynová konštanta (8,314J/moleK)
N - poradie reakcie, bezrozmerná jednotka, zvyčajne predpokladáme 1

Where: a – the fraction of decay
T – time, s
Z – pre exponetial factor, 1/s
E_a – activiation energy, J/mole
R – the gas constant (8,314 J/moleK), J/moleK
N – the order of reation, we assume 1, -

Vzorku je ohrievaná na troma alebo viacerými rýchlosťami ohrevu. Použitie viacerých rýchlostí ohrevu mení časové rozmedzie rozpadovej udalosti. Čím je rýchlosť ohrevu vyššia, tým väčšia bude teplota rozpadu materiálu, tak ako ukazuje obrázok číslo 2. Tento prístup ukazuje spojenie medzi časom a teplotou polymerického rozkladu a táto informáciu sa používa pri modeloch rozkladovej kinematiky. (McKeen, 2021)



Obr. 2 Efekt ohrievania na termálny rozklad polyethylénu (McKeen, 2021)
Fig. 2 The effect of heating on a thermal decay of polyethylene

Proces sa dá zhrnúť do niekoľkých bodov:

- Určenie teploty na ktorej látka dosahuje konkrétnu hodnotu premeny (obvykle 10%)
- Vykresľovanie rýchlosti ohrievania v K/min (β) proti 1/T, T v K, (Arrheniov graf)
- Určenie píkov (Δ(logβ)/Δ(1/T)) a ofset vybranej premeny (zvyčajne 10%)
- Výpočet aktivačnej energie (E = Arheniova aktivačná energia v J/mol) a pre-exponenciálny faktor (A = pre-exponenciálny faktor, min^{-1}) nasledujúci kroky opísané v metodickom štandarde ASTM E-1641
- Výpočet tepelnej výdrže materiálu na základe štandardu ASTM E1877-11. Tento štandard ukazuje ako vypočítať tieto hodnoty za pomoci dát získaných metodickým štandardom ASTM E-1641 a následne ich vyniesť do grafu zobrazujúceho krivku tepelnej výdrže materiálu (obr. 13)
- Väčšina dodávateľov nástrojov na temogravimetrickú analýzu prikladá softvér na tento typ analýzy (McKeen, 2021)

Cieľom práce je vytvoriť aplikáciu v programovacom jazyku Python, ktorá by uľahčovala spracovanie výstupných dát TGA analýzy. Pri jej použití bude možné aj upravovať jej zdrojoví kód, v prípade že bude nutné výstupné dáta spracovať špeciálnym spôsobom. V jej základe ale vykreslí grafické závislosti jednotlivých veličín a určí počiatočnú a koncovú hmotnosť meranej vzorky.

2 Materiál a metódy

Programovací jazyk Python

Bol vytvorený ako jazyk zo všeobecným zameraním. Ide o dobrý jazyk na učenie, preto jeho princípy uľahčujú veľké množstvo problémov. Pomocou Pythonu bolo vytvorených veľké množstvo aplikácií, medzi ktoré patria aj napríklad BitTorrent alebo Dropbox. Je podobný vo svojej základnej štruktúre mnohým iným programovacím jazykom, ktoré sa dnes bežne používajú, ale využívajú sa v ňom uľahčujúce princípy. (Parker, 2018)

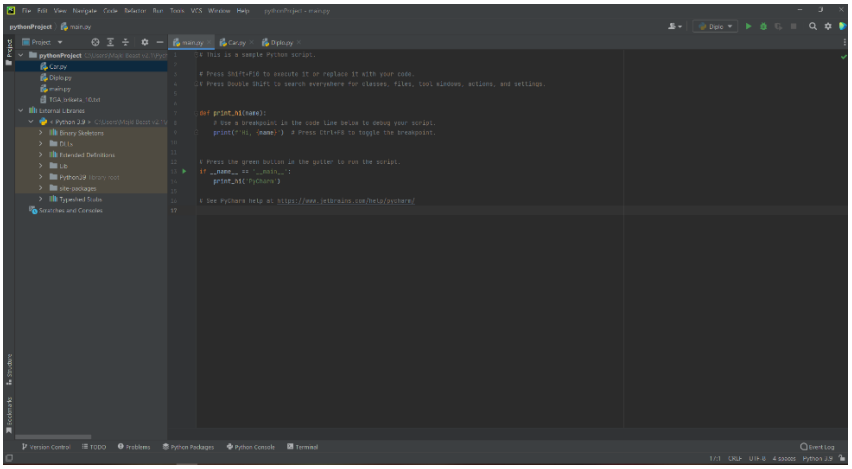
Ide o interpretovaný, objektovo orientovaný programovací jazyk vysokej úrovne s dynamickou sémantikou. Jeho vstavané vysokoúrovňové dátové štruktúry v kombinácii s dynamickým písaním a dynamickým spájaním ho robí veľmi atraktívnym pre veľmi rapídne vytváranie aplikácií, rovnako ako aj pre písanie skriptov alebo ako jazyk spájajúci viac komponentov programov dokopy. Python využíva syntaxové štruktúry, ktoré sú ľahké na naučenie sa. Zároveň kladú veľký dôraz na čitateľnosť, čo redukuje cenu údržby programu. Python podporuje moduly a balíky, ktoré povzbudzujú modulárnosť a opakované využívanie kódu. Prekladač pythonu a jeho široké a rozšírené štandardné balíky sú prístupné v zdrojovej alebo binárnej forme bez akejkoľvek zmeny na všetkých veľkých platformách a môžu byť voľne šíriteľné. Python je medzi programátormi široko využívaný aj vďaka zvýšeniu produktivity, ktorú ponúka. Keďže pri jeho používaní nevznikajú komplikované problémy, cyklus uprav-testuj-odladď program je veľmi rýchly. Ladenie programu alebo zlý vstupný údaj nikdy nespôsobí chybu segmentácie. Namiesto toho, keď prekladač objaví chybu, tak vytvorí výnimku. Ak program na výnimku nenarazí alebo ju nezachytí, prekladač vytvorí záznam pre stopovanie zásobníka. Ladenie programu na zdrojovej úrovni umožňuje kontrolu lokálnych a globálnych premenných, hodnotenie svojvoľných výrazov, nastavovanie prerušení programu, krokovanie v celom kóde po jednotlivých riadkoch a iné možnosti. Ladenie je rovnako písané v pythone, čo len dokazuje jeho introspektívnu silu. Na druhej strane, niekedy je najrýchlejším ladením programu pridanie niekoľkých výpisov do zdrojového kódu. Veľmi rýchly cyklus uprav-testuj-odladď umožňuje tomuto prístupu stať sa veľmi rýchlym, ľahkým, ale hlavne efektívnym riešením. (Python software foundation, 2022)

PyCharm

PyCharm je inteligentný editor kódu, ktorý ponúka podporu pre Python, JavaScript, CoffeeScript, TypeScript, CSS a iné populárne jazyky. Ponúka inteligentné doplňanie písaného kódu, kontrolu kódu, zvýrazňovanie chýb počas písania, na ktoré ponúka aj návrhy opravy, ako aj automatické refaktorovanie kódu a bohaté navigačné možnosti. (JetBrains s.r.o., 2022)

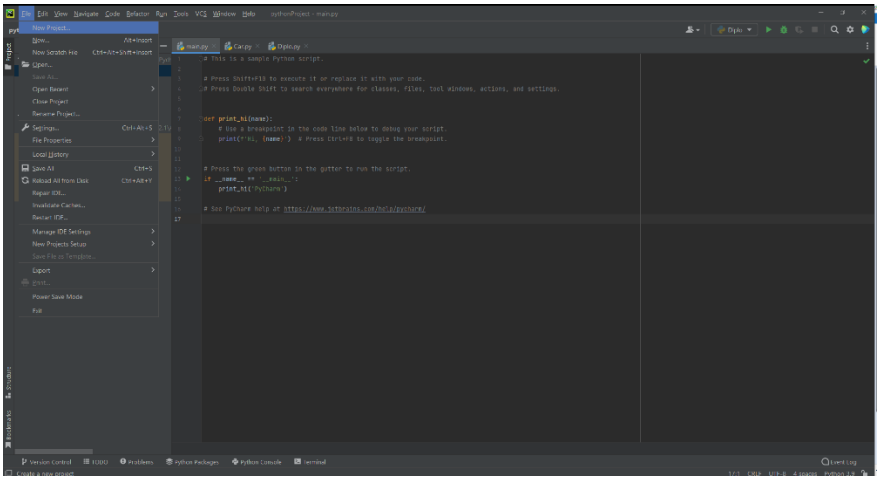
Založenie projektu

1.) Otvoríme PyCharm



Obr. 3 Ukážka prostredia v PyCharm
Fig. 3 PyCharm workspace

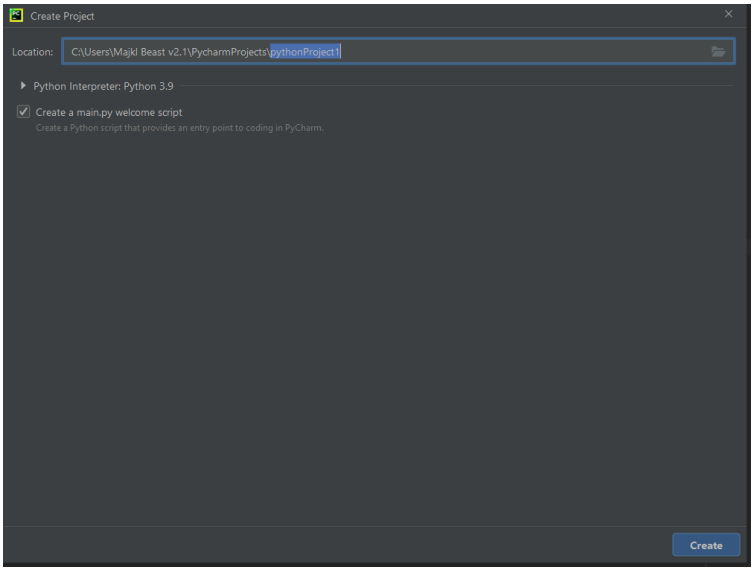
2.) Zvolíme možnosť File a vyberieme New Project



Obr. 4 Umiestnenie New Project možnosti
Fig. 4 Location of the option for creating a New Project

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

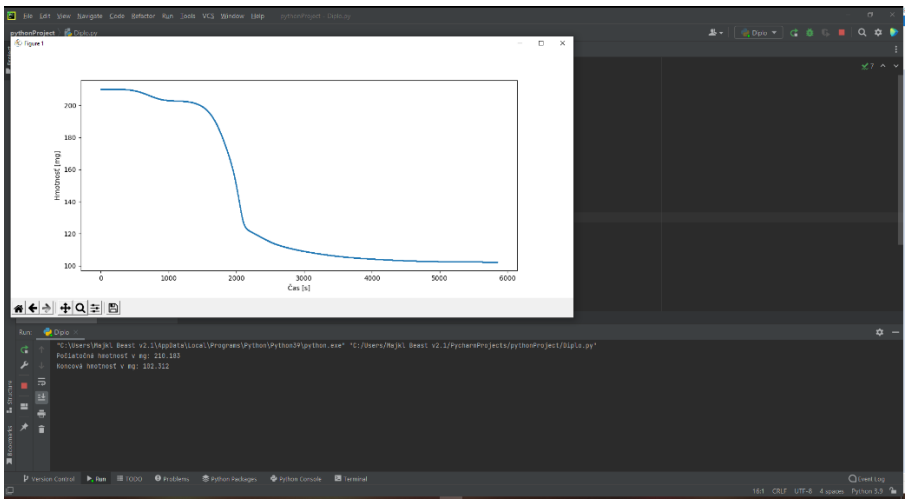
3.) V okne, ktoré sa nám ukáže ako ďalšie, môžeme nastaviť, kde sa bude nový projekt ukladať. Následne zvolíme možnosť Create



Obr. 5 Okno vytvorenia projektu
Fig. 5 Window for creating a new project

3 Výsledky a diskusia

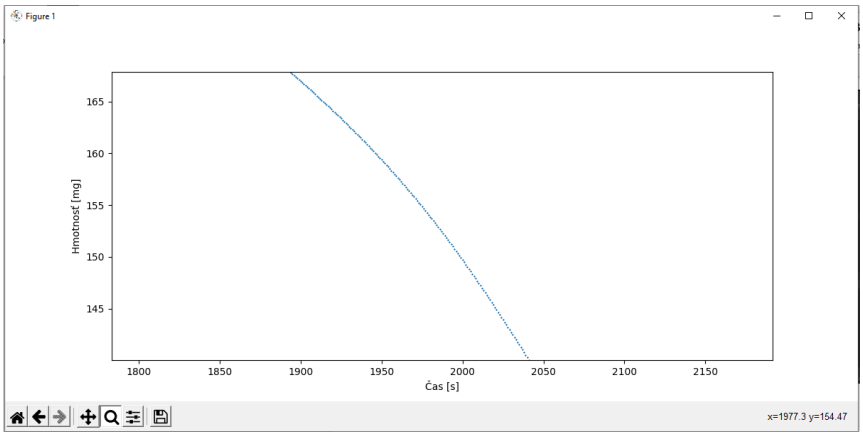
Na začiatok je nutné overiť, či sú výstupné údaje z Termogravimetrického merania uložené vo formáte .txt. Program je totiž postavený na tejto skutočnosti a dáta v inom formáte nebudú spracované správne. Súbor je ďalej nutné premenovať na Vstup a uložiť ho do rovnakého priečinku, v ako sa nachádza program projektu. Počas vytvárania projektu je tento priečinok vytvorený automaticky. Ak je súbor uložený v správnom priečinku a je pomenovaný správne, je možné spustiť program. Program sa nás po spustení spýta, či chceme vidieť grafické zobrazenie závislosti hmotnosti od času, alebo grafické zobrazenie teplotného toku od času. Ide o najčastejšie grafické zobrazenia termogravimetrickej analýzy. Po zvolení nami preferovaného zobrazenia sa nám ukáže zvolený graf a program vypíše aj počiatočnú a koncovú hmotnosť vzorky v mg (Obr. 6).



Obr. 6 Grafické zobrazenie programu
Fig. 6 The user interface of the app

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

Na obrázku 6 je uvedený príklad grafickej závislosti hmotnosti vzorky v čase. Okno grafu je možné natiahnuť a teda aj zmeniť jeho veľkosť pre lepšiu čitateľnosť výsledkov. V spodnej časti okna grafického zobrazenia je možné kliknutím na ovládacie ikony meniť zobrazenie grafu. Ikona šípkového krížu umožňuje posúvať graf v zobrazovacom priestore. Ikona lupy umožňuje priblížiť krivku grafu tak, aby bola viditeľná len jej určitá časť (Obr. 7). Prejdením kurzorom myši na niektorú časť grafu zobrazia v pravom dolnom rohu súradnice bodu na ktorý kurzor ukazuje. Súradnice zodpovedajú hodnotám dosiahnutým pri meraní a teda je možné ich odčítať. Okno umožňuje aj uložiť práve zobrazovaný graf a to kliknutím na ikonu diskety. Pre vrátenie sa na predchádzajúce zobrazenie môžeme využiť ikonu šípky vľavo a pre návrat na momentálne zobrazenie zase šípku vpravo. Ikona domčeku nás vráti na pôvodné, prvé zobrazenie grafu. V programe je možné meniť typ vykresľovanej čiary. Taktiež je možné zmeniť jej farbu a hrúbku. Ďalšou možnosťou je zmena tvaru vykresľovania bodov, ich veľkosť ale aj farba.



Obr. 7 Príklad zobrazenia grafu
Fig. 7 A example of a plotted chart

4 Záver

Cieľom práce bolo vytvorenie programu, ktorý by uľahčil spracovanie získaných údajov z termogravimetrickej analýzy. Program umožňuje vykresľovanie grafov v jednoduchom a čitateľnom zobrazení a okrem toho dovoľuje aj čitateľné výpisy zaujímavých hodnôt. Výhodou nami vytvoreného programu je jeho následná flexibilita. Program je možné meniť a upravovať a to veľmi jednoducho vďaka programovaciemu jazyku Python. Grafický výstup z analyzátorov termogravimetrie nie je možné upravovať buď vôbec, alebo len veľmi málo. Ich vykresľovanie taktiež trvá dlhší čas ako v našom programe. Vďaka tomuto sa akékoľvek požadované zmeny zobrazenia prejavia veľmi rýchlo, čím je práca za použitia programu efektívnejšia a rýchlejšia.

5 Literatúra

L. W. McKeen: Effect of Long Term Thermal Exposure on Plastics and Elastomers (2nd Edition), [online] Dostupné na: https://app.knovel.com/kn/resources/kpTAPFA001/toc?b-q=Differential%20thermal%20analysis&include_synonyms=no&issue_id=kt011Q6SB4&hierarchy=undefined

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879

J. R. Parker : Python - An Introduction to Programming. Mercury Learning and Information, 2017 [online] Dostupné na: https://app.knovel.com/kn/resources/kpPAIP0001/toc?b-q=python&include_synonyms=no&q=python&sort_on=default

J. Rosický: Termická analýza. UK, Praha 1989.

PyCharm. 2022. JetBrains s.r.o. [online]. 2022 [cit. 2022-29-3] Dostupné na: https://www.jetbrains.com/pycharm/features/coding_assistance.html

Python. 2022. Python Software Foundation [online]. 2022 [cit. 2022-29-3]. Dostupné na: https://www.python.org/doc/essays/blurb/

J. Zýka: Analytická příručka, díl I. SNTL Nakladatelství technické literatury, Praha 1979

Súhrn

Počas návrhu programu sme použili programovacie znalosti na vytvorenie aplikácie, ktorá pomáha s efektívnosťou práce pri spracovaní výstupných dát z termogravimetrickej analýzy. Program je flexibilný vo svojom využití a je efektívny vo svojom návrhu. Jeho výstupom sú grafické zobrazenia závislostí hodnôt ako aj číselné dáta zaujímavé pri analýze. Nami zvolená platforma umožňuje jednoduché zmeny zobrazených výstupov, ak je táto zmena žiadaná, ale v základnom zobrazení poskytuje dostatočné množstvo dát na výpomoc pri termogravimetrickej analýze.

Kľúčové slová: python, termogravimetrický analýza, grafický výstup, aplikácia

Touto cestou by som chcel vysloviť poďakovanie vedúcej práce Mgr. Daniele Kunecovej, PhD. za pomoc, odborné vedenie, cenné rady a pripomienky pri vypracovaní mojej práce.

Graphic Design and Creation

RECENT ADVANCES IN AGRICULTURE, MECHANICAL ENGINEERING AND WASTE POLICY

doc. Ing. Ján Kosiba,. PhD.
Ing. František Adamovský, PhD.
Ing. Matej Michalides
Ing. Vladimír Madola

April, 2022

Názov publikácie: Najnovšie trendy v poľnohospodárstve, v strojárstve a v odpadovom hospodárstve
Name of publication: Recent Advances in Agriculture, Mechanical Engineering and Waste Policy

Autori publikácie: kolektív autorov
Authors of publication: Team of Authors

Zborník zostavili a redakčne upravili / Editors: doc. Ing. Ján Kosiba, PhD.
Ing. František Adamovský, PhD.
Ing. Matej Michalides
Ing. Vladimír Madola

Vydavateľ: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
Published by: Slovak University of Agriculture in Nitra

Vydanie: prvé
Edition: First

Rok vydania / Year of Publication: 2022

Forma vydania / Form of Publication: online

Not edited at the Publishing Centre of the SUA in Nitra.

ISBN 978-80-552-2487-9

DOI: https://doi.org/10.15414/2022.9788055224879