

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



SPU·TF

Technická
fakulta

held under the auspices of / konaná pod záštitou
prof. Ing. Romana Gálíka, PhD.
dean of faculty / dekana fakulty

Proceedings of Scientific Conference
Zborník prác z vedeckej konferencie

ISBN 978-80-552-2738-2

DOI: <https://doi.org/10.15414/2024.9788055227382>

Nitra, April 18, 2024, Slovakia

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA

SLOVAK UNIVERSITY OF AGRICULTURE IN NITRA
FACULTY OF ENGINEERING

MEDZINÁRODNÁ ŠTUDENTSKÁ VEDECKÁ KONFERENCIA
INTERNATIONAL STUDENTS' SCIENTIFIC CONFERENCE

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

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

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

Zborník prác z vedeckej konferencie
Proceedings of Scientific Conference

Nitra, 18. 4. 2024

DOI: <https://doi.org/10.15414/2024.9788055227382>

Odborní garanti konference - 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:

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

Organizačný výbor - Organizing Committee:

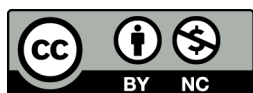
doc. Ing. Ján Kosiba, PhD.
Ing. Ján Csillag, PhD.
Ing. Rastislav Kollárik
Ing. Vladimír Madola

Schválila rektorka Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre dňa 15. 4. 2024
ako online zborník prác z vedeckej konferencie.

Approved by the Rector of the Slovak University of Agriculture in Nitra on April 15, 2024
as an online proceedings from a scientific conference.

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

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



ISBN 978-80-552-2738-2

DOI: <https://doi.org/10.15414/2024.9788055227382>

Obsah

ÁGH, A. – CVIKLOVIČ, V.: ZARIADENIE NA MERANIE ELEKTROCHEMICKÝCH VLASTNOSTÍ LÍTIOVÝCH ČLÁNKOV, <i>DEVICE FOR MEASURING ELECTROCHEMICAL PROPERTIES OF LITHIUM CELLS</i>	1
BELKO, P. – HLAVÁČ, P.: ANALÝZA VPLYVU TEPLoty NA DYNAMICKÚ VISKOZITU OLEJA PRE SPALOVACIE MOTORY, <i>ANALYSIS OF THE EFFECT OF TEMPERATURE ON THE DYNAMIC VISCOSITY OF OIL FOR COMBUSTION ENGINES</i>	14
BÁRTOVÁ, S. – TULÍK, J.: VPLYV DEKARBONIZÁCIE NA VÝSTUPOVÉ PARAMETRE SPALOVACIEHO MOTORA, <i>DECARBONIZATION IMPACT ON OUTPUT PARAMETERS OF THE COMBUSTION ENGINE</i>	26
BENKOVIČ, T. – GIERTL, T.: VYUŽITIE BIOUHLIA PRI PESTOVANÍ POĽNOHOSPODÁRSKÝCH PLODÍN – PREZENTOVANIE VÝSLEDKOV VÝSKUMU, <i>USE OF BIOCHARCOAL IN GROWING AGRICULTURAL CROPS - PRESENTATION OF RESEARCH RESULTS</i>	33
GÁBRIŠ, P. – VITÁZEK, I.: POSÚDENIE VLASTNOSTÍ BIOPALÍV PRE ZDROJE TEPLA V POĽNOHOSPODÁRSTVE, <i>ASSESSMENT OF THE PROPERTIES OF BIOFUELS FOR HEAT SOURCES IN AGRICULTURE</i>	45
GAŠPAREC, R. – VITÁZEK, I.: ROZHODUJÚCE PARAMETRE OVPLYVŇUJÚCE KVALITU PROSTREDIA VO VÝROBE, <i>KEY PARAMETERS INFLUENCING THE QUALITY OF THE ENVIRONMENT IN PRODUCTION</i>	55
GULA, A. – TULÍK, J.: HODNOTENIE VLASTNOSTÍ HYDRAULICKEJ KVAPALINY, <i>EVALUATION OF HYDRAULIC FLUID PROPERTIES</i>	65
HAKSZER, L. – VOZÁROVÁ, V. – KUNECOVÁ, D.: TERMOGRAVIMETRICKÁ ANALÝZA VZORKY BIOMASY, <i>THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS OF BIOMASS SAMPLE</i>	73
HORNIAČEK, M. – HLAVÁČOVÁ, Z.: ANALÝZA ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ ĽANOVÝCH SEMIENOK RÔZNYCH DRUHOV A ROČNÍKOV, <i>ANALYSIS OF THE ELECTRICAL PROPERTIES OF FLAX SEEDS OF DIFFERENT SPECIES AND YEARS</i>	82
HUDEC, K. – KISS, S. – MARTI, V.: VÝROBA ELEKTRICKEJ ENERGIE NA NABÍJANIE ELEKTRICKÝCH ZARIADENÍ POMOCOU BICYKLA A ALTERNÁTORA, <i>PRODUCTION OF ELECTRICITY TO CHARGE ELECTRICAL DEVICES USING A BICYCLE AND AN ALTERNATOR</i>	90
KLOSTERMAN, A. – JANOŠKO, I.: TESTOVANIE ZVOLENEJ PRÍSADY DO NAFTY, <i>TESTING SELECTED DIESEL ADDITIVE</i>	96
KOSÁR, N. – MAJDAN, R.: SYSTÉM OPTICKEJ KONTROLY VÝROBY KOMPONENTOV PRE ZAVESENIE KOLIES AUTOMOBILOV, <i>VISION SYSTEM BASED PRODUCTION INSPECTION FOR AUTOMOBILE WHEEL SUSPENSION COMPONENTS</i>	106
KOVÁCS, O. – KAŽIMÍROVÁ, V.: HODNOTENIE KVALITY PROCESU OSÁDZANIA A TESTOVANIA DOSIEK PLOŠNÝCH SPOJOV, <i>QUALITY ASSESSMENT OF ASSEMBLY PROCESS AND TESTING OF CIRCUIT BOARDS</i>	116
KRAJČOVIČ, J. – OLEJÁR, M.: SOFTVÉROVÉ RIEŠENIE KOLABORÁCIE SCARA ROBOTA PROSTREDNÍCTVOM PLC, <i>SCARA ROBOT COLLABORATION SOFTWARE THROUGH PLC</i>	126

KURUC, I. – JANOŠKO, I.: ADHÉZNE VLASTNOSTI POSUDZOVANÝCH PNEUMATÍK, <i>ADHESION PROPERTIES OF THE EVALUATED TIRES</i>	136
MOLNÁR, E. – HLAVÁČ, P.: VYTVORENIE ZARIADENIA NA MERANIE TEPLoty S VYUŽITÍM MIKROKONTROLÉRA, <i>CREATION OF A TEMPERATURE MEASURING DEVICE USING A MICROCONTROLLER</i>	146
OBERT, M. – HLAVÁČOVÁ, Z.: VYUŽITIE ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ POUŽITÝCH MOTOROVÝCH OLEJOV PRI POSUDZOVANÍ ICH KVALITY, <i>ELECTRICAL PROPERTIES OF USED ENGINE OILS UTIZATION AT THEIR QUALITY ASSESSING</i>	158
OLLÉ, J.T. – MAJDAN, R.: VPLYV PREJAZDU KOLIES CEZ SPOMAĽOVACÍ PRAH NA HLUČNOSŤ VOZIDLA, <i>EFFECT OF WHEEL PASSAGE OVER BREAK THRESHOLD ON CAR NOISE</i>	166
POLÁK, M. – VACHO, L.: LASEROVÝ DIALKOMER A VYUŽITIE ZHLUKOVACÍCH ALGORITMOV PRE REPREZENTÁCIU DETEGOVANÝCH OBJEKTOV, <i>LASER RANGE METERS AND THE USE OF CLUSTERING ALGORITHMS FOR THE REPRESENTATION OF DETECTED OBJECTS</i>	174
PUCHER, E. – VACHO, L.: MOŽNOSTI RIADENIA KROKOVÉHO MOTORA PROSTREDNÍCTVOM OPC UA SERVERA, <i>POSSIBILITIES OF STEPPER MOTOR CONTROL VIA OPC UA SERVER</i>	183
RAGALA, A. – KÓSA, P.: MERANIE PEVNOSTI ZÁVITOVÝCH SPOJOV NA 3D TLAČENÝCH VZORKÁCH, <i>STRENGHT MEASUREMENT OF THREADED JOINTS ON 3D PRINTED SAMPLES</i>	193
RÓŽA, D. – BILČÍK, M.: VYTVORENIE SOFTVÉRU A SNÍMACIEHO ZARIADENIA NA MERANIE TEPLoty FOTOVOLTICKÝCH PANELOV, <i>CREATION OF SOFTWARE AND SENSING DEVICE FOR MEASURING THE TEMPERATURE OF PHOTOVOLTAIC PANELS</i>	204
RYBA, M. – VACHO, L.: MOŽNOSTI IDENTIFIKÁCIE OBJEKTOV V DIGITÁLNO M OBRAZE S PODPOROU SOFTVÉROVEJ KNIŽNICE DLIB, <i>OPTIONS FOR IDENTIFYING OBJECTS IN A DIGITAL IMAGE WITH THE SUPPORT OF THE DLIB SOFTWARE LIBRARY</i>	214
SKLADANÝ, D. – TKÁČ, Z.: TEST EKOLOGICKEJ HYDRAULICKEJ KVAPALINY, <i>TEST OF ECOLOGICAL HYDRAULIC FLUID</i>	222
SMUTNÝ, M. – BUJNA, M.: VYUŽITIE MODELU ERPN NA OBJEKTIVIZÁCIU KRITÉRIÍ HODNOTENIA PFMEA , <i>USING THE ERPN MODEL TO OBJECTIFY PFMEA EVALUATION CRITERIA</i>	234
STACHLEWSKI, K. – VACHO, L.: NÁVRH SOFTVÉROVEJ APLIKÁCIE RIADENIA MALÉHO MOBILNÉHO ROBOTA, <i>DESIGN OF A SOFTWARE APPLICATION FOR CONTROLLING A SMALL MOBILE ROBOT</i>	245
SVORAD, L. – CVIKLOVIČ, V.: AUTOMATIZÁCIA REGULÁCIE TEPLoty VODY PRE CHOV ZVIERAT POMOCOU MIKROKONTROLÉRA, <i>AUTOMATION OF WATER TEMPERATURE REGULATION FOR ANIMAL BREEDING USING A MICROCONTROLLER</i>	253
TOMČÍK, I. – URDA, M. – ZVARA, B. – GALAMBOŠOVÁ, J.: VPLYV KOLESOVÉHO A PÁSOVÉHO TYPU PODVOZKU TRAKTORA CLAAS XERION NA UTLAČENIE PÔDY, <i>EFFECT OF THE WHEEL AND TRACK TYPE OF CLAAS XERION TRACTOR CHASSIS ON SOIL COMPACTION</i>	262
TURANSKÝ, D. – KOSIBA, J.: MERANIE PRIETOKOVÝCH VLASTNOSTÍ OLEJOVÝCH FILTROV, <i>MEASUREMENT OF FLOW PROPERTIES OF OIL FILTERS</i>	271

ZSILINSZKI, G. – BILČÍK, M.: VYTVORENIE PROGRAMU NA ŠTATISTICKÉ VYHODNOTENIE NAMERANÝCH ÚDAJOV, <i>CREATION OF A PROGRAM FOR STATISTICAL EVALUATION OF MEASURED DATA</i>	280
ZVARA, B. – MACÁK, M.: POROVNANIE EFEKTÍVNOSTI VARIABILNEJ A UNIFORMNEJ APLIKÁCIE CHEMICKÝCH LÁTOK, <i>COMPARISON OF EFFICIENCY OF VARIABLE AND UNIFORM CHEMICAL APPLICATION</i>	290
ŽILKA, T. – ABRAHÁM, R.: POROVNANIE SPOTREBY PALIVA TRAKTORA 4K4 PRI JAZDE NA TROCH RÔZNYCH POJAZDOVÝCH KOLESÁCH, <i>COMPARISON OF FUEL CONSUMPTION OF 4K4 TRACTOR WHEN DRIVING ON THREE DIFFERENT DRIVE WHEELS</i>	300

ZARIADENIE NA MERANIE ELEKTROCHEMICKÝCH VLASTNOSTÍ LÍTIOVÝCH ČLÁNKOV DEVICE FOR MEASURING ELECTROCHEMICAL PROPERTIES OF LITHIUM CELLS

ADAM ÁGH¹ – VLADIMÍR CVIKLOVIČ²

Abstract

This thesis is focused on device for measuring lithium battery cell efficiency named „LithTest“. The device is using pulse-width-modulation controlled step-down buck converter, and MOSFET transistor for charging, and discharging the cell. Microcontroller STM32F411 with analog-to-digital converter ADS1115 functions together as measuring system and current, and voltage regulation. For logging measured data and controlling measurement modes is used a custom C# .NET framework software made in Visual Studio. The device is capable of measurements using constant-current and constant-voltage charging, and discharging, and galvanostatic-titration-method. All measurement data is collected and saved in PC.

Key words: efficiency, pulse-width-modulation, step-down converter, microcontroller, measuring, software, constant-current, constant-voltage, galvanostatic-titration-method

1 Úvod

Lítiové články sú v súčasnosti využívané vo veľa prenosných a mobilných zariadeniach samostatne, alebo vo väčšom množstve, tvoriace batérie. Výkonnostné parametre týchto článkov vrátane ich stavu nabitia, zdravotného stavu a celkovej kapacity sú rozhodujúce pre zabezpečenie spoľahlivosti a účinnosti zariadení, ktoré napájajú. Zvyčajne sa tieto parametre monitorujú prostredníctvom integrovaných komplexných systémov batériového manažmentu (BMS) počas prevádzky, ktoré poskytujú len približné hodnoty skutočných vlastností článku. Táto aproximácia často nedosahuje presnosť a množstvo parametrov potrebných na analýzu článkov v širokom spektre, ktorá by bola užitočná pri testovaní účinkov používania batérií a pri vývoji nových prevedení batériových článkov.

Presné určenie týchto kľúčových parametrov sa spolieha na práčne merania pomocou špecializovaného laboratórneho vybavenia a častokrát je potrebný neustály ľudský zásah, prečo je potreba automatizovaného riešenia. Takýto systém by nielen znížil potrebu manuálneho dohľadu, ale aj zvýšil presnosť a rozsah zozbieraných údajov, čím by prekonal konvenčné metodiky používané v existujúcich bežne dostupných systémoch.

Cieľom je vytvoriť návrh a implementáciu zariadenia "LithTest", ktorý predstavuje komplexné riešenie problémov merania parametrov batérií, s možnosťou vykonávať testy presne a automatizovane, navrhnuté z široko dostupných komponentov, čo taktiež umožňuje dostupnosť skúmať batériové články aj pre malé inštitúcie.

¹Bc. Adam Ágh, SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky.
xagh@uniag.sk

²doc. Ing. Vladimír Cviklovič, Phd., SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky.
vladimir.cviklovic@uniag.sk

2 Materiál a metódy

Pre vhodný návrh zariadenia bolo potrebné zistiť aké parametre sú potrebné na určenie a výpočet elektrochemických vlastností lítiového článku. Štandardné vlastnosti boli zistené podľa výrobcu stanovenej dokumentácie široko používaných Li-Ion článkov MOTOMA LCR18650. Nominálne napätie je 3,7 V, Nabíjacie napätie je 4,2 V a najnižšie napätie pri vybíjaní by nemalo klesnúť pod 3.0 V. Odporúčaný prúd pri nabíjaní a vybíjaní je 520 mA. Na základe týchto parametrov bolo možné určiť, aké sú minimálne elektrické požiadavky na uskutočnenie požadovaných meraní. Pre správne a úplné nabitie je potrebné na Li-Ion článok privádzať konštantný prúd, a ku koncu nabíjania konštantné napätie s vopred definovanou hodnotou. Na vytvorenie obvodu zariadenia boli použité viaceré komponenty. Pre napájanie zariadenia boli použité dva jednosmerné napájacie zdroje s napätím 12 V a 5V, s maximálnym prúdom 5 A a 1,25 A.

STM32F411

Ako hlavný komponent riadenia, regulácie, a taktiež komunikácie je mikrokontrolér STM32F411. Tento mikrokontrolér je založený na architektúre ARM Cortex-M4, pracuje na frekvencii až 100 MHz, je dostupné až 512 KB pamäte flash a 128 KB pamäte SRAM, čo poskytuje dostatok priestoru na vývoj programu vrátane zložitých riadiacich algoritmov. Má dostatočný počet vstupno-výstupných (I/O) portov a periférií vrátane viacerých kanálov ADC, rozhraní UART, I2C, SPI, a taktiež umožňuje USB komunikáciu bez potreby externého prevodníka. Mikrokontrolér obsahuje štyri štvorkanálové časovače s možnosťou PWM s vysokým rozlíšením a frekvenciou. Tieto funkcie sa využívajú na riadenie cyklov nabíjania a vybíjania článku s vysokou presnosťou.

Program pre STM32F411 je možné vyvíjať v rámci vývojového prostredia STM32CubeIDE, ktoré ponúka komplexnú podporu pre mikrokontroléry STM32. Firmvér zahŕňa riadiacu logiku pre sekvencie módu testovania, algoritmy zberu a spracovania údajov v reálnom čase a komunikačné protokoly na prepojenie s externým ADC (ADS1115) a prepojenie so softvérom v PC.

ADS1115

Je to štvorkanálový analógovo-digitálny prevodník (ADC) s I2C komunikáciou a so štyrmi 16-bitovými kanálmi s nízkou spotrebou. Obsahuje registre pre nastavenie zosilnenia vstupných signálov, jednosmerné, a diferenciálne vstupy a zabudované referenčné napätie, čím zvyšuje presnosť merania napätia v rozsahu ± 256 mV až $\pm 6,144$ V.

Bipolárne tranzistory NPN a PNP

Tieto tranzistory slúžia ako rýchlo spínajúce elektronické spínače v riadiacich obvodoch zariadenia a ako zosilnenie riadiaceho signálu a umožňujú presné riadenie s vysokou frekvenciou. Pri návrhu boli použité tranzistory typu 2N2222 NPN, 2N2907 PNP a 2N3904 NPN.

Tranzistory P-MOSFET a N-MOSFET

Tranzistory P-MOSFET FDS4435BZ a N-MOSFET IRF Z44N sa používajú pre ich vysokú účinnosť pri spínaní. Tieto komponenty zabezpečujú minimálny pokles napätia a zahrievanie, čím zvyšujú celkovú účinnosť a spoľahlivosť systému.

Ovládač TC4420

Tento ovládač sa používa na riadenie tranzistorov MOSFET a poskytuje potrebné úrovne napätia a prúdu, na ich efektívne a rýchle spínanie, a chráni tranzistory MOSFET a mikrokontrolér pred poškodením v dôsledku prepätia a vnútorného skratu.

Cievka s feritovým

Používa sa v obvode znižovacieho (buck) meniča na uskladnenie energie a vyhladenie priebehu prúdu, čo umožňuje účinnú konverziu vstupného napätia na nižšiu úroveň výstupného napätia. Špecifikácie cievky vrátane jej indukčnosti a menovitého prúdu sa vyberajú na základe pracovnej frekvencie a požiadaviek na výstupný prúd meniča. Na vyhladzovanie hladiny napätia sú taktiež využité kondenzátory.

Výkonové rezistory ako bočníky

Presné výkonové rezistory sa používajú ako bočníky na meranie prúdu. Ich umiestnením do série s článkom možno merať úbytok napätia na týchto rezistoroch a použiť ho na výpočet prúdu tečúceho do článku alebo z článku.

Aktívny a pasívny chladič

Na zvládnutie tepla generovaného zariadením, najmä počas dlhšieho testovania alebo meraní vysokého prúdu, sa používa aktívny chladič s ventilátorom na 12 V a pasívny chladič. Zabezpečujú, že súčiastky v obvode zariadenia sa neprehrievajú, čo by v inom prípade znamenalo zmenu parametrov alebo znefunkčnenie obvodu.

Dvojkanálový reléový modul

Dvojkanálový reléový modul uľahčuje prepínanie medzi režimami nabíjania a vybíjania batériového článku s možnosťou prenášať vysoký prúd a obsahujú galvanickú izoláciu medzi riadiacim obvodom a cievkami relé.

Vývojové prostredie softvéru: Visual Studio C# .NET Framework

Vlastný softvér "LithTest" je vyvinutý v prostredí Visual Studio s využitím programovacieho jazyku C#. Vývojové prostredie bolo zvolené pre svoje rozsiahle knižnice, ktoré uľahčujú vytváranie užívateľského prostredia, manipuláciu s údajmi a grafické zobrazenie meraní.

3 Výsledky a diskusia

Spínací obvod nabíjania

Na Obr.1 je podrobne znázornený obvod navrhnutý na riadenie P-kanálového MOSFET tranzistora (P-MOSFET). Tento obvod využíva kombináciu konfigurácie tranzistora s otvoreným kolektorom a zosilňovacieho stupňa push-pull, ktoré spoločne zabezpečujú rýchle spínanie P-MOSFET.

Konfigurácia s otvoreným kolektorom

Základom konfigurácie s otvoreným kolektorom je tranzistor T1 typu 2N2222, ktorého kolektor je "otvorený" - to znamená, že nie je vnútorne pripojený k napájaniu v rámci integrovaného obvodu, a preto môže byť pripojený k externej záťaži alebo k inému stupňu

obvodu. Táto konfigurácia je výhodná na vytváranie rôznych logických funkcií, prepojenie s inými obvodmi a na riadenie MOSFET tranzistorov. Tranzistorom T1 je zabezpečený prenos úrovne napätia a prepojenie signálu PWM (5 V) s následným stupňom push-pull. Funguje ako prúdový zberač, ktorý je potrebný na riadenie bázy T2, keď je signál PWM v úrovni 1, a prepája T2 a T3 s nulovým potenciálom GND, čím vypína T3.

Fáza Push-Pull

Fáza push-pull, pozostávajúca z tranzistorov T2, typu 2N2907, a T3, typu 2N3904, v komplementárnom zapojení a je navrhnutá tak, aby bolo možné prenášať vysoký prúd bránou P-MOSFET-u. Keď je T2 zapnutý, dodáva prúd do brány P-MOSFET-u, čím znižuje napätie a vypína ho. Naopak, keď je T3 zapnutý, odvádza prúd z brány, čím umožňuje zapnutie P-MOSFET-u. Usporiadanie tranzistorov do push-pull zapojenia poskytuje vysokú schopnosť riadiť prúd pri zapínaní aj vypínaní P-MOSFET-u. Vysoký riadiaci prúd je nevyhnutný na rýchle nabíjanie a vybíjanie kapacity brány MOSFET-u, čo uľahčuje rýchle prechody medzi zapnutým a vypnutým stavom, ktoré sú rozhodujúce pri vysokofrekvenčných aplikáciách s PWM. Rýchle spínanie minimalizuje čas prechodu MOSFET-u medzi úplne zapnutým a úplne vypnutým stavom, kde je strata energie najvyššia v dôsledku súčasného vysokého úbytku napätia a prúdu. Rýchle prechody znižujú tieto straty, čím sa zvyšuje celková účinnosť. Rezistory R_{tr1} a R_{tr2} nastavujú predpätie tranzistorov a obmedzujú prúd prechádzajúci bázou, čím sa zabráni poškodeniu tranzistorov.

Nabíjací obvod - Step-down buck menič

Obr.3 znázorňuje primárny výkonový stupeň Step-down meniča, ktorý je základnou súčasťou spínaného napájacieho zdroja. Tento stupeň je zodpovedný za znižovanie vyššieho jednosmerného vstupného napätia na nižšie jednosmerné výstupné napätie s vysokou účinnosťou a pozostáva zo štyroch primárnych prvkov: P-kanálový MOSFET (P-MOSFET), Schottkyho dióda, cievka s feritovým jadrom a výstupný kondenzátor.

P-MOSFET v Step-down meniči funguje ako hlavné spínacie zariadenie. Keď je MOSFET zapnutý, cievkou preteká prúd, ktorý ukladá energiu v jej magnetickom poli. Počas tejto fázy sa energia prenáša zo vstupného napájania do cievky, potom do záťaže a výstupného kondenzátora. Keď sa MOSFET vypne, energia uložená v magnetickom poli cievky sa musí uvoľniť. Schottkyho dióda zabezpečuje tok prúdu z cievky, keď je MOSFET vypnutý. Táto dióda je charakteristická nízkym úbytkom napätia v prechodnom smere a rýchly čas zotavenia, čím sa znižujú straty a zvyšuje účinnosť meniča. Keď je P-MOSFET zapnutý, cievka uchováva energiu vo svojom magnetickom poli a následne je prenášaná do záťaže. Keď je MOSFET vypnutý, cievka vybíja uloženú energiu do záťaže, čím vyhladzuje pulzácie na výstupe.

Výstupný kondenzátor (C1) funguje spolu s cievkou na filtrovaní zvlnenia a šumu napätia z výstupu meniča, čím zabezpečuje stabilné jednosmerné napätie dodávané do záťaže. Kondenzátor absorbuje a uvoľňuje energiu pri zmenách napätia.

Princíp činnosti Step-down meniča

Step-down menič znižuje vstupné jednosmerné napätie na nižšie výstupné napätie prostredníctvom signálu PWM.

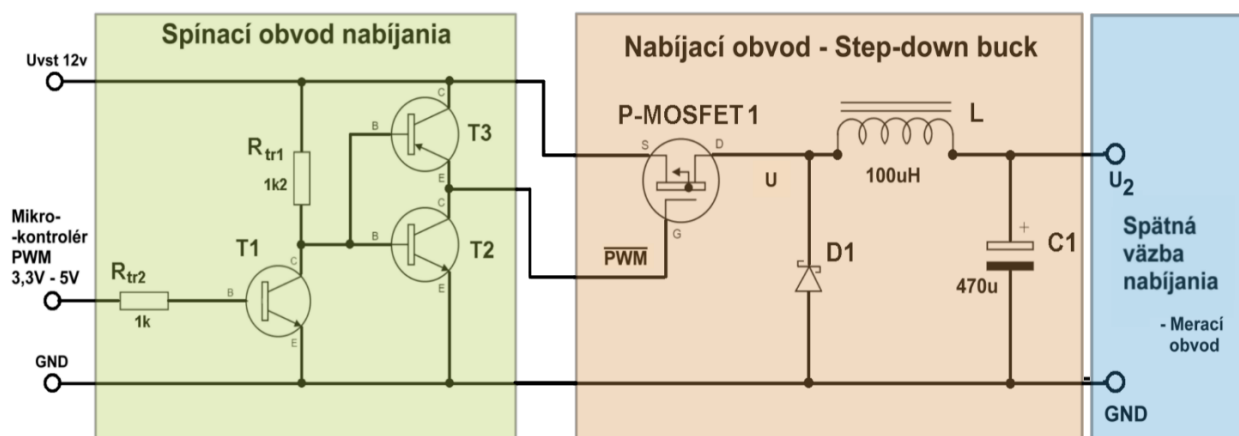
Pracovný cyklus priamo určuje výstupné napätie meniča ako podiel vstupného napätia podľa vzťahu

$$U_{výst} = U_{vst} \cdot D \quad (1)$$

Kde: $U_{výst}$ je výstupné napätie [V], U_{vst} je vstupné napätie [V], D je dĺžka pracovného cyklu počas jednej periódy.

Where: $U_{výst}$ output voltage [V], U_{vst} input voltage [V], D je length of duty cycle per period.

V ideálnom Step-down meniči by bol prechod medzi zapnutým a vypnutým stavom P-MOSFET okamžitý, čo by viedlo k nulovým spínacím stratám. V reálnom prípade prechody nie sú okamžité a počas spínania sa rozptyľuje energia v prechodových stavoch. Na zmiernenie týchto strát a zvýšenie účinnosti bol minimalizovaný čas spínania P-MOSFET-u, výberom komponentov s nízkymi parazitnými odpormi a kapacitami, a bol použitý riadiaci obvod, ktorý dokáže zabezpečiť rýchle a nabíjanie a vybíjanie brány MOSFET-u.



Obr. 1 Schéma bloku spínacieho a nabíjacieho obvodu
Fig. 1 Schematic of switching and charging stage block

Obvod spätnej väzby nabíjania

Spätná väzba je neoddeliteľnou súčasťou meničov napätia a teda aj nabíjacieho systému pre lítiové články. Tento obvod slúži na monitorovanie napätia článku a presné meranie prúdu tečúceho do článku na následné spracovanie hodnôt v mikrokontroléri a tiež na zabezpečenie riadenia regulácií vo forme spätnej väzby. Snímanie napätia výstupu zo Step-down meniča, na Obr. 2 označené ako V_2 , sa realizuje prostredníctvom deliča napätia, ktorý pozostáva z dvoch $5k\Omega$ rezistorov. Toto nastavenie je navrhnuté tak, aby merané napätie lítiového článku malo na vstupe do ADC nižšiu hodnotu, ktorá je bezpečná a vhodná na meranie riadiacim systémom. Výstupné napätie z napäťového deliča bolo možné vypočítať:

$$U_{V2} = \frac{R_{VD1}}{R_{VD1} + R_{VD2}} \cdot U_2 \quad (4)$$

Kde: U_{V2} je napätie na výstupe napäťového meniča, R_{VD1} je vstupný rezistor napäťového meniča, R_{VD2} je výstupný rezistor napäťového meniča a U_2 je napätie na výstupe Step-down meniča.

Where: U_{V2} is the voltage at the output of the voltage converter, R_{VD1} is the input resistor of the voltage converter, R_{VD2} is the output resistor of the voltage converter, and U_2 is the voltage at the output of the Step-down converter.

Dosadením hodnôt rezistorov bolo možné vypočítať pomer výstupného napätia voči vstupnému:

$$U_{V2} = \frac{5000}{5000 + 5000} \cdot U_2 \rightarrow U_{V2} = \frac{U_2}{2} \rightarrow U_2 = 2 \cdot U_{V2} \quad (5)$$

Na meranie napätia na lítiovom článku, na Obr. 2 označené ako $V1$, nebolo potrebné použiť napäťový delič pretože napätie na lítiovom článku by v žiadnom prípade nemalo presahovať 4,2 V. Snímanie prúdu sa dosahuje meraním úbytku napätia na bočníkovom rezistore $R1$ (2,2 Ω). Keď cez tento rezistor preteká prúd, vzniká na ňom úbytok napätia, ktorý nie je meraný priamo ale rozdielom napätí $U2$ a $U1$ z toho dôvodu, že ADC prevodník má nulový potenciál vodivo spojený s GND, preto ak by bol nulový potenciál ADC prevodníka pripojený na akýkoľvek z kontaktov bočníkového rezistora, bol by spôsobený skrat článku alebo výstupu z nabíjacieho obvodu. Úbytok na rezistore $R1$ je teda vypočítaný podľa vzťahu:

$$U_{R1} = 2 \cdot U_{V2} - U_{V1} \quad (2)$$

Kde: U_{R1} je úbytok napätia na rezistore, U_{V2} je napätie merané na $V2$ a U_{V1} je napätie merané na $V1$.

Where: U_{R1} is the voltage drop on the resistor, U_{V2} is the voltage measured at $V2$ and U_{V1} is the voltage measured at $V1$.

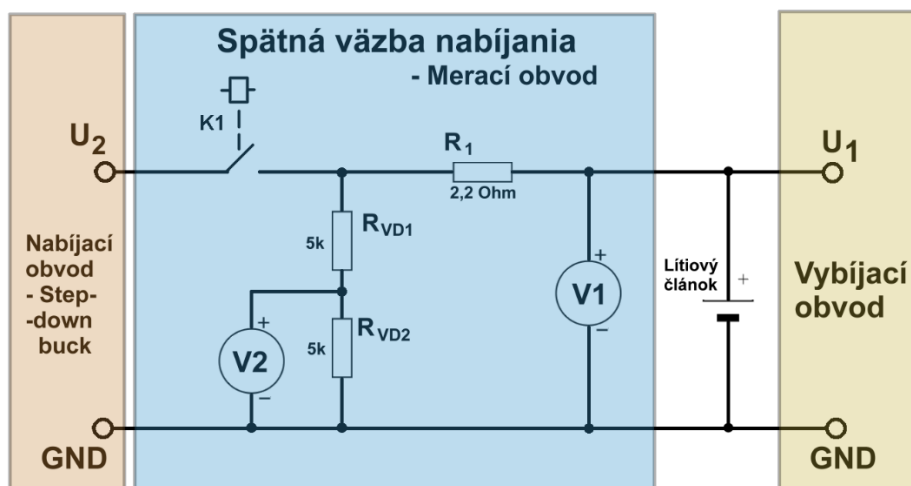
Úbytok napätia U_{R1} je priamo úmerný prúdu podľa Ohmovho zákona, z čoho je možné vypočítať prúd prechádzajúci $R1$, ktorý je rovnaký ako nabíjací prúd:

$$I = (2 \cdot U_{V2} - U_{V1}) \cdot R_1 \quad (3)$$

Kde: I je prúd prechádzajúci rezistorom a zároveň nabíjací prúd a R_1 je hodnota odporu bočníkového rezistora.

Where: I is the current passing through the resistor and at the same time the charging current, and R_1 is the resistance value of the sidewall resistor

Spätná väzba je nevyhnutná pre riadenie nabíjania. Riadiaci systém na základe údajov o napätí upravuje pracovný cyklus PWM, ktorým sa riadi P-MOSFET v Step-down meniči (ako je znázornené na Obr. 1). Na základe druhu fázy nabíjania s pomocou proporcionálno-sumačného (PS) regulátora v rámci riadiaceho systému je možné priebežne regulovať nabíjacie parametre a minimalizovať chybu medzi požadovaným nabíjacím prúdom a skutočným prúdom vo fáze nabíjania konštantným prúdom (CC) alebo chybu medzi požadovaným napätím nabíjania a skutočným napätím vo fáze nabíjania pri konštantnom napätí (CV), úpravou signálu PWM. Z dôvodu neustáleho monitorovania napätí a prúdu je možné celý proces nabíjania zaznamenávať a vyhodnocovať charakteristiky vlastností lítiového článku, z ktorých možno analyzovať a porovnávať parametre, ktoré sú dôležité pri výbere lítiového článku s vhodnými vlastnosťami pre konkrétne použitie. Po integrácii so spínacím obvodom a obvodom výkonového stupňa z Obr. 1, tento modul spätnej väzby dopĺňa uzavretý riadiaci systém pre nabíjací obvod lítiových článkov.



Obr. 2 Schéma bloku spätnej väzby nabíjania – merací obvod
Fig. 2 Schematic of charging feedback stage block

Vybíjací obvod

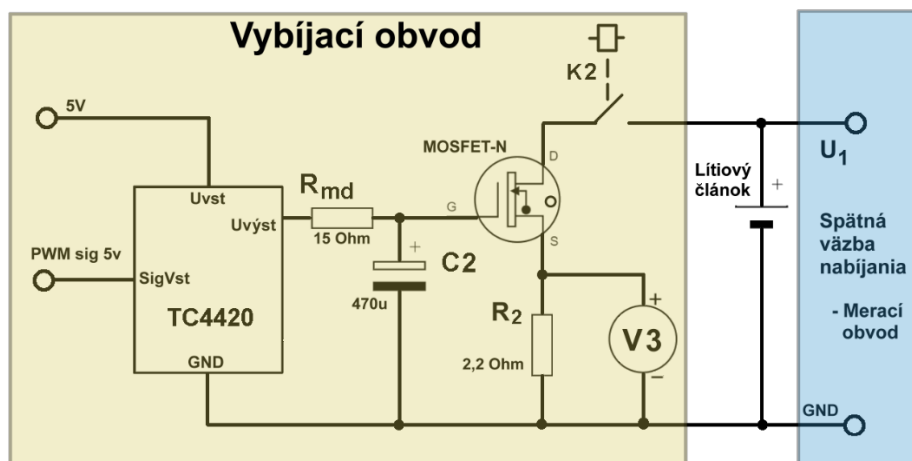
Týmto obvodom je zabezpečené riadené vybíjanie premenou elektrickej energie z lítiového článku na tepelnú energiu vo výkonových častiach obvodu. Obvod obsahuje N-kanálový MOSFET riadený pomocou PWM z mikrokontroléru, ovládačom pre MOSFET tranzistory je TC4420, filter na prevod PWM na analógové napätie a bočkový výkonový rezistor na snímanie prúdu so spätnou väzbou.

TC4420 je využitý na premenu vstupného PWM signálu na analógové napätie s možnosťou dodávať vyšší prúd na bránu MOSFET tranzistora. K výstupu TC4420 je pripojený RC filter, ktorý sa skladá z rezistora R_{md} a kondenzátora C_2 . Filter slúži na vyhladenie signálu PWM z výstupu TC4420 na stabilné analógové napätie. Toto napätie je privádzané na hradlo N-kanálového MOSFET tranzistoru, ktorý je takýmto spôsobom riadený v oblasti nasýtenia, kde funguje ako záťaž s premenlivým odporom na riadenie vybíjacieho prúdu cez R_2 .

N-kanálový MOSFET Je hlavným spínacím zariadením vybíjacieho obvodu, ktoré umožňuje prietok prúdu z lítiového článku cez odpor R_2 , čím sa článok vybíja. Úpravou pracovného cyklu PWM je tak možné mikrokontrolérom meniť odpor MOSFET tranzistora, čo umožňuje presné riadenie vybíjacieho prúdu. V obvode na Obr. 3 je použitý N-kanálový MOSFET IRLZ44N. Je vhodný pre aplikácie s vysokým výkonom. Teplotný rozptyl pri spojení s vhodným chladičom dokáže spotrebovať bez dosiahnutia kritickej teploty približne 94W až 150 W. V zariadení na meranie lítiových článkov je spojený s hliníkovým chladičom s dĺžkou $l = 100$ mm, šírkou $d = 60$ mm a hĺbkou $h = 10$ mm, s ktorým je spojený skrutkou a teplovodivou pastou, čo je dostačujúce pre pasívne chladenie.

Snímanie prúdu a spätná väzba vybíjacieho obvodu

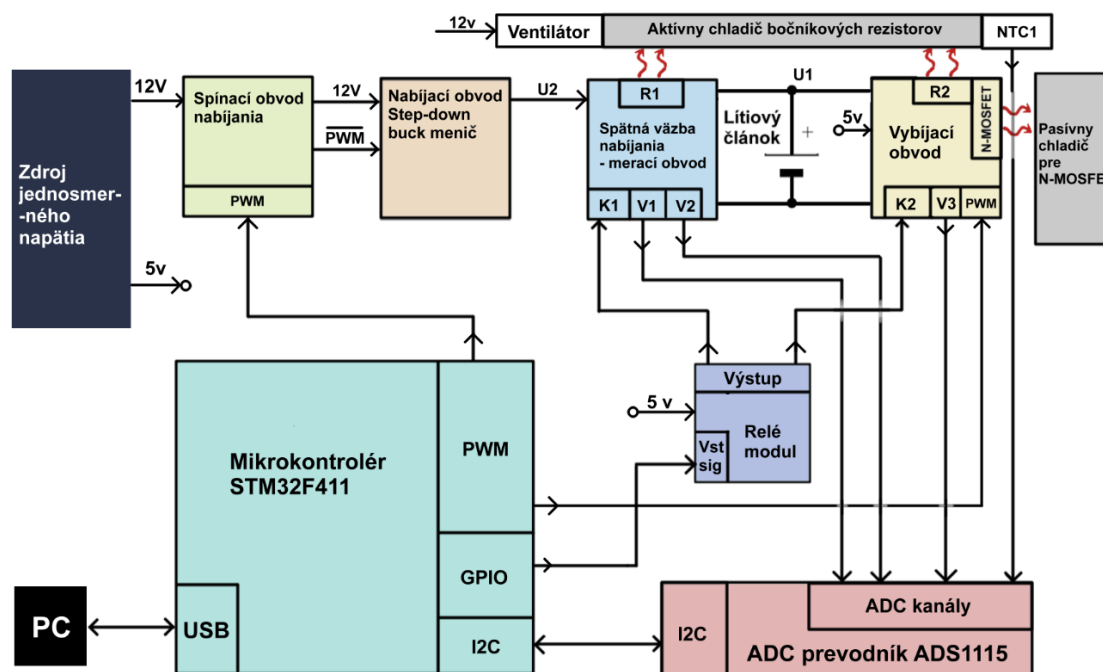
Úbytok napätia na R_2 je merané pomocou ADC prevodníku, na Obr. 3 označené ako V3. Ohmovým zákonom sa na základe nameraného úbytku napätia a hodnoty odporu rezistoru R_2 sa v mikrokontroléri vypočítava vybíjací prúd lítiového článku. Táto spätná väzba sa posiela do regulátora, ktorý upravuje signál PWM, aby sa počas vybíjania udržiaval konštantný prúd alebo konštantné napätie článku.



Obr. 3 Schéma bloku vybíjacieho obvodu
Fig. 3 Schematic of discharging circuit block

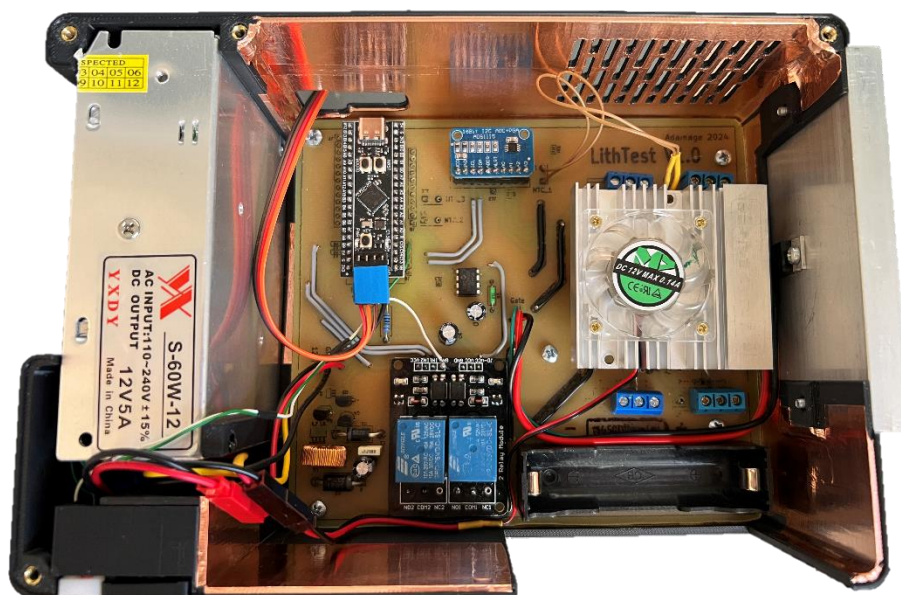
Bloková schéma zariadenia

Navrhnuté zariadenie na meranie elektrochemických parametrov je zobrazené na blokovej schéme na Obr. 4. Výkonové časti zariadenia sú napájané pomocou zdroju jednosmerného napätia, ktoré je napájané sieťovým napätím 230 V. Hlavnou regulačnou a riadiacou časťou zariadenia je mikrokontrolér STM32F411, ktorý plní viacero účelov v obvode zariadenia: ako je nastavenie pracovného cyklu PWM pre zmenu nabíjacieho a vybíjacieho prúdu a napätia, riadenie spínania relé modulu pomocou GPIO výstupov, komunikácia s ADC prevodníkom ADS1115 pomocou I2C komunikácie, Komunikácia s PC pomocou USB pre nastavenie zariadenia z aplikácií „LithTest“ a odosielanie nameraných dát do PC, spracovanie dát, výpočet teploty a vyhodnocovanie spätnej väzby pre reguláciu. Nabíjanie lítiového článku je vykonávané pomocou bloku spínacieho obvodu nabíjania, bloku nabíjacieho obvodu a bloku spätnej väzby nabíjania. Spínací obvod nabíjania privádza zosilnený PWM signál z mikrokontroléra do nabíjacieho obvodu, ktorý znižuje vstupných 12V na výstupe, ktoré je privádzané na kladný pól lítiového článku cez kontakt relé modulu, je merané v spätnej väzbe nabíjania ADC prevodníkom, a hodnota napätia sa odosiela do mikrokontroléra. V spätnej väzbe nabíjania sa meria aj napätie lítiového článku. Vybíjanie lítiového článku je uskutočňované pomocou vybíjacieho obvodu, ktorý obsahuje druhý kontakt relé modulu K2, meranie napätia V3 na bočníkovom odpore. N-MOSFET tranzistor vybíjacieho obvodu je teplo-vodivo spojený s pasívnym chladičom. Bočníkový odpor spätnej väzby R1 a vybíjacieho obvodu R2 je teplo-vodivo spojený s aktívnym chladičom, s ventilátorom napájaným napätím 12 V priamo od zdroju jednosmerného napätia. Relé modul je riadený mikrokontrolérom a cievky relé sú napájané napätím 5 V z jednosmerného zdroja. ADC prevodník ADS1115 meria všetky hodnoty napätia a odosiela ich hodnoty do mikrokontroléra.



Obr. 4 Bloková schéma zariadenia na meranie elektrochemických vlastností lítiových článkov
Fig. 4 Block schematic of device for measuring electrochemical properties of lithium cells

Doska plošných spojov bola vytvorená leptaním sklolaminátovej dosky s medenou fóliou na jednej strane. Súčiastky boli osadené podľa schémy na Obr. 1 až Obr. 4. Na základe veľkostí dosky plošných spojov a zvyšných komponentov bol nadizajnovaný a zostrojený kryt zariadenia pomocou 3D tlačiarne, vid'. Obr. 5 a Obr. 6.

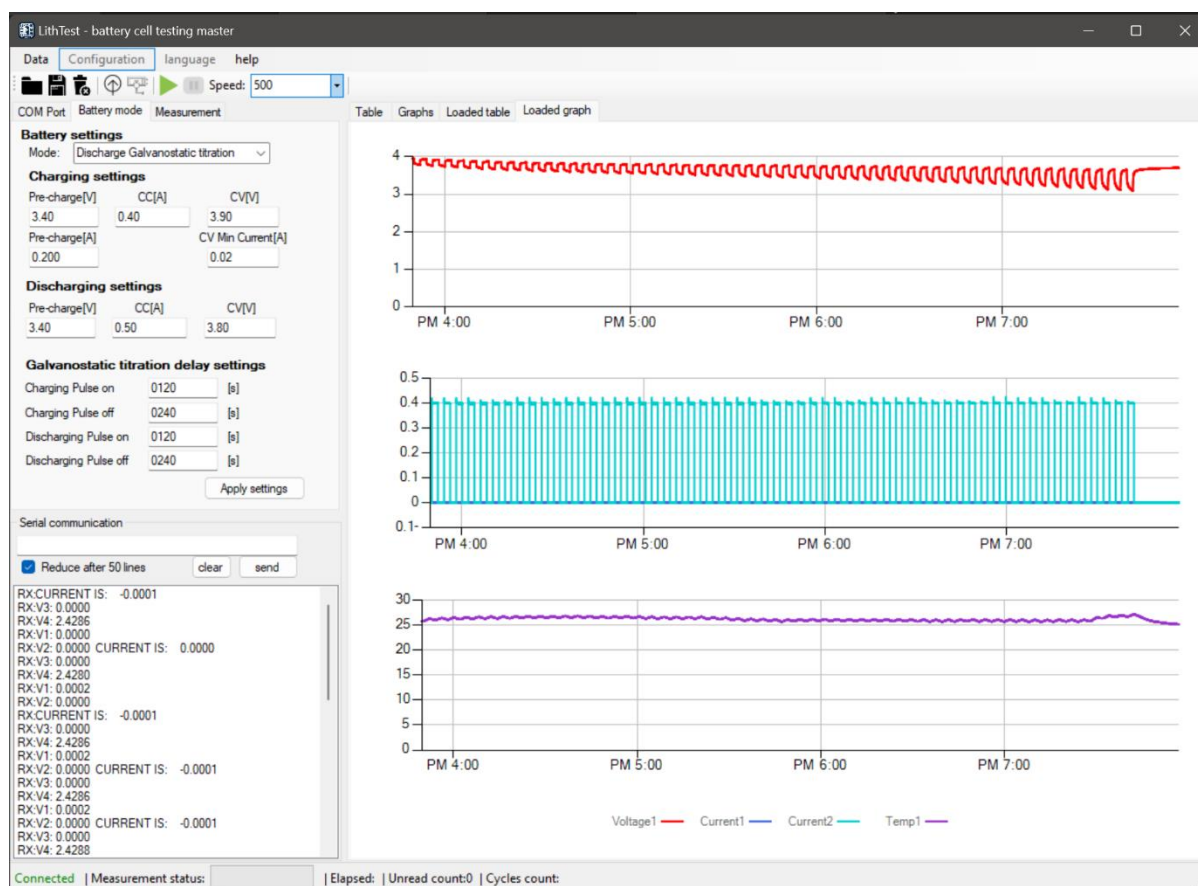


Obr. 5 Zariadenie na meranie elektrochemických vlastností lítiového článku bez vrchného krytu
Fig. 5 Device for measuring electrochemical properties of lithium cell without top casing



Obr. 6 Kryt zariadenia na meranie elektrochemických vlastností lítiových článkov
Fig. 6 Casing of device for measuring electrochemical properties of lithium cells

V softvéri s názvom „LithTest“ na Obr. 7, ktorý bol vytvorený v prostredí Visual studio, bolo nastavené a riadené meranie lítiových článkov, z ktorého namerané údaje boli uložené do súborov formátu „.csv“ a následne spracované v programe Microsoft Excel.

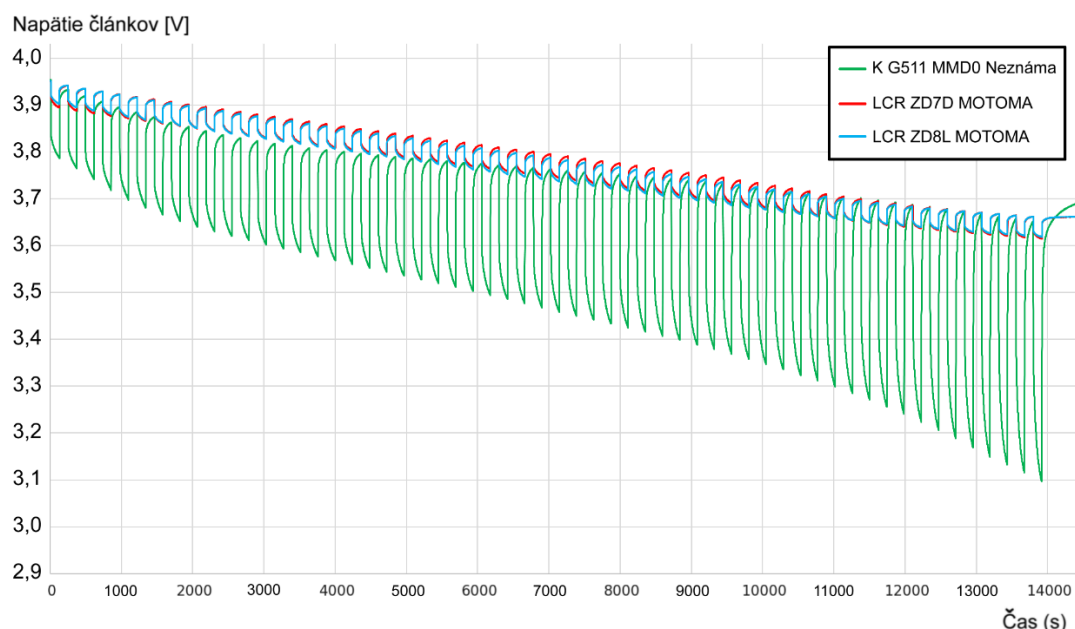


Obr. 7 Počítačový softvér zariadenia
Fig. 7 Computer software of device

Výsledky meraní

V rámci testovania boli uskutočnené merania elektrochemických vlastností troch lítiových článkov typu 18650, identifikovaných ako G511 a dva články značky MOTOMA (ZD7D a ZD8L), pomocou galvanostatickej titračnej metódy. Merania boli realizované pri konštantnom vybíjacom prúde 0,3 A s vybíjacími pulzami trvajúcimi 122 sekúnd nasledovanými 122-sekundovými intervalmi bez prúdu. Celkovo bolo vykonaných 58 takýchto cyklov.

Na Obr. 8 je možné vidieť, že oba články MOTOMA (ZD7D a ZD8L) preukázali vysokú stabilitu s maximálnym úbytkom napätia pri záťaži iba 0,0471 V a 0,0442 V, čo svedčí o ich dobrých výkonových charakteristikách. Naproti tomu, pri článku G511 bolo zaznamenané postupné zvyšovanie úbytku napätia, v maxime 0,5559 V, ktoré indikuje možné známky opotrebenia a nižšiu efektivitu.



Obr. 8 Graf merania elektrochemických parametrov troch lítiových článkov galvanostatickou titračnou metódou

Fig. 8 Chart of electrochemical properties measurement of three lithium cells using galvanostatic titration method

4 Záver

V tejto práci bola úspešne navrhnutá a skonštruovaná súprava pre presné meranie elektrochemických vlastností lítiových článkov. Súčasťou súpravy je zariadenie a softvér, umožňujúce monitorovanie procesu merania, vizualizáciu v reálnom čase, a uchovávanie získaných dát pre neskoršiu analýzu.

Boli uskutočnené merania na troch rozličných článkoch pod rovnakými podmienkami, ktoré ukázali použiteľné a logicky podložiteľné výsledky, čo dokazuje, že navrhnuté zariadenie poskytuje konzistentné a presné údaje o charakteristických vlastnostiach skúmaných článkov. Rozdiely v meraných údajoch odhalili, že zatiaľ čo články MOTOMA si udržiavali stabilné napätie aj pod záťažou, článok s označením G511, ktorý bol významne starší, vykazoval postupne sa zvyšujúci úbytok napätia, čo potvrdzuje jeho vek a naznačuje potencionálne

nesprávny spôsob jeho používania. Celkové poňatie výsledkov potvrdzuje, že zariadenie spolu so softvérom môže pomôcť pri testovaní vlastností lítiových článkov.

5 Literatúra

Infineon Technologies AG. 2010. IRFZ44NPbF: HEXFET Power MOSFET [online]. Revízia B, 21. september 2010 [cit. 2024-03-31]. Dostupné na: <https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IRFZ44N-DataSheet-v01_01-EN.pdf?fileId=5546d462533600a40153563b3a9f220d>

Microchip Technology Inc. 2012. TC4420/TC4429: 6A High-Speed MOSFET Drivers [online]. Revízia D, December 2012 [cit. 2024-03-29]. Dostupné na: <<https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21419D.pdf>>

MOTOMA POWER. 2018. MOTOMA ARGENTINA [online]. © 2018 [cit. 2024-03-28]. Dostupné na: <<https://www.motomaargentina.com.ar/pdf/litio/LCR18650-2600.pdf>>.

SHEN, Weixiang; VO, Thanh Tu; KAPOOR, Ajay. 2012. Charging algorithms of lithium-ion batteries: An overview. In: 2012 7th IEEE conference on industrial electronics and applications (ICIEA). p. 1567-1572. IEEE.

STMicroelectronics. 2024. STM32F411xC STM32F411xE: Arm® Cortex®-M4 32b MCU+FPU 125 DMIPS 512KB Flash 128KB RAM USB OTG FS 11 TIMs 1 ADC 13 comm. interfaces [online]. [cit. 2024-03-28]. Dostupné na: <<https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f411ce.pdf>>

Texas Instruments. 2018. ADS1115: Ultra-Small, Low-Power, I2C-Compatible, 860-SPS, 16-Bit ADCs With Internal Reference, Oscillator, and Programmable Comparator [online]. Revizované január 2018 [cit. 2024-03-28]. Dostupné na: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1115.pdf?ts=1711865759242&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F>

WEISS, M., et al. 2021. Fast Charging of Lithium-Ion Batteries: A Review of Materials Aspects. In Adv. Energy Mater. [online] 11, 2101126 [cit. 2024-03-28]. Dostupné na: <<https://doi.org/10.1002/aenm.202101126>>.

Súhrn

Táto práca je zameraná na zariadenie na meranie účinnosti lítiových batériových článkov s názvom "LithTest". Zariadenie využíva impulzovo-šírkovou moduláciou riadený step-down buck konvertor a MOSFET tranzistor na nabíjanie a vybíjanie článku. Mikrokontrolér STM32F411 s analógovo-digitálnym prevodníkom ADS1115 funguje spoločne ako merací a regulačný systém prúdu a napätia. Na zaznamenávanie nameraných údajov a riadenie režimov merania sa používa vlastný softvér v rámci C# .NET vytvorený v prostredí Visual Studio. Zariadenie je schopné vykonávať merania pomocou nabíjania a vybíjania konštantným prúdom a napätím, a galvanostatickou metódou. Všetky namerané údaje sa zhromažďujú a ukladajú v počítači.

Kľúčové slová: účinnosť, pulzno-šírková modulácia, step-down menič, mikrokontrolér, meranie, softvér, konštantný prúd, konštantné napätie, galvanostatická titračná metóda

Pod'akovanie: Táto publikácia bola podporená Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR v rámci projektu KEGA 020SPU-4/2023: Implementácia virtualizácie fyzikálnych laboratórií pomocou riadiacich a automatizačných systémov v odbore Strojárstvo.

ANALÝZA VPLYVU TEPLoty NA DYNAMICKÚ VISKOZITU OLEJA PRE SPAĽOVACIE MOTORY ANALYSIS OF THE EFFECT OF TEMPERATURE ON THE DYNAMIC VISCOSITY OF OIL FOR COMBUSTION ENGINES

PATRIK BELKO¹ – PETER HLAVÁČ²

Abstract

The aim of the work was to measure and compare the dynamic viscosity of engine oils intended for four-stroke internal combustion engines. We created pairs of new and used engine oil from the tested samples. Motor oils from the manufacturers MOTUL and SHELL were tested. We measured the dynamic viscosity using instruments Brookfield DV2T viscometer and a JULABO CD-200F device was used to control the temperature of the tested samples. Dynamic viscosity was measured in the temperature range from 5 °C to 90 °C. From the measured values, we created tables and graphs that show the dependence between temperature and dynamic viscosity. From the measurements, we found that the dynamic viscosity decreases exponentially with increasing temperature. We noted the difference in dynamic viscosity between new and used samples. In the last part, we mentioned what factors can cause a decrease in dynamic viscosity.

Key words: engine oil, lubrication, dynamic viscosity, temperature

6 1 Úvod

Vozidlá sú v súčasnosti neoddeliteľnou časťou bežného života, či už sa jedná o osobné vozidlá, nákladné vozidlá, štvorkolky, motocykle alebo iné dopravné prostriedky. Aj napriek tomu že v súčasnosti prísne emisné normy a nariadenia pretláčajú do popredia elektricky poháňané vozidlá, väčšina vozidiel na cestách stále využíva spaľovací motor. Spaľovacie motory môžeme nájsť v rôznych konštrukčných konfiguráciách uloženia valcov, ako napríklad radové motory alebo motory v tvare písmena V. Najpoužívanějšími palivami sú v súčasnosti benzín a nafta. Spaľovacie motory používajúce benzín sú známe ako zážihové motory, naopak tie, ktoré používajú naftu poznáme ako vznietové. Aby motory správne fungovali je potreba zabezpečiť správne mazanie, ktoré zabezpečujú motorové oleje (Folkson – Sapsford, 2022).

Hlavnou a najdôležitejšou funkciou motorových olejov je zníženie trenia a mechanického opotrebenia dotýkajúcich sa komponentov. Tieto komponenty sú vyrobené s veľmi malými toleranciami. Aby sa znížilo trenie medzi komponentami je medzi nimi potrebné udržiavať tenkú vrstvu oleja, ktorá účinne oddeľuje povrchy komponentov. Nedostatok maziva medzi dielmi môže spôsobiť hromadenie nadmerného tepla, ktoré môže jednotlivé komponenty navzájom zvariť a poškodiť tak motor (Kershaw, 2023). Druhou významnou schopnosťou motorových olejov je ich čistiaca funkcia. Aj pri mazaní totižto prebieha opotrebenie komponentov a vznikajú mikroskopické čiastočky oderových kovov. V motorových olejoch sa nachádzajú pozitívne nabité častice vo forme aditív, ktoré na seba tieto čiastočky viažu a odplavujú ich do olejovej vane, kde sa pri cirkulácii zachytia v olejovom

filtri (Deng – Mecrow, 2022). Ďalšou úlohou motorových olejov je schopnosť vytvárať dynamické tesnenie medzi piestom a valcom. Toto tesnenie je vytvorené za pomoci sady piestnych krúžkov. Motorový olej utesňuje spaľovaciu komoru motora a súčasne zabraňuje, aby sa spaliny dostávali do mazaného priestoru. Počas toho ako motorový olej preteká mazacími kanálkami a je rozstrekaný v mazanom priestore na jednotlivé pohybujúce sa komponenty, odoberá z ich plôch teplo. Tým ako olej cirkuluje, je obsiahnuté teplo odvádzané do olejovej vane. Samotný olej nedosahuje dostačujúci chladiaci účinok, preto sú motory vybavené chladiacim okruhom s chladiacou kvapalinou, ktorá udržiava motor v pracovnej teplote. Motorový olej odvádza teplo len z miest, ktoré nie je možné chladiť týmto okruhom (Abdo, 2011).

Aby mohli byť spomínané funkcie zabezpečené, motorové oleje obsahujú množstvo aditív, ktoré zlepšujú ich vlastnosti a predlžujú životnosť. Patria sem predovšetkým inhibítory oxidácie a korózie, ktoré zabraňujú oleju v absorpcii vzdušného kyslíka. Kyslík reaguje s oderovými kovmi, nečistotami a samotným motorovým olejom, čím sa tvoria kyseliny, ktoré by mohli poškodiť mazané povrchy vo forme korózie. Medzi ďalšie patria aditíva na zníženie mechanického opotrebovania a trenia. Molekuly týchto aditív sú polaritné, čo znamená že sú priťahované na kovové povrchy komponentov a vytvárajú na nich povlak. Takýto povlak vytvára tlmiacu klzkú vrstvu medzi dotýkajúcimi sa časťami a zabraňuje tak zvýšenému opotrebovaniu. Ďalšími aditívami sú detergenty, dispergátory a emulgátory. Detergenty a dispergátory zabraňujú ukladaniu nečistôt tak, že ich udržiavajú rozptýlené v oleji, čím zabraňujú ich hromadeniu. V motorových olejoch sa taktiež nachádzajú aditíva, ktoré zabraňujú peneniu oleja, zlepšujú jeho lepivosť, aby udržiaval komponenty pokryté a aditíva, ktoré znižujú bod tuhnutia. Významným je aj aditívum na zlepšenie viskozitného indexu, ktoré zabezpečujú lepší prietok motorového oleja pri nízkych teplotách (Totten et al., 2019).

Vlastnosti motorových olejov ovplyvňujú jeho funkcie, čo má vplyv na chod a životnosť motora. Najdôležitejšou je viskozita motorového oleja, ktorá sa vzťahuje na to, aký ma olej odpor voči tečeniu. Viskozita je ovplyvnená teplotou samotného oleja. Správna viskozita motorového oleja zaručuje dostatočné mazanie aj počas chladných podmienok. Ďalšou vlastnosťou je viskozitný index vyjadrujúci rýchlosť zmeny viskozity s meniacou sa teplotou. Analýzou viskozity môžeme odhaliť technický stav motorového oleja (Lubcheck, 2023).

7 2 Materiál a metódy

8 Charakteristika meraných vzoriek

Na realizáciu analýzy viskozity sme zaobstarali vzorky motorových olejov určené pre motocykle so štvortaktným motorom. V našom prípade to budú štyri vzorky, dve nové a dve použité. Použité vzorky budú z motocyklov s uvedeným počtom najazdených kilometrov. Zaobstarané vzorky nepoužitých motorových olejov budú totožnými produktmi s použitými vzorkami, z ktorých vytvoríme dvojice a následne porovnáme zmeny viskozity pri rôznych teplotách.

9 MOTUL 5100 10W-40 4T

Motorový olej MOTUL 5100 10W-40 4T je určený pre štvortaktné motory súčasných cestných a športových motocyklov. Splňa emisné normy EURO 2, 3, 4 a 5 (MOTUL, 2022). Jedná sa o polysyntetický olej vyrobený na báze esterovej syntézy a Technosyntézy, ktorá je patentovaná firmou MOTUL, ktorá pri danom oleji zaručuje zvýšené mazacie vlastnosti pri prevádzkových teplotách. Olej obsahuje inovatívne aditíva, ktoré chránia voči zvýšenému mechanickému opotrebovaniu čo poskytuje motoru zvýšenú ochranu a dlhšiu životnosť. Výrobca uvádza, že kinematická viskozita má pri teplote 40 °C hodnotu 87,6 mm²·s⁻¹, a pri teplote

100 °C hodnotu $13,8 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Viskozitný index motorového oleja má hodnotu 161 (MOTUL, 2022). Z uvedeného oleja boli zaobstarané dve vzorky. Prvá vzorka reprezentuje nový, nepoužitý motorový olej. Druhá vzorka predstavuje použitý olej, ktorý bol odobraný zo skútra Honda SCV 100 Lead. Na tomto oleji je zaznamenaný nájazd 2130 km a bol používaný približne dva roky. Výrobca skútra uvádza interval výmeny oleja každých 3000 km.

10 Shell Advance Ultra 4T 10W-40

Séria motorových olejov Shell Advance 4T Ultra sa zaraďuje medzi špičkové oleje určené pre cestné a športové motocykle so štvortaktným motorom (SHELL, 2019). Jedná sa o plne syntetické oleje, na ktorých výrobu sa používa technológia PurePlus, ktorá premieňa zemný plyn na základovú zložku oleja. Základová zložka je v tomto prípade omnoho čistejšia ako tie, ktoré sú vytvorené z ropy. Do oleja sú primiešané špecifické aditíva, ktoré zabezpečujú čistenie motora. Čistejší motor zabezpečuje vyššiu účinnosť, výkon a ochranu voči mechanickému opotrebeniu. Výrobca v produktovej listine uvádza, že hodnota kinematickej viskozity pri 40 °C dosahuje hodnotu $90,2 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, a pri teplote 100 °C hodnotu $14,2 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Viskozitný index má hodnotu 163 (SHELL, 2019). Aj v tomto prípade sme zaobstarali dve vzorky. Prvá vzorka bude reprezentovať nový nepoužitý olej. Druhá vzorka reprezentuje použitý motorový olej. Použitý olej bol odobraný z cestného motocyklu Keeway RKV 125 so zaznamenaným nájazdom 3100 km. Olej bol v motocykli používaný približne jeden rok. Výrobca motocyklu uvádza interval výmeny oleja pri dosiahnutí nájazdu 5000 km.

11 Charakteristika použitých prístrojov

Analýza motorových olejov bude realizovaná v priestoroch laboratórií AgroBioTech. Budeme skúmať vplyv teploty na dynamickú viskozitu. Meranie bude prebiehať v rozsahu od 5 °C do 90 °C. Dynamickú viskozitu budeme merať pomocou vizkozimera Brookfield DV2T. Reguláciu teploty testovaných vzoriek zabezpečí prístroj JULABO CD-200F.

Viskozimeter Brookfield DV2T

Séria vizkozimetrov Brookfield DV-II patrí k popredným priemyselným viskozimetrom a pôsobia v oblasti pre kontrolu kvality a výskum. Viskozimeter obsahuje farebný, dotykový displej, ktorý ponúka jednoduché a prehľadné užívateľské rozhranie. Prístroj obsahuje vreteno, ktoré poháňa sondu uchytenú v kalibrovannej pružine. Samotná sonda je ponorená v testovanej kvapaline, v ktorej sa otáča. Odpor kvapaliny je cez sondu prenášaný na pružinu a spôsobuje jej vychýlenie, ktoré je merané rotačným prevodníkom. Cez softwarový algoritmus je vychýlenie pružiny premieňané na hodnotu dynamickej viskozity. Rozsah merania dynamickej viskozity je určený rýchlosťou otáčania vretena, veľkosťou a tvarom sondy, tvarom meracej nádoby a rozsahom krútiaceho momentu kalibrovannej pružiny. Počas merania je z displeja možné vyčítať hodnotu dynamickej viskozity, krútiaceho momentu, teploty vzorky a rýchlosť otáčok sondy (BROOKFIELD, 2014).

12 Regulátor teploty kvapaliny JULABO CD-200F

Keďže viskozimeter Brookfield DV2T nie je vybavený zariadením na ohrev alebo chladenie testovanej vzorky, musíme použiť prístroj JULABO CD-200F. Tento prístroj je určený na reguláciu teploty kvapaliny v nádrži a jej cirkuláciu. Po zapnutí prístroja sa spustí obehové čerpadlo, ktoré cirkuluje kvapalinu cez držiak nádoby s testovanou kvapalinou. Nastavenie požadovanej teploty prebieha pomocou fyzických tlačidiel. Zariadenie obsahuje digitálny displej, ktorom môžeme vidieť teplotu v reálnom čase (JULABO, 2017).

Regresná rovnica

Regresnú rovnicu môžeme použiť na výpočet hodnôt dynamickej viskozity pre teploty mimo rozsahu nášho merania. Grafickú závislosť dynamickej viskozity v závislosti od meniacej sa teploty budeme modelovať v nasledujúcom tvare:

$$\eta = D e^{-E\left(\frac{t}{t_0}\right)} \quad (1)$$

Kde: η – dynamická viskozita vzorky, [mPa·s]

D, E – koeficienty regresnej rovnice pre dynamickú viskozitu, [mPa·s; 1]

e – eulerovo číslo

t – teplota vzorky [°C]

$t_0 = 1$ °C

Where: η – dynamic viscosity of the sample, [mPa·s]

D, E – coefficients of regression equation for the dynamic viscosity, [mPa·s; 1]

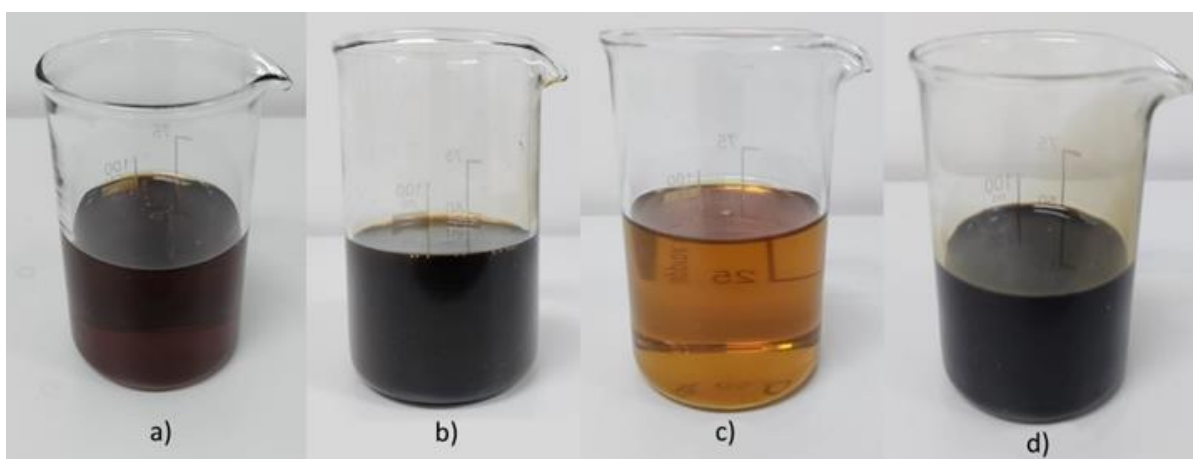
e – Euler's number

t – temperature of the sample [°C]

$t_0 = 1$ °C (Hlaváč et al., 2019)

13 3 Výsledky a diskusia

Vykonalí sme analýzu dynamickej viskozity v závislosti od meniacej sa teploty, merania boli zrealizované na štyroch vzorkách motorových olejov určené pre motocykle so štvortaktným motorom. Dve vzorky boli použité motorové oleje a dve vzorky boli nepoužité motorové oleje rovnakého druhu. Vzorky sú zobrazené na Obr. 1. Merania sme vykonali na zariadeniach Brookfield DV2T a JULABO CD-200F.



Obr. 1 Merané vzorky, a) MOTUL 10W-40 nový, b) MOTUL 10W-40 použitý, c) Shell 10W-40 nový, d) Shell 10W-40 použitý

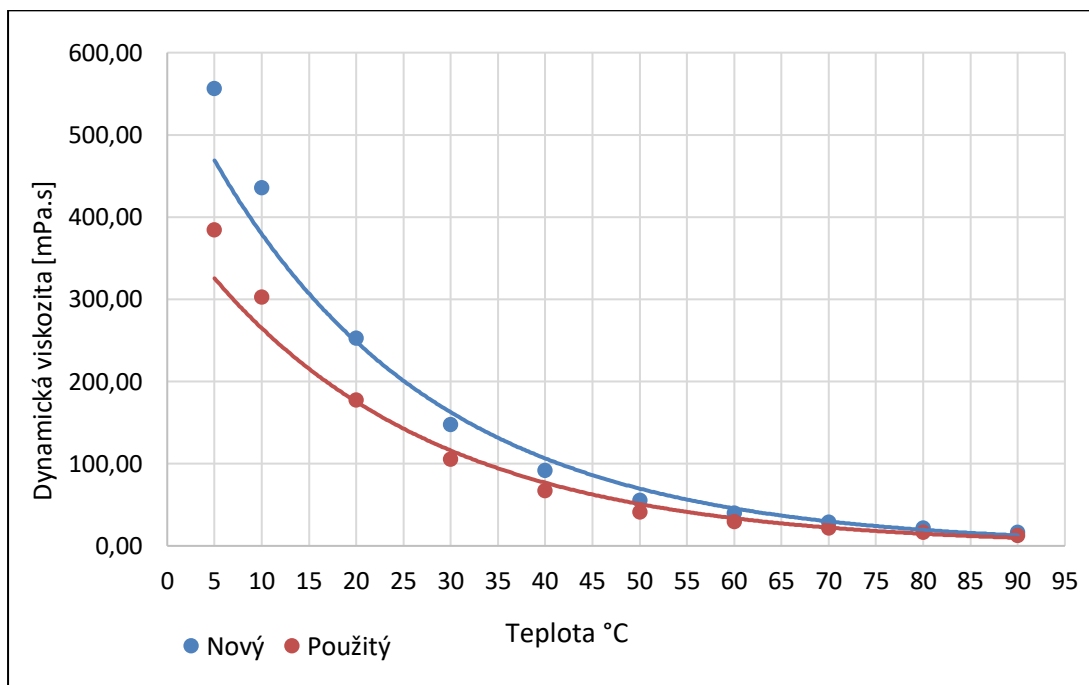
Fig. 1 Measured samples, a) MOTUL 10W-40 new, b) MOTUL 10W-40 used, c) Shell 10W-40 new, d) Shell 10W-40 used

14 Meranie dynamickej viskozity vzoriek MOTUL 10W-40

Dynamickú viskozitu sme najskôr merali na vzorkách motorových olejov značky MOTUL. Merané boli dve vzorky, nová a použitá. Namerané hodnoty sme zapísali do tabuľky na základe ktorej sme vytvorili graf (Obr. 2). Môžeme pozorovať že dynamická viskozita oboch vzoriek je spoiatku väčšia, no s narastajúcou teplotou exponenciálne klesá. V grafe si môžeme všimnúť rozdiel pri počiatkovej teplote merania 5 °C. Pri tejto teplote je rozdiel 172,2 mPa·s. Tento rozdiel sa z narastajúcou teplotou postupne znižuje. Pri teplote merania 90 °C je tento rozdiel iba 4,02 mPa·s. Pri prevádzkovej teplote je rozdiel veľmi malý, z čoho môžeme usúdiť

že aj znečistený olej dokáže zabezpečiť podobné mazacie vlastnosti, ako nepoužitý olej.

Do grafu boli pridané exponenciálne trendové spojnice, z ktorých sme získali koeficienty pre regresnú rovnicu (1). Rovnako budeme postupovať aj pri meraniach motorových olejov značky SHELL. Koeficienty regresnej rovnice a koeficienty determinácie sú zobrazené v Tab.1. Môžeme si všimnúť, že koeficient determinácie R^2 sa blíži k číslu 1, čo znamená že dynamická viskozita motorových olejov má vysokú exponenciálnu závislosť od teploty.

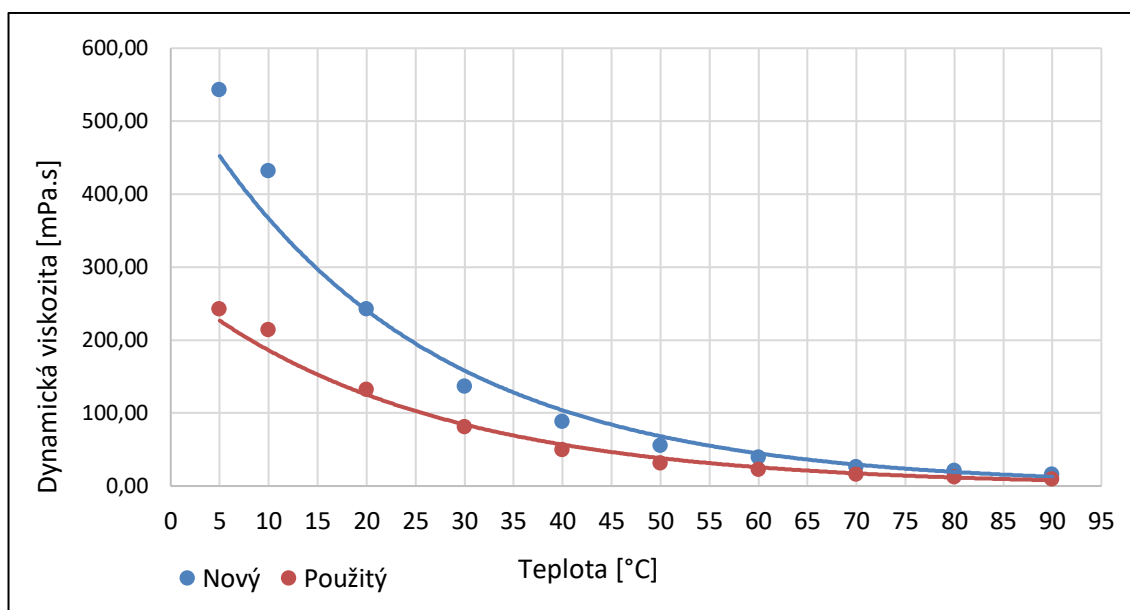


Obr. 2 Grafické porovnanie dynamickej viskozity motorového oleja MOTUL 5100 10W-40 4T

Fig. 2 Graphical comparison of the dynamic viscosity of engine oil MOTUL 5100 10W-40 4T

Meranie dynamickej viskozity vzoriek Shell 10W-40

Skúmanie dynamickej viskozity pokračovalo meraním vzoriek značky Shell. Znova boli merané vzorky pre nový a použitý motorový olej. Merania sme zaznamenali do tabuľky a z hodnôt v tabuľke sme zostrojili graf (Obr. 3), v ktorom je zobrazená závislosť dynamickej viskozity nového a použitého oleja od narastajúcej teploty.



Obr. 3 Grafické porovnanie dynamickej viskozity motorového oleja Shell Advance Ultra 4T 10W-40

Fig. 3 Graphical comparison of the dynamic viscosity of the engine oil Shell Advance Ultra 4T 10W-40

Oba grafy (Obr. 2 a Obr. 3) zobrazujú pokles dynamickej viskozity v závislosti od meniacej sa teploty. Merania boli zrealizované v rozsahu teplôt od 5 °C do 90 °C. Do grafov (Obr. 2 a Obr. 3) sme pridali exponenciálne trendové rovnice pre lepšiu prehľadnosť. Pri teplote 5 °C je rozdiel v hodnotách dynamickej viskozity medzi novým a nepoužitým olejom veľmi výrazný. S narastajúcou teplotou tento rozdiel postupne zaniká a pri prevádzkovej teplote 90 °C je dynamická viskozita nového a nepoužitého oleja takmer totožná.

Príslušné koeficienty regresnej rovnice (1) spolu s koeficientami determinácie pre závislosť dynamickej viskozity od zvyšujúcej sa teploty je možné vidieť v Tab. 1.

Tab. 1 Koeficienty regresnej rovnice a koeficienty determinácie pre výpočet dynamickej viskozity

Tab. 1 Coefficients of the regression equation and coefficients of determination for the calculation of dynamic viscosity

Motorový olej	Stav oleja	D [mPa·s]	E [1]	R ²
MOTUL 10W-40	nový	579,4 7	0,04 2	0,991 5
MOTUL 10W-40	použitý	400,0 1	0,04 1	0,991 3
Shell 10W-40	nový	558,0 8	0,04 2	0,988 8
Shell 10W-40	použitý	276,1 9	0,04 0	0,993 9

Dynamická viskozita je stavová funkcia teploty, tlaku a hustoty. Pri meraní sme zaznamenali, že s narastajúcou teplotou dynamická viskozita nových aj nepoužitých vzoriek klesá. Rovnaké výsledky dosiahli aj autori Bullgarelli et al. (2021), ktorí skúmali vplyv obsahu vody v oleji na prietok oleja v čerpadlách. Vo svojej kontrolnej vzorke merali viskozitu motorového oleja bez vody a taktiež dosiahli výsledok klesajúcej dynamickej viskozity pri

zvyšujúcej sa teplote. Podobné výsledky uvádzajú aj autori Gao et al. (2023), ktorí vykonávali štúdiu na vplyv pôsobenia ultrazvuku na motorové oleje. Ich kontrolná vzorka ukazuje rovnaký pokles dynamickej viskozity ako pri našom meraní. Ďalšie, veľmi podobné výsledky dosiahli aj autori Mokarian – Ameri (2022) vo svojej publikácii, v ktorej skúmali efekt nanočastíc hydroxidu horečnatého na viskozitu oleja. V kontrolnej vzorke bol opäť zaznamenaný exponenciálny pokles dynamickej viskozity.

Skúmanie dynamickej viskozity použitých motorových olejov nám môže poskytnúť dostatočný veľký podnet na to, aby sme pokračovali v analýze technického stavu motora. Nápoďou o stave motora môžu byť nečistoty, ktoré sú obsiahnuté v motorovom oleji. Autori Yunus et al. (2013) uvádzajú, že vplyv na dynamickú viskozitu majú oderové kovy, ktoré sa dostanú do motora mechanickým opotrebovaním pohybujúcich sa komponentov. Jedná sa o kovy ako sú hliník, železo a meď. Výskumná správa od autorov Rashid et al. (2013) uvádza že za poklesom dynamickej viskozity môže byť oxidácia motorového oleja spôsobená nečistotami v motorovom oleji, ako napríklad nespálené palivo. Vplyv nečistôt môžeme pozorovať v oboch grafoch (*Obr. 2* a *Obr. 3*) pri počiatočných teplotách merania, kde je rozdiel výrazný.

Na základe výsledkov môžeme uviesť, že pri prevádzkových teplotách motorov (90 °C) majú motorové oleje veľmi podobné mazacie schopnosti nezávisle od toho, či boli použité alebo nie. Aj napriek tomu treba dodržiavať interval výmeny oleja podľa výrobcov vozidla. Autori Abu-Elella et al. (2015) uvádzajú, že zvyšujúcim nájazdom kilometrov na danom motorovom oleji sa zvyšuje aj koncentrácia nečistôt. Nečistoty môžu následne vytvárať usadeniny, ktoré môžu upchať mazacie kanáliky, spôsobiť zvýšené mechanické opotrebenie a poškodiť motor. Rovnakú spojitosť uvádza aj skupina Heredia-Cancino et al. (2018), ktorá uvádza spojitosť medzi zníženou dynamickou viskozitou a počtom najazdených kilometrov a množstvom nečistôt v oleji. Ak pri analýze dynamickej viskozity zaznamenáme výrazne nízke hodnoty, môžeme oleje podrobiť spektrografii alebo ferografii, aby sme vedeli presnejšie určiť o aké druhy nečistôt sa jedná. Na základe analýzy obsiahnutých nečistôt môžeme ďalej špecifikovať, ktorá časť motora je problémová a vyvarovať sa tak vážnemu poškodeniu motora, neočakávaným prestojom.

15 4 Záver

V tomto článku sme sa zaoberali dynamickou viskozitou motorových olejov určených pre spaľovacie motory, predovšetkým o vplyv teploty na uvedenú vlastnosť. Merania sme vykonali na motorových olejoch od dvoch výrobcov, MOTUL a SHELL. Pre oba oleje sme mali pripravené dve vzorky, jedna bola nová, nepoužitá vzorka, zatiaľ čo druhá vzorka bola odobratá z motocykla s uvedeným nájazdom v kilometroch. Na vzorkách sme vykonali meranie dynamickej viskozity v rozsahu teplôt od 5 °C do 90 °C. Pri oboch meraniach sme zaznamenali exponenciálne klesajúci priebeh, čo nám potvrdzuje aj vysoký koeficient determinácie R^2 . Taktiež sme zistili, že dynamická viskozita novej a použitej vzorky sa pri počiatočných teplotách líši, no s narastajúcou teplotou tento rozdiel postupne zaniká. Pri prevádzkovej teplote 90 °C nové aj použité vzorky vykazovali podobnú dynamickú viskozitu. V ďalšej časti sme poukázali na faktory, ktoré ovplyvňujú hodnotu dynamickej viskozity pri používaní motorového oleja s odkazmi na iných autorov, ktorí taktiež zaznamenali pokles viskozity vo svojich prácach. Z meraní môžeme usúdiť, že počas používania motorové oleje degradujú a postupne sa do nich dostávajú nečistoty. Preto treba dodržiavať výrobcom uvedený servisný interval výmeny motorového oleja, aby sa predišlo poškodeniu motora a neočakávaným prestojom.

16 5 Literatúra

ABDO, E. 2011. Power Equipment Engine Technology, 1. vyd. Cengage. 389 s. ISBN 978-1-4180-5388-8.

ABU-ELELLA, R. – OSSMAN, M. – FAROUQ, R. – ABD-ELFATAH, M. 2015. Used Motor Oil Treatment: Turning Waste Oil Into Valuable Products. In International Journal of Chemical and Biochemical Sciences Vol. 7, s. 57-67. ISSN 2226-9614

BROOKFIELD. 2014. Operating Instructions. 2014 BROOKFIELD DV2T Operating Instructions. Manual No. M13-167-B0614

BULGARELLI, N. A. V. – BIAZUSSI, J. L. – VERDE, W. M. – PERLES, C. E. – DE CASTRO, M. S. – BANNWART, A. C. 2021. Relative viscosity model for oil/water stable emulsion flow within electrical submersible pumps. In Chemical Engineering Science. Vol. 245. 13 s. ISSN 0009-2509

DENG, X. – MECROW, B. 2022. Integrated Motor Drives. Institution of Engineering and Technology. 345 s. ISBN 978-1-83953-186-6.

FOLKSON, R. – SAPSFORD, S. 2022. Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance - Towards Zero Carbon Transportation. 2. vyd. Elsevier. 743 s. ISBN 978-0-323-90979-2.

GAO, J. – SHEN, X. – MO, X. – WU, P. – LI, C. – LIN, W. – WANG, X. 2023. Study on the real-time variation laws and mechanism of oil sample viscosity during ultrasonic irradiation. In Ultrasonics Sonochemistry. Vol. 98. 12 s. ISSN 1350-4177.

HEREDIA-CANCINO, J. A. – RAMEZAMI, M. – ÁLVAREZ-RAMOS, M. E. 2018. Effect of degradations on tribological performance of engine lubricant at elevated temperatures. In Tribology International. Vol. 124, s. 230-237. ISSN 0301-679X

HLAVÁČ, P. – BOŽIKOVÁ, M. – PETROVIĆ, A. 2019. Selected physical properties assessment of sunflower and olive oils. In Acta Technologica Agriculturae, vol.22, No. 3, pp. 86-91. ISSN 1335-2555

JULABO. 2017. Operating Instructions. 2017. JULABO CD-200F Immersion / Open Bath / Refrigerated Circulators Operating Instructions. Manual No. 1.951.0801-V0

KERSHAW, J. F., 2023. SAE International's Dictionary for Automotive Engineers. SAE International. 649 s. ISBN 978-1-4686-0406-1.

LUBCHECK. 2017. Diagnostika olejov a zariadení – Brožúra. [online] slovnaft.sk [CIT 24.3.2024] Dostupné na: <https://slovnaft.sk/images/slovnaft/lub/pdf/services/sk-SK/mol_lubcheck_automotive_sk_nahlad.pdf>

MOKARIAN, M. – AMERI, E.. 2022. The effect of MgOH₂ nanoparticles on the rheological behavior of base engine oil SN500 HVI and providing a predictive new correlation of nanofluid viscosity. In Arabian Journal of Chemistry. Vol. 15. 12 s. ISSN 1878-5352

MOTUL. 2022. Technical Data Sheet for 5100 10W-40 4T oil. 2022. [online] motul.com [cit.24.3.2024]. Dostupné na :<https://azupim01.motul.com/media/motulData/DO/base/5100_4T_10W-40_en_FR_motul_15200_20220217.pdf>

RASHID, A. – CHEN, X. – HARIJAN, K. – DHAKAN, Z. – AMMAR, M. 2013. A Comparative Study of Recycling of Used Engine Oil Using Extraction by Composite Solvent, Single Solvent, and Acid Treatment Methods : výskumná správa. Peking : Beijing University of Chemical Technology. 5 s.

SHELL. 2019. Technical Data Sheet for Shell Advance 4T Ultra 10W-40 oil. 2019. [online] shell-livedocs.com [cit 24.3.2024] Dostupné na: <<https://www.shell-livedocs.com/data/published/en/40989b40-6440-4887-b136-304916214f68.pdf>>

TOTTEN, G. – SHAH, R. J. – FORESTER, D. R. 2019. Fuels and Lubricants Handbook - Technology, Properties, Performance, and Testing. 2. vyd. 1711 s. ASTM International. ISBN 978-0-8031-7089-6.

YUNUS, S. – RASHID, A. A. – LATIP, S. A. – ABDULLAH, N. R. – AHMAD, M. A. – ABDULLAH, A. H. 2013. In Procedia Engineering. Vol. 68. s 326-330. ISSN 1877-7058

Súhrn

Cieľom práce bolo zmerať a porovnať dynamickú viskozitu motorových olejov určených pre štvortaktné spaľovacie motory. Z testovaných vzoriek sme vytvorili dvojice nového a použitého motorového oleja. Testované boli motorové oleje od výrobcov MOTUL a SHELL. Dynamickú viskozitu sme merali pomocou prístrojov viskozimetra Brookfield DV2T a na reguláciu teploty testovaných vzoriek bol použitý prístroj JULABO CD-200F. Dynamická viskozita bola meraná v rozsahu teplôt od 5 °C do 90 °C. Z nameraných hodnôt sme vytvorili tabuľky a grafy, ktoré zobrazujú závislosť medzi teplotou a dynamickou viskozitou. Z meraní sme zistili, že dynamická viskozita klesá exponenciálne so zvyšujúcou sa teplotou. Zaznamenali sme rozdiel v dynamickej viskozite medzi novými a použitými vzorkami. V poslednej časti sme uviedli, aké faktory môžu spôsobiť pokles dynamickej viskozity.

Kľúčové slová: motorový olej, mazanie, dynamická viskozita, teplota

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

VPYV DEKARBONIZÁCIE NA VÝSTUPOVÉ PARAMETRE SPALOVACIEHO MOTORA DECARBONIZATION IMPACT ON OUTPUT PARAMETERS OF THE COMBUSTION ENGINE

SIMONA BÁRTOVÁ¹ – JURAJ TULÍK²

Abstract

The paper focuses on the area of experimental measurements for monitoring the impact of decarbonization on the technical and environmental parameters of the internal combustion engine. The condition for the implementation of the measurements was the selection of an internal combustion engine that had driven more than 300,790 km. During the laboratory tests, several test methods were used to assess the technical and emission conditions of the tested internal combustion engine with the code designation ALH, which is used in VOLKSWAGEN BORA vehicles. The technical parameters of the tested internal combustion engine (corrected power P_{Norm} and torque M_{Mom}), emission parameters (absorption coefficient k and NO_x emission) and fuel consumption parameters (specific fuel consumption $bsfc$) were compared and evaluated in the results. The results show that the decarbonization process on the tested vehicle VOLKSWAGEN BORA 1.9 TDi affected the emission parameters but did not affect the technical parameters and specific fuel consumption.

Key words: decarbonization; emissions; NO_x ; absorption coefficient; internal combustion engine, CCS 1000

1. Úvod

Otázky environmentalistiky a energetiky sú v súčasnosti jedny z najväžnejších humanitárnych problémov a súvisia s takzvanou ekologickou bezpečnosťou. Bezpečnosť je charakterizovaná ako vlastnosť objektu, teda stroja, technológie, činnosti, neohrozoť ľudí ani životné prostredie (Sloboda et al. 2022). Doprava je zároveň jednoznačne jedným z najväčších problémových odvetví. Nárast cestnej dopravy je v mnohých mestách globálnym problémom (Janoško a Kuchar 2018). Vysoká miera rozvoja motorizácie okrem mnohých výhod vytvára ekologické organické hrozby. Nepriaznivý vplyv spaľovacieho motora na životné prostredie je okrem iného určený odhadom úrovne emisií škodlivých znečisťujúcich látok vo vzťahu k limitom stanoveným v platných právnych aktoch (Niezawodność 2015). V súčasnosti viac ako polovica vozového parku cestnej dopravy používa dieselové motory, ktoré sú často označované za primárny zdroj znečisťovania ovzdušia (Pourdarbani 2022). V súčasnosti je 99,8 % svetovej dopravy poháňaných spaľovacím motorom a 95 % energie z dopravy pochádza z kvapalných palív získaných z ropy. Zvažuje sa mnoho alternatív na zníženie emisií v doprave, vrátane batériových elektrických vozidiel (BEV) a iných palív, ako sú biopalivá, syntetické palivá a vodík. Mnohé z alternatív sa však postupne začínajú vyvíjať a presadzovať v prevádzke mobilných energetických zariadení. Existujú aj určité prekážky, ktoré bránia ich postupnému zavádzaniu do masového používania, takže sa očakáva, že do roku 2040 bude 85 – 90 % energie v doprave

¹Bc. Adam Ágh, SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky.
xagh@uniag.sk

²doc. Ing. Vladimír Cviklovič, Phd., SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky.
vladimir.cviklovic@uniag.sk

pochádzať z konvenčných kvapalných palív poháňajúcich spaľujúci motor (Leach et al. 2020). Preto je nevyhnutné, aby sa zásahy do dizajnu spaľovacieho motora zamerali na zníženie miestneho a globálneho vplyvu dopravy na životné prostredie. Ako uvádza Martinez-Valencia et al. (2021); Mikulski a Wierzbicki (2015), súčasný výskum vznetrových spaľovacích motorov je orientovaný predovšetkým na využívanie alternatívnych obnoviteľných palív, znížovanie toxických emisií do ovzdušia a vývoj nových diagnostických metód motorov. V súčasnosti existuje na celom svete mnoho iniciatív na vývoj alternatív ku konvenčným ropným spaľovacím motorom, ktoré sú motivované obavami o zmenu klímy a miestnu kvalitu ovzdušia spojenú s dopravou v dôsledku emisií CO₂, pevných častíc, oxidov dusíka (NO_x), oxidu uhoľnatého (CO) a uhl'ovodíky (HC). Samozrejme, dopravnú politiku v mnohých krajinách silno ovplyvňuje aj snaha o ekonomický rast, energetickú nezávislosť a energetickú bezpečnosť. Spaľovací motor možno nahradiť batériou alebo palivovým článkom s alternatívami ku konvenčným palivám vrátane biopalív, zemného plynu, vodíka, syntetických palív, elektrických palív, skvapalneného ropného plynu (LPG) a metanolu (Kalghatgi 2018; Seneca a Leach 2019). V súčasnej dobe, kedy sme svedkami presadzovania batériových elektromobilov, je potrebné využívať všetky dostupné technológie na zmiernenie dopadov dopravy na životné prostredie a nie je vhodné pozastavovať ďalší vývoj spaľovacích motorov a obmedzovať ich predaj. Jedným zo spôsobov, ako zabezpečiť dodržanie výrobcom špecifikovaných parametrov spaľovacieho motora (výkon, krútiaci moment a spotreba paliva), je aplikácia dekarbonizácie. Proces dekarbonizácie motora sa začína využívať čoraz častejšie, no relevantných vedeckých štúdií o jeho účinnosti je veľmi málo (Gill et al. 2012; Devalekar et al. 2016). Z tohto dôvodu sme sa zamerali na sledovanie výkonových parametrov, spotreby a emisií výfukových plynov pred a po dekarbonizácii. Medzi vedecké prínosy procesu dekarbonizácie spaľovacieho motora môžeme zaradiť zlepšenie kvality ovzdušia a tým zabezpečiť ekologickú bezpečnosť ľudí, keďže spaľovacie motory produkujú škodlivé emisie ako oxidy dusíka (NO_x), tuhé častice (PM) a rôzne organické zlúčeniny. Z tohto dôvodu bola pozornosť autorov zameraná na hodnotenie procesu dekarbonizácie z hľadiska znižovania NO_x a absorpčného koeficientu. Pre posúdenie vplyvu dekarbonizácie na spaľovacie motory boli hodnotené aj technické parametre motora, výkon, krútiaci moment a merná spotreba paliva.

2. Materiály a metodika

Cieľom experimentu bolo vykonať merania technického a emisného stavu spaľovacieho motora pred a po dekarbonizácii. Pre splnenie stanovených cieľov je potrebné charakterizovať vstupné parametre meraného objektu, návrh meracích zariadení a vyhodnotenie vybraných technických a environmentálnych parametrov spaľovacieho motora pred a po dekarbonizácii. Metódy experimentálnych meraní.

Experimentálne merania budú realizované podľa nižšie uvedeného postupu:

1. Uskutočniť merania technického, emisného stavu a spotreby paliva spaľovacieho motora pred dekarbonizáciou, ktoré budú pozostávať z nasledovných častí:

a) pred začiatkom procesu dekarbonizácie zaznamenať aktuálny stav znečistenia spaľovacieho priestoru prostredníctvom endoskopie.

b) vykonať test emisného stavu spaľovacieho motora metódou voľnej akcelerácie v súlade s vyhláškou Ministerstva dopravy a výstavby Slovenskej republiky č.138/2018 Z.z. o podrobnostiach o emisnej kontrole,

c) vykonať meranie výkonu spaľovacieho motora za súčasného monitorovania emisného stavu a spotreby paliva.

2. Uskutočniť dekarbonizáciu spaľovacieho motora.

3. Uskutočniť merania technického, emisného stavu a spotreby paliva spaľovacieho motora po dekarbonizáciou, ktoré budú pozostávať z nasledovných častí:

a) po procese dekarbonizácie zaznamenať aktuálny stav znečistenia spaľovacieho priestoru prostredníctvom endoskopie.

b) vykonať test emisného stavu spaľovacieho motora metódou voľnej akcelerácie v súlade s vyhláškou Ministerstva dopravy a výstavby Slovenskej republiky č.138/2018 Z.z. o podrobnostiach o emisnej kontrole,

c) vykonať meranie výkonu spaľovacieho motora za súčasného monitorovania emisného stavu a spotreby paliva.

Na posúdenie vplyvu dekarbonizácie na vybrané výstupné parametre spaľovacieho motora bolo vybrané vozidlo VOLKSWAGEN BORA. V čase skúšok bolo vozidlo jazdené 300 790 km. Technické parametre vyššie uvedeného vozidla sú uvedené v tabuľke 1.

Tab. 1 Technické údaje VOLKSWAGEN BORA
Tab. 1 Technical specifications of VOLKSWAGEN BORA

Typ vozidla	Golf/ Bora
Kód motora	ALH
Počet valcov	4
Ventilový rozvod	OHC
Objem valcov, cm³	1896
Kompresný pomer	19,5:1
Palivové vstrekovacie čerpadlo	VE / BOSCH
Typ čerpadla	Rozdeľovacie vstrekovacie čerpadlo
Poradie vstrekovania	1 – 3 – 4 – 2
Maximálny krútiaci moment	210 Nm
Otáčky pri max. krútiacom momente	1900 min ⁻¹
Maximálny výkon	66 kW
Otáčky pri max. výkone	3750 min ⁻¹

Pre testované vozidlo VOLKSWAGEN BORA určuje výrobca parametre, ktoré je potrebné dodržať pri výkone emisnej kontroly metódou voľnej akcelerácie. Podmienky merania sú uvedené v tab.2.

Tab. 2 Podmienky pre meranie testovaného vozidla VOLKSWAGEN BORA
metódou voľnej akcelerácie

Tab. 2 Measuring conditions for tested vehicle VOLKSWAGEN BORA by free acceleration method

Voľnobežné otáčky	910 ±30 min ⁻¹
Obmedzovacie otáčky	4900 – 5100 min ⁻¹
Teplota oleja	80 °C
Voľnobežné otáčky pri meraní dymenia	880 – 9440 min ⁻¹
Obmedzovacie otáčky pri meraní dymenia	4900 – 5100 min ⁻¹
Max. doba pri obmedzovacích otáčkach	0,5 s
Režim merania A/B	B
Meracia sonda 1/ 2	1
Kondicionovanie – počet zošliapnutí pedálu akcelerátora/ táčky	10/ 4900 min ⁻¹

Merania technických parametrov spaľovacieho motora budú realizované valcovou výkonovou skúšobňou MAHA MSR 500/2 4WD.

Na meranie spotreby paliva bude využívaný merač spotreby paliva AIC – 5004. Vyššie uvedený merací prístroj je založený na objemovom princípe merania spotreby paliva

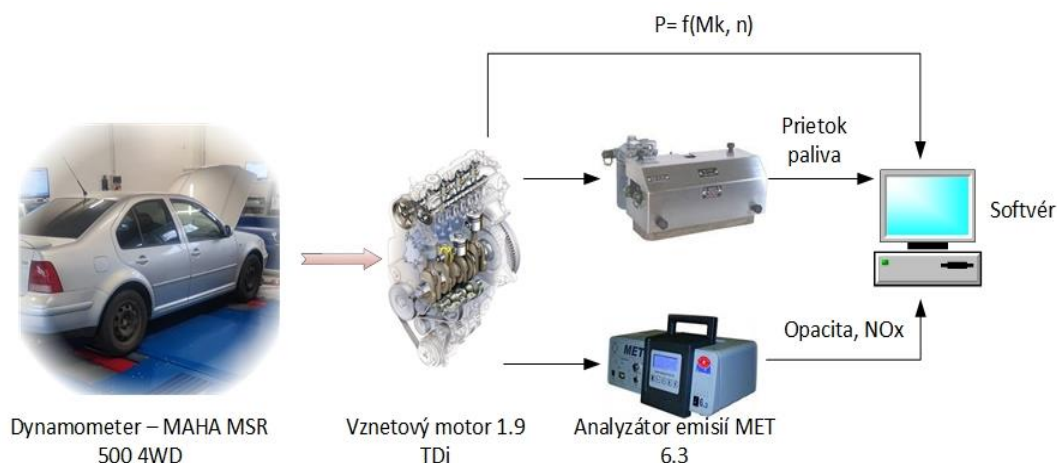
vznetových spaľovacích motorov s oscilačným piestom a s mikroprocesorom, ktorý riadi vysielateľ impulzov

Pre posúdenie emisného stavu spaľovacieho motora pred a po procese dekarbonizácie bude využívaný analyzátor emisií MAHA MET 6.3. Analyzátorom emisií MAHA MET 6.3 je možné merať objemové koncentrácie emisií CO, CO₂, a HC, ako aj opacity.

Na dekarbonizáciu spaľovacieho motora testovaného vozidla VOLKSWAGEN BORA bude použité zariadenie Carbon Cleaner System CCS 1000.

3. Výsledky a diskusia

Pre splnenie cieľov bakalárskej práce bolo potrebné navrhnuť vhodné prístrojové vybavenia a zostaviť merací reťazec tak, aby merania mohli byť opakovateľné. Navrhnutý merací reťazec je znázornený na obr.1.



Obr. 9 Merací reťazec pre sledovanie technických, ekologických parametrov a spotreby paliva

Fig. 9 Measuring chain for monitoring technical, ecological parameters and fuel consumption

Monitorovanie emisného stavu metódou voľnej akcelerácie pred procesom dekarbonizácie

Emisný stav vznetového spaľovacieho motora bol overený metódou voľnej akcelerácie v súlade s vyhláškou Ministerstva dopravy a výstavby Slovenskej republiky č.138/2018 Z.z. o podrobnostiach o emisnej kontrole a metodickým pokynom č. 32/ 2018, v znení neskorších pokynov na vykonávanie emisnej kontroly pravidelnej. Podmienky merania pre testované vozidlo VOLKSWAGEN BORA s kódom motora ALH, boli pred meraním nastavené v súlade s odporúčaním výrobcu pre výkon skúšky emisného stavu metódou voľnej akcelerácie. Testované vozidlo bolo do evidencie prvýkrát prihlásené pred dátumom 01.01.2008 a výrobca uvádza korigovaný súčiniteľ $X_L = 0,9 \text{ m}^{-1}$. Výsledná hodnota dymivosti D_{max} je $1,4 \text{ m}^{-1}$.

Tab. 3 Priemerné hodnoty súčiniteľa absorpcie pri metóde voľnej akcelerácie - pred procesom dekarbonizácie

Tab. 3 Average values of the absorption coefficient for the free acceleration method - before the decarbonization process

Meranie	Hodnota $k, \text{ m}^{-1}$	Voľnobežné otáčky $n_v, \text{ min}^{-1}$	Regulačné otáčky $n_r, \text{ min}^{-1}$	Teplota motora $t_m, ^\circ\text{C}$	Doba zrýchlenia $t_a, \text{ s}$
1.	0,60	902	4770	83	1,34
2.	0,48	902	4950	84	1,48

3.	0,49	904	5030	85	1,59
Rozptyl R , m^{-1}					0,12
Priemerná hodnota súčiniteľa absorpcie k , m^{-1}					0,52

Počas monitorovania emisného stavu metódou voľnej akcelerácie pred procesom dekarbonizácie nebola prekročená hodnota rozptylu R , ktorej maximálna hodnota musí byť menšia alebo rovná ako $0,5 m^{-1}$. Hodnota rozptylu R bola nižšia o 76% v porovnaní s maximálnou prípustnou hodnotou. Taktiež nebola prekročená ani maximálna dovolená hodnota dymivosti D_{max} stanovená podľa vzťahu **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**, ktorá bola porovnaná s hodnotou súčiniteľa absorpcie k . Zaznamenaná priemerná hodnota súčiniteľa absorpcie k , bola nižšia o 62% v porovnaní s maximálnou prípustnou hodnotou dymenia D_{max} .

Meranie technických, emisných parametrov a spotreby paliva pri zaťažovaní spaľovacieho motora pred procesom dekarbonizácie

Diskrétno meranie bolo uskutočnené podľa vopred stanoveného postupu, ktorý bol dodržaný pri každom nasledujúcom opakovanom meraní. Ako zdroj na získanie otáčok, ktoré slúžia na výpočet výkonu bol využívaný OBD diagnostický port. Pri diskretnom meraní výkonu je možné v závislosti od rýchlosti alebo otáčok nabehnúť na vopred predefinované body a časovo ich držať.

V **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.** tab. 4 sú uvedené výsledky merania po procese dekarbonizácie spolu s podmienkami pri ktorých boli merania realizované.

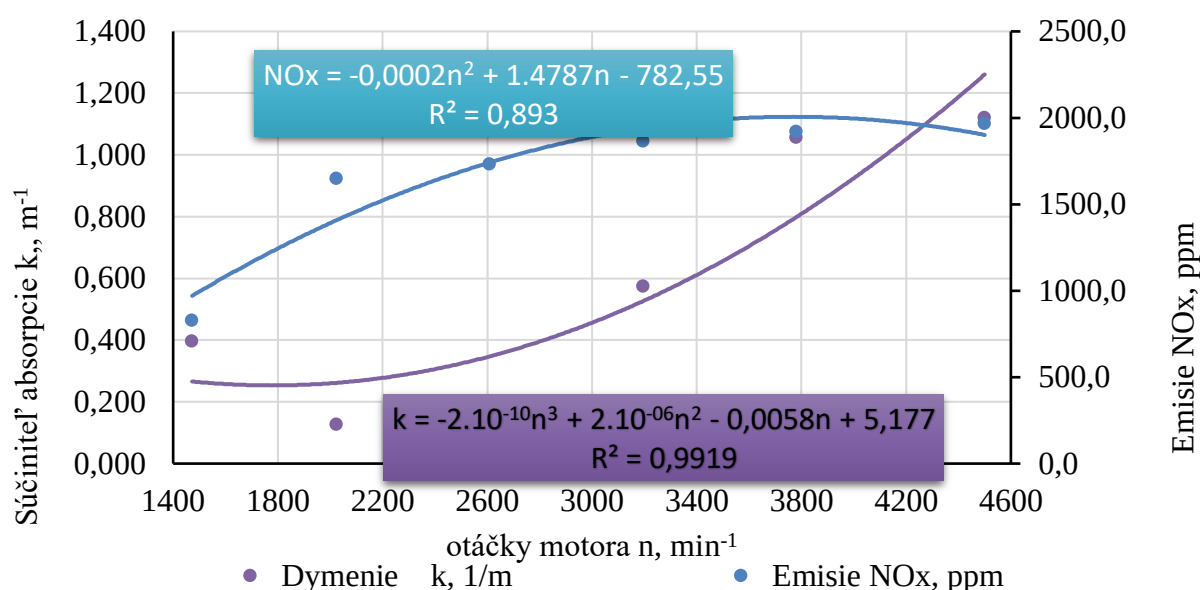
Tab. 4 Výsledky merania technických parametrov vozidla VOLKSWAGEN BORA pred procesom dekarbonizácie a podmienky merania
Tab. 4 Results of measuring the technical parameters of the VOLKSWAGEN BORA vehicle before the decarbonization process and measurement conditions

Údaje o výkone						
Korigovaný výkon	P_{Norm}	73,5	kW			
Výkon motora	P_{Eng}	73,9	kW			
Výkon na kolese	P_{Wheel}	61,5	kW			
Stratový výkon	P_{Drag}	12,4	kW			
Max. výkon pri		3780,0	min^{-1}	/	129,5	$km.h^{-1}$
Krútiaci moment	M_{Morm}	219,0	Nm			
Max. krútiaci moment pri		2025,0	min^{-1}	/	69,5	$km.h^{-1}$
Max. dosiahnuteľné otáčky		4500	min^{-1}	/	153,9	$km.h^{-1}$
Korekcia podľa EWG 80/1269 ($f_m = 0,30$)						
Korekčný faktor $Q_v = 0,00\%$						

Vonkajšie dáta			
Teplota vzduchu	T_{Ambient}	21,8	°C
Teplota nasávaného vzduchu	$T_{\text{Intake air}}$	19,6	°C
Relatívna vlhkosť vzduchu	H_{Air}	25,2	%
Tlak vzduchu	r_{Air}	992,4	hPa
Tlak pár	r_{Steam}	6,7	hPa
Teplota oleja	T_{Oil}	98,2	°C
Teplota paliva	T_{Fuel}	-----	°C
Hustota paliva	r_{fd}	879,7	g.dm^{-3}

Z nameraných výsledkov technického stavu spaľovacieho motora (tab.4) s kódovým označením ALH, ktorý je používaný vo vozidle VOLKSWAGEN BORA, je možné konštatovať, že uvedený spaľovací motor, je vo vyhovujúcom technickom stave. Uvedené tvrdenie potvrdzuje aj vzájomné porovnanie údajov od výrobcu s údajmi nameranými v Laboratóriu bioenergetických zdrojov.

Na obr. 2 je zaznamenaný priebeh emisii NO_x a súčiniteľa absorpcie k počas diskretného zaťaženia spaľovacieho motora pred procesom dekarbonizácie.



Obr. 10 Priemerné zaznamenané emisie spaľovacieho motora pri jeho zaťažení pred procesom dekarbonizácie

Fig. 10 Average recorded emissions of an internal combustion engine during its load before the decarbonization process

Na základe koeficientu determinácia je možné stanoviť stupeň tesnosti sledovanej závislosti medzi emisiami NO_x a otáčkami spaľovacieho motora n pri jeho zaťažovaní diskretným spôsobom. Pre zaznamenané priemerné hodnoty emisií NO_x počas diskretného zaťaženia spaľovacieho motora pred procesom dekarbonizácie bol nájdený koeficient determinácie $R^2 = 0,893$. Zaznamenaný koeficientu determinácie poukazuje na vysoký stupeň tesnosti vyššie uvedenej závislosti ktorý dosahuje hodnotu 89,3%.

Pre zaznamenané priemerné hodnoty súčiniteľa absorpcie k počas diskretného zaťaženia spaľovacieho motora pred procesom dekarbonizácie bol nájdený koeficient determinácie $R^2 = 0,992$. Zaznamenaný koeficientu determinácie poukazuje na veľmi vysoký stupeň tesnosti vyššie uvedenej závislosti ktorý dosahuje hodnotu 99,2%.

Monitorovanie emisného stavu metódou voľnej akcelerácie po procese dekarbonizácie

Emisný stav vznetového spaľovacieho motora bol overený metódou voľnej akcelerácie v súlade s vyhláškou Ministerstva dopravy a výstavby Slovenskej republiky č.138/2018 Z.z. o podrobnostiach o emisnej kontrole a metodickým pokynom č. 32/ 2018, v znení neskorších pokynov na vykonávanie emisnej kontroly pravidelnej. Výsledky testu voľnej akcelerácie po procese dekarbonizácie spaľovacieho motora sú uvedené v tab. 5.

Tab. 5 Hodnoty súčiniteľa absorpcie pri metóde voľnej akcelerácie - po procese dekarbonizácie

Tab. 5 Absorption coefficient values for the free acceleration method - after the decarbonization process

Meranie	Hodnota k, m^{-1}	Voľnobežné otáčky n_v, min^{-1}	Regulačné otáčky n_r, min^{-1}	Teplota motora $t_m, ^\circ C$	Doba zrýchlenia t_a, s
1.	0,39	905	5040	84	1,40
2.	0,18	906	5030	86	1,68
3.	0,17	905	4990	87	1,83
Rozptyl R, m^{-1}					0,22
Priemerná hodnota súčiniteľa absorpcie k, m^{-1}					0,25

Počas monitorovania emisného stavu metódou voľnej akcelerácie po procese dekarbonizácie nebola prekročená hodnota rozptylu R , ktorej maximálna hodnota musí byť menšia alebo rovná ako $0,5 m^{-1}$. Hodnota rozptylu R bola nižšia o 76% v porovnaní s maximálnou prípustnou hodnotou. Taktiež nebola prekročená ani maximálna dovolená hodnota dymivosti D_{max} , ktorá bola porovnaná s hodnotou súčiniteľa absorpcie k . Zaznamenaná priemerná hodnota súčiniteľa absorpcie k , bola nižšia o 84% v porovnaní s maximálnou prípustnou hodnotou dymenia D_{max} .

Meranie technických, emisných parametrov a spotreby paliva pri zaťažovaní spaľovacieho motora po procese dekarbonizácie

V tab. 6 sú uvedené výsledky merania po procese dekarbonizácie spolu s podmienkami pri ktorých boli merania realizované.

Tab. 6 Výsledky merania technických parametrov vozidla VOLKSWAGEN BORA po procese dekarbonizácie a podmienky merania

Tab. 6 Results of measuring the technical parameters of the VOLKSWAGEN BORA after the decarbonization process and measurement conditions

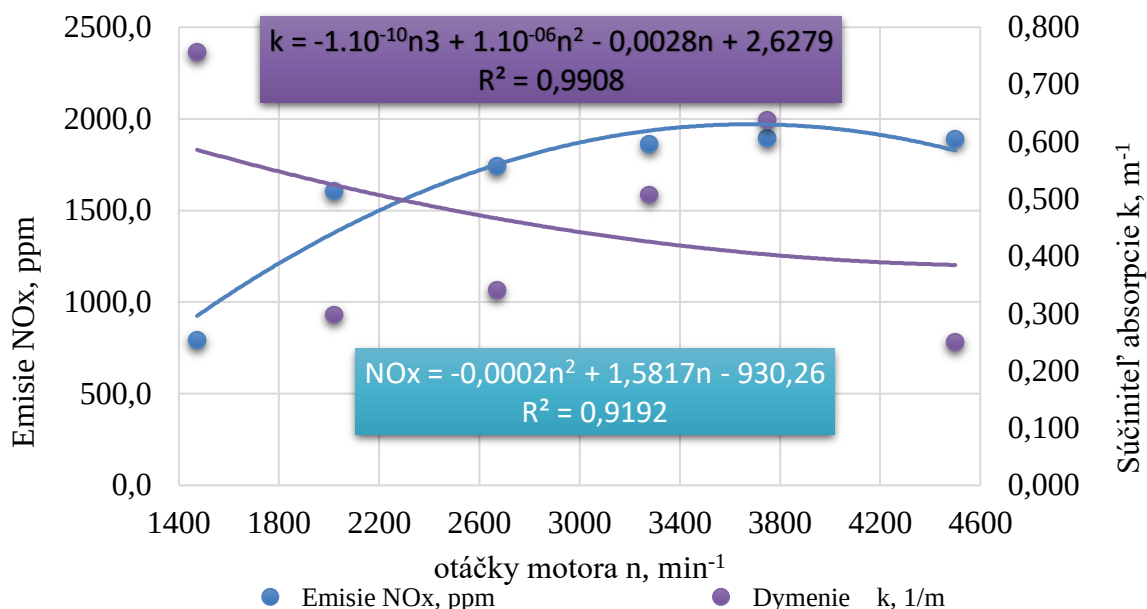
Údaje o výkone					
Korigovaný výkon	P_{Norm}	73,5	kW		
Výkon motora	P_{Eng}	74,1	kW		
Výkon na kolese	P_{Wheel}	61,1	kW		
Stratový výkon	P_{Drag}	13,0	kW		
Max. výkon pri		3750,0	min^{-1}	/	133,4 km.h ⁻¹
Krútiaci moment	M_{Morm}	219,7	Nm		
Max. krútiaci moment pri		2020,0	min^{-1}	/	70,5 km.h ⁻¹
Max. dosiahnuteľné otáčky		4500	min^{-1}	/	154,1 km.h ⁻¹
Korekcia podľa EWG 80/1269 ($f_m = 0,30$)					
Korekčný faktor $Q_v = 0,00\%$					
Vonkajšie dáta					
Teplota vzduchu		$T_{Ambient}$	21,1	$^\circ C$	
Teplota nasávaného vzduchu		$T_{Intake air}$	19,5	$^\circ C$	

Relatívna vlhkosť vzduchu	H_{Air}	19,2	%
Tlak vzduchu	r_{Air}	998,4	hPa
Tlak pár	r_{Steam}	4,8	hPa
Teplota oleja	T_{Oil}	97	°C
Teplota paliva	T_{Fuel}	-----	°C
Hustota paliva	r_{fd}	879,7	$g \cdot dm^{-3}$

Z nameraných výsledkov (tab.6) technického stavu spaľovacieho motora s kódovým označením ALH, ktorý je osadený vo vozidle VOLKSWAGEN BORA po procese dekarbonizácie bola zaznamenaná priemerná hodnota maximálne nameraného krútiaceho momentu o 1,04% vyššia v porovnaní s údajmi od výrobcu. Uvedená priemerná hodnota krútiaceho momentu bola nameraná pri otáčkach motora 2056 min^{-1} , čo je hodnota o 7,6% vyššia s tým čo udáva výrobca.

Priemerná nameraná hodnota maximálneho výkonu, ktorý bol následne korigovaný podľa normy EWG 80/1269, na vyššie uvedenom spaľovacom motore, bola o 9,95% vyššia oproti výrobcom udávanej hodnote. Vyššie uvedená priemerná hodnota korigovaného výkonu bola dosiahnutá pri priemerných nominálnych otáčkach motora 3893 min^{-1} . Výrobca udáva menovité otáčky 3750 min^{-1} .

Na obr. 3 je zaznamenaný priebeh emisii NO_x a súčiniteľa absorpcie k počas diskretného zaťaženia spaľovacieho motora po proces dekarbonizácie.



Obr. 11 Zaznamenané emisie spaľovacieho motora pri jeho zaťažení po procese dekarbonizácie

Fig. 11 Recorded emissions of an internal combustion engine when it is loaded after the decarbonization process

17 Záver

Jednou z možností ako zmierniť následky nežiaducich vplyvov vozidiel so spaľovacími motormi na životné prostredie je udržiavať ich spaľovací priestor v dobrom technickom stave. Na udržanie čistého spaľovania je potrebné poskytnúť motoru včasný servis. Vytvorené karbónové usadeniny môžu spôsobiť poškodenie spaľovacieho motora a jeho častí (ventily, valce, hlava valcov a piestne krúžky), ako aj katalyzátora. Jednou z možností ako dosiahnuť

ekologickú bezpečnosť spaľovacích motorov je včasná likvidácia karbónových usadenín. Predložený príspevok bol svojím obsahom zameraný na sledovanie účinkov dekarbonizácie a jej vplyvne na technické a emisné parametre testovaného spaľovacieho motora s kódovým označením ALH, ktorý je používaný vo vozidle VOLKSWAGEN BORA 1.9 TDi. Testované vozidlo malo v čase skúšok najazdených 300 790 km. Experimentálne merania boli realizované v súlade so stanovenou metodikou merania. Na základe dosiahnutých výsledkov, je možné konštatovať, že proces dekarbonizácie nemal vplyv na jeho technické parametre a mernú spotrebu paliva. Odchýlky, ktoré boli pri spomenutých parametroch dosiahnuté sú zanedbateľné a sú spôsobené nepresnosťou meracích prístrojov. Dosiahnuté výsledky zamerané na posúdenie emisného stavu testovaného vozidla VOLKSWAGEN BORA 1.9 TDi, ktoré je vybavené vznetrovým spaľovacím motor s kódovým označením ALH potvrdili, že proces dekarbonizácie mal vplyv na sledované hodnoty emisií. Pri teste emisného stavu metódou voľnej akcelerácie vykonanej v súlade s vyhláškou Ministerstva dopravy a výstavby Slovenskej republiky č.138/2018 Z.z. o podrobnostiach o emisnej kontrole možno konštatovať, že hodnoty súčiniteľa absorpcie k , poklesli po procese dekarbonizácie o 51,9%. Počas diskretného zaťažovania spaľovacieho motora boli okrem súčiniteľa absorpcie k , zaznamenávané aj emisie oxidov dusíka NO_x . Hodnoty súčiniteľa absorpcie k poklesli o 20,4% a u emisií oxidov dusíka NO_x bol zaznamenaný pokles o 2,04%. Z dosiahnutých výsledkov je možné usudzovať, že jednou z možností, ako spaľovací motor udržať v dobrom technickom stave je aj využívanie dekarbonizácie. Pre potvrdenie vyššie uvedeného tvrdenia by však bolo potrebné vykonať testovanie na väčšom počte vozidiel.

Literatúra

SLOBODA, A. et al. 2022. Vibrodiagnostic of aircraft hydraulic emergency hydrogenerator NP 27T. Eng. Fail. Anal. online. 2022, vol. 138, 106337. Available from: DOI: 10.1016/j.engfailanal.2022.106337

JANOŠKO, I. and KUCHAR, P. 2018. Evaluation of the fuel commercial additives effect on exhaust gas emissions, fuel consumption and performance in diesel and petrol engine. Agron. Res. online. 2018, vol. 16, no. 3. Available from: DOI: 10.15159/AR.18.122

NIEZAWODNOŚĆ, A.K.-E. 2015. Exhaust Emission Test Performance with the Use of the Signal from Air Flow Meter. Eksploat. I Niezawodn. online. 2015, vol. 17, pp. 129–134. Available from: DOI: 10.17531/ein.2015.1.17

POURDARBANI, R. et al. 2022. Exergo-Environmental Optimization of a Diesel Engine. Acta Technol. Agric. online. 2022, vol. 25, pp. 157–168. Available from: DOI: 10.2478/ata-2022-0021

LEACH, F. et al. 2020. The scope for improving the efficiency and environmental impact of internal combustion engines. Transp. Eng. online. 2020, vol. 1, 100005. Available from: DOI: 10.1016/j.treng.2020.100005

MARTINEZ-VALENCIA, L. et al. 2021. Biomass supply chain equipment for renewable fuels production: A review. Biomass-Bioenergy online. 2021, vol. 148, 106054. Available from: DOI: 10.1016/j.biombioe.2021.106054

MIKULSKI, M. and WIERZBICKI, S. 2015. Zero-Dimensional 2-Phase Combustion Model in a Dual-Fuel Compression Ignition Engine Fed with Gaseous Fuel and a Divided Diesel Fuel Charge. Eksploat. I Niezawodn. online. 2015, vol. 17, pp. 42–48. Available from: DOI: 10.17531/ein.2015.1.6

KALGHATGI, G. 2018. Is It Really the End of ICEs and Petroleum in Transport? Appl. Energy online. 2018, vol. 225, pp. 965–974. Available from: DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.05.076

SENECA, P.K. and LEACH, F. 2019. Diversity in Transportation: Why a Mix of Propulsion Technologies Is the Way Forward for the Future Fleet. Results Eng. online. 2019, vol. 4, 100060. Available from: DOI: 10.1016/j.rineng.2019.100060

GILL, S.S. et al. 2012. Assessing the effects of partially decarbonising a diesel engine by co-fuelling with dissociated ammonia. Int. J. Hydrogen Energy online. 2012, vol. 37, pp. 6074–6083. Available from: DOI: 10.1016/j.ijhydene.2012.01.110

DEVALEKAR, P. et al. 2016. Review on Engine Decarbonisation Process. Int. J. Innov. Res. Sci. Technol. online. 2016, vol. 3, pp. 173–177. Available from: DOI: 10.15680/IJIRSET.2016.0302021

Súhrn

Príspevok sa zameriava na oblasť experimentálnych meraní na sledovanie vplyvu dekarbonizácie na technické a environmentálne parametre ICE. Podmienkou realizácie meraní bol výber spaľovacieho motora, ktoré má najazdených viac ako 300 790 km. Počas laboratórnych skúšok boli použité viaceré skúšobné metódy na posúdenie technických a emisných podmienok testovaného ICE s kódovým označením ALH, ktoré sa používa vo vozidlách VOLKSWAGEN BORA. Vo výsledkoch boli porovnané a vyhodnotené technické parametre testovaného spaľovacieho motora (korigovaný výkon P_{Norm} a krútiaci moment M_{Mom}), emisné parametre (absorpčný koeficient k a emisie NO_x) a parametre spotreby paliva (merná spotreba paliva $bsfc$). Výsledky ukazujú, že proces dekarbonizácie na testovanom vozidle VOLKSWAGEN BORA 1,9 TDi ovplyvnil emisné parametre, ale neovplyvnil technické parametre a mernú spotrebu paliva.

Kľúčové slová: dekarbonizácia; emisie; NO_x ; absorpčný koeficient; spaľovací motor; CCS 1000

VYUŽITIE BIOUHLIA PRI PESTOVANÍ POĽNOHOSPODÁRSKÝCH PLODÍN – PREZENTOVANIE VÝSLEDKOV VÝSKUMU USE OF BIOCHARCOAL IN GROWING AGRICULTURAL CROPS - PRESENTATION OF RESEARCH RESULTS

TOMÁŠ BENKOVIČ¹ – TOMÁŠ GIERTL²

Abstract

In my research, I deal with the issue of using biocharcoal in the cultivation of agricultural crops, as more and more attention is paid to the quality of food, natural fertilization, returning nutrients to the soil and finding ways for long-term and permanent sustainability.

I focused on two types of agricultural crops where I expect the greatest use, namely tomato and pepper. It is precisely with such crops, which are also grown on smaller areas or in organic cultivation with a high added value of the vegetable itself, that research makes sense. I chose 3 types of soil to which I applied 3 different ratios of biocharcoal concentration to soil + reference sample. In total, I obtained 12 soil types with 24 samples.

I clearly wrote down the results and worked them out. I recommend using biochar as a universal soil admixture. However, I emphasize the difficulty of the technology, the technological procedure and the total cost of production of biocharcoal.

Key words: Biocharcoal, bio, sustainability, soil, nutrients, research, pepper, tomato, admixture

1 Úvod

Môj výskum je aktuálne vo finalizačnej fáze. Zozbierané výsledky analyzujeme hĺbkovo a vyhodnocujeme reálne dopady. Pridaním biouhlia z vŕby Tordis zuhoľnatej pri teplote 520°C. Uhlie z vŕby Tordis, ako hlavného prímiesového prvku pre môj výskum, vytvoril môj školiteľ a partner výskumu za pomoci splyňovania, pyrolýzy v laboratóriách SPU v Nitre.

Splyňovanie vzorky drevných štiepok odrody Tordis (Giertl a Hauptvogel 2019) prebiehalo nasledovne: pred uskutočnením experimentu bola vzorka drevnej štiepky podrobená laboratórnej analýze, s cieľom stanovenia sušiny a obsahu organickej sušiny. Priemerný obsah sušiny bol 91,99 % a priemerný obsah organickej sušiny v usušenej vzorke bol 98,28 %. Laboratórna analýza vzorky vyprodukovaného biouhlia preukázala priemerný obsah sušiny 98,36 % a priemerný obsah organickej sušiny 89,86 %.

Tento prírodný materiál sme pridávali ako formu hnojenia do pôd s 3 rôznymi parametrami kvality pôdy tak, aby sme deklarovali a určili účinky materiálu na rastlinu. Použité pôdy boli: piesočný mix, ornica a kompost/biohumus. Účinok vyjadrujeme prostredníctvom pomerov objemu použitej pôdy k uhlíku z vŕby Tordis. Viac v sekcii materiál a metódy.

¹Bc. Tomáš Benkovič, SPU TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky,
xbenkovic@uniag.sk

²Ing. Tomáš Giertl, PhD., SPU TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky,
tomas.giertl@uniag.sk

Cieľom môjho výskumu bolo zistiť pozitívne, neutrálne alebo negatívne účinky na poľnohospodárske plodiny pôd s pridaním uhlíka. Dôvod vytýčenia daného cieľa je fakt, že čoraz viac sa dbá na kvalitu pôd, spodných vôd, ovzdušia a celkovo životného prostredia a ekológiu. Výrazný je aj trend vynechávania tvrdých pesticídov, hnojív a vrátenia živín späť do pôdy prostredníctvom funkčných metód. Vieme, že už aj zoštíepkované drevo má účinky na pôdu, no zuhoľnatený koncentrát plný živín dodá pôde a rastline priamejšiu podporu výdajnosti a kvality.

2 Materiál a metódy

Zoznam použitých materiálov:

- Biouhlie z Vřby Tordis pripravované v teplote 520 °C – Biouhlie získané zo štiepkovania vřby Tordis vyšľachtenej vo Švédsku firmou Agrobränsle, vysadenej na výskumnej plantáži v Kolíňanoch (cca 13 km od mesta Nitra) a zuhoľnatené v laboratórnych podmienkach laboratórií SPU TF,
- Piesočný mix – Studňové podložie záhrady v Kráľovej nad Váhom, riečny nánosový materiál prevažne piesočnato-kamenistej akosti, sprvoti pre rast plodín veľmi nevyhovujúci,
- Ornica – Povrchová ornica z poľa pri Kráľovej nad Váhom, unifikovane kvalitná pôda aj bez pridania markantného podielu ďalších živín,
- Kompost/biohumus – Spracované a hygienizované v bioplynovej stanici v Hornom Jatove spoločnosťou Zdroje Zeme a.s. - výživná zmes všeobecne vhodná pre všetky typy plodín,
- Paprika Promontor – 12 vzoriek, sladká, vhodná pre sadenie v črepníku,
- Rajčina Mano – 12 vzoriek, kríčková, vhodná pre sadenie v črepníku,
- Podlhovastý plastový črepník o veľkosti d,š,v 60x15x15cm – 12 kusov,
- Drevený raster proti škodcom – vytvorený na mieru podľa plastových črepníkov (Obr. 1),



Obr. 1 Drevený raster proti škodcom
Fig. 1 Wooden grid to prevent from pests

- Mulčovací kôra – vrchná vrstva na udržiavanie vlahy v črepníkoch,
- Tieniaca fólia – slúži na zabránenie vysychaniu rastlín (Obr. 2)



Obr. 2 Tieniaca fólia nainštalovaná na drevenom rastrí

Fig. 2 Shielding film installed on a wooden grid

- Zvinovací meter – meranie rastlín, rastlinu meriame od spodku stonky rastliny až po vrch stonky

Metóda výskumu:

Nakoľko sa jedná o pozorovanie a posúdenie využitia biouhľia pri pestovaní poľnohospodárskych plodín som si musel zadefinovať etalóny pri pozorovaní a následne riešiť ich alikvotné variácie tak, aby som dosiahol čo najzreteľnejšie ciele. Zvolil som preto 3 typy pôd pre aplikáciu biouhľia. Dva typy plodín, pri ktorých som mal istotu so zreteľnosťou a jasnou interpretáciou výsledkov. Pri každom type pôdy som vytvoril 4 vzorky pomeru pôdy a aplikácie biouhľia a to v pomeroch pôda/biouhlie

- 100% / 0% - počiatočný etalón, bez pridania biouhľia;
- 100% / 20%;
- 100% / 50%;
- 100% / 80%;

Týmto spôsobom vzniklo 12 pozorovaných vzoriek pôd. V každej zo vzoriek je zasadená 1x paprika a 1x rajčina. Dokopy skúmaných objektov máme 24.

Prvým pracovným postupom bolo zvolenie správneho plánu pre jasné interpretovanie výsledkov aplikácie biouhľia.

Druhým krokom bolo získanie vzoriek menej, viac a veľmi vhodných pre rast plodín a to: Piesočný mix, Ornica a Kompost/biohumus. Z každého typu pôdy sú vytvorené po 4 skúmané vzorky s podielom pôdy a biouhľia 100/0; 100/20; 100/50 a 100/80. Podiel daných obsahov som získal vďaka zadefinovanému etalónu – objemu podlhovastého črepníku o rozmere d,š,v 60x15x15cm. Pri získavaní podielov som využíval veľkú nádobu na miešanie malty. Pomer som docielil nasypáním plnej dávky etalónu pôdy do veľkej nádoby a alikvotného percentuálneho objemu črepníku naplneného biouhľím, ktoré som tiež nasypal do veľkej nádoby. Následne som vytvoril homogénny mix, ktorým som naplnil črepníky na vopred zadefinovanú úroveň.

Do každého z 12 črepníkov som zasadil papriky a paradajky, ktoré sú pri začiatku pozorovania v približne rovnakej výške, kondícii a kvalite tak, aby som videl jasné rozdiely, ktoré vznikajú pôsobením času a výživy získavanej z pôdy.

Vytvoril som vyvýšený raster pre účely pokusu, na ktorý som umiestnil monitorované vzorky. Raster je vytvorený tak, aby črepníky boli nad zemou. Dôvod je jasný - zamedzenie prístupu škodcom typu slimák, chrobač alebo mravec pri štarte rastu skúmaných plodín, a tak eliminovanie vonkajších vplyvov na pozorovanie. Raster je obalený zelenou tieniacou fóliou z dôvodu trendu pretrvávajúcich extrémnych horúčav v našej lokalite počas letných mesiacov, ktoré majú za následok znefunkčnenie koreňovej sústavy presušením. Z rovnakého dôvodu je aplikovaná vrstva mulčovacej kôry na povrchu každého z črepníkov, aby nedochádzalo k extrémnemu presychaniu a tým ovplyvneniu výsledkov pozorovania. Zalievanie podľa potreby.

Spôsob vyhodnotenia výsledkov:

Spôsob získavania údajov z môjho pozorovania je nasledovný. Údaje zapisujem priebežne pri príprave na pozorovanie, počas a po skončení pozorovania. Zadefinoval som si tzv. kontrolné dni. Kontrolný deň je posledný deň týždňa – nedeľa. Pri kontrolnom dni sledujem zmeny rastu plodín pri variabilnej aplikácii biouhlia k etalónu pozorovanej vzorky. Pozorujem zmeny vizuálne, výškové, plodovú výdajnosť a celkovú kondíciu rastliny v pôde/pôdnom mixe. Údaje zapisujem do tabuliek, z ktorých spravím tabuľky na vyhodnotenie kvality a zvyšovania úrodnosti vďaka biouhliu z vrby Tordis. Vypracované sú 4 tabuľky. Prvá tabuľka (*Tab. 1*) zobrazuje rast a veľkosti paradajky v každom type pôdy/pôdnej zmesi. Rovnako zobrazuje druhá tabuľka (*Tab. 2*) všetky veľkosti a rast papriky v každom type pôdy/pôdnej veľkosti. V tretej tabuľke (*Tab. 3*) je znázornené porovnanie výdajnosti plodov paradajky a dátum prvého plodu, ako aj vo štvrtej tabuľke (*Tab. 4*) sú vyobrazené rovnaké kritériá v prípade papriky.

PAPRIKA PROMONTOR																											
Typ pôdy		Veľkosť [cm]																									
		Deň merania																									
		28.5.2023	4.6.2023	11.6.2023	18.6.2023	25.6.2023	2.7.2023	9.7.2023	16.7.2023	23.7.2023	30.7.2023	6.8.2023	13.8.2023	20.8.2023	27.8.2023	3.9.2023	10.9.2023	17.9.2023	24.9.2023	1.10.2023	8.10.2023	15.10.2023	22.10.2023	29.10.2023			
1A		23	26,5	28	30	32	32	32	32	33	33	33	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
1B		28,5	32,5	36	36	38	38	39	39	39	39	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
1C		25,5	29,5	34	34	36	36	36	36	37	37	38	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
1D		27	29,5	30	31	33	33	35	35	35	38	38	37	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
2A		23,5	28,5	30	32	34	35	35	35	35	37	37	37	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
2B		20,5	24,5	25	26	28	28	29	29	29	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
2C		24,5	25,5	29	30	33	33	33	33	33	33	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
2D		25	29	31	32	36	36	36	36	36	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
3A		20	21,5	23	26	31	33	33	33	33	33	33	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
3B		22,5	24	27	32	36	42	48	54	60	60	60	62	63	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
3C		20,5	22	27	30	38	44	52	58	66	66	66	67	67	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
3D		25	27	29	34	42,5	46	50	56	60	60	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62

Tab. 2 Namerané výsledky paprika Promontor

Tab. 1 Measured results of green peper Promontor

PARADAJKA MANO																											
Typ pôdy		Veľkosť [cm]																									
		Deň merania																									
		28.5.2023	4.6.2023	11.6.2023	18.6.2023	25.6.2023	2.7.2023	9.7.2023	16.7.2023	23.7.2023	30.7.2023	6.8.2023	13.8.2023	20.8.2023	27.8.2023	3.9.2023	10.9.2023	17.9.2023	24.9.2023	1.10.2023	8.10.2023	15.10.2023	22.10.2023	29.10.2023			
1A		24	27	29,5	33	33	33	33	33	34	35	35	28	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1B		25	26	29	29	29	29	29	29	30	30	32	30	28	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1C		30	34	37	38	40	40	42	42	42	42	42	42	40	40	40	40	40	40	X	X	X	X	X	X	X	X
1D		31	34	35	38	40	40	42	42	42	42	43	40	40	40	40	40	40	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2A		23	29	30	30	32	32	33	33	33	34	34	35	35	35	35	35	35	35	35	X	X	X	X	X	X	X
2B		31	36	36	39	39	40	40	40	40	40	40	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
2C		33	35,5	37	38	41	42	43	43	43	43	44	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
2D		29	34	35	40	40	42	42	42	42	45	45	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
3A		24,5	29	30	30	32	32	32	32	32	32	32	28	28	28	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3B		28,5	33	34	34	34	34	34	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	X	X	X	X	X	X	X
3C		26	30	30	30	30	32	32	32	32	32	34	32	32	32	32	32	32	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3D		20	22,5	23	25	26	26	26	26	26	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	X	X	X	X	X	X	X

Tab. 1 Namerané výsledky paradajka Mano

Tab. 2 Measured results of tomato Mano

PARADAJKA MANO		
Typ pôdy	Počet plodov	Prvý plod
1A	2	18.6.2023
1B	3	18.6.2023
1C	2	18.6.2023
1D	2	13.8.2023
2A	6	11.6.2023
2B	4	11.6.2023
2C	5	18.6.2023
2D	2	25.6.2023
3A	5	4.6.2023
3B	13	4.6.2023
3C	18	4.6.2023
3D	17	4.6.2023

Tab. 3 Úroda paradajka Mano
Tab. 3 Harvest of tomato Mano

PAPRIKA PROMONTOR		
Typ pôdy	Počet plodov	Prvý plod
1A	1	25.6.2023
1B	3	25.6.2023
1C	1	25.6.2023
1D	2	18.6.2023
2A	2	25.6.2023
2B	3	2.7.2023
2C	3	25.6.2023
2D	3	25.6.2023
3A	3	9.7.2023
3B	4	30.7.2023
3C	4	23.7.2023
3D	3	2.7.2023

Tab. 4 Úroda paradajka Promontor
Tab. 4 Harvest of green peper
Promontor

3 Výsledky a diskusia

Kompletný výskum bol realizovaný v čase od 28.5.2023, kedy som vytvoril podmienky na meranie a rast až do 29.10.2023, kedy som ukončil výskum. Výskum som ukončil až v momente, keď som zhodnotil mortalitu všetkých pozorovaných rastlín a náhlu zmenu počasia – mrazy. Ako som spomenul v metodike, rastliny mali počiatočné parametre - veľkosť, robustnosť stonky, celkové vizuálne zdravie zhodné jak u papriky, tak u rajčiny. Sledoval som najmä prírastok zelenej hmoty rastliny, čiže: výšku rastliny, životnosť rastliny v danej vzorke a celkovú úrodu. Hľadám najoptimálnejší a najlepší variant pomeru uhlia v pôde, zároveň sledujem účinky na rastlinách v 3 typoch pôdy.

Predmetom sledovania je:

1. Porovnanie celkového vzrastu medzi rovnakým typom pôdy
2. Mortalitu rastlín v rovnakom type pôdy
3. Výdajnosť – celková úroda pri rovnakom type pôdy
4. Prvý plod medzi rovnakým typom pôdy
5. Porovnanie celkového vzrastu medzi rôznym typom pôdy
6. Mortalitu rastlín v rôznom type pôdy
7. Výdajnosť – celková úroda medzi rôznym typom pôdy
8. Prvý plod medzi rôznym typom pôdy

Paradajka Mano typu pôdy 1 - Piesočný mix

Z tabuľky číslo 1 a tabuľky číslo 3 vyplýva:

1. Najväčší celkový vzrast rastliny som zaznamenal vo vzorke 1C a 1D, kde sa výška rastliny vyšplhala do 42 a 43cm. Najdynamickejší prírastok som zaznamenal vo vzorke 1D, čo predstavuje 80% objemový podiel uhlíka. V tomto prípade uhlík pomohol rastline k vývinu do finálnej veľkosti. Oproti 0% a 20% podielu uhlíka vo vzorke (1A a 1B) sú rastliny 1C a 1D vyššie o 15-20%.

2. Prvý úhyn rastliny nastal vo vzorke 1A dňa 13.8.2023, kde je 0% prímies uhlia. O týždeň neskôr (dňa 20.8.2023) nastal úhyn vzorky 1B. Vzorka 1C a 1D vydržali vďaka živinám z uhlia až do 17.9.2023, kedy tiež nastáva úmrtie.

3. Celková úroda v type pôdy piesočný mix bola veľmi nízka, nakoľko sa jedná o typ pôdy nevyhovujúci pre rast paradajky. Najväčšia úroda bola v prípade vzorky 1B. Podotýkam, že podľa môjho názoru a aj celkového vizuálu plodu sa jednalo viac o náhodu, či predispozíciu v raste, ako o prísun živín z uhlia. Všetky vzorky v piesočnom mixe mali preto takmer rovnakú úrodu.

4. Nábeh prvého plodu nastal u vzoriek 1A, 1B, 1C dňa 18.6.2023. Rastlina nemala dosť živín, a preto všetku energiu vložila do plodu. Vzorka 1D som zaznamenal prvý plod až 13.8.2023. Táto rastlina sa dostala aj na najväčšiu maximálnu veľkosť spomedzi všetkých pozorovaných vzoriek v piesočnom mixe. Pravdepodobne došlo k vysileniu a až následne po doplnení živín v 80% uhlí vytvorila plod.

Paradajka Mano typu pôdy 2 - Ornica

Z tabuľky číslo 1 a tabuľky číslo 3 vyplýva:

1. Najväčší celkový vzrast rastliny som zaznamenal vo vzorke 2C a 2D, kde sa výška rastliny vyšplhala do 43 a 47cm. Najdynamickejší prírastok som zaznamenal vo vzorke 2D, čo predstavuje 80% objemový podiel uhlíka. V tomto prípade uhlík pomohol rastline k vývinu do finálnej veľkosti. Oproti 0% a 20% podielu uhlíka vo vzorke (2A a 2B) sú rastliny 2C a 2D vyššie o 10-25%.

2. Prvý úhyn rastliny nastal vo vzorke 2A dňa 1.10.2023, kde je 0% prímies uhlia. Až o tri týždne neskôr (dňa 22.10.2023) nastal úhyn vzorky 2B, 2C a 2D.

3. Celková úroda v type pôdy ornica sa správala podľa očakávania. Podľa vizuálu rastliny aj priemernej úrody sa jedná o výživnú pôdu, no pridanie uhlíka nijako závažne neovplyvnilo plody v skúmanej vzorke. Najväčšia úroda bola v prípade vzorky 2A. Príčinou je práve pridané biouhlie, ktoré absorbovalo živiny z pôdy dôležité pre samotný rast plodu i keď samotný vizuál a zdravie rastliny vďaka uhlíku bolo výborné v 2B, 2C a 2D. Úroda v tejto vzorke bola rovnomerná, avšak podotýkam, že uhlík je absorbent živín pre rast plodu. Potvrdilo sa nám to v prípade 2D, kde výška a zdravie rastliny boli skvelé, no úroda bola o dvojnásobok nižšia ako u ostatných vzoriek.

4. Prvý plod prišiel u vzoriek 2A a 2B dňa 18.6.2023. Vzorka 2D dosiahla prvý plod na ďalší týždeň - 25.6.2023. Táto rastlina sa dostala aj na najväčšiu maximálnu veľkosť spomedzi všetkých pozorovaných vzoriek v ornici. V tomto prípade sa znova jednalo o optimálne živiny pre rast a až po následnom dosiahnutí svojej optimálnej veľkosti vyrástol plod.

Paradajka Mano typu pôdy 3 – Kompost/biohumus

Z tabuľky číslo 1 a tabuľky číslo 3 vyplýva:

1. Najväčší celkový vzrast rastliny som zaznamenal vo vzorke 3B, kde sa výška rastliny vyšplhala do 35cm. Prírastky zelenej hmoty do výšky nie sú veľké, no celkový vizuál rastliny je robustný, mohutný, s rozrastenou koreňovou sústavou a hrubou, pevnou stopkou. Uhlík a zloženie pôdy pomohlo k pozitívnemu celkovému výsledku vzorky.

2. Prvý úhyn rastliny nastal vo vzorke 3A dňa 27.8.2023, kde je 0% prímies uhlia. Vzorky 3B a 3C uhynuli 10.9.2023 a o týždeň na to (17.9.2023) odišla vzorka 3D. Medzitým však priniesli bohatú úrodu.

3. Celková úroda v type pôdy kompost bola veľmi vysoká. Jedná sa o výživnú zmes, čo sa preukázalo vo všetkých vzorkách pozitívnym výsledkom. Je zjavné, že vysoký obsah živín je v tomto prípade na škodu. Vzorky, ktoré obsahovali uhlie v tomto prípade dosahovali najmä v prípade 3B a 3C pozoruhodnú úrodu vďaka absorpčným vlastnostiam biouhlia. Biouhlie absorbovalo veľkú časť prebytočných živín na úroveň takú, že sa rastline začalo dariť. Najväčšie úrody boli vo vzorkách 3B, 3C a 3D z toho až 18 dozretých plodov v kombinácii s 50% uhlia vo vzorke 3C.

4. Nábeh prvého plodu nastal u všetkých vzoriek 3A, 3B, 3C, 3D dňa 4.6.2023. Rastlina mali dostatok až prebytok živín na rast, vytvorenie mohutného tela rastliny, koreňovej sústavy a bohatú úrodu.

Porovnanie paradajky Mano vo všetkých typoch pôdy

Z tabuľky číslo 1 a tabuľky číslo 3 vyplýva:

5. Najväčší výškový vzrast medzi rôznym typom pôdy bol zaznamenaný vo vzorkách ornica, konkrétne ornica s 80% prímiesou biouhlia - 2D. Vzrastovo najmenšia rastlina bola v komposte 3A. Porovnávam aj celkový vzrast z pohľadu mohutnosti a zdravia rastliny. Najlepšie rastliny z pohľadu kvality stonky, listov, koreňovej sústavy a množstva plodov boli vzorky kompostu 3B, 3C a 3D.

6. Prvý úhyn z pohľadu pozorovania vzoriek nastal vo vzorke 1A, 1B a 3A, 3B. Vzorky typu 1 nemali vhodné podmienky na život a rast nakoľko sa jednalo o piesočnato-štrkovú pôdu bez prímies, či s nízkou prímiesou biouhlia, ktoré by doplnilo živiny, a tak predĺžila životnosť a zvýšila úrodu. Vzorky 3A a 3B mali veľmi dobré podmienky na rast. Za pomerne krátky čas vyprodukovali rovnako, a dvojnásobne až štvornásobne viac plodov ako vzorky piesočnatého mixu a ornice. Najdlhšie vydržali vzorky rajčiny žiť v ornici.

7. Celková úroda prierezom vzoriek paradajok vo vzorkách pôd bola významná najmä v komposte a špeciálne vo vzorke 3B, 3C a 3D s počtom dozretých plodov: 13, 18 a 17ks. Najmenej plodov mali rastliny v type pôdy piesočnatý mix. Jednalo sa s najväčšou pravdepodobnosťou o zostatkovú silu rastliny, nakoľko v tomto type pôdy ani po pridaní biouhlia neprejavili zjavné účinky na kvantitu a kvalitu plodov.

8. Nábeh prvého plodu nastal vo výživnej zmesi/komposte až o 1-3 týždne skôr, ako u ostatných typoch pôdy a ich vzorkách.

Paprika Promontor typu pôdy 1 – Piesočný mix

Z tabuľky číslo 2 a tabuľky číslo 4 vyplýva:

1. Najväčší celkový nárast rastliny som zaznamenal vo vzorke 1B, kde sa výška rastliny vyšplhala do 40cm. Najdynamickejší prírastok som zaznamenal vo vzorkách 1B a 1C s podielom uhlíka. V tomto prípade uhlík pomohol rastline k vývinu do finálnej veľkosti. Oproti 0% podielu uhlíka vo vzorke 1A sú rastliny 1B, 1C a 1D vyššie o 10-20%. Na samotný rast papriky má biouhlie významný efekt.

2. Ukončil som projekt skôr než stihli rastliny papriky vo všetkých typoch pôdy uhynúť.

3. Celková úroda v type pôdy piesočný mix bola veľmi nízka, nakoľko sa jedná o typ pôdy nevyhovujúci pre rast. Papriky obľubujú piesočnaté vzdušné pôdy, avšak nemalo by sa jednať o čistý piesok/štrk. Najväčšia úroda bola v prípade vzorky 1B a to 3 dozreté plody. Je možné deklarovať, že biouhlie pomohlo k zúrodneniu pôdy a prístupu rastliny k živinám, nakoľko vzorka 1B a 1D vykázala dvoj-trojnásobnú úrodu ako vzorka bez biouhlia.

4. Nábeh prvého plodu nastal u vzorky 1D dňa 18.6.2023. Vo vzorkách 1A, 1B a 1C som zaznamenal prvý plod 26.8.2023. Predpokladám, že vysoký podiel uhlia zapríčinil skorý nábeh rastliny do plodu. Výskumom aj analýzou som zistil, že biouhlie pri nedostatku živín pôsobí ako dodávač živín i podpora rastu, ale pri prebytku živín slúži ako absorbent.

Paprika Promontor typu pôdy 2 – Ornica

Z tabuľky číslo 2 a tabuľky číslo 4 vyplýva:

1. Najväčší celkový vzrast rastliny som zaznamenal vo vzorke 2A a 2D, kde sa výška rastliny vyšplhala do 38 a 39cm. Najdynamickejší prírastok som zaznamenal vo vzorke 2D, čo predstavuje 80% objemový podiel uhlíka. V tomto prípade uhlík pomohol rastline k rýchlejšiemu vývinu do finálnej veľkosti. Rastliny v 2B a 2C prekvapivo netieňujú stúpajúci trend.

2. Ukončil som projekt skôr, ako stihli rastliny papriky vo všetkých typoch pôdy uhynúť.

3. Celková úroda v type pôdy ornica splnila očakávania. Ornica je vo svojej podstate univerzálna pôda pre rast rôznych typov plodín. Podľa vizuálu rastliny aj priemernej úrody sa jedná o výživnú pôdu a pridanie uhlíka ovplyvnilo plody v skúmanej vzorke. Na vzorkách 2B, 2C a 2D bol viditeľný posun z pohľadu plodov - až o 1 kus pri každej zo vzoriek bol prírastok oproti referenčnej vzorke 2A (2ks plodov), teda 3ks/rastlina.

4. Prvý plod prišiel u vzoriek 2A, 2C a 2D v rovnaký deň - 25.6.2023 a o týždeň neskôr sa objavili aj na vzorke 2B dňa 2.7.2023. Veľkosť a kvalita plodov bola porovnateľná taktiež.

Paprika Promontor typu pôdy 3 – Kompost/biohumus

Z tabuľky číslo 2 a tabuľky číslo 4 vyplýva:

1. Najväčší celkový vzrast papriky som zaznamenal vo vzorkách 3B, 3C a 3D pričom 3C bola najvyššia. Celkový vizuál rastliny bol mohutný, rozvetvený s viacerými stonkami. Jednalo sa o veľmi zaujímavý vzhľad rastliny. Na vzraste bolo jasne vidno, že uhlík pomohol v raste papriky a to práve absorpciou prebytočných živín a podporou koreňovej sústavy.

2. Ukončil som projekt skôr, ako stihli rastliny papriky vo všetkých typoch pôdy uhynúť.

3. Celková úroda v type pôdy kompost bola veľmi vysoká. Jedná sa o výživnú zmes, čo sa preukázalo vo všetkých vzorkách pozitívnym výsledkom. Plody boli veľké, na pohľad krásne a zdravé. Najväčšia úroda bola vo vzorkách 3B a 3C. V týchto vzorkách bol aj najlepší vizuál rastliny a výška rastliny. Bolo zrejmé, že už 80% objemu biouhlia v pôde je príliš vysoká dávka.

4. Nábeh prvého plodu nastal u vzorky 3D dňa 2.7.2023. Rastlina mala dostatok až prebytok živín na rast, vytvorenie mohutného tela rastliny, koreňovej sústavy a bohatú úrodu. Podotýkam, že 3B a 3C sa najprv zamerali na vývin samotného tela rastliny, kde sústredili všetku energiu a následne naraz rástli plody.

Porovnanie papriky Promontor vo všetkých typoch pôdy

Z tabuľky číslo 2 a tabuľky číslo 4 vyplýva:

5. Najväčší výškový vzrast medzi rôznym typom pôdy bol zaznamenaný vo vzorkách kompost, konkrétne kompost s 20% a 50% prímiesou biouhlia – 3B a 3C. Vzrastovo najmenšia rastlina bola v piesočnatom mixe 1A. Najkrajší a najmohutnejší vzrast mali vzorky 3B, 3C a 3D, kde sa mi osvedčila kombinácia kompost-biouhlie. Ako optimálny variant by som volil vzorku s 20% biouhlia.

6. Úhyn rastlín nenastal, nakoľko som výskum ukončil skôr, kvôli chladným dňom a nociam.

7. Celková úroda prierezom vzoriek paprík vo vzorkách pôd bola významná najmä v komposte a špeciálne vo vzorke 3B, 3C a 3D s počtom dozretých plodov 4ks, 4ks a 3ks. Najmenej plodov mali rastliny v type pôdy piesočnatý mix. V prípade aplikácie biouhlia pre rast papriky do rôznych typov pôd mala daná aktivita význam pre kvantitatívnu aj kvalitatívnu stránku produkcie.

8. Nábeh prvého plodu nastal v piesočnatom mixe. Je to zapríčinené práve faktom, že rastlina pravdepodobne cítila nedostatok látok a živín, a preto mala záujem čím skôr pustiť plody ako formu pokračovania rodu. Najneskorší nábeh plodov na rastline nastal v komposte, avšak kvalita rastliny, plodiny aj ich množstvo bolo mnohonásobne lepšie oproti ostatným pozorovaným vzorkám.

Zhodnotenie a porovnanie pozorovacej metódy s rozborom pôdy po skončení výskumu

Výsledky z laboratórnej analýzy pôdy a pôdných živín v laboratóriách Ústavu agronomických vied SPU v Nitre pod vedením prof. Ing. Ladislav Ducsay, Dr.. (Tab. 5)

Vo výskume som mal 12 typov pôd a biouhlie vrby Tordis. Na základe odbornej konzultácie som dal som analyzovať do laboratórií 10 vzoriek z 13. Boli nimi: referenčná vzorka, vzorka s prímесou 20% a 50% uhlíku z každého typu pôdy a samotné biouhlie. Rozhodnutie nedat' všetkých 13 som uskutočnil na základe spomínanej odbornej konzultácie a pozorovacej metódy, kde som jasne videl, že 80% biouhlia v pôde nespôsobuje závažné pozitívne efekty na rastlinu a úrodu.

Z výsledkov možno vydedukovať:

- Biouhlie sa v prípade nedostatku živín, ako je to vo vzorkách typu piesočný mix 1, správa ako hnojivo a dodáva potrebné živiny v násobkoch viac oproti referenčnej vzorke
- Biouhlie sa v prípade dostatku živín správa ako stimulant, úložisko živín a vylepšuje celkový stav rastliny i úrodu v konsenze s pozorovacou metódou
- Biouhlie v prípade prebytku živín sa správa ako absorbent živín a násobne znižuje ich hodnoty tak, aby rastlina dosiahla optimálne prostredie pre rast a vývoj

Výsledky rozboru pôdných vzoriek v mg.kg ⁻¹															
Por. č.	Ozn. vzor.	% uhlí.	% soli	Ec/ mS.cm ⁻¹	pH	Na ₂ O mg.kg ⁻¹	Obsah živín v mg.kg ⁻¹ (Mehl.III)				Obsah prístupných živín v mg.kg ⁻¹				
							P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu
54	1A	4,68 SV	0,063 BS	1,4	8,00 SA	3,7 VN	12,5 N	115 N	4550 V	143 VH	13,8 N	2,0 D	5,3 N	1,6 VN	0,5 N
55	1B	4,84 SV	0,055 BS	1,5	7,92 SA	5,6 N	20 N	160 N	4850 V	153 VH	10,0 N	4,2 V	4,6 N	1,1 VN	0,6 N
56	1C	5,0 SV	0,072 BS	1,7	7,90 SA	3,4 VN	30 N	202,5 D	4150 V	189 D	21,3 S	14,1 VV	3,2 N	1,0 VN	0,5 N
57	2A	10,0 V	0,12 SS	2,2	7,45 A	7,4 N	135 V	550 VV	5550 VV	381 VV	7,5 VN	19,5 VV	6,8 N	1,8 VN	3,0 V
58	2B	6,44 V	0,095 BS	2,1	7,48 A	8,5 N	136 V	615 VV	5100 V	385 VV	11,3 N	17,3 VV	7,2 N	1,7 VN	2,8 D
59	2C	7,28 V	0,126 SS	2,1	7,61 A	6,2 N	135 V	695 VV	5100 V	372 VV	7,5 VN	15,9 VV	6,5 N	2,1 VN	3,3 V
60	3A	7,2 V	0,749 ES	10,9	7,67 A	69,5 VD	1700 VV	4675 VV	9150 VV	1726 VV	165 VV	82,5 VV	58,4 D	10,6 S	3,3 V
61	3B	6,88 V	0,777 ES	9,8	7,77 SA	29,3 D	1388 VV	4300 VV	7850 VV	1557 VV	117,5 VV	23,5 VV	38,7 S	4,0 VN	2,2 D
62	3C	5,84 V	0,854 ES	10,8	7,83 SA	28,0 D	880 VV	2500 VV	5950 VV	914 VV	152,5 VV	26,7 VV	47,1 D	7,0 VN	1,5 S
Výsledky rozboru uhlia (Tordis)															
							mg.kg ⁻¹ v 100% suš.								
						N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu
9	Tordis					8175	3650	99767	27338	2029	398	272	373,4	60,9	9,2
	(uhlie)														

Vysvetlivky:
SV – slabo vápenaté
V – vápenaté
BS – bez salinizácie
SS – stredná salinizácia
ES – extrémna salinizácia

SA – slabo alkalické
A – alkalické
VN – veľmi nízky
N – nízky
VD – veľmi dobrý
D – dobrý
N – nízky

VV – veľmi vysoký
S – stredný
VH – vyhovujúci

Tab. 5 Výsledky rozboru pôdných vzoriek

4 Záver

Z mojich zistení vyplýva, že biouhlie je vhodný doplnok pre všetky typy pôd. Ukladá, absorbuje do seba živiny a v prípade potreby ich naopak dodáva. Je jasné, že pomer absorbovaných živín je podstatne väčší, ako dokáže dodať sám o sebe. Významné je, že sa jedná o univerzálny nástroj na riešenie všetkých potrieb pôd. V prípade dostatku živín absorbuje rádovo násobky živín tak, aby znižoval prebytky, ktoré by mohli prekážať rastline v raste, ukladá ich a postupne ich uvoľňuje do pôdy. V prípade optimálnych pôd pôsobí ako podporný prvok a tvorí homogénny materiál, ktorý prevzdušňuje pôdu. V prípade piesočnatých pôd dokáže pôsobiť aj ako stimulant rastu a v správnej i keď nie ideálnej kombinácii, dokáže byť istou formou hnojiva a prvku v pôdnom mixe.

Podľa pozorovacej metódy som mal možnosť zistiť fyzické dopady biouhlia na pôdnu vzorku, rastlinu a tým aj úrodu. Najzaujímavejšie zistenia som realizoval pri vzorkách typu pôdy 3 – kompost pri oboch druhoch rastlín. Rastliny boli správne vyživené, mohutné, zdravé s bohatou úrodou oproti iným vzorkám. Porovnaním napríklad s čistým kompostom a kombináciou biouhlia s kompostom som mal možnosť vidieť na paprike zvýšenie produkcie o 33%, dokonca pri paradajke o viac ako 300% pri vzorkách 3C a 3D.

Biouhlie odporúčam používať ako univerzálnu prímes do pôdy. Je potrebné zdôrazniť náročnosť technológie, technologického postupu a celkovej ceny výroby, preto zatiaľ odporúčam využívať biouhlie ako formu hnojiva, výživy a stimulantu do menších záhrad a bio fariem, kde sa dbá na kvalitu produktu a prírodnú formu.

5 Literatúra

GIERTL, TOMÁŠ; HAUPTVOGL, MARTIN. 2019. *Verifikácia možností využívania rýchlorastúcich drevín na výrobu biopalív*. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. 72 s.

MAG MEDIA s.r.o, 2023. Plénium. Online. Aktualizované 2023-07-02. Dostupné na: <https://plenum.sk/ako-krmit-papriky-po-vysadbe-do-zeme-aby-rychlo-rastli-a-prinasali-bohatu-urodu/> [zobrazené 2024-04-01].

News and Media Holding a.s., 2021. Záhradkár. Online. Aktualizované 2021-05-18. Dostupné na: <https://zahradkar.pluska.sk/uzitkova-zahrada/podrobny-navod-pestovanie-rajciakov> [zobrazené 2024-04-01].

SIKOVNIK.SK, 2021. Sikovnik.sk. Online. Aktualizované 2021. Dostupné na: <https://sikovnik.sk/co-potrebuju-moje-papriky-pri-presadeni-do-zeme-pre-bohatu-urodu-a-rychly-rast-urcite-nezabudnite-na-toto/> [zobrazené 2024-04-01].

Zákon č. 338/2005 Z.z. zo dňa 6. júla 2005 o postupe pre odber pôdných vzoriek, spôsobe rozsahu vykonávania agrochemického skúšania pôd, zisťovania pôdných vlastností lesných pozemkov a o vedení evidencie hnojenia pôdy a stavu výživy rastlín na poľnohospodárskej pôde a na lesných pozemkoch.

Súhrn

V mojom výskume riešim problematiku využitia biouhlia pri pestovaní poľnohospodárskych plodín, nakoľko čoraz viac sa dbá na kvalitu potravín, prírodné hnojenia, vracanie živín späť do pôdy a hľadanie spôsobov pre dlhodobú a trvalú udržateľnosť.

Zameral som sa na dva druhy poľnohospodárskych plodín, kde očakávam najväčšie využitie, a to paradajku a papriku. Práve pri takýchto plodinách, ktoré sa pestujú aj na menších rozlohách alebo pri bio pestovaní s vysokou pridanou hodnotou samotného plodu má výskum zmysel. Vybral som 3 typy pôdy, do ktorých som aplikoval 3 objemové pomery koncentrácie biouhlia k pôde + referenčnú vzorku. Dokopy som získal 12 typov pôd s 24 vzorkami.

Výsledky som prehľadne zapísal a vypracoval. Biouhlie odporúčam používať ako univerzálnu prímes do pôdy. Avšak zdôrazňujem náročnosť technológie, technologického postupu a celkovej ceny výroby.

Kľúčové slová: Biouhlie, bio, udržateľnosť, pôda, živiny, výskum, paprika, paradajka, prímes

Menovite Ďakujem Ing. Tomášovi Giertlovi, PhD., prof. Ing. Ladislavovi Ducsayovi, Dr. a Františkovi Celengovi za poskytnuté konzultácie a informácie k výskumu.

POSÚDENIE VLASTNOSTÍ BIOPALÍV PRE ZDROJE TEPLA V POĽNOHOSPODÁRSTVE ASSESSMENT OF THE PROPERTIES OF BIOFUELS FOR HEAT SOURCES IN AGRICULTURE

PATRIK GÁBRIŠ¹ - IVAN VITÁZEK²

Abstract

There is now an increased drive to replace fossil fuels with renewables. In agriculture, biomass is a particular consideration. For its proper use, it is necessary to know its physical properties. In this paper, the results of thermogravimetric analysis of selected biofuels suitable as fuel for heat sources in agriculture are presented. In this case, it is apple, vine, plum, cherry, horse manure and wheat straw trimmings. On the basis of experimental measurements, we found significant differences between these biofuels in relation to their moisture, ash and combustible content. We used the gravimetric method and found that among the biofuels studied, the highest moisture content was for horse dung at 36.55 % and the lowest was for vine stover at 8.38 %. Regarding the ash content, we consider the ash content in dry matter to be an important indicator. This proportion was highest for horse manure at 11,06 % and lowest for vine prunings at 3 %. Adequately, the proportion of combustible ash in dry matter was the highest for vine cuttings, namely 96.99 % of combustible ash in dry matter, the lowest value was reached by horse manure, namely 88.94 %. Our results suggest the need for additional processing of some biofuels, e.g. drying at high biofuel moisture content, which may affect handling costs. Furthermore, the time course of sample weight loss from the end of drying (180 min) to the end of drying was realized. We also evaluated the influence of these physical characteristics on the combustion process. Based on the data obtained, we discussed the possibilities of using these biofuels in farms as a heat source. The above issues complement the view of the potential of biofuels in agriculture.

Key words: biomass, biofuel, tree trimmings, gravimetric method, ash, combustible

1 Úvod

S rastúcim povedomím o environmentálnych a energetických výzvach sa záujem o udržateľné zdroje energie neustále zvyšuje. V súvislosti s tým je významné preskúmať a vyhodnotiť potenciál biopalív ako alternatívneho zdroja tepla v poľnohospodárstve. Táto práca sa zaoberá posúdením vybraných vlastností biopalív a ich vhodnosti pre využitie v poľnohospodárskych odvetviach. Poľnohospodárstvo je kľúčovým sektorom pre hospodársku stabilitu mnohých krajín a zároveň má významný ekologický dosah. Využitie biopalív ako zdroja tepla môže mať pozitívny vplyv na udržateľnosť poľnohospodárskej výroby a zároveň prispieť k zníženiu emisií skleníkových plynov.

V tomto príspevku sa budeme zameriavať na charakterizáciu a porovnanie fyzikálnych vlastností biopalív, ako sú orezy jablone, orezy viniča, konský trus, slama pšeničná, orezy slivky a orezy čerešne z rôznych hľadísk vrátane energetickej hodnoty, podielu prchavej zložky

¹Bc. Patrik Gábriš, SPU TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, xgabrisp@uniag.sk

²doc.Ing. Ivan Vitázek, CSc., SPU TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, ivan.vitazek@uniag.sk

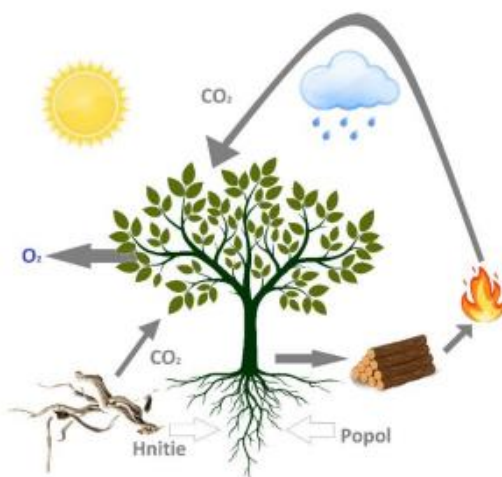
a obsahu popola. Vzhľadom na stále meniace sa legislatívne a ekonomické prostredie je dôležité mať aktuálne informácie a analýzy v oblasti vlastností biopalív, aby sme mohli efektívne plánovať a implementovať ich využitie v poľnohospodárskych podnikoch na energetické účely.

Snahou v príspevku je doplniť túto medzeru vo výskume a poskytnúť ucelený pohľad na potenciál biopalív ako zdroja tepla v poľnohospodárstve, a to s dôrazom na ich technickú, environmentálnu efektívnosť. Naším zámerom je prispieť k diskusii o udržateľnom využívaní zdrojov energie v poľnohospodárstve.

2 Materiál a metódy

Charakteristika biopalív

Biopalivá sú organický materiál obnoviteľného pôvodu, pochádzajúci z rastlín a živočíchov, ktorý uchováva chemickú energiu získanú zo slnečného žiarenia pomocou fotosyntézy. Tieto biopalivá môže byť využité na výrobu tepla priamo spálením, alebo sa dá prostredníctvom rôznych procesov premeniť na kvapalné alebo plynné palivá. V minulosti, až do polovice 19. storočia, boli biopalivá hlavným zdrojom energie pre celosvetovú spotrebu. V roku 2022 tvoria biopalivá približne 5 % celkovej spotreby primárnej energie. Jej využitie zahŕňa vykurovanie, výrobu elektriny a palivo pre dopravu. Biopalivá majú významné miesto v energetickom sektore mnohých krajín, najmä ako zdroj energie pre varenie a vykurovanie v rozvojových krajinách (eia.gov/energyexplained,2023).



Obr. 1 Grafické znázornenie kolobehu obnoviteľných zdrojov energie
Fig. 1 Graphical representation of the renewable energy cycle

(Zdroj: siea.sk, 2021)

Rozdelenie biopalív

Podľa fyzikálne hľadiska-klasifikuje biopalivá do troch základných foriem podľa ich stavu:

- Tuhé (pevné) biopalivá
- Kvapalné biopalivá
- Plynné biopalivá

Rozdelenie podľa generácie biopalív

- a) Prvá generácia biopalív
- b) Druhá generácia biopalív
- c) Tretia generácia biopalív
- d) Štvrtá generácia biopalív

Tuhé biopalivá

Známe aj ako biomasa sú palivá, ktoré sa nachádzajú v pevnom stave pri akýchkoľvek podmienkach prípravy na energetické využitie. Sem patria rôzne formy dreva, ako sú polená, štiepka, piliny, brikety a pelety. Okrem toho patrí medzi tuhé biopalivá aj seno (v podobe peliet a brikiet), slama a plodiny pestované pre energetické účely. Biomasa tvorí organické aj anorganické látky s vysokým obsahom uhlíka, vodíka a kyslíka. V zásade je biomasa všetka organická hmota. Považuje sa za uhlíkovo neutrálnu, pretože množstvo oxidu uhličitého uvoľneného pri spaľovaní je približne rovnaké ako množstvo, ktoré rastliny absorbovali počas svojho rastu. Charakteristika spaľovanej biomasy je jedným z kľúčových faktorov ovplyvňujúcich účinnosť spaľovania a produkciu možných emisií (Jurák, 2022).

Biomasa a jej vznik

V zemskej atmosfére a na povrchu Zeme prebieha neustály fyzikálny a chemický obeh prvkov a rôznych zlúčenín. Život na Zemi a cirkulácia látok a prvkov je závislá na slnečnom žiarení. Hlavnú úlohu zohráva proces fotosyntézy. Fotosyntéza je biochemický proces, kde sa svetelná energia premení na energiu chemických väzieb. Využíva sa svetelné, ako napríklad slnečné, žiarenie a teplo na syntézu energeticky bohatých organických zlúčenín - cukrov - z jednoduchých anorganických látok - oxidu uhličitého (CO_2) a vody. Na udržanie dynamického rovnováhy v biosfére hrá nezastupiteľnú úlohu "živá biomasa". Biochemické reakcie zabezpečujú trvalý obeh biogénnych prvkov a premenúvajú slnečnú energiu na chemickú. Tento proces sa využíva ako zdroj energie pre väčšinu biochemických procesov a rast rastlín (Mareček, 2013).

Premena energie z biomasy

- a) priame spaľovanie (spaľovanie) na výrobu tepla,
- b) termochemická premena na výrobu pevných, plyných a kvapalných palív,
- c) chemická premena na výrobu kvapalných palív,
- d) biologická premena na výrobu kvapalných a plyných palív.

Priame spaľovanie

Priame spaľovanie je najbežnejšou metódou premeny biomasy na užitočnú energiu. Všetku biomasu je možné spaľovať priamo na vykurovanie budov a ohrev vody, na poskytovanie priemyselného procesného tepla a na výrobu elektriny v parných turbínach. V procese výroby energie z biomasy, ktorý je už bežne k dispozícii, je možné: uvažovať o takmer nulovej produkcii CO_2 , pretože proti emisiám vznikajúcim pri spaľovaní hovorí využitie aj oxidu uhličitého v priebehu rastu biomasy. Týmto spôsobom biomasa môže prispieť k ochrane zdrojov fosílnych palív a zníženiu emisií skleníkových plynov (Girón, 2013).

Spracovanie biomasy pomocou mechanických metód

- Sušenie
- Dezintegrácia
- Peletovanie
- Štiepkovanie
- Briketovanie

Gravimetrická metóda

Na účely vykurovania a ohrevu je využívaná biomasa ako alternatíva k zemnému plynu. Kvalita tohto paliva ako zdroja energie je podmienená jeho obsahom horľaviny, obsahom vlhkosti a obsahom popola. Gravimetrická metóda, zahŕňa stanovenie množstva vody na základe poklesu hmotnosti vzorky biomasy po vysušení, a následný celkový pokles hmotnosti vzorky až po ukončenie experimentálneho merania. Vzorka pevného biopaliva je umiestnená do keramickej misy gravimetrickej pece. Teploty a trvanie procesu sú programované pomocou počítačových nástrojov. Počas procesu sa vzorka postupne ohrieva na $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a suší sa po dobu 120 minút. Nad $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ sa odstráni vlhkosť z paliva, pri teplotách nad $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ sa začne uvoľňovať prchavá horľavina a vysoké teploty ($260 - 410\text{ }^{\circ}\text{C}$) zrýchľujú tento proces. Oxidácia tuhej časti paliva sa uskutočňuje pri teplote okolo $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, zatiaľ čo úplná oxidácia zostávajúcej hmotnosti na popol nastáva pri teplote $815\text{ }^{\circ}\text{C}$. Táto metóda, hoci jednoduchá a presná, vyžaduje značný časový rámec. Poskytuje však dôležité informácie o zložení biopaliva, ako sú obsah vlhkosti, horľaviny a popola, ktoré ovplyvňujú výkon a prevádzku spaľovacích zariadení. Stanovenie limitných hodnôt týchto zložiek je kľúčové pre zabezpečenie optimálneho fungovania zdrojov tepla a sušiarne. Pre experimentálne merania bude využité laboratórne zariadenie Nabertherm L9/11/SW/P330 a príslušenstvo (Mikulová 2016).



Obr. 2 Gravimetrická pec Nabertherm L9/11/SW/P330 s príslušenstvom
Fig. 2 Gravimetric furnace Nabertherm L9/11/SW/P330 with accessories

Tab. 1 Priebeh teplôt počas gravimetrického merania
Tab. 1 Temperatures during gravimetric measurement

Obdobie	Interval (v minútach)	Teplota (°C)
1	60	20÷105
2	120	105
3	60	105÷500
4	60	500
5	60	500÷815
6	60	815

(Zdroj: STN EN 14775:2010)

Výpočet podielu jednotlivých zložiek je realizovaný na základe nasledujúcich matematických vzťahov

Podiel vlhkosti

Norma STN EN 14774-2, podľa ktorej vypočítame podiel vlhkosti.

Výpočet podielu relatívnej vlhkosti materiálu:

$$w = \frac{m_5 - m_6}{m_5} \quad (1)$$

Pričom hmotnosť vlhkého materiálu m_5 a sušiny m_6 určíte zo vzťahov:

$$m_5 = m_2 - m_1 \quad (2)$$

$$m_6 = m_3 - m_1 \quad (3)$$

Podiel popola

Norma STN EN 14775, podľa ktorej vypočítame podiel popola.

Výpočet podielu popola v pôvodnej vzorke:

$$A' = \frac{m_7}{m_5} \quad (4)$$

Výpočet podielu popola v sušine

$$p_{ps} = \frac{m_7}{m_6} \quad (5)$$

Pričom hmotnosť popola m_7 určíme z rozdielu hmotnosti vzorky na konci experimentu

$$m_7 = m_4 - m_1 \quad (6)$$

Podiel prchavej horľaviny

Norma STN EN 15148 podľa ktorej vypočítame podiel prchavej horľaviny.

Podiel horľaviny v pôvodnej vzorke

$$h' = \frac{m_8}{m_5} \quad (7)$$

Podiel horľaviny v sušine

$$p_{hs} = \frac{m_8}{m_6} \quad (8)$$

pričom hmotnosť horľaviny m_8 vypočítame:

$$m_8 = m_6 - m_7 \quad (9)$$

Kde:

m_1 - hmotnosť prázdnej misky, g

m_2 - hmotnosť misky s náplňou skúmaného biopaliva, g

m_3 - hmotnosť misky s materiálom na konci úseku sušenia, g

m_4 - hmotnosť misky s materiálom na konci experimentu, g

m_5 - hmotnosť vlhkého materiálu, g

m_6 - hmotnosť sušiny, g

m_7 - hmotnosť popola, g

m_8 - hmotnosť horľaviny, g

Where:

m_1 - weight of empty dish, g

m_2 - mass of the bowl with the filling of the biofuel under investigation, g

m_3 - mass of the bowl with material at the end of the drying section, g

m_4 - mass of the bowl with material at the end of the experiment, g

m_5 - mass of wet material, g

m_6 - mass of dry matter, g

m_7 - mass of ash, g

m_8 - mass of combustible material, g

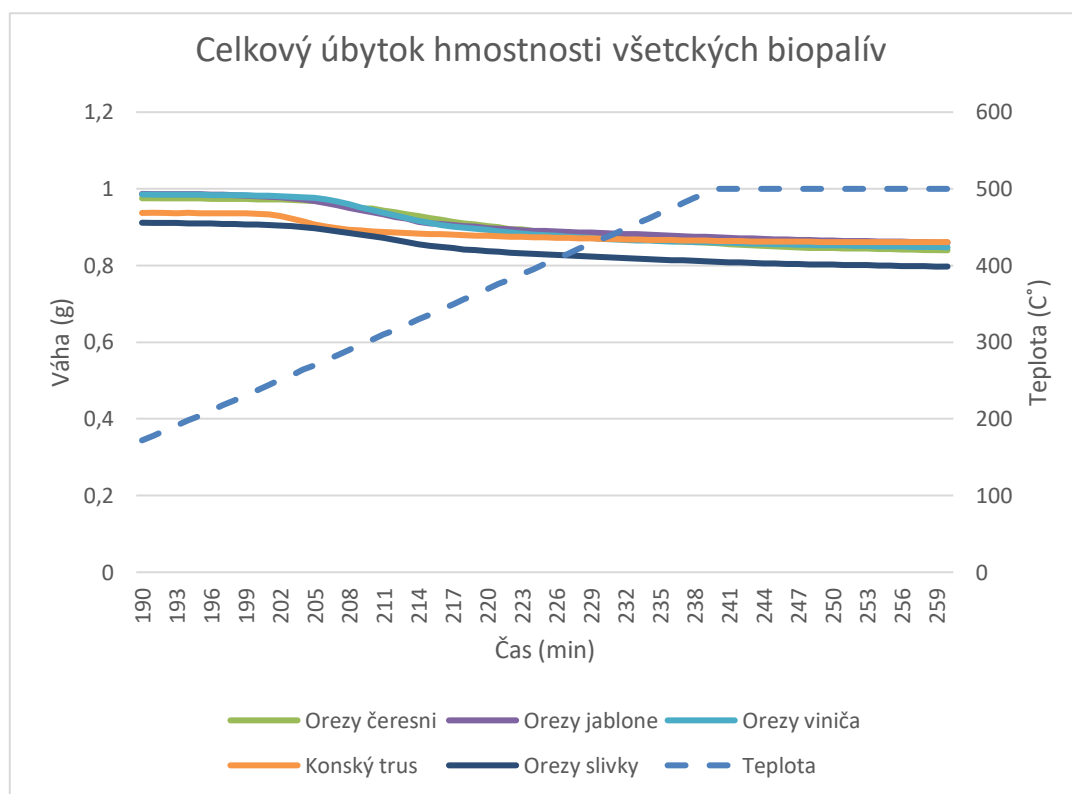
3 Výsledky a diskusia

V laboratóriu sme vykonali 19 meraní pre každé biopalivo trikrát, okrem jablone, kde sme vykonali štyri merania. Po vykonaní následných výpočtov podľa metodiky práce sme dospeli k výsledkom, ktoré sú zhrnuté v *tabuľke č.2*. Údaje sú vypočítané aritmetickým priemerom zo všetkých meraní jednotlivých biopalív ktoré boli vykonané. Analýza poskytnutých hodnôt biopalív odhaľuje značné rozdiely medzi ich biopalivami. Biopalivá s najvyšším podielom vlhkosti (w, %), konský trus (36,55 %) a orez slivky (36,53 %), vykazujú výrazne vyššie hodnoty v porovnaní s pšeničnou slamou (10,3 %) a orezom viniča (8,38 %). Tieto hodnoty naznačujú možnú potrebu dodatočného sušenia, čo môže zvýšiť náklady na manipuláciu s biomasou. Podiel popola v pôvodnom stave vzorky (A') je najvyšší u konského trusu (6,94 %), kým orez viniča má najnižší podiel popola (2,75 %). Tieto hodnoty odzrkadľujú rozdiely v obsahu popola v týchto biopalivách. Podiel horľaviny v pôvodnom stave vzorky (h') je najnižší pri konskom truse (56,50 %) a najvyšší pri orezoch viniča (88,86 %). Tieto rozdiely môžu mať vplyv na ich spaľovacie vlastnosti a energetický výnos. Podiel popola v sušine (p_{ps}) je najvyšší u konského trusu (11,05 %), čo naznačuje jeho vysoký obsah popola. Oproti tomu, orez viniča má najnižší podiel popola v sušine (3 %). Podiel horľaviny v sušine (p_{hs}) je najvyšší pri orezoch viniča (96,99 %) a druhý najvyšší orez čerešni (95,97 %), čo naznačuje ich vysokú využiteľnosť ako paliva. Tieto porovnania majú významný vplyv na využitie biomasy na ich aplikáciu v energetike a ďalších odvetviach.

Tab. 2 Aritmetický priemer výpočtov z gravimetrických meraní, ktoré boli vykonané na analyzovaných vzorkách

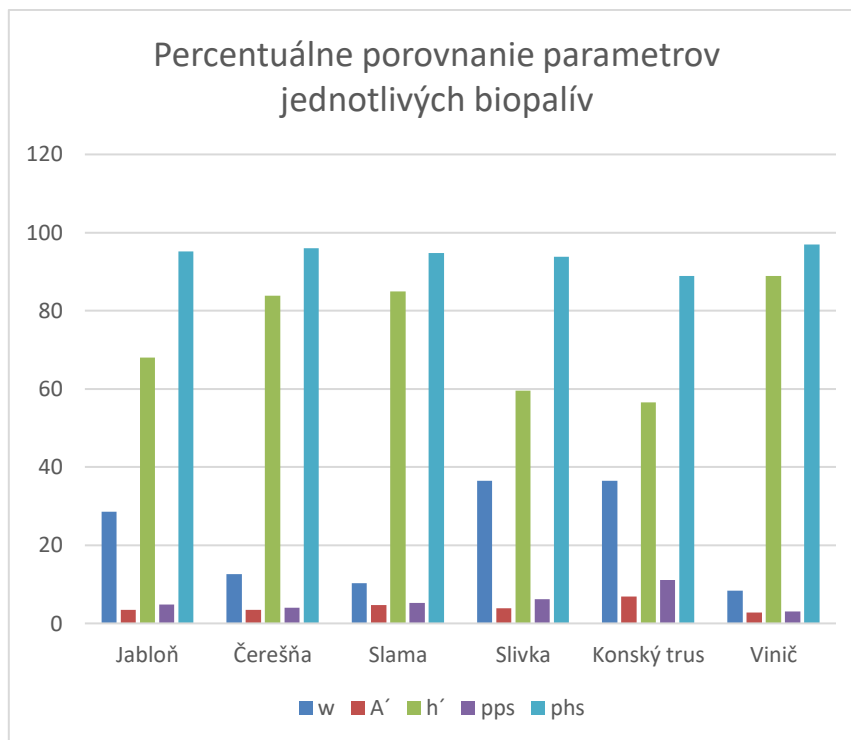
Tab. 2 The arithmetic means of the calculations from the gravimetric measurements performed on the samples analysed

Biopalivá	Parameter				
	w, %	A', %	h', %	p _{ps} , %	p _{hs} %
Orez jabloň	28,58	3,42	67,99	4,79	95,2
Orez čerešňa	12,63	3,52	83,85	4,02	95,97
Slama pšeničná	10,3	4,7	84,99	5,23	94,76
Orez slivky	36,53	3,93	59,54	6,19	93,81
Konský trus	36,55	6,94	56,5	11,06	88,94
Orez viniča	8,38	2,757	88,86	3	96,99



Obr. 3 Graf znázorňujúci úbytok hmotnosti vzoriek biopaliva v čase

Fig. 3 Graph showing weight loss of biofuel samples over time



Obr. 4 Graf znázorňujúci porovnanie parametrov jednotlivých biopalív
 Fig. 4 Chart comparing the parameters of different biofuels



Obr. 5 Vzorka biopaliva kanského trusu pred experimentom a po experimente
 Fig. 5 Sample of horse dung biofuel before and after the experiment

V rámci analýzy palív a ich aplikácie je nevyhnutné porovnávať hodnoty zložiek s existujúcimi meraniami. V odbornom článku od Lisického, Vitázka (2016), boli vykonané merania na rovnakých druhoch drevín, pričom boli zaznamenané rozdielne výsledky. Napríklad, v prípade orezov čerešne bol zistený obsah popola v sušine vo výške 0,492 %, avšak z našich meraní bolo zistené, že obsah popola v sušine dosiahol hodnotu 4,02 %, ako ilustruje *tabuľka* č. 2. Tento rozdiel môže byť spôsobený napríklad použitím odlišnej časti dreviny. Rovnakým spôsobom je vplyv na výsledky aj obsah vlhkosti, ktorá časť alebo

zložka dreveniny bola analyzovaná. V článku od Vitázka, Vitázkovej (2012), boli zverejnené výsledky gravimetrických meraní na vybraných druhoch biopalív. Zistenia ukazujú, že peleta z mäkkého dreva má obsah vlhkosti vo výške 9,025 %, zatiaľ čo peleta z mäkkého dreva bez kôry dosahuje nižší obsah vlhkosti, konkrétne 6,799 %. Priebehom uvoľňovania prchavej horľaviny sa zaoberá aj príspevok od Vitázek, Tkáč (2019), kde je podrobne rozobraná táto problematika. Problematikou spaľovania menej hodnotných biopalív ako alternatívnych zdrojov energie sa zaoberá aj príspevok Holubčík et al. (2023). Riešený je jeden z hlavných problémov pri spaľovaní menej hodnotných biopalív, ktorým je tvorba tavitel'ného popola. Ten môže viesť k upchávaniu horáka a zníženej účinnosti spaľovania.

4 Záver

Využitie biopalív v poľnohospodárstve prispieva k jeho konkurencieschopnosti. Na plnohodnotné využitie je však nevyhnutné mať presné poznatky o ich fyzikálnych vlastnostiach, medzi ktoré patrí aj obsah vlhkosti, horľaviny a popola. V tomto príspevku sme zhodnotili tieto charakteristiky pre vybrané biopalivá z orezov drevín a viniča a z konského trusu. Získané výsledky sú spracované tabuľkovo i graficky. Článok podrobne diskutuje rôzne typy biopalív ako náhradu za fosílnu palivá. Naše experimentálne merania sú úzko prepojené s predchádzajúcimi štúdiami na Technickej fakulte a prispievajú k hlbšiemu pochopeniu tejto problematiky.

5 Literatúra

EIA, 2023. Biomass explained. Online. Aktualizované 6-30-2023. Dostupné na: <https://www.eia.gov/energyexplained/biomass/> [zobrazené 2024-1-12].

GIRÓN, R.P., RUIZ, B., FUENTE E., GIL, R.R., SUÁREZ-RUIZ, I., 2013. Properties of fly ash from forest biomass combustion. *Fuel*. 2013, vol. 114. DOI:10.1016/j.fuel.2012.04.042.

HOLUBCIK, Michal; DURANSKY, Peter; Jandacka, Jozef; NAJSER, Jan; KLACKO, Andrej, 2023. Novel Design for Rotary Burner for Low-Quality Pellets. Online. Aktualizované 2-22-2023. Dostupné na: <https://doi.org/10.3390/app13053053> [dátum citovania 2024-02-23].

JURÁK, Matúš, 2022. *Možnosti využiti biomasy pro domovní vytápění*. Bakalárska práca. Online. Jakub LACHMAN (vedúci záverečnej práce). VUT, Fakulta strojniho inžinierství. 43 s. Dostupná na: https://theses.cz/id/br8owu/Matus_Jurak_Moznosti_vyuziti_biomasy_pro_domovni_v.pdf?zet=%2Fvyhledavani%2F%3Fsearch%3Dfytomasa%26start%3D1 [dátum citovania 2024-02-22].

MAREČEK, Ján, 2013. *Environmentální techniky - obnovitelné zdroje energie z biomasy: odborný kurz*. Brno: Mendelova univerzita. 56 s.

MIKULOVÁ, Zuzana, 2016. *Posúdenie vplyvu fyzikálnych vlastností biopaliva na parametre spaľovacieho zariadenia*. Diplomová práca. Ivan VITÁZEK (vedúci záverečnej práce). SPU, TF. 124 s.

SIEA, 2021. Biomasa a jej využitie na Slovensku. Online. Aktualizované 30-1-2021. Dostupné na: https://www.siea.sk/wp-content/uploads/odborne_o_energii/Dokumenty/Biomasa-a-jej-vyuzitie-na-Slovensku.pdf [zobrazené 2024-1-9].

SLOVENSKÝ ÚSTAV TECHNICKEJ NORMALIZÁCIE, 2010. STN EN 14774-2.

Tuhé biopalivá. Stanovenie obsahu vlhkosti.

SLOVENSKÝ ÚSTAV TECHNICKEJ NORMALIZÁCIE, 2010. STN EN 14775.

Tuhé biopalivá. Stanovenie obsahu popola.

SLOVENSKÝ ÚSTAV TECHNICKEJ NORMALIZÁCIE, 2010. STN EN 15148.

Tuhé biopalivá. Stanovenie obsahu prchavých látok.

VITÁZEK, Ivan; TKÁČ, Zdenko, 2019. Isothermal kinetic analysis of thermal decomposition of woody biomass: The thermogravimetric study. Online. Aktualizované 6-27-2019. Dostupné na:

https://www.researchgate.net/publication/334086263_Isothermal_kinetic_analysis_of_thermal_decomposition_of_woody_biomass_The_thermogravimetric_study [dátum citovania 2024-02-20].

VITÁZEK, Ivan; VITÁZKOVÁ, Božena, 2012. Selected physical properties of solid biofuels. In: *PTEP – Journal on Processing and Energy in Agriculture*. Slovenská poľnohospodárska univerzita, s.165–168.

VITÁZEK, Ivan; LISICKÝ, Matej, 2016. Meranie fyzikálnych vlastností vybraných biopalív. In: *Najnovšie trendy v poľnohospodárstve v strojárstve a v odpadovom hospodárstve*. Slovenská poľnohospodárska univerzita, s. 98-107.

Súhrn

V súčasnosti je zvýšená snaha náhrady fosílnych palív obnoviteľnými zdrojmi. V poľnohospodárstve pripadá do úvahy najmä biomasa. Pre jej správne využitie je potrebné poznať jej fyzikálne vlastnosti. V príspevku sú uvedené výsledky termogravimetrickej analýzy vybraných biopalív vhodných ako palivo pre zdroje tepla v poľnohospodárstve. V danom prípade sa jedná o orezy jablone, viniča, slivky, čerešne, konského trusu a pšeničnej slamy. Na základe experimentálnych meraní sme zistili významné rozdiely medzi týmito biopalivami vo vzťahu k ich obsahu vlhkosti, popola a horľaviny. Využili sme gravimetrickú metódu, kde sme zistili, že zo skúmaných biopalív bol najväčší obsah vlhkosti pri konskom truse 36,55 % a najnižší bol pri oreze viniča, a to 8,38 %. Čo sa týka podielu popola, za významný ukazovateľ považujeme podiel popola v sušine. Najväčší bol tento podiel pri konskom truse, a to 11,06 %, najnižší bol pri orezoch viniča, a to 3 %. Adekvátne podiel horľaviny v sušine bol najvyšší pri orezoch viniča, a to 96,99 % podielu horľaviny v sušine, najnižšiu hodnotu dosiahol konský trus, a to 88,94 %. Naše výsledky naznačujú potrebu dodatočného spracovania niektorých biopalív, napr. sušenie pri vysokej vlhkosti biopaliva, čo môže ovplyvniť náklady na manipuláciu s nimi. Ďalej bol realizovaný priebeh úbytku hmotnosti vzorky v intervale od konca sušenia (180 min.) po koniec sušenia. Taktiež sme zhodnotili vplyv týchto fyzikálnych charakteristík na proces spaľovania. Na základe získaných údajov sme diskutovali o možnostiach využitia týchto biopalív v poľnohospodárskych podnikoch ako zdroja tepla. Uvedená problematika dopĺňa pohľad na potenciál biopalív v poľnohospodárstve.

Kľúčové slová: biomasa, biopalivo, orezy stromov, gravimetrická metóda, popol, horľavina

ROZHODUJÚCE PARAMETRE OVPLYVŇUJÚCE KVALITU PROSTREDIA VO VÝROBE

KEY PARAMETERS INFLUENCING THE QUALITY OF THE ENVIRONMENT IN PRODUCTION

RICHARD GAŠPAREC¹ – IVAN VITÁZEK²

Abstract

The quality of the working environment in industrial facilities is significantly influenced by several key parameters. These parameters include the concentration of CO and CO₂ in the air, relative humidity, temperature, atmospheric pressure, noise level, and lighting intensity. The purpose of this contribution is to analyze and examine the impact of these parameters on overall working conditions in a specific industrial environment and to compare them with standards and regulations falling under the legislation applicable in the territory of the Slovak Republic. Each of these factors plays a crucial role in determining the level of comfort, safety, and productivity of workers. Measurements taken at selected workplaces confirmed compliance with the required parameters according to the relevant standards for all measured variables. The measured values are listed in the respective tables.

Key words: Noise, Temperature, Light intensity, Relative humidity, Carbon dioxide, Carbon monoxide

1 Úvod

V súčasnom dynamickom priemyselnom prostredí je kvalita pracovného prostredia vo výrobe neustále predmetom pozornosti a diskusií. Výrobné procesy sa neustále menia, technologické inovácie sa stupňujú a s nimi sa menia aj požiadavky na pracovné prostredie. Atmosféra v továrňach a na výrobných linkách má priamy vplyv na efektívnosť výroby, zdravie zamestnancov a celkovú konkurencieschopnosť podniku.

Komplexný pohľad na faktory ovplyvňujúce kvalitu pracovného prostredia vyžaduje zohľadnenie mnohých aspektov. Ergonómia pracovných stanovišť je jedným z kľúčových faktorov, ktorý ovplyvňuje komfort a výkonnosť pracovníkov. Okrem toho, kvalita ovzdušia, hladina hluku a osvetlenie majú významný vplyv na pohodu a zdravie pracujúcich. Každý z týchto faktorov je ovplyvnený nielen technologickými procesmi, ale aj organizačnými štruktúrami a prevádzkovými podmienkami.

Efektívne riadenie týchto faktorov nie len zlepšuje pracovné podmienky, ale prispieva aj k dlhodobej udržateľnosti a konkurencieschopnosti podnikov v priemyselných odvetviach. Naše zistenia a odporúčania majú byť prínosom pre manažérov a odborníkov v oblasti riadenia pracovného prostredia, ktorí sa snažia dosiahnuť optimálne pracovné podmienky a zabezpečiť dlhodobý úspech svojich podnikov.

¹Bc. Richard Gašparec, SPU TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, xgasparec@uniag.sk

²doc.Ing. Ivan Vitázek, CSc., SPU TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, ivan.vitazek@uniag.sk

2 Materiál a metódy

Pracovné prostredie

Pracovné prostredie je jedným z významných faktorov, ktorý ľudia zvažujú pri výbere zamestnania, ale aj pri zotrvaní v ňom. Pozitívne a negatívne faktory pracovného prostredia ovplyvňujú správanie, nálady, pocity zamestnanca a odzrkadľujú sa predovšetkým na jeho práci a zdravotnom stave.

Z tohto dôvodu je nesmierne dôležité, aby zamestnávateľia vytvárali vhodné pracovné prostredie pre svojich zamestnancov a dbali na fyzikálne, organizačné, hygienické, estetické, sociálno-psychologické podmienky, či podmienky bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci (BOZP), priestorové a funkčné riešenie pracoviska (Hastex, B.r.). Zamestnávateľia by sa mali v značnej miere zaoberať aj posudzovaním faktorov hluku, osvetlenia, mikroklimy (teplota, prúdenie a vlhkosť vzduchu, prašnosť, sálavé, teplo a pod.).

Podľa charakteru rizikových faktorov práce a pracovného prostredia, v ktorom sa pracovníci nachádzajú a priamo ovplyvňuje ich zdravie, sa práce rozdeľujú do štyroch kategórií:

1. kategória práce

Do prvej kategórie patria práce, pri ktorých nie je riziko poškodenia zdravia zamestnanca vplyvom práce, alebo miera zdravotného rizika je akceptovateľná. Sem patria nenáročné práce, ako je predaj tovaru na predajni v ideálnych podmienkach.

2. kategória práce

Do druhej kategórie sa zaraďujú práce, pri ktorých, vzhľadom na riziko, nie je predpoklad poškodenia zdravia, ale nedá sa vylúčiť nepriaznivá odpoveď organizmu na záťaž faktormi práce a pracovného prostredia. Zaraďujeme sem prácu v kancelárii, kde môže byť zvýšená:

3. kategória práce

Do tretej kategórie sa zaraďujú práce s vysokou mierou zdravotného rizika z vystavenia sa faktorom práce a pracovného prostredia. Pri týchto druhoch práce sú už potrebné opatrenia na zníženie rizík a použitie osobných ochranných prostriedkov, záťaž v podobe stresu, práce vyžadujúce fyzickú aktivitu (napr. prenášanie bremien), dlhodobé sedenie a ďalšie.

4. kategória práce

Sem spadajú práce s veľmi vysokou mierou zdravotného rizika z vystavenia pracovníkov faktorom práce a pracovného prostredia. Tieto riziká nie je možné znížiť opatreniami a je potrebné použiť osobitné ochranné prostriedky (Hygis, B.r.).

Meracie prístroje

Na uskutočnenie merania bolo nevyhnutné použiť meracie zariadenia na získanie konkrétnych meraných veličín, ktoré sú uvedené vo výsledkoch práce.

Analyzátor spalín TESTO 330-2LL

Profesionálny merací prístroj značky TESTO sa využíva na meranie spalín v zdrojoch tepla (kotlov). Pomocou externého vybavenia (príslušnej sondy) dokáže prístroj odmerať aj koncentráciu oxidu uhličitého a oxidu uhoľnatého v ovzduší (Testo 330, 2010).

Tab. 1 Parametre prístroja TESTO 330- 2LL

Tab. 1 Device parameters TESTO 330- 2LL

Parameter	Jednotka
Hmotnosť	600 g
Prevádzková teplota	-5 až +45 °C
Rozmery	270x90x65 mm
Napájací zdroj	3,7 V/2,6 Ah

(Upravené podľa: Testo 330, 2010)



Obr. 1 Analyzátor spalín TESTO 330- 2LL

Fig. 1 Flue gas analyzer TESTO 330- 2LL

Príslušenstvo

Externá sonda na meranie koncentrácie CO pomocou prístroja TESTO 330-2LL

Tab. 2 Parametre sondy na meranie koncentrácie CO

Tab. 2 Parameters of the CO concentration measuring probe

Parameter	Jednotka
Merací rozsah	0-500 ppm
Presnosť	± 5 % z mv (+100,1 do +500 ppm) ±5 ppm (0 do +100 ppm)

(Upravené podľa: Testo Sonda CO, B.r.)



Obr. 2 Sonda na meranie CO
Fig. 2 Measuring probe CO

Externá sonda na meranie koncentrácie CO₂ FYAD 00-CO₂Mx

Tab. 3 Parametre sondy na meranie koncentrácie CO₂
Tab. 3 Parameters of the CO₂ concentration measuring probe

Parameter	Jednotka
Merací rozsah	0 do +5000 ppm 0 do +1 vol.%
Presnosť	$\pm(50 \text{ ppm} + 3 \% \text{ z mv})$ (0 do +5000 ppm)

(Upravené podľa: Ahlbornm, 2020)



Obr. 3 Sonda na meranie koncentrácie CO₂
Fig. 3 CO₂ concentration measuring probe CO₂

Vlhkomer a teplomer – FHAD-46-C2

Meracia sonda na meranie teploty, relatívnej vlhkosti a atmosférického tlaku v okolí.
Dáta spracováva pomocou dataloggeru ALMEMO 2590-4AS.

Tab. 4 Parametre sondy ALMEMO FHAD-46-C2
Tab. 4 Device parameters of measuring probe ALMEMO FHAD-46-C2

Parameter	Jednotka
Rozmery	Ø 8mm x 36 mm
Rozsah merania teploty	-29 až 77 °C
Rozsah merania vlhkosti	0 až 98 % RH
Rozsah merania atmosférického tlaku	700 až 1000 mbar
Presnosť merania teploty	± 0,2 až 0,4 K pri +5 až 60 °C ± 0,7 K pri -20 až +80 °C
Presnosť merania vlhkosti	±2 % v rozsahu 10 do 90 % RH ±4 % v rozsahu 5 až 98 % RH
Presnosť merania atmosférického tlaku	±2,5 mbar (pri 23 °C)

(Upravené podľa: IDS, B. r.)



Obr. 4 Sonda na meranie teploty, vlhkosti a atmosférického tlaku ALMEMO FHAD 46-C2
Fig. 4 Probe for measuring temperature, humidity, and atmospheric pressure ALMEMO FHAD 46-C2

Hlukomer TES-1350A

Tab. 5 Parametre hlukomeru TES-1350A
Tab. 5 Device parameters TES-1350A

Parameter	Jednotka
Hmotnosť	210 g
Rozmery	240x68x25 mm
Merací dosah	A LO (Nízka) -: 35- 100 dB A HI (Vysoká) -: 65-130 dB C LO (Nízka) -: 35- 100 dB C HI (Vysoká) -: 65-130 dB
Pracovná teplota	0 až 40 °C
Dynamický dosah	65 dB
Presnosť merania	± 2 dB

(Upravené podľa: TES-1350, B.r)



Obr. 5 Hlukomer TES-1350A
Fig. 5 Noise meter TES-1350A

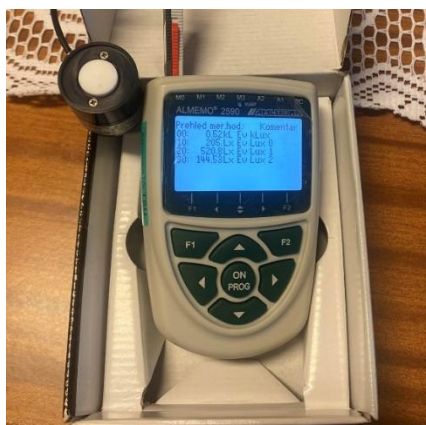
Ahlborn meracia hlava ALEMO D6

Meracia hlava ALEMO D6 slúži na meranie intenzity osvetlenia, meracím systémom triedy B podľa normy DIN 5032. Meracia hlava je použiteľná len na meranie vo vnútorných priestoroch (Ahlborn, 2024.).

Tab. 6 Parametre meracej hlavy ALMEMO D6
Tab. 6 Device parameters ALMEMO D6

Parameter	Jednotka
Hmotnosť	50 g
Rozmery	Ø 33 mm x v = 29 mm
Pracovná teplota	-20 °C až +60 °C
Merací rozsah	1 lx až 200 klx
Presnosť merania	< 2 %
Rýchlosť merania	1,5 s

(Upravené podľa: Ahlborn, 2024.)



Obr. 6 Meracia hlava ALMEMO D6
Fig. 6 Measurement head ALMEMO D6

3 Výsledky a diskusia

Meranie koncentrácie oxidu uhličitého a oxidu uhoľnatého

Tab. 7 Namerané hodnoty koncentrácie CO a CO₂

Tab. 7 Measured values of CO a CO₂ concentration.

Oddelenie	Nameraná hodnota CO	Nameraná hodnota CO ₂	Čas merania
Balenie	0 až 2 ppm	672 ppm	08:54
Lisovanie	0 až 2 ppm	702 ppm	09:00
Frézovanie	0 až 2 ppm	676 ppm	09:07
P- Linka	0 až 2 ppm	564 ppm	09:34
Pílenie dreva	0 až 2 ppm	511 ppm	09:29
Potlač	0 až 2 ppm	584 ppm	09:23
Pílenie kovu	0 až 2 ppm	683 ppm	09:20
Profily	0 až 2 ppm	625 ppm	09:40
Kancelária		1304 ppm	09:50

Meranie relatívnej vlhkosti a teploty

Tab. 8 Namerané hodnoty teploty, relatívnej vlhkosti a atmosférického tlaku

Tab. 8 The measured values of temperature, relative humidity and atmospheric pressure

Oddelenie	Nameraná teplota	Nameraná relatívna vlhkosť	Nameraný atmosférický tlak	Čas merania
Balenie	23,35 °C	39,1 %	980 mbar	08:54
Lisovanie	22,51 °C	40,9 %	978 mbar	09:02
Frézovanie	23,88 °C	37,5 %	978 mbar	09:08
P-Linka	22,12 °C	39,8 %	979 mbar	09:31
Pílenie dreva	21,6 °C	42,2 %	978 mbar	09:31
Potlač	23,3 °C	37,6 %	978 mbar	09:20
Pílenie kovu	22,82 °C	41,5 %	980 mbar	09:21
Profily	23,02 °C	40,2 %	979 mbar	09:43
Kancelária	24,31 °C	38,4 %	978 mbar	09:51

Meranie hlučnosti

Tab. 9 Namerané hodnoty hluku

Tab. 9 The measured values of noise

Oddelenie	Nameraný hluk (dB)				Čas merania	Vzdialenosť od meraného zariadenia
	Meracie kanály					
	Kanál 0	Kanál 10	Kanál 20	Kanál 30		
Balenie	73,7 dB	65,1 dB	88,1 dB	74,6 dB	08:54	1,5 m
Lisovanie	75,7 dB	71,8 dB	88,5 dB	78,9 dB	09:01	1,5 m
Frézovanie	92,5 dB	72,4 dB	96,5 dB	94,2 dB	09:20	1 m
P-Linka	83,2 dB	78,7 dB	91,6 dB	87,7 dB	09:34	2 m
Pílenie dreva	90,2 dB	89,9 dB	93,3 dB	92 dB	09:27	1,5 m
Potlač	91,5 dB	83,2 dB	96,5 dB	95,3 dB	09:24	1 m
Pílenie kovu	94,6 dB	70,8 dB	98,9 dB	97 dB	09:10	1 m

Profily	91,3 dB	75 dB	96,7 dB	81,3 dB	09:40	1 m
Kancelária	48,9 dB	48,6 dB	72,7 dB	54,2 dB	09:53	

Legenda:

Kanál 0- Posledná nameraná hodnota

Kanál 10- Najnižšia nameraná hodnota

Kanál 20- Najvyššia nameraná hodnota

Kanál 30- Priemer nameraných hodnôt

Meranie intenzity osvetlenia

Tab. 10 Namerané hodnoty intenzity osvetlenia

Tab. 10 The measured values of light intensity

Oddelenie	Nameraná intenzita osvetlenia	Čas merania
Balenie	678 Lx	08:56
Lisovanie	630 Lx	09:00
Frézovanie	580 Lx	09:21
P-Linka	525 Lx	09:35
Pílenie dreva	694 Lx	09:30
Potlač	645 Lx	09:24
Pílenie kovu	501 Lx	09:12
Profily	725 Lx	09:43
Kancelária	323 Lx	09:52

4 Záver

V tomto príspevku sme uskutočnili dôkladné merania a analýzy vybraných parametrov ovplyvňujúcich kvalitu pracovného prostredia vo výrobných zariadeniach, vrátane oxidu uhličitého, oxidu uhľnatého, relatívnej vlhkosti, teploty, atmosférického tlaku, hluku a intenzity osvetlenia. Na základe nami zozbieraných dát sme identifikovali priemerné hodnoty týchto meraní, pričom sme pozorovali ich rozsah od najnižších po najvyššie hodnoty.

Priemerné hodnoty oxidu uhličitého boli 702,3 ppm. Hodnoty oxidu uhľnatého v pracovnom prostredí dosiahli v priemere 1 ppm s rozsahom od 0 ppm po 2 ppm. Relatívna vlhkosť v prostredí dosiahla v priemere 39,69 %. Teplota dosiahla v priemere 22,99 °C s rozsahom od najnižšej hodnoty. Atmosférický tlak bol v priemere 978,6 mbar. Meranie hluku prebehlo pomocou meracích kanálov v použitom dataloggeri. Priemerná hodnota hluku vo výrobnom prostredí dosiahla 87,625 dB. Jednotlivé pracoviská majú vo výrobe určené, kde treba používať ochranu sluchu podľa vyhlášky 115/2006 Z.z. Meranie intenzity osvetlenia vo výrobnom pracovnom priestore bolo v priemere 624,82 Lx, kde najnižšia hodnota bola. Treba podotknúť, že všetky merané pracoviská splnili požiadavku minimálne 500 Lx na pracovisku so združeným osvetlením podľa vyhlášky 541/2007 Z.z. a kancelárske priestory ktoré taktiež splňujú minimálne osvetlenie, tentokrát 200 Lx s dostatočným denným osvetlením podľa vyhlášky 541/2007 Z.z.

5 Literatúra

AHLBORN, 2024. *Digital measuring head for illuminance (V-Lambda) FLAD 03-VL1 with ALMEMO® D6 connector*. Textový dokument online. Február 2024. Dostupné na: <https://www.ahlborn.com/assets/uploads/general/Produkte/Sensoren/V-Lambda-Strahlungssensor-FLAD-03-VL1/FLAD03VL1-english.pdf> [zobrazené 2024-03-14].

AHLBORN, 2013. *ALMEMO® Univerzální měřicí přístroje*. Textový dokument online. Október 2013. Dostupné na: <https://www.ahlborn.cz/out/pictures/wysiwigpro/MA25904AS.pdf> [zobrazené 2024-03-14].

AHLBORN, 2020. *Digitální snímač koncentrace oxidu uhličitého FYAD 00-CO2Mx*. Textový dokument online. December 2020. Dostupné na: [https://www.ahlborn.cz/out/pictures/wysiwigpro/FYAD00C02M1B05\(1\)_final.pdf](https://www.ahlborn.cz/out/pictures/wysiwigpro/FYAD00C02M1B05(1)_final.pdf) [zobrazené 2024-03-29].

HASTEX, (B. r.). *Ergonómia pracoviska*. Online. Aktualizované (B. r.). Dostupné na: <https://www.siea.sk/bezplatne-poradenstvo/publikacie-a-prezentacie/osvetlenie-v-priemysle/> [zobrazené 2024-03-04].

HYGIS, 2021. *Kategorizácia práce podľa § 31 zákona č. 355/2007 Z. z.* Online. Aktualizované 2021-10-18. Dostupné na: <https://www.hygis.sk/blog/pzs/kategorizacia-prace-podla-zakona-c-355-2007-z-z/> [dátum citovania 2024-03-04].

IDS, (B. r.). *ALMEMO® FHAD 46-C2 DIGITAL TEMPERATURE / HUMIDITY SENSOR*. Online. Aktualizované (B. r.). Dostupné na: <https://www.indes.co.uk/product/almemo-fhad-46-c2-digital-temperature-humidity-sensor/> [dátum citovania 2024-03-29].

TES-1350A, (B. r.). *Tes-1350A Sound Level Meter*. Textový dokument online. Dostupné na: https://media.distrelec.com/Web/Downloads/_t/ds/TES-1350A_eng_tds.pdf [zobrazené 2024-03-27].

TESTO, 2010. *Testo 330-2 LL Analyzátor spalín se senzory Longlife*. Online. Aktualizované 2010. Dostupné na: <https://www.testo.com/sk-SK/testo-330-2-ll-v2010/p/0563-3372-76#tab-downloads> [zobrazené 2024-03-06].

TESTO, (B. r.). *Sonda CO v okolí*. Online. Aktualizované (B. r.). Dostupné na: <https://www.testo.com/sk-SK/sonda-co-v-okoli/p/0632-3331> [zobrazené 2024-03-05].

Súhrn

Kvalita pracovného prostredia v priemyselných zariadeniach je významne ovplyvňovaná niekoľkými kritickými faktormi. Tieto faktory zahŕňajú koncentráciu CO a CO₂ vo vzduchu, relatívnu vlhkosť, teplotu, atmosférický tlak, hlučnosť a intenzitu osvetlenia. Účelom tohto príspevku je analyzovať a preskúmať vplyv týchto parametrov na celkové pracovné podmienky v špecifickom priemyselnom prostredí a porovnať ich s normami a vyhláškami, ktoré upravujú legislatívne požiadavky na území Slovenskej republiky. Každý z týchto faktorov má kľúčový význam pri stanovení úrovne komfortu, bezpečnosti a produktivity pracovníkov. Merania uskutočnené na vybraných pracoviskách potvrdili dodržanie požadovaných parametrov v súlade s príslušnými normami pre všetky sledované veličiny. Namerané hodnoty sú zaznamenané v príslušných tabuľkách.

Kľúčové slová: hlučnosť, teplota, intenzita osvetlenia, relatívna vlhkosť, oxid uhličitý, oxid uhoľnatý

HODNOTENIE VLASTNOSTÍ HYDRAULICKEJ KVAPALINY EVALUATION OF HYDRAULIC FLUID PROPERTIES

ADRIÁN GULA¹ – JURAJ TULÍK²

Abstract

The aim of this article was to perform a series of measurements on a CASE IH Akcela Hy-Tran Ultraction hydraulic fluid to determine its properties and suitability for further use. The fluid was taken from a CASE IH Magnum 400 tractor. The tests were performed in laboratory conditions with devices, which allow to determine the fluid's viscosity, content of water, acidity and quantity of wear and contamination particles on the basis of ferrographic analysis and ISO 4406 cleanliness code. Based on viscosity, acidity and content of water measurements, the fluid is suitable for use, however, based on the ISO 4406 cleanliness code and ferrographic analysis, the fluid is no longer suitable.

Key words: hydraulic fluid, tractor, viscosity, acidity, content of water, wear particles

1 Úvod

Hydraulické systémy sú systémami, ktoré sú súčasťou skoro každej mobilnej techniky. Základom hydraulického systému je médium, pomocou ktorého je prenášaná energia. Táto energia je hydraulickou kvapalinou dodaná v čerpadle, ktorá túto energiu preniesie na aktuátor, kde sa využije (Rydberg, 2013). Tieto hydraulické systémy majú výhodu v ich relatívnej kompaktnosti a vysokej účinnosti prenosu energie, pričom požiadavky na tieto systémy, najmä z hľadiska hydraulických kvapalín a ich vlastností, neustále narastajú. Laboratórne analýzy týchto pracovných médií dovoľujú vhodným spôsobom, bez nutných zásahov do samotného systému, zistiť a vyhodnotiť stav média, u ktorého dochádza k tepelným, tlakovým a prietokovým zmenám a tým aj k celkovej degradácii (Puškár et al., 2019). Je v záujme prevádzkovateľa takého stroja, ktorý pracovným médium disponuje, aby vhodným spôsobom, najmä diagnostikou, predchádzal jeho kontaminácii a iným zmenám, ktoré ho môžu dostať do poruchového stavu.

2 Materiál a metódy

Sledovaným pracovným médium bola hydraulická kvapalina vyrábaná spoločnosťou Petronas pre CNH Industrial do traktorov spoločnosti CASE. Ide o hydraulickú kvapalinu CASE IH Akcela Hy-Tran Ultraction, ktorá je tzv. UTTO kvapalinou – univerzálna traktorová prevodovo - hydraulická kvapalina. Ide o kvapalinu, ktorá sa využíva v kombinovaných, prevodovo – hydraulických systémoch (Majdan et al. 2013, Tulík et al., 2013). Vzorky tejto hydraulické kvapaliny boli podrobené nasledovným analýzám: analýza viskozity, čísla kyslosti, obsahu vody, komparačnej metóde zisťovania kódu čistoty pomocou sady FAS a v neposlednom rade ferografickej analýze. Základné fyzikálne a fyzikálno – chemické vlastnosti hydraulické kvapaliny sa nachádzajú v *tabuľke 1*.

¹Bc. Adrián Gula, SPU TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, xgula@uniag.sk

²Ing. Juraj Tulík, PhD., SPU TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, juraj.tulik@uniag.sk

Tab. 1 Základné vlastnosti hydraulickej kvapaliny Akcela Hy-Tran Ultraction (Ravenol)

Parameter	Jednotka	Hodnota	Norma
hustota pri 15°C	g.cm ⁻³	0,870	EN ISO 12185
viskozitná trieda	-	SAE 80W	SAE J306
viskozita pri 100°C	mm ² .s ⁻¹	9,3	DIN 51562-1
viskozita pri 40°C	mm ² .s ⁻¹	56,4	DIN 51562-1
viskozitný index VI	-	145	DIN ISO 2909
bod vzplanutia	°C	viac ako 200	DIN EN ISO 2592
bod tečenia	°C	menej ako -39	DIN ISO 3016
Total Base Number	mg.KOH.g ⁻¹	2,38	ASTM D2896

Určenie viskozity hydraulickej kvapaliny

Pri meraniach viskozity prevodovo – hydraulickej kvapaliny Akcela bol použitý laboratórny viskozimeter Brookfield DV2T doplnený o externý chladič Julabo 200F. Merania prebiehali, podľa normy ISO 3104:2023, pri teplotách 40°C a 100°C. Princíp merania na viskozimetri Brookfield DV2T spočíva v rotačnom pohybe vretena, ktoré je ponorené v skúmanej kvapaline. Vreteno je roztáčané pomocou presne kalibrovanej pružiny. Odpor kvapaliny voči tomuto rotačnému telesu je následne merané pomocou deformácie, resp. vychýlenia pružiny. Hodnota tohto vychýlenia je sledovaná pomocou rotačného prevodníka (Brookfield Engineering, 2024). Na určenie viskozity je potrebných 16ml hydraulickej kvapaliny. Výsledkom merania je hodnota dynamickej viskozity hydraulickej kvapaliny, tú je však nutné previesť do kinematickej podoby pomocou rovnice (1).

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (1)$$

kde:

v – kinematická viskozita, m².s⁻¹,
 μ – dynamická viskozita, Pa.s,
 ρ – hustota kvapaliny, kg.m⁻³.

where:

v – kinematic viscosity, , m².s⁻¹,
 μ – dynamic viscosity, Pa.s,
 ρ – fluid density, , kg.m⁻³.

Určenie obsahu vody v hydraulickej kvapaline

Voda je jedným z najčastejších a najväčších kontaminantov hydraulických a prevodovo-hydraulických kvapalín, pričom má degradujúce účinky na celý systém, z hľadiska znižovania jej mazacích schopností danej kvapaliny, prípadne znižovania celkovej životnosti systému. Prítomnosť vody v systéme zvyšuje riziko tvorby emulzií, kalov a lakov, zvyšuje penenie kvapaliny, spôsobuje tvorbu kryštálov, zvyšuje riziko zamrznutia kvapaliny a v neposlednom rade negatívne vplýva na kovové časti systému, najmä z hľadiska chemického opotrebenia (Hodges, 1996). Na stanovenie obsahu vody v hydraulickej kvapaline sa použil

testovací přístroj WTK 300 s testovací sadou od společnosti HYDAC. Water Test Kit (WTK) sa používa na kvantitatívnu analýzu absolútneho obsahu vody vo vzorke akéhokoľvek pracovného média, prípadne inej kvapaliny (Day - Bauer, 2007). Hydraulická kvapalina sa naleje do spodnej časti analyzátora, následne sa do nej pridajú dve reagenty A a B v súlade s návodom. Po uzavretí analyzátora sa spustí proces merania a je potrebné prístrojom po určitú dobu triasť.

Určenie čísla kyslosti hydraulickej kvapaliny

Zisťovanie čísla kyslosti TAN (Total Acid Number) je analytická metóda, pri ktorej dochádza k zisteniu aktuálneho stavu degradácie hydraulickej kvapaliny v závislosti od jej oxidácie pri používaní. Metódou zisťovania čísla kyslosti TAN sa určuje množstvo kyselín podporujúcich vznik korózie v kvapaline. Ich počet sa so zvyšujúcim vekom kvapaliny a takisto jej používaním bude neustále zvyšovať. Tieto kyseliny negatívne vplyvajú na súčiastky hydraulického systému a vzniká chemické opotrebenie. Číslo kyslosti TAN vyjadruje hodnotu kyslosti vybranej kvapaliny, pomocou ktorej sa zisťuje hmotnosť hydroxidu draselného – v miligramoch – potrebnej na neutralizáciu gramu skúmanej kvapaliny – mg.KOH.g^{-1} (Quaker Houghton, 2019). Hodnota čísla kyslosti sa zisťovala pomocou testovacej sady od spoločnosti Dexsil.

Filtrácia pevných častíc hydraulickej kvapaliny

Filtrácia pevných častíc bola vykonaná pomocou analytickej sady FAS – Fluid Analysis Set od spoločnosti HYDAC. Táto sada sa využíva na zisťovanie kontaminácie pracovných náplní strojov a zariadení v poskytnutých vzorkách. Sada obsahuje elektrickú vákuovú pumpu a filtračné membrány laboratórnej kvality. Toto zariadenie sa vyznačuje tým, že je prenosné a kompaktné. Výsledné, sadou získané vzorky sú podrobené analýze pod mikroskopom KAPA 6000 a následne sú porovnávané s referenčnými fotografiami v brožúre od spoločnosti HYDAC. Pomocou tejto analýzy možno pozorovať vo vzorkách akéhokoľvek znečistenie. Analýza je subjektívna a komparačná a jej výsledkom je kód čistoty podľa ISO 4406:2021 (Novak, 2023).

Ferografická analýza hydraulickej kvapaliny

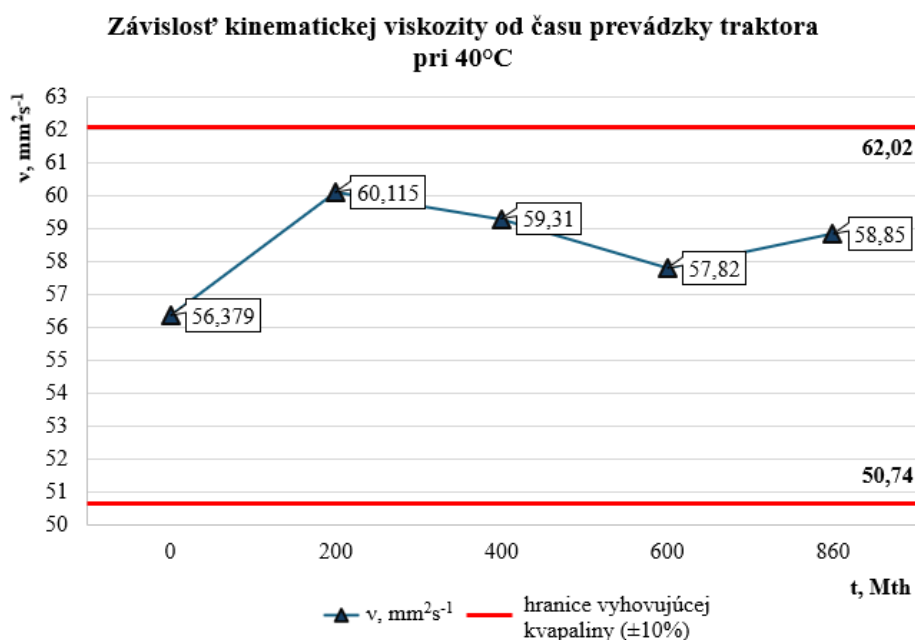
Analytická ferografia je jedna z metód analýzy olejov používaných v strojoch a zariadeniach. Funguje na princípe oddeľovania kovových čiastočiek z oleja pomocou magnetického poľa. Tieto čiastočky sú následne sledované pomocou mikroskopického rozboru. Tento rozbor je porovnaný s atlasom častíc. Ide o jednu z najúčinnjších metód sledovania vnútorného opotrebenia systémov, v ktorých sa taký olej vyskytuje. Na základe tejto analýzy možno predikovať poruchy, prípadne tieto poruchy identifikovať (Boch – Bannister, 2017). Na vytvorenie ferogramov, ktoré následne boli skúmané pod mikroskopom KAPA 6000, sa používal ferograf Spectro T²FM. Ide o analytický ferograf používaný na separáciu kovových čiastočiek z pracovného média, pričom ide o rýchleho, efektívneho a lacného obrazu o aktuálnom stave pracovných zariadení (spectro.cz). Vzorku je často nutné zmiešať s riedidlom, aby sa zaručil jej lepší prietok. V našom prípade bola vzorka miešaná perchloretylénom v pomere 5:2. Proces prietoku takto pripravenej vzorky trval asi 20 minút s následným 10 minútovým odmastením pomocou technického benzínu.

3 Výsledky a diskusia

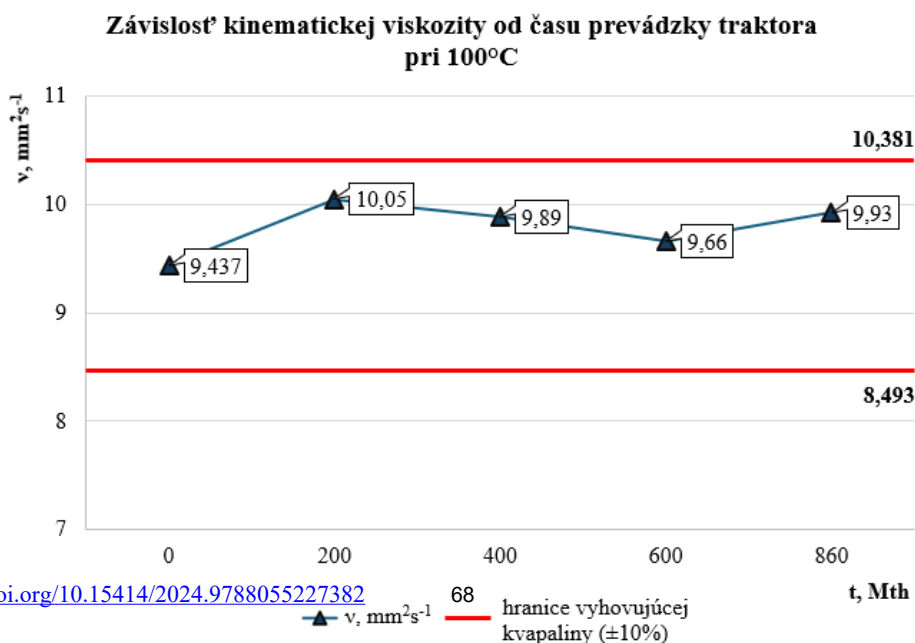
Na základe vykonaných meraní a analýzy ich výsledkov je možné identifikovať potenciálne problémy, ktoré by sa v rámci hydraulického systému sledovaného traktora mohli vyskytovať. Podľa analyzovaných výsledkov možno následne prijať nápravné opatrenia tak, aby nedošlo k významnému poškodeniu traktora a tým k znemožneniu jeho prevádzky.

Výsledky merania viskozity hydraulickej kvapaliny

Dynamická viskozita nameraná viskozimetrom DV2T bola pomocou rovnice (1) prevedená na kinematickú viskozitu. Tieto merania boli vykonané pri teplotách 40 a 100°C podľa požadovaných noriem. Hraničné hodnoty kinematickej viskozity danej hydraulickej kvapaliny sú $\pm 10\%$ hodnoty referenčnej vzorky. Spodná ani horná hranica tolerancie z hľadiska kinematickej viskozity nebola prekročená v ani jednom z dvoch teplotných prípadov a z toho dôvodu možno hydraulickú kvapalinu považovať za vyhovujúcu. Výsledky sa nachádzajú na obrázkoch 1 a 2.



Obr. 1 Zmena kinematickej viskozity v závislosti od času prevádzky traktora pri 40°C
Fig. 1 Change in kinematic viscosity over time during tractor operation at 40°C.



Obr. 2 Zmena kinematickej viskozity v závislosti od času prevádzky traktora pri 100°C
Fig. 2 Change in kinematic viscosity over time during tractor operation at 100°C.

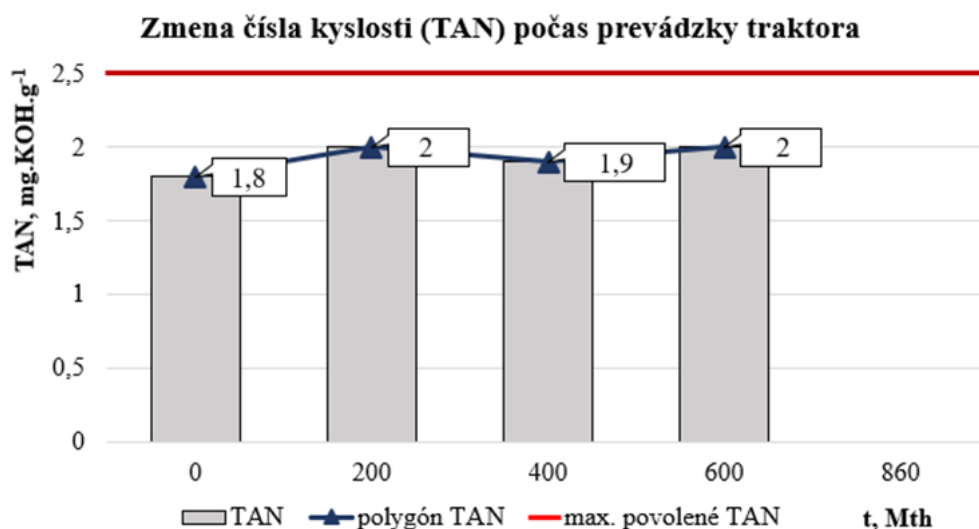
Výsledky merania obsahu vody v hydraulikej kvapaline

Obsah vody v hydraulikej kvapaline predstavoval nemerateľné množstvo, čo znamená, že voda nijakým negatívnym spôsobom neovplyvňuje funkčnosť hydraulicko-prevodovej sústavy a taktiež značí o tesnosti hydraulického systému. Kvapalina na seba neviaže vodu, čím nedochádza k tvorbe emulzie alebo peneniu a z toho dôvodu sa z hľadiska obsahu vody považuje za vyhovujúcu.

t, Mth	0	200	400	600	860
Obsah vody, %	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Výsledky zisťovania čísla kyslosti TAN hydraulikej kvapaliny

Číslo kyslosti sa zisťovalo pomocou testovacej sady TitraLube TAN od spoločnosti Dexsil. Táto sada má výhodu v tom, že je prenosná a tým pádom ju je možné použiť priamo v prevádzke a tým zistiť vhodnosť kvapaliny z pohľadu jej oxidácie. Na *obrázku 3* možno pozorovať, že sa na grafe nachádzajú iba hodnoty po čas prevádzky 600 Mth. Číslo kyslosti pri vzorke 860 Mth nebolo možné namerať, pretože presahovalo rozsah danej sady. Výrobca udáva maximálnu hodnotu TAN pri tomto druhu hydraulikej kvapaliny na 2,5 mg.KOH.g⁻¹, čo nebolo dosiahnuté ani pri jednom z vykonaných meraní. Vzorku pri 860 Mth nemožno hodnotiť, keďže číslo kyslosti nebolo možné namerať, avšak možno predpokladať jeho navýšenie, no nie presiahnutie výrobcom udanú hranicu. Vzorka bola z pohľadu mechanických nečistôt značne znečistená, čo pri tejto metóde nedovoľuje stanoviť číslo kyslosti. Kvapalina sa z tohto dôvodu považuje za vyhovujúcu do intervalu 600 Mth.



Obr. 3 Zmena čísla kyslosti v závislosti od času prevádzky traktora
Fig. 3 Change in acidity number over time during tractor operation.

Výsledky filtrácie pevných častíc hydraulической kvapaliny

Podľa postupu pripravené filtračné membrány boli podrobené mikroskopickej analýze, pri ktorej sa hľadali akékoľvek pevné častice, a ich koncentrácia. Podľa porovnania snímok sa kód čistoty hydraulической kvapaliny pohyboval od 15/13/10 pri 0 Mth, 20/18/15 pri 200 a 400 Mth, 21/19/16 pri 600 Mth, až po 23/21/18 pri 860 Mth kvapaline, podľa normy ISO 4406:2021. Snímky jednotlivých vzoriek sa nachádzajú na *obrázku 4 a-e*. Pri *a* a *b* možno pozorovať bežné prevádzkové znečistenie kvapaliny. Pri *c* a *d* možno pozorovať vlásoknicové znečistenie. Ide o vonkajšiu kontamináciu kvapaliny, najčastejšie textíliou z handier a pod. Pri *e* pozorujeme najväčšie znečistenie. Toto znečistenie je také veľké, že bránilo prestupu samotnej kvapaliny cez filtračnú membránu. Podľa kódu čistoty, ktorý bol touto metódou zistený, je kvapalina z pohľadu celkovej koncentrácie pevných nečistôt nevyhovujúca na ďalšie používanie.



Obr. 4 Snímky znečistenia hydraulической kvapaliny pri: a) 0 Mth, b) 200 Mth, c) 400 Mth, d) 600 Mth, e) 860 Mth

Fig. 4 Images of hydraulic fluid contamination at: a) 0 months, b) 200 months, c) 400 months, d) 600 months, e) 860 months.

Výsledky ferografickej analýzy hydraulической kvapaliny

Analytická ferografia sa pre potreby tejto práce vykonávala ako doplnková analýza. Ferogramy boli skúmané pomocou mikroskopu KAPA 6000. Z ferogramov boli vyhotovené snímky z vybraných oblastí a tie porovnané s referenčnými obrázkami tzv. atlasu častíc od spoločnosti TRICO. Je zrejmé, že postupným zvyšovaním odpracovaných motohodín traktorom sa úmerne zvyšuje aj celkové znečistenie jeho hydraulической kvapaliny. Častice, ktoré sa v kvapaline nachádzajú, možno priradiť k bežnému adhéznemu opotrebeniu na ozubených kolesách prevodového mechanizmu traktora. Hydraulická kvapalina do 600 Mth javí známky bežného prevádzkového opotrebenia. Pri 860 Mth bol zistený nadmerný výskyt mechanických nečistôt, čo mohlo byť spôsobené procesom zábehu alebo zmiešaním kvapaliny z prípojných pracovných zariadení. Na základe výsledkov z kódu čistoty a ferografickej analýzy hodnotím hydraulickou kvapalinu ako nevyhovujúcu.



Obr. 5 Snímky častíc v hydraulической kvapaline pri: a) 0 Mth, b) 200 Mth, c) 400 Mth, d) 600 Mth, e) 860 Mth

Fig. 5 Images of particles in hydraulic fluid at: a) 0 months, b) 200 months, c) 400 months, d) 600 months, e) 860 months.

4 Záver

Hydraulický systém, ktorého náplň je vystavená kontaminantom, preň predstavuje vysoké nebezpečenstvo poškodenia. Hydraulická kvapalina môže byť znečistená oterovými časticami, ktoré sa v systéme vyskytujú jeho používaním, prípadne inými kontaminantami, ktoré sú do hydraulickej kvapaliny zanesené počas jej dolievania, prípadne akejkolvek inej manipulácie s otvorenou nádržou. Kontaminanty, ktoré sú súčasťou takejto náplne, následne negatívne vplyvajú na celkovú funkčnosť celého systému. Hydraulická kvapalina po poslednom odbere javí známky vysokej kontaminácie. Táto kontaminácia môže negatívne vplyvať na filtračnú schopnosť filtrov hydraulického systému a tým aj na jeho celkovú životnosť. Takéto znečistenie môže byť spôsobené zábehom stroja, keďže ide o úplne nový traktor, ale takisto môže ísť aj o znečistenie pracovnými zariadeniami, ktoré sú za traktor pripájané. Z tohto hľadiska by bolo vhodné do obvodu zaviesť prídavnú filtráciu, aby sa takému znečisteniu zabránilo a tým spomalilo celkovú degradáciu hydraulickej náplne.

5 Literatúra

BLOCH, Heinz P. a BANNISTER, Kenneth E.. 2017. *Practical Lubrication for Industrial Facilities* [online]. Gistrup: River Publishers. 450 s. ISBN 978-1-138-62679-9. Dostupné na: <https://app.knovel.com/kn/resources/kp0WV3UO1K/toc> [cit. 2024-03-19].

BROOKFIELD AMETEK. (dátum neznámy). *DV2T Touch Screen Viscometer* [online]. Dostupné na: <https://www.brookfieldengineering.com/products/viscometers/laboratory-viscometers/dv2t-touch-screen-viscometer> [cit. 2024-03-19].

HODGES, Peter K. B.. 1996. *Hydraulic Fluids* [online]. Mnichov: Hanser Publishers. 167 s. ISBN 978-0-340-67652-3. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/B978-0-340-67652-3.X5000-3> [cit. 2024-03-19].

MAJDAN, Radoslav et al. 2013. Additional filtration of universal oils for ecological and reliable operation of agricultural tractors. In *Trends in agricultural engineering 2013*. Praha: ČZU, TF, pp. 396-401. ISBN: 978-80-213-2388-9.

DAY, Mike – BAUER, Christian. 2007. *Water Contamination in Hydraulic and Lube Systems*. [online]. ISSN 1536-3937. Dostupné na: <https://www.machinerylubrication.com/Read/1084/water-contamination-lube> [cit. 2024-03-19].

NOVAK, Nejc et. al. 2023. Degradation of Hydraulic System due to Wear Particles or Medium Test Dust. In *Applied Sciences* [online], vol. 13, p. 20. ISSN 2076-3417. Dostupné na: <https://doi.org/10.3390/app13137777>

PUŠKÁR, Michal et al. 2019. Complex analysis of influence of biodiesel and its mixture on regulated and unregulated emissions of motor vehicles with the aim to protect air quality and environment. In *Air Quality, Atmosphere & Health* [online], vol. 12, no. 7, pp. 855-864 [cit. 2024-03-19]. ISSN 1873-9326. Dostupné na: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11869-019-00704-w>

QUAKER HOUGHTON. 2019. *Relativity Of Acid Number For Hydraulic Fluids* [online]. Dostupné na: https://fireresistantfluids.com/wp-content/uploads/skb_relativity_acid_number_for_hydraulic_fluids_EN_GL.pdf [cit. 2024-03-19].

RAVENOL. (dátum neznámy). *RAVENOL UTTO CVT FLUID* [online]. Dostupné na: <https://www.ravenol.de/en/product/getriebeoel/getriebeoel-fur-automatikgetriebe/ravenol-utto-cvt-fluid> [cit. 2024-03-25].

RYDBERG, Karl-Erik. 2013. *Hydraulic Fluid Properties and their Impact on Energy Efficiency* [online]. Linköping: Linköping University. Dostupné na: <http://dx.doi.org/10.3384/ecp1392a44> [cit. 2024-03-19].

SPECTRO SCIENTIFIC. 2014. *SpectroT²FM Q500* [online]. Dostupné na: <https://www.spectro.cz/store/spectro-q500-ferograf-new-cze.pdf> [cit. 2024-03-19].

TULÍK, Juraj et al. 2013. The durability of a tractor gear-hydraulic circuit. In *Trends in agricultural engineering 2013*. Praha: ČZU, TF, pp. 617-621. ISBN: 978-80-213-2388-9.

Súhrn

Cieľom tohto článku bolo vykonať vybrané merania hydraulickej kvapaliny CASE IH Akcela Hy-Tran Ultraction na zistenie jej vlastností a vhodnosti ďalšieho používania. Kvapalina bola odobratá z traktora CASE IH Magnum 400. Merania boli vykonané v laboratórnych podmienkach s pomocou prístrojov, ktoré umožnili zistiť viskozitu, obsah vody, číslo kyslosti a množstvo oterových alebo kontaminačných častíc na základe ferografickej analýzy a ISO 4406 kódu čistoty. Na základe vyhodnotenia viskozity, obsahu vody a čísla kyslosti možno kvapalinu považovať za vhodnú na používanie, avšak na základe kódu čistoty a ferografickej analýzy, kvapalina nie je ďalej vhodná na používanie.

Kľúčové slová: hydraulická kvapalina, traktor, viskozita, číslo kyslosti, obsah vody, oterové častice

TERMOGRAVIMETRICKÁ ANALÝZA VZORKY BIOMASY THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS OF BIOMASS SAMPLE

LEA HAKSZER¹ - VLASTA VOZÁROVÁ² - DANIELA KUNECOVÁ³

Abstract

The topic of the research is the thermogravimetric analysis of a biomass sample – barley chaff. The work is of an experimental nature, it aims at the energy and material evaluation of biomass in laboratory conditions through the calculation of fixed carbon content and calorific value. The methodology describes the measuring device – thermogravimetric analyzer and other devices used for measuring and evaluating weight loss depending on the regulated temperature. The results of the work are presented through a graph and a calculation. We found that the higher heating value of barley chaff has a lower value than the higher heating value of processed biomass – pellets, but in the case of barley chaff it is a possible use of waste biomass.

Key words: biomass, thermogravimetric analysis, higher heating value, weight loss, fixed carbon

1 Úvod

Termogravimetrická analýza (ďalej len TG analýza, alebo TGA) je jedna z najčastejšie používaných metód termickej analýzy, pričom termín „termická analýza“ zahŕňa súhrn metód, pri ktorých sú sledované rôzne materiálové charakteristiky vzoriek v definovanom prostredí s regulovanou teplotou. Pri rôznych typoch metód termickej analýzy sú sledované charakteristiky v závislosti od času resp. od teploty. Dynamické metódy termickej analýzy sú v prípade pevných telies najpoužívanejšie. Pri týchto metódach je vzorka ohrievaná alebo ochladzovaná konštantnou zmenou teploty, preddefinovanou v programe (BROWN, 1998).

Metódy termickej analýzy sa používali už veľmi dávno – boli zaznamenané viditeľné zmeny vlastností materiálov v dôsledku zmien teploty, napr. zmeny tvaru, dĺžky, objemu, skupenstva a pod. Koncom 19-teho storočia (okolo roku 1886) Le Chatelier použil diferenčnú termickú analýzu pri štúdiu vlastností a správania sa kalcitu. Neskôr publikoval a vyhodnotil svoje výsledky vo forme termoanalytických kriviek minerálov. V roku 1889 Roberts Austen použil prvýkrát referenčnú vzorku oplývajúcu stálymi vlastnosťami pri tepelnom zaťažení. Vzorka bola z platiny. V súčasnosti sa pri diferenčnej termickej analýze využíva porovnávanie teplôt meranej vzorky a referenčnej vzorky. S vynálezom termováh a neskôr registračného valca (kvôli zaznamenaniu viacerých kriviek) prvýkrát evidujeme aj použitie TG analýzy. V dnešnej dobe je na trhu už mnoho zariadení a technologických pomôcok na uskutočnenie termických analýz. Tieto zariadenia našli a stále nachádzajú fyzikálno-chemické a najmä analytické uplatnenie v mnohých odvetviach (KLOUŽKOVÁ et al., 2012; MUNI, 2024).

Cieľom našej práce je plynule nadviazať na tému spracovanú v bakalárskej práci, ktorá bola orientovaná na porovnanie energetického potenciálu peliet zložených z dendromasy a peliet z poľnohospodárskej biomasy v závislosti od ich zloženia a technológie výroby. Energetický potenciál bol reprezentovaný veličinou výhrevnosť a spalné teplo. Meranie

¹Bc. Lea Hakszer, SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky.
xhakszer@uniag.sk

²doc. RNDr. Vlasta Vozárová, PhD, SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky. vlasta.vozarova@uniag.sk

³Mgr. Daniela Kunecová, PhD, SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky.
daniela.kunecova@uniag.sk
DOI: <https://doi.org/10.15414/2024.9788055227382>

spalného tepla sme uskutočnili prostredníctvom kalorimetrickej rozkladnej nádoby IKA C 5010 a výhrevnosť sme vypočítali na základe známych vzťahov. V diplomovej práci sa venujeme výskumu energetického a materiálového zhodnotenia biomasy v laboratórnych podmienkach, využitím metódy TG analýzy. Na základe TG analýzy vieme charakterizovať prvkové zloženie vzorky (využitím softvéru, ktorý je súčasťou zariadenia a databázy kriviek), tepelnú stabilitu, resp. tepelný rozklad, hmotnosť popola a percentuálny obsah fixného uhlíka a tiež vieme vypočítať výhrevnosť ako dôležitú energetickú charakteristiku materiálu, a preto sme sa rozhodli pristúpiť k termogravimetrickej analýze jednotlivých zložiek EO Tmavej peletky ako aj k analýze kompletnej vylisovanej pelety a poukázať na význam spracovania vedľajších poľnohospodárskych produktov do takejto formy.

2 Materiál a metódy

Charakteristika použitého prístroja

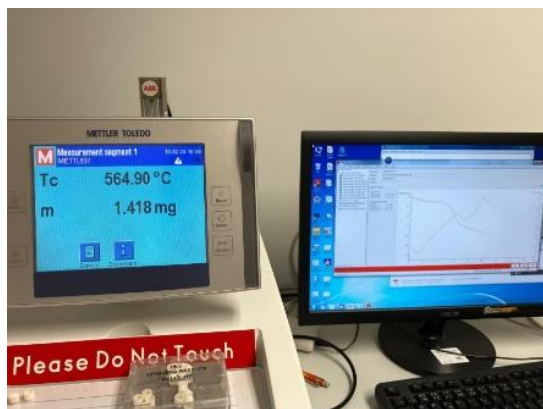
Pre experimentálnu časť práce sme použili termogravimetrický analyzátor TGA/DSC 1 spoločnosti Mettler Toledo (ďalej len TGA).



Obr. 1 Termogravimetrický analyzátor TGA/DSC 1 Mettler Toledo
(Zdroj: autorka)

Fig. 1 Thermogravimetric analyzer TGA/DSC 1 Mettler Toledo
(Source: author)

Merania sa uskutočnili v priestoroch Laboratória fyzikálnych vlastností surovín a potravín Výskumného centra AgroBioTech SPU v Nitre. Zariadenie TGA zahŕňa ultra-mikro a mikro váhy, takže výsledné krivky a hodnoty vykazujú vysokú presnosť. V plynottesnej bunke môžeme nastaviť veľmi široký teplotný rozsah (až do 1600 °C). Prístroj pracuje takmer plne automaticky, je celý zakrytovaný a priebeh experimentu môžeme pozorovať na riadiacej jednotke vo forme hodnoty stúpajúcej teploty a druhej hodnoty klesajúcej hmotnosti. Na tejto riadiacej jednotke spúšťame merania a takisto musíme pozorovať spätnú väzbu a riadiť sa pokynmi. Po ukončení merania a chladenia systému riadiaca jednotka vypíše pokyn na otvorenie priestoru a odobratie vzorky. Vzorky v kelímkoch treba vkladať manuálne prostredníctvom pinzety.



Obr. 2 Riadiaca jednotka termického analyzátora a prostredie softvéru STARE vyhodnocujúce krivky úbytku hmotnosti a tepelný tok (Zdroj: autorka)

Fig. 2 Thermal analyser controller and STARE software evaluating weight loss curves and heat flow (Source: author)

Termický analyzátor je pripojený na chladič Huber Ministat 230, ktorý slúži na urýchlenie chladenia zvyšku vzorky a priestoru plynosnej bunky po skončení experimentu.



Obr. 3 Chladič Huber Ministat 230 (Zdroj: autorka)

Fig. 3 Cooler Huber Ministat 230 (Source: author)

Pre odváženie hmotnosti vzoriek sme používali veľmi presné analytické laboratórne váhy KERN ABT 220-5DM. Presnosť týchto váh je 0,01 mg.



Obr. 4 Analytické laboratórne váhy KERN ABT 220-5DM (Zdroj: autorka)
 Fig. 4 Analytical laboratory scale KERN ABT 220-5DM
 (Source: author)

Charakteristika skúmaného objektu

Po žatve jačmeňa prebieha proces selektovania vedľajšieho produktu cez sitá, kde sa oddelia semená jačmeňa podľa frakcie. Najväčšie sú pri splnení parametrov obsahu dusíka použiteľné pre spracovanie do výroby jačmenného sladcu, ostatné frakcie sú prevažne používané do krmiva pre zver. Semená, ktoré sú prázdne, malé, alebo burinové a ostatné časti na jačmennom klase sa klasifikujú ako vedľajší produkt. Takýto vedľajší produkt nepoužiteľný pre potravinárstvo, alebo iné spracujúce odvetvia, nazývame jačmennými plevami a stal sa objektom nášho skúmania a experimentu.



Obr. 5 Detail vzorky jačmenných plev (Zdroj: autorka)
 Fig. 5 Detail of a sample of barley chaff
 (Source: author)



Obr. 6 Z ľavej strany: EO Tmavá peletka, vedľajší produkt žatvy repky, jačmenné plevy (obe zložky peliet) (Zdroj: autorka)
 Fig. 6 From the left side: EO Dark pellet, by-product of rape harvest, barley chaff (both pellet components)
 (Source: author)

Charakteristika použitej metódy

Ak sledujeme zmenu (úbytok) hmotnosti v závislosti od teploty alebo času ide o termogravimetriu, resp. termogravimetrickú analýzu (skrátene TG alebo TGA). Výsledkom TGA je termogravimetrická krivka, ktorej tvar a jednotlivé vyhodnocovacie nástroje nám umožňujú určiť zloženie vzorky, tepelnú stálosť (resp. rozklad) a produkty rozkladu. (MUNI, 2024)

Pri našom výskume sme použili TGA. Využili sme možnosť nastavenia parametrov rýchlosti zvyšovania teploty v prostredí vzorky. Pri vzorke jačmenných pliev sme rýchlosť zohrievania nastavili na 10 °C za minútu. Vzorka sa nachádzala v atmosfére dusíka.

Použité prostriedky a metódy na vyhodnotenie a interpretáciu výsledkov

Pre vyhodnotenie výsledkov nami nameraných hodnôt sme použili vzorec pre výpočet fixného uhlíka, ktorý v článku Biochar higher heating value estimative using thermogravimetric analysis uviedli autori (MALUCELLI et al, 2019):

$$FCPA = (100\% - M - VM - A) \quad (1)$$

kde:

- *FCPA* – fixný uhlík (%),
- *M* – vlhkosť (%), resp. odparená voda, ktorá sa uvoľňovala od teploty 25 °C do teploty 150 °C, vyjadrené percentuálnym úbytkom hmotnosti vzorky,
- *VM* – prchavé látky (%) uvoľnené zo vzorky v rozmedzí teplôt 150 °C – 600 °C, vyjadrené percentuálnym úbytkom hmotnosti vzorky,
- *A* – obsah popola (%), resp. popoloviny tvoriace zvyškovú hmotnosť v rozmedzí od 600 °C do 900 °C, vyjadrené percentuálnym úbytkom hmotnosti vzorky,

where:

- *FCPA* – fixed carbon (%),
- *M* – moisture (%),
- *VM* – volatile matter (%),
- *A* – ash content (%).

Jednotlivé zložky je možné percentuálne vyjadriť podľa vzorcov, ktoré uvádzajú vo svojom článku autori (RAFIQ et al., 2016), ktorý sa zaoberá skúmaním procesu termochemickej konverzie (pyrolýzy). Článok sa zameriaval na biouhlie, ale výpočty sú uplatniteľné aj pre naše vzorky biomasy. Vzorec dáva do pomeru hmotnosť popola (resp. vlhkosti a prchavých látok) s pôvodnou hmotnosťou vzorky vyjadrené v percentách.

Pre vyhodnotenie experimentálnych hodnôt hmotnosti vzorky pri teplote v danom okamihu sme použili textový súbor, nakoľko prístroj Mettler Toledo komunikuje s programom STAR^e a z neho je možné konvertovať hodnoty do textového súboru.

Pre prehľadnejšie spracovanie a možnosť použitia vzorcov sme z textového súboru údaje preniesli do prostredia Microsoft Excel. V tabuľke sme ich prehľadne zoradili a určili intervaly teplôt prostredia: <25 °C; 150 °C>, <150 °C; 600 °C>, <601 °C; 900 °C>. Na hraničných hodnotách intervalov sme si vyčíslili percentuálny úbytok hmotnosti, ktorý zodpovedal obsahu vlhkosti, prchavých látok a popola. Následne sme použili vyššie spomenutý vzorec (1) pre výpočet finálneho obsahu fixného uhlíka.

Obsah fixného uhlíka je potrebný pre určenie výhrevnosti vzorky. Výhrevnosť sme vypočítali podľa vzťahu publikovanom v článku, ktorý sa zaoberá určením výhrevnosti použitím TG analýzy (MALUCELLI et al, 2019):

$$HHV = (0,3536 FCPA) + (0,1559 VM) - (0,0078 A) \quad (2)$$

kde:

- HHV – výhrevnosť ($\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$),
- $FCPA$ – vypočítaný obsah fixného uhlíka vo vzorke (%),
- VM – prchavé látky uvoľnené zo vzorky v rozmedzí teplôt $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, vyjadrené percentuálnym úbytkom hmotnosti vzorky (%),
- A – obsah popola, resp. popoloviny tvoriace zvyškovú hmotnosť v rozmedzí $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $900\text{ }^{\circ}\text{C}$, vyjadrené percentuálnym úbytkom hmotnosti vzorky (%),

where:

- HHV – higher heating value ($\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$),
- $FCPA$ – fixed carbon (%),
- M – moisture (%),
- VM – volatile matter (%),
- A – ash content (%).

Na spracovanie a vyhodnotenie výsledkov boli použité nástroje: MS Excel a program STAR^e, ktorý umožňuje priamy import nameraných údajov a ich vyhodnotenie v podobe termogravimetrickej krivky závislosti hmotnosti od teploty a času. Prostredníctvom funkcie „frame“ si vieme označiť oblasť, ktorú chceme konkrétnejšie interpretovať a následne použitím funkcie „step horizont“ softvér znázorní kolmú vzdialenosť najvyššej a najnižšej hodnoty hmotnosti pre danú oblasť a vypočíta hmotnostný úbytok ako v mg, tak aj v %.

Využitie pre náš výskum má napríklad aj matematická funkcia „1st derivate“, ktorá umožňuje podrobnejšie popísať zlomy na TG krivke zodpovedajúce fázovým či iným zmenám. Okrem týchto dvoch funkcií nám program ponúka množstvo analytických a iných nástrojov na názornú interpretáciu nameraných údajov.

3 Výsledky a diskusia

Súbor experimentálnych dát TG analýzy v tabuľkovom spracovaní má 5251 riadkov a pre naše výpočty sú dôležité prvé dva stĺpce Tab. 1.

Pre výpočet fixného uhlíka a výhrevnosti sme použili údaje o hmotnosti a teplote prostredia. V prvom kroku sme vypočítali percentuálny podiel aktuálnej hmotnosti vzorky pri danej teplote z pôvodnej hmotnosti. Následne sme pri hraničných hodnotách vypočítali úbytok hmotnosti:

pri $150\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 100\% - 93,92688001\% = 6,07312\% = M$

pri $600\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 93,92688001\% - 37,63846589\% = 56,28841412\% = VM$

pri $900\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 37,63846589\% - 19,24869598\% = 18,3897699\% = A$

V druhom kroku sme fixný obsah uhlíka vypočítali podľa vzorca (1) popísaného v metodike:

$FCPA = (100\% - 6,07312\% - 56,28841412\% - 18,3897699\%) = 19,24869598\%$

Tab. 1 Prvých 12 riadkov z tabuľky s nameranými hodnotami

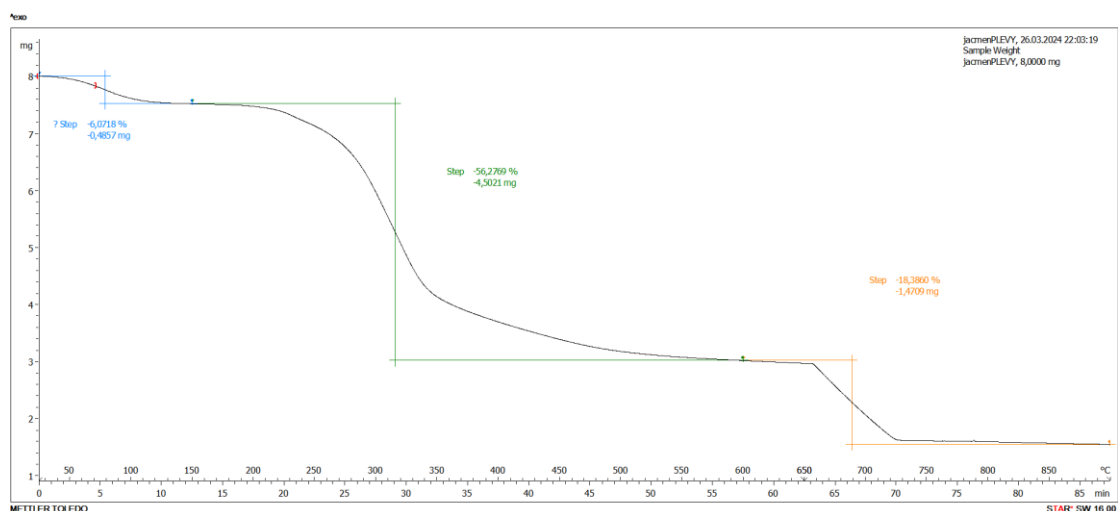
Tab. 1 The first 12 lines from the table with the measured values

Teplota prostredia Tr (°C)	Hmotnosť vzorky m (mg)	Podiel hmotnosti	Percentuálna hmotnosť vzorky
25	7,99836	1	100
25,167	7,99805	0,999961242	99,99612421
25,333	7,99782	0,999932486	99,99324862
25,5	7,99765	0,999911232	99,99112318
25,667	7,99747	0,999888727	99,98887272
25,833	7,99743	0,999883726	99,98837262
26	7,99746	0,999887477	99,98874769
26,167	7,99751	0,999893728	99,98937282
26,333	7,99782	0,999932486	99,99324862
26,5	7,99794	0,999947489	99,99474892
26,667	7,99798	0,99995249	99,99524903
26,833	7,99798	0,99995249	99,99524903

V treťom kroku sme pristúpili k výpočtu výhrevnosti vzorky podľa vzorca (2) popísaného v metodike.

$$HHV = (0,3536 \cdot 19,24869598) + (0,1559 \cdot 56,28841412) - (0,0078 \cdot 18,3897699) = 15,43826246 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Pre overenie a názornosť výsledkov sme si v softvéri STAR^e prostredníctvom funkcie „step horizon“ vytvorili rámec „frame“, v ktorom nám táto funkcia určila hmotnostné aj hmotnostno-percentuálne úbytky. Graf môžeme vidieť na obrázku 7. Modrý interval je interval úbytku vlhkosti (vodnej pary), zelený interval je interval úbytku prchavých látok a oranžový je finálny úbytok hmotnosti na hodnotu zodpovedajúcu obsahu popola (popolnatosť). Môžeme konštatovať, že krivka znázorňuje viacstupňový rozklad a predstavuje tak rôzne reakcie (LEBO, 2019).



Obr. 7 Krivka závislosti hmotnosti (mg) od teploty (°C) a času (min)
Fig. 7 Curve of dependence of weight (mg) on temperature (°C) and time (min)

4 Záver

Prostredníctvom hodnôt získaných termogravimetrickou analýzou a následným výpočtom výhrevnosti cez fixný uhlík získavame hodnotu výhrevnosti porovnateľnú s publikovanou štúdiou z roku 2023 (REZA et al., 2023). Autori sa vo svojom článku zaoberajú termochemickými vlastnosťami a procesom pyrolýzy jačmenného odpadu ako zdroja obnoviteľnej energie. V článku je uvedený výpočet obsahu vlhkosti z procesu sušenia jačmennej biomasy, obsah prchavých látok z úbytku hmotnosti a takisto obsah popola. Následne použitím rovníc (1) a (2) bola vypočítaná hodnota fixného uhlíka a maximálna, resp. minimálna hodnota výhrevnosti, t. j. $20,06 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, resp. $18,44 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Výhrevnosť vzorky jačmenných pliev vypočítaná na základe nášho experimentu má hodnotu $15,44 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Táto hodnota je nižšia ako hodnota z citovanej štúdie, čo môže byť spôsobené obsahom síry a prítomnosťou nečistôt v našej vzorke. Spomenutá štúdia sa podrobnejšie zamerala aj na prvkové zloženie skúmanej biomasy a využila mierne odlišný spôsob výpočtu prostredníctvom procesu sušenia, ktorý prebiehal pomalšie, pri takmer izotermických podmienkach (voľne v laboratóriu) bez zdroja tepla.

Je zrejmé, že nielen odlišné vzorky, ale tiež odlišné podmienky experimentu sú faktorom, ktorý nutne ovplyvňuje získané výsledky. Obzvlášť to platí pre veľmi rôznorodé a extrémne zložené biologické materiály. Získané výsledky poukazujú na možnosti využitia jačmenných pliev ako zdroja biomasy vhodného na produkciu energie (RATHNAYAKE et al., 2021), pričom premena „odpadovej“ biomasy sa javí ako jedno z uskutočniteľných riešení energetickej krízy.

5 Literatúra

BROWN, E. Michael. 1998. *Handbook of Thermal Analysis and Calorimetry: Principles and Practice*. Online. Elsevier Science B.V. 725 s. Dostupné na:

http://pyrotechnics.net.ru/library/thermo/Handbook_of_Thermal_Analysis_and_Calorimetry_Volume_1.pdf [dátum citovania 2024-03-19]

INTERNATIONAL CONFEDERATION FOR THERMAL ANALYSIS AND CALORIMETRY, 2024. *The 18th ICTAC Congress*. Online. Aktualizované 2024. Dostupné na: <http://www.ictac.org/index.html> [zobrazené 2024-03-16].

KLOUŽKOVÁ, A. et al., 2012. *Termická analýza*. Online. VŠCHT Praha. 66 s. Dostupné na: <https://www.yumpu.com/xx/document/read/19018869/termicka-analyzapdf> [dátum citovania 2024-03-13].

LEBO, D., 2019. *Kvantitatívne zhodnotenie produkcie biopalív použitím aktivačnej energie*. Diplomová práca. Daniela KUNECOVÁ (vedúca záverečnej práce). SPU, TF. 82 s. Dostupné na: <https://opac.crzp.sk/?fn=docview2ChildG3BTLG&record=220CAD514E10A15D187154E0C4C4&seo=CRZP-Prehliadanie-pr%C3%A1c> [dátum citovania 2024-04-03]

MALUCELLI, L.C. et al., 2019. Biochar higher heating value estimative using thermogravimetric analysis. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Online. Vol. 139, no. 1, s. 2215-2220. Dostupné na: <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08597-8> [dátum citovania 2024-03-27].

MASARYKOVA UNIVERZITA PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA (MUNI), 2024. *Metody termické analýzy*. Online. Aktualizované 2024. Dostupné na: <https://www.sci.muni.cz/chemsekc/tgir/termanal.pdf> [zobrazené 2024-03-13].

RAFIQ, M.K. et al., 2016. Influence of Pyrolysis Temperature on Physico-Chemical Properties of Corn Stover (*Zea mays* L.) Biochar and Feasibility for Carbon Capture and Energy Balance. *PLoS ONE*. Online. Vol. 11. Dostupné na: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0156894> [zobrazené 2024-04-03]

RATHNAYAKE, D. et al., 2021. Investigation of biomass and agricultural plastic co-pyrolysis: Effect on biochar yield and properties. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. Online. Vol. 155, no. 1, s. 105029. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165237021000152?via%3Dihub> [dátum citovania: 2024-04-03]

REZA, Md.S. et al., 2023. Investigation of Thermochemical Properties and Pyrolysis of Barley Waste as a Source for Renewable Energy. *Sustainability*. Online. Vol. 15, no. 2, s. 1643-1661. Dostupné na: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/2/1643> [zobrazené 2024-04-02].

Súhrn

Témou výskumu je termogravimetrická analýza vzorky biomasy – jačmenných pliev. Práca je experimentálneho charakteru, smeruje k energetickému a materiálovému zhodnoteniu biomasy v laboratórnych podmienkach prostredníctvom výpočtu obsahu fixného uhlíka a hodnoty výhrevnosti. V rámci metodiky je popísané meracie zariadenie – termogravimetrický analyzátor a ostatné zariadenia použité pre meranie a vyhodnotenie úbytku hmotnosti v závislosti od regulovanej teploty. Výsledky práce sú prezentované prostredníctvom grafu aj výpočtu. Zistili sme, že výhrevnosť jačmenných pliev má nižšiu hodnotu ako výhrevnosť spracovanej biomasy – pelety, avšak v prípade jačmenných pliev sa jedná o možné využitie odpadovej biomasy.

Kľúčové slová: biomasa, termogravimetrická analýza, výhrevnosť, úbytok hmotnosti, fixný uhlík

PodĎakovanie: Táto publikácia bola podporená Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR v rámci projektu KEGA 020SPU-4/2023: Implementácia virtualizácie fyzikálnych laboratórií pomocou riadiacich a automatizačných systémov v odbore Strojárstvo.

ANALÝZA ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ LANOVÝCH SEMIENOK RÔZNYCH DRUHOV A ROČNÍKOV

ANALYSIS OF THE ELECTRICAL PROPERTIES OF FLAX SEEDS OF DIFFERENT SPECIES AND YEARS

MAREK HORNIAČEK¹ - ZUZANA HLAVÁČOVÁ²

Abstract

The determination of electrical properties is applied in various industries and fields. Basic electrical characteristics of biological materials include resistance, loss factor, impedance, and capacitance. These properties of biological materials are used, for example, in the evaluation of the quality and composition of food and its ingredients, fruit ripeness and in many other contexts. Impedance analyzers, like the one we used, are very effective for measuring the electrical characteristics of biological materials. We analyzed the dependences of impedance and capacity on frequency for 9 different varieties of flax seeds from the years 2020 and 2021.

Key words: electrical properties, capacitance, impedance, impedance analyzer, flax seed

1 Úvod

Meranie elektrických vlastností materiálov je využiteľné v mnohých odvetviach, od priemyselných až po výskumné. Veľkou výhodou elektrických vlastností je ich jednoduchá a rýchla aplikácia pri meraní. Preto sú využiteľné vo vedeckých laboratóriách, v priemysle ale aj v poľnohospodárstve, napríklad na určovanie vlhkosti obilnín, klíčivosti zŕn, prítomnosti mikroorganizmov, mrazuvzdornosti zŕn, semien a rastlín, zrelosti ovocia ale tiež v mnohých ďalších prípadoch (Hlaváčová, 2020).

Dielektrické vlastnosti sú vnútorné vlastnosti materiálu, ktoré opisujú interakciu elektromagnetických vĺn s materiálom. Tieto vlastnosti môžu byť ovplyvnené frekvenciou, teplotou, vlhkosťou a chemickým zložením. Využitie dielektrických vlastností môže byť v oblasti potravinárstva, poľnohospodárstva, farmácie, baníctva či iných (Nelson, 2015).

Dielektriká, ktorými sú prevažne aj biologické materiály, sú materiály ktoré sú vo všeobecnosti zlými vodičmi elektrického prúdu. Medzi takéto materiály patria napríklad mnohé potraviny, živé organizmy a väčšina poľnohospodárskych produktov, ktoré do určitej miery vedú elektrický prúd, ale stále sú považované za dielektriká. Elektrickú povahu takýchto materiálov možno opísať dielektrickými vlastnosťami (Nelson, 2015).

Určité biologické materiály môžeme klasifikovať ako nehomogénne dielektriká, a to aj v mikroskopickej aj makroskopickej miere. V bunkách sa nachádzajú rôzne roztoky organických aj anorganických látok, ktoré môžu vytvárať elektrolyty a slúžia ako druhotné vodiče, čo implikuje prítomnosť iónovej elektrickej vodivosti. Prevažná väčšina biologických materiálov obsahuje značné množstvo vody, čo podporuje ľahkú dislokáciu v ich roztokoch. Preto sa odpor týchto materiálov časom znižuje, keďže elektrická vodivosť je úzko spojená s prenosom látok (Kertész, Hlaváčová, 2007).

¹Bc. Marek Horniaček, SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky. xhorniacekm@uniag.sk

²prof. RNDr. Zuzana Hlaváčová, CSc, SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky. hlavacova@uniag.sk

Dielektrické vlastnosti väčšiny materiálov biologického pôvodu, s výnimkou niektorých materiálov s extrémne nízkou stratou, je silno ovplyvnená frekvenciou vystaveného elektrického poľa. K frekvenčnej závislosti prispieva hlavne jav polarizácie molekúl vznikajúca z orientácie elektrického poľa (Sosa-Morales, 2010).

2 Materiál a metódy

Naše merania sme uskutočnili na rôznych odrodách ľanových semienok vypestované v rôznych rokoch. Presnejšie to bolo 9 odrôd ľanových semienok z rokov 2020 a 2021, ktoré nám poskytla doc. Ing. Janka Nôžková, PhD z fakulty agrobiológie a potravinových zdrojov. Merania boli uskutočnené v laboratóriu AgroBioTech nachádzajúce sa v areáli Slovenskej Poľnohospodárskej Univerzity. Meracím prístrojom bol Agilent 4294A Precision Impedance Analyzer, v ktorom je možné nastaviť frekvenčný rozsah merania od 40 Hz až do 110 MHz. Merací prístroj bol pripojený k počítaču pomocou LAN káblu cez sieťový rozdelovač a softvér v počítači načítal namerané dáta v súbore s príponou .txt, s ktorým budeme ďalej pracovať. Prístroj ponúka na meranie množstvo nastavení v rôznych rozsahoch a pre rôzne elektrické veličiny merané s veľkou presnosťou. V základnom nastavení je merací prístroj nastavený na meranie 201 hodnôt v nastavenom frekvenčnom rozsahu. Na meranie bol použitý snímač 16451B určený na meranie dielektrických materiálov pevného a sypkého skupenstva. Snímač bol pripojený k meraciemu prístroju tieneným káblom 16089 od spoločnosti Agilent, určený na pripojenie snímaču k meraciemu prístroju. Na vzorku sa v snímači vyvinul tlak mikrometrom, ktorým sa zabezpečilo rovnomerný kontakt s elektródami, rovnomerný tlak v sypkej vzorke a zároveň na odčítanie hrúbky vzorky. Priemer elektród je 56 mm a maximálna hrúbka vzorky je 10 mm.

3 Výsledky a diskusia

Z nameraných hodnôt sme zostrojili grafické závislosti elektrických veličín v závislosti od frekvencie. Na úvod je na *obr. 1* uvedená závislosť kapacity od frekvencie pre vzorky ľanových semienok, ktoré boli napadnuté mol'ami v porovnaní so vzorkou Agram 2021, ktorá napadnutá nebola.

Regresné rovnice závislosti kapacity a impedancie boli počítané mocninovou funkciou:

$$R = R_o \left(\frac{f}{f_o} \right)^{-k}, \quad Z = Z_o \left(\frac{f}{f_o} \right)^{-k}, \quad C = C_o \left(\frac{f}{f_o} \right)^{-k}$$

(1)

kde:

C – kapacitancia,

C₀ – referenčná kapacitancia,

f – frekvencia,

f₀ – referenčná frekvencia (1 kHz),

k – konštanta

where:

C – capacitance,

C₀ – reference capacitance,

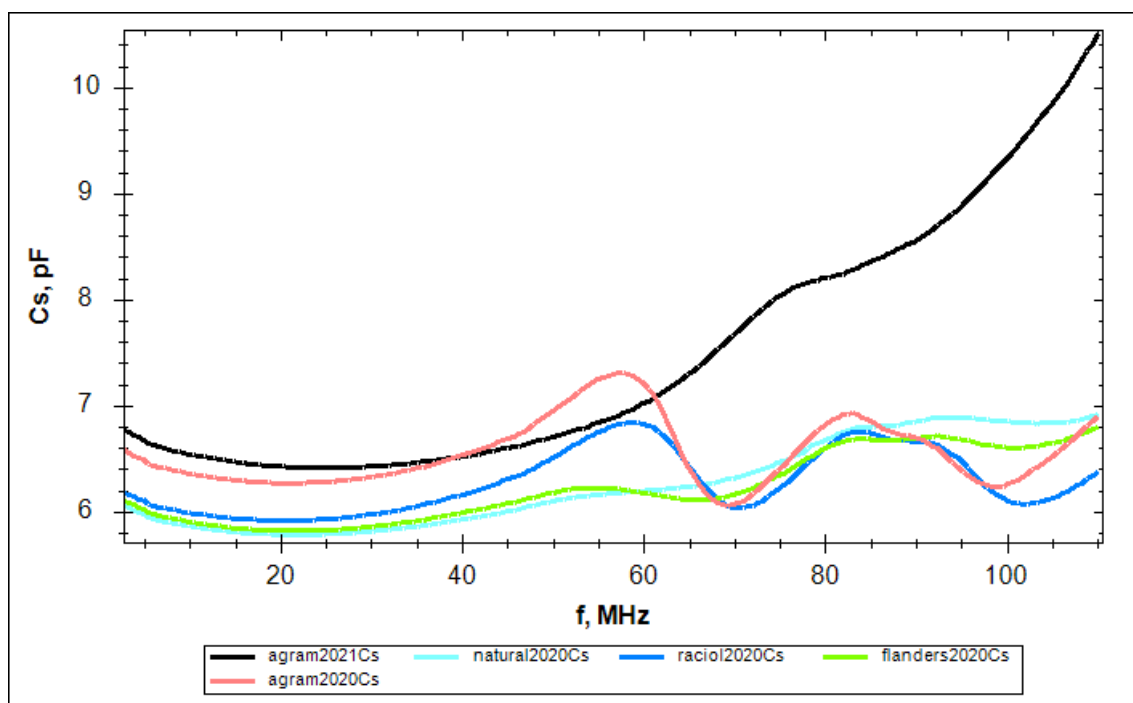
f – frequency,

f₀ – reference frequency (1 kHz),

k – constant

Tab. 1 Označenie C_0 , k , R^2 k regresným rovniciam
 Tab. 1 The notation C_0 , k , R^2 in regression equations.

Vzorka	C_0 , pF	k	R^2
Agram 2020	6,21	0,0122	0,0643
Flanders 2020	5,28	0,0376	0,511
Natural 2020	5,07	0,0487	0,537
Raciol 2020	5,64	0,0246	0,255
Agram 2021	4,74	0,103	0,490

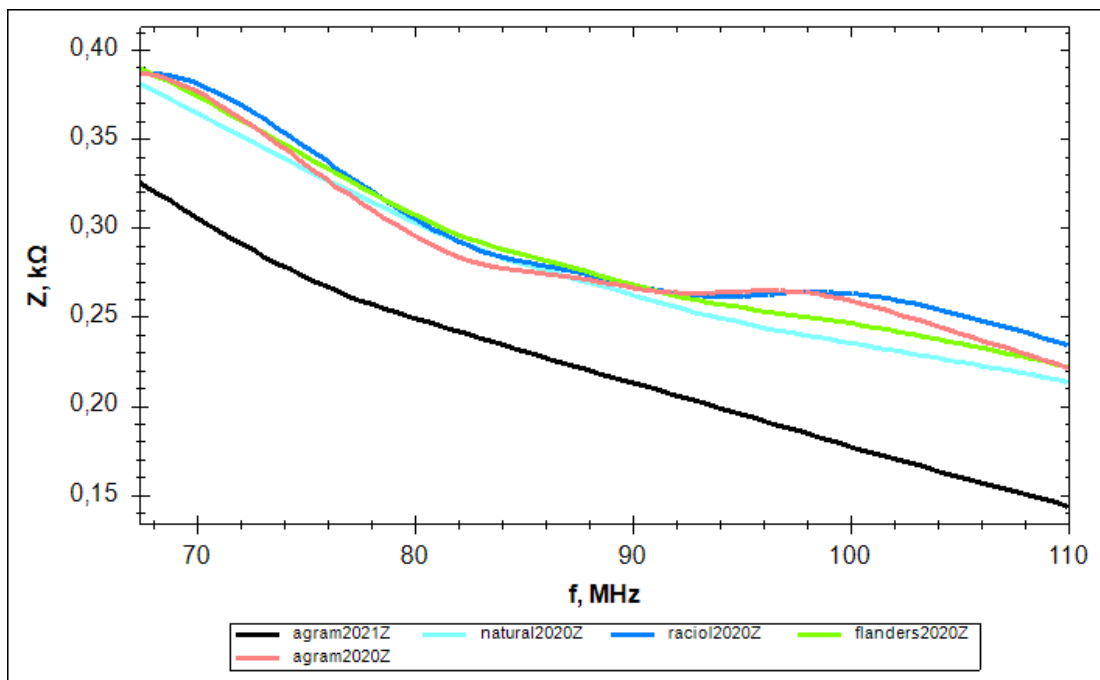


Obr. 1 Závislosť kapacity od frekvencie ľanových semienok napadnutých molami
 Fig. 1 Dependency of capacitance on frequency of flax seeds infested by moths.

Z obr. 1 je vidieť značný rozdiel sériovej kapacity (C_s) medzi vzorkami napadnutými molami (Agram 2020, Flanders 2020, Raciol 2020, Natural 2020) a vzorkou, ktorá nebola napadnutá molami (Agram 2021). Aj napriek tomu, že pri nízkych frekvenciách, sa vzorky správali v elektrickom poli s takmer rovnakým priebehom, pri vyšších frekvenciách sa prejavila zmena v priebehu závislosti. Významná sa zdá frekvencia približne 60 MHz, kedy sa zmeny v priebehoch prejavili.

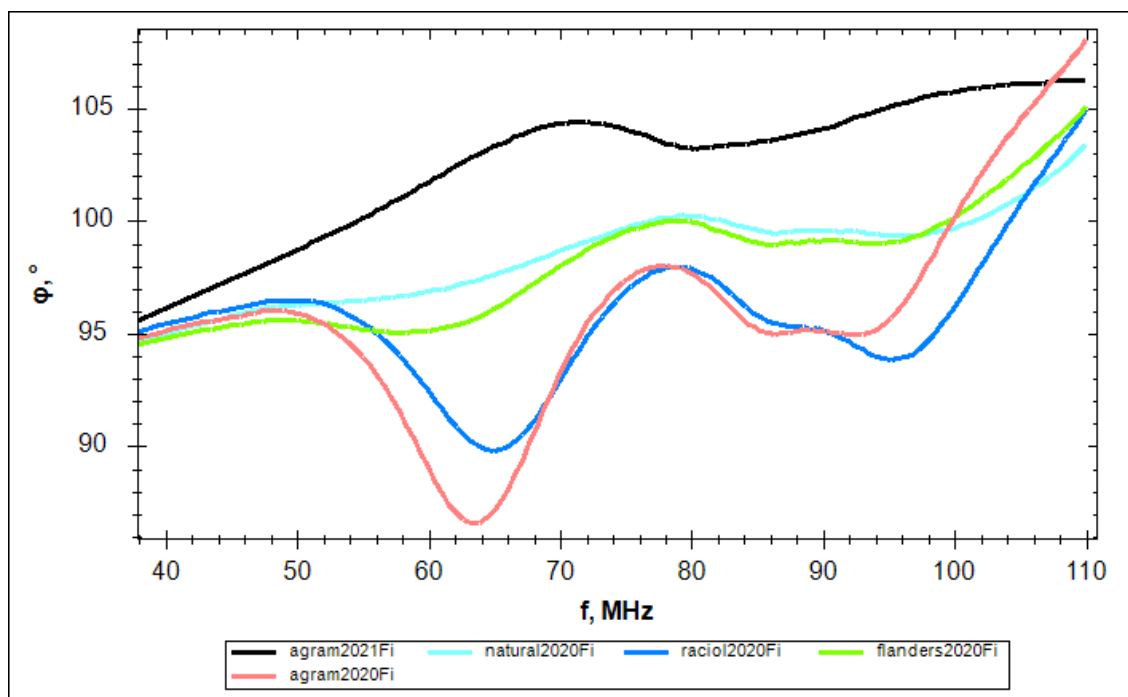
Tab. 2 Označenie Z_0 , k , R^2 k regresným rovniciam
 Tab. 2 Notation of Z_0 , k , R^2 for regression equations.

Vzorka	Z_0 , Ω	k	R^2
Agram 2020	22 125	-0,858	0,8417
Flanders 2020	25 741	-0,881	0,8279
Natural 2020	26 795	-0,892	0,8211
Raciol 2020	24 169	-0,869	0,8349
Agram 2021	28 031	-0,939	0,791



Obr. 2 Závislosť impedancie od frekvencie ľanových semienok napadnutých molami
Fig. 2 Dependency of impedance on frequency of flax seeds infested by moths.

Z obr. 2 je vidieť že rozdiel medzi napadnutými vzorkami a nenapadnutými vzorkami je zreteľný aj v závislosti od impedancie. Kedy pri vysokých frekvenciách približne od 70 MHz sa krivky napadnutých a zdravých semienok od seba vzdiaľujú. Ďalej si môžeme všimnúť mierne zvlnenie nameraných hodnôt voči ideálnej funkcii, približne v rozsahu 80 – 100 MHz, kedy podobné, ale oveľa výraznejšie kmity nastali aj pri meraní kapacity

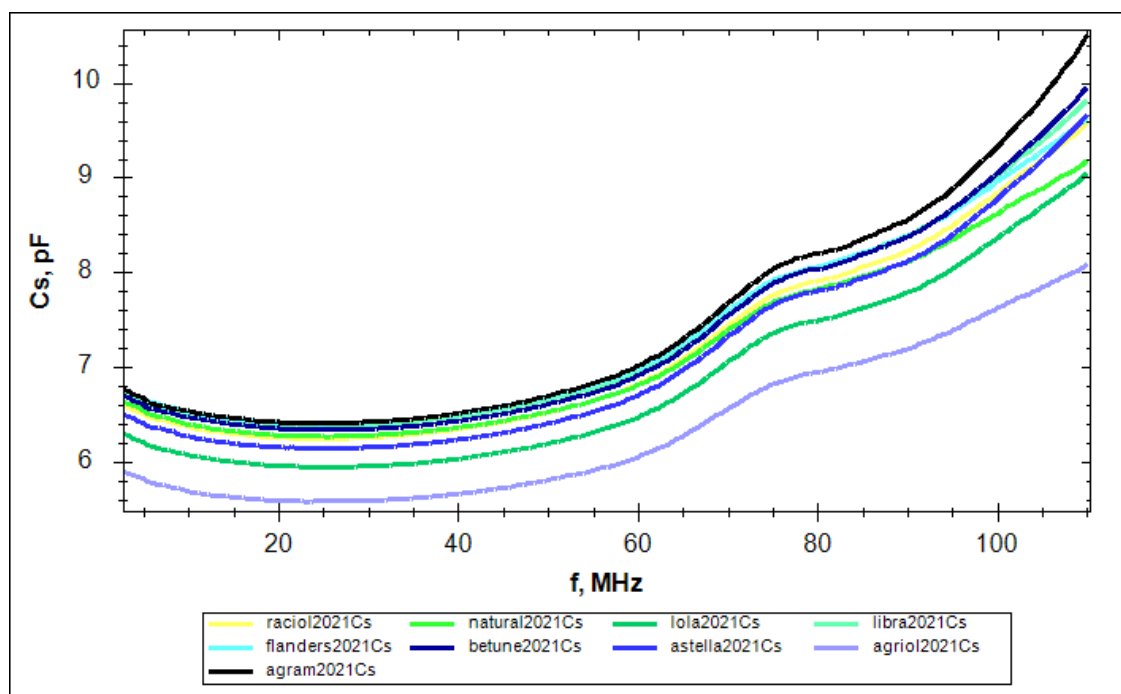


Obr. 3 Závislosť fázového uhla od frekvencie pre impedanciu ľanových semienok
Fig. 3 Dependency of phase angle on frequency for the impedance of flax seeds.

Na obr. 3 môžeme vidieť fázový uhol, ktorý je rozdiel fáz medzi dvoma harmonickými signálmi s rovnakou frekvenciou. V prípade merania impedancie fázový uhol môže poskytnúť informácie o fázovom posune medzi prúdom a napätím v testovanom obvode. Za povšimnutie stojí znova frekvencia približne 60 MHz, pri ktorej nastávajú kmity a voči nenapadnutej vzorke prudko klesá fázový uhol.

Tab. 3 Označenie C_0 , k , R_2 k regresným rovniciam kapacity lanových semienok 2021
Tab. 3 Notation of C_0 , k , R_2 for regression equations of capacitance of flax seeds in 2021.

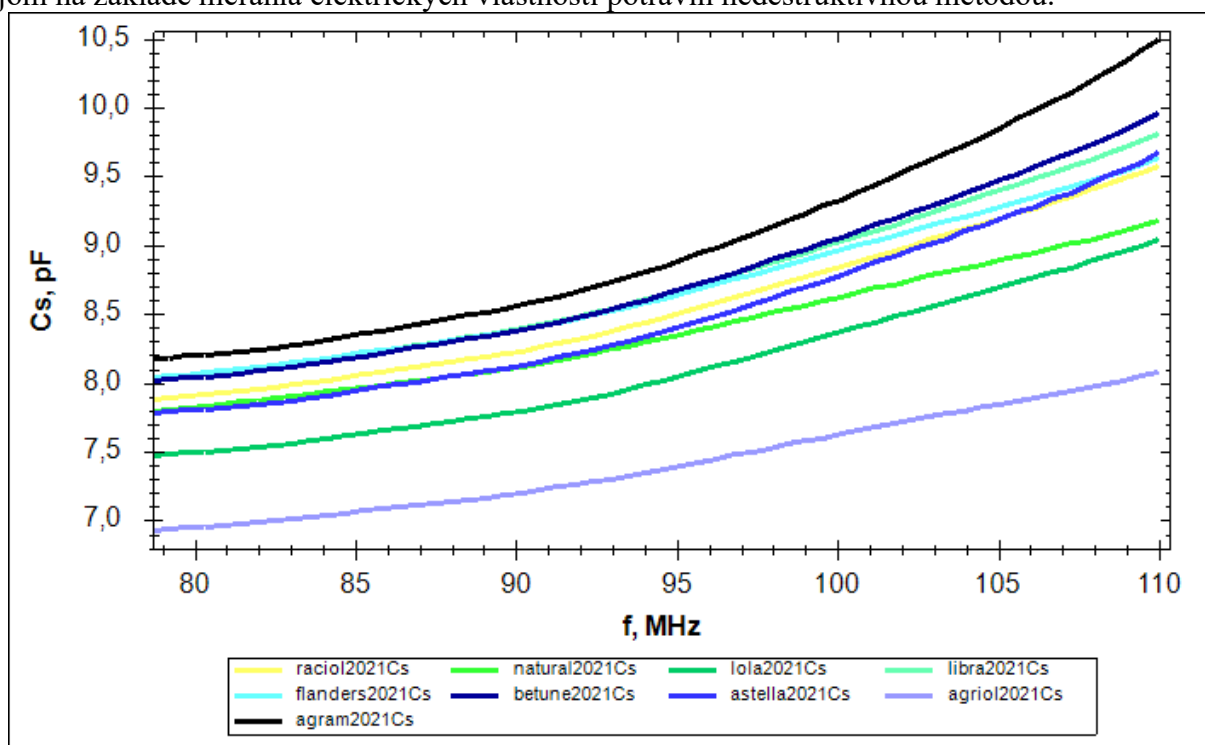
Vzorka	C_0 , pF	k	R^2
Agram 2021	4,74	0,103	0,4904
Agriol 2021	4,37	0,0851	0,5
Astella 2021	4,64	0,0672	0,491
Betune 2021	4,78	0,097	0,491
Flanders 2020	4,91	0,0921	0,503
Libra 2021	4,83	0,052	0,496
Lola 2021	4,55	0,0925	0,493
Natural 2021	4,89	0,066	0,496
Raciol 2021	4,75	0,0951	0,501



Obr. 4 Závislosť kapacity od frekvencie pre ľanové semená z roku 2021
Fig. 4 Dependency of capacitance on frequency for flax seeds from the year 2021.

Na obr. 4 môžeme vidieť závislosť kapacity ľanových semienok od frekvencie, môžeme si všimnúť, že priebeh má stúpajúci mocninový priebeh. Takmer všetky vzorky majú rovnaké vlastnosti, takže rozlíšiť vzorky v takomto rozsahu by bolo zložité, pri skúmaní menšieho rozsahu frekvencie, však môžeme ľahšie rozoznať, o akú vzorku sa jedná a teda určiť druh vypestovaného ľanu, ako vidieť na obr. 5. Následne môžeme vidieť jasné rozdiely medzi

vzorkami, ktoré sú napríklad pri vzorkách Agriol 2021 a Agram 2021 rozdiel 1,3 pF pri frekvencii 80 MHz a tento rozdiel stúpa spolu s frekvenciou až k takmer 2,5 pF pri 110 MHz. Na základe takéhoto tvrdenia, môžeme rozlíšiť vzorky ľanových semienok s veľmi presným prístrojom na základe merania elektrických vlastností potravín nedeštruktívnou metódou.

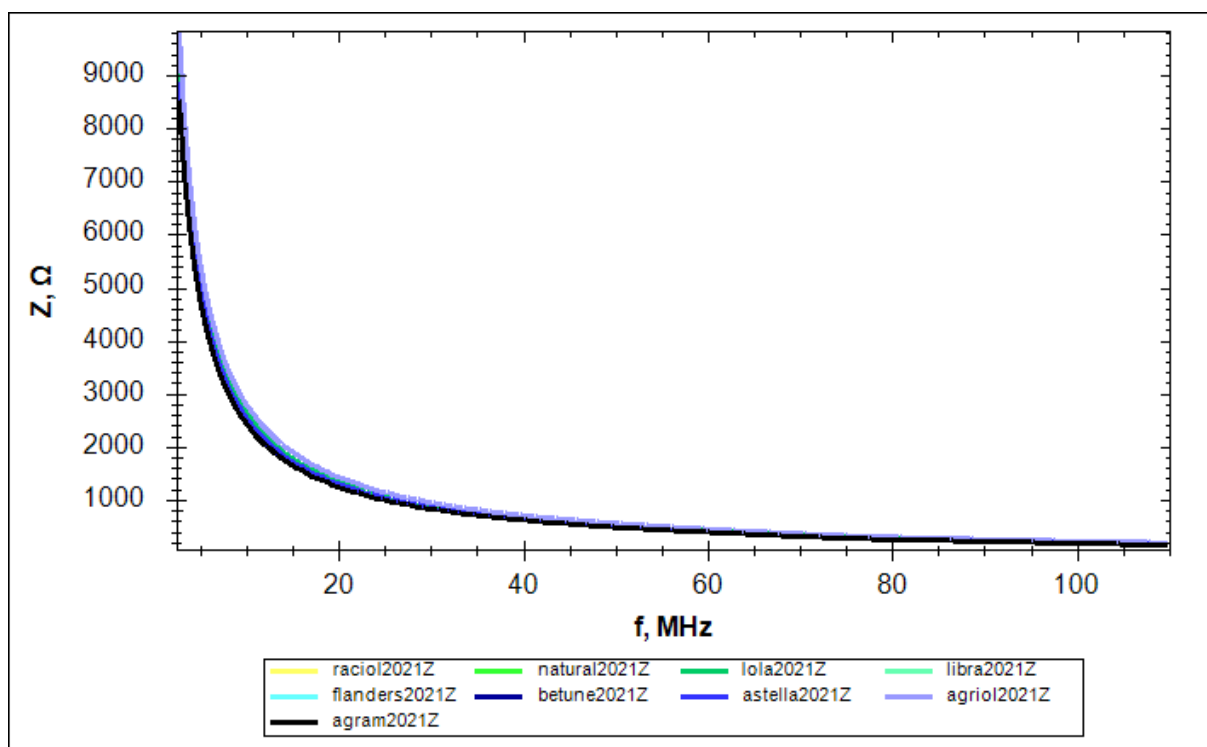


Obr. 5 Závislosť kapacitancie od frekvencie pre ľanové semienka z roku 2021, vo frekvenčom rozsahu 80-110 MHz

Fig. 5 Dependency of capacitance on frequency for flax seeds from the year 2021, in the frequency range of 80-110 MHz.

Tab. 4 Označenie Z_0 , k , R^2 k regresným rovniciam impedancii ľanových semienok 2021
Tab. 4 Notation of Z_0 , k , R^2 for regression equations of impedance of flax seeds in 2021.

Vzorka	Z_0, Ω	k	R^2
Agram 2021	28 031	-0,939	0,791
Agriol 2021	30 432	-0,922	0,8025
Astella 2021	28 714	-0,934	0,7944
Betune 2021	27 862	-0,934	0,7946
Flanders 2020	27 154	-0,929	0,7974
Libra 2021	27 451	-0,931	0,7957
Lola 2021	29 276	-0,93	0,7969
Natural 2021	27 370	-0,925	0,7999
Raciol 2021	28 126	-0,932	0,7956



Obr. 6 Závislosť impedancie od frekvencie pre ľanové semienka z roku 2021
Fig. 6 Dependency of impedance on frequency for flax seeds from the year 2021.

Aj napriek výraznej závislosti impedancie od frekvencie na dielektrických materiáloch, sa nám na vzorkách ľanových semienok z roku 2021 nepodarilo nájsť rozdiely. Na obr. 6 si môžeme všimnúť, že jednotlivé vzorky mali takmer totožné priebehy, a teda je úplne nemožné rozlíšiť dané vzorky na základe merania impedancie. Preto by sme v prípade potreby museli použiť inú meranú veličinu, jednou z alternatív by bolo merať kapacitanciu, ako je uvedené vyššie.

4 Záver

Stanovenie elektrických vlastností rôznych materiálov sa využíva v mnohých odvetviach. My sme uskutočnili merania na dielektrických materiáloch ľanových semiačok rôznej odrody a času zberu, v nádeji nájsť rozdiely v elektrických vlastnostiach rôznych druhov. Zistili sme že kapacita ľanových semiačok stúpa spolu s frekvenciou na rozdiel od impedancie, ktorá s narastajúcou frekvenciou mala klesajúci charakter. Na základe nameraných hodnôt, sme zostrojili grafické závislosti. Našimi meraniami sme zistili, že niektoré ľanové semiačka, ktoré boli staršieho dátumu, boli napadnuté moľami, tieto zistenia sme pozorovali aj na elektrických vlastnostiach ako môžeme vidieť z obrázku 1, 2 a 3. Pri nízkych frekvenciách boli výsledky takmer rovnaké pri všetkých meraných veličinách, a potrebné rozdiely sa prejavovali až pri vyšších frekvenciách. Taktiež sme zistili významnú frekvenciu, približne 50 – 60 MHz, kedy sa kapacita aj impedancia pri vzorkách z roku 2020 vychýlila, čo mohlo byť spôsobené napadnutými moľami a teda zvýšenou vlhkosťou. Pri zdravých vzorkách z roku 2021, sme dostatočné rozdiely namerali len pri meraní kapacity, pretože pri meraní impedancie, boli rozdiely medzi vzorkami veľmi malé, na základe, ktorých by sa nedalo určiť, o akú vzorku ide.

5 Literatúra

HLAVÁČOVÁ, Zuzana. 2020. *Využitie elektrických vlastností vybraných potravín a poľnohospodárskych materiálov*. Nitra: SPU. 75s. ISBN 978-80-552-2154-0.

NELSON, S.O. 2015. *Dielectric Properties of Agricultural Materials and Their Applications*. New York, USA: Elsevier – Academic Press. 270s. ISBN 978-0-12-802305-1.

KERTÉSZ, A, HLAVÁČOVÁ, Z. 2007. Measurement of Dried Fruits Capacitance and Impedance. In slpk.sk[online], [cit 2024-03-25]. Dostupné na: http://www.slpk.sk/eldo/2007/018_07/sekcia_c/C06.pdf.

SOSA-MORALES M.E. 2021. Dielectric properties of foods: Reported data in the 21st Century and their potential applications. In ScienceDirect[online]. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643810001179?via%3Dihub>

Súhrn

Stanovenie elektrických vlastností sa uplatňuje v rôznych odvetviach a odboroch. Základné elektrické charakteristiky biologických materiálov zahŕňajú odpor, impedanciu a kapacitu. Tieto vlastnosti biologických materiálov sa využívajú napríklad pri hodnotení kvality a zloženia potravín a ich prísad, zrelosti ovocia a v mnohých ďalších kontextoch. Na meranie elektrických charakteristík biologických materiálov sú veľmi účinné impedačné analyzátory, rovnako ako ten, ktorý sme použili aj my. Závislosti impedancie a kapacity na frekvencii sme analyzovali pre 9 rôznych odrôd ľanových semienok z rokov 2020 a 2021.

Kľúčové slová: Elektrické vlastnosti, kapacitancia, impedancia, impedančný analyzátor, ľanové semienka

Podakovanie: Ďakujem prof. RNDr. Zuzane Hlaváčovej, CSc. za spoluprácu a vedenie pri meraniach ako aj pri usmernení pri písaní práce, tiež ďakujem doc. Ing. Janke Nôžkovej, PhD, za poskytnutie vzoriek ľanových semienok.

VÝROBA ELEKTRICKEJ ENERGIE NA NABÍJANIE ELEKTRICKÝCH ZARIADENÍ POMOCOU BICYKLA A ALTERNÁTORA

PRODUCTION OF ELECTRICITY TO CHARGE ELECTRICAL DEVICES USING A BICYCLE AND AN ALTERNATOR

KAMIL HUDEC¹ - SAMUEL KISS² - VIKTOR MARTI³

Abstract

This project presents the possibility of applying an innovative approach to the use of electrical components without the use of an electrical source for the production of green energy and the support of sports in schools. The problem solved was whether it is possible to structurally assemble a device that will be able to drive the electrical components with human labor enough to achieve the desired result, i.e. the use of mechanical energy developed by cycling to recharge mobile phones and other electrical appliances in the school environment. It combines an ecological approach with mechanics and electrical engineering.

The first step was the creation of a structural design, the collection of components necessary for the assembly of the device itself, the creation of a stand, then the correct connection of the electrotechnical components and the testing of the function and safety of the assembled device.

It can be stated that the device fulfills the desired goal, with the help of cycling it is possible to "step on" the energy that charges the electrical appliance and at the same time it is beneficial for the environment and a healthier lifestyle for the students.

Key words: electrotechnical components, green energy, voltage converter, alternator, conversion of mechanical energy to electrical energy

1 Úvod

V dnešnej dobe, kedy hľadáme stále nové a inovatívne spôsoby, ako znižovať našu závislosť od fosílnych palív a podporovať zdravší životný štýl, sa objavujú technologické riešenia, ktoré nás nútia pozeráť sa na energiu a pohyb z úplne nového uhla. Jedným z takýchto príkladov je zariadenie, ktoré dokáže vyrábať elektrickú energiu pomocou bežného bicykla a alternátora. Možno teda konštatovať, že aktuálne trendy v spoločnosti sa zameriavajú na ochranu životného prostredia, využívanie zelenej energie a zníženie uhlíkovej stopy.

Nabíjanie svojich mobilných zariadení prostredníctvom zapojenia nabíjačky do elektrickej siete je pre každého z nás rutinnou a bezproblémovou záležitosťou a práve na túto problematiku zamerali svoju pozornosť žiaci elektro odborov SSOŠP DSA Nitra.

Kontaktnú adresu uviesť na konci titulnej strany pod čiarou do zápätia; uviesť celé meno, aj tituly, adresu pracoviska všetkých autorov.

In this place should be presented all authors and his full names including all academic, scientific and pedagogic titles and detailed address of the institution with postal code, phone, fax numbers and e-mail address.

Za cieľ práce bolo stanovené vytvorenie zariadenia, ktoré dokáže nabiť mobilný telefón alebo iné elektrické zariadenie na základe mechanickej práce prenášanej na elektrokomponenty bez zapojenia do elektrickej siete.

2 Materiál a metódy

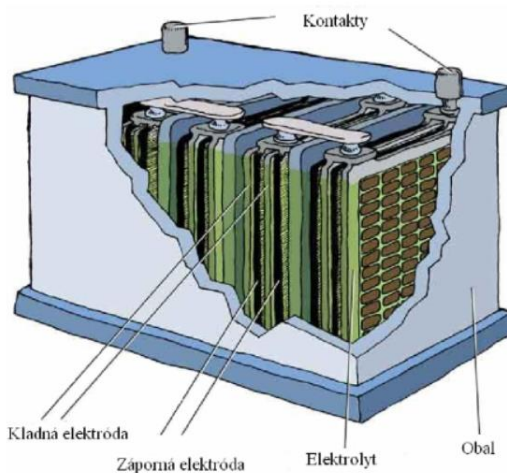
Použité komponenty:

1. autobatéria
2. menič napätia
3. alternátor z auta
4. remeň
5. bicykel
6. rám
7. tachometer zo stacionárneho bicykla

Autobatéria je elektrochemické zariadenie, ktoré možno definovať ako zdroj elektrickej energie, ktorý slúži na uchovanie elektrickej energie pre potreby palubnej siete motorového vozidla.

Zloženie oloveného akumulátora:

- Kladné elektródy (PbO_2 oxid olovičitý)
- Záporné elektródy (Pb, hubovité olovo)
- Kontakty
- Elektrolyt (koncentrát kyseliny sírovej a vody)
- Obal z plastu



Obr. 1 Autobatéria

Fig. 1 Car battery

Obal akumulátora - vyrobený z plastu, vyznačuje sa vysokou odolnosťou proti požiaru. Hermetické uzavretie znemožňuje únik elektrolytu alebo plynu.

Vnútro akumulátora tvorí 6 článkov rôzneho usporiadania predelených plastom.

Bezpečnostný ventil otvára a vypúšťa plyn pri prekročení tlaku 40kPa. Má jednocestný charakter. Každý článok má 2 doskové elektródy, kladnú tvorí oxid olovičitý a zápornú tzv. hubovité olovo. Separátor ktorý je vyrobený z vodivého materiálu oddeľuje

jednotlivé elektródy. Medzi elektródami sa nachádza elektrolyt tvorený kyselinou sírovou s koncentráciou 28-40% a vodou. Menovité napätie článkov je 2,1V.

Menič napätia z 12V na 230V Green Cell IVN03DE 12V/ 230V 500W/1000W je zariadenie, ktoré transformuje nízkonapäťový (12V) jednosmerný alebo striedavý signál na vysokonapäťový (230V) striedavý signál. Tento typ meniča je aplikovateľný na miestach, kde je potrebný prevod napätia z batérií, napríklad z automobilových batérií, solárnych batérií alebo iných zdrojov nízkeho napätia, na napätie vhodné pre bežné elektrické spotrebiče.

Funkciu meniča napätia z 12V na 230V možno popísať nasledujúcimi krokmi:

Prevod jednosmerného napätia: ak je vstupný signál jednosmerný, prvým krokom je jeho prevod na striedavý signál, čo možno realizovať pomocou komponentov ako DC-DC menič, ktorý transformuje jednosmerné napätie na striedavé.

Inverzia napätia: následne sa striedavý signál invertuje a transformuje na požadovanú úroveň napätia. Tento krok je často realizovaný prostredníctvom komponentov ako H-mosfet alebo IGBT (Isolated Gate Bipolar Transistor). Tieto umožňujú efektívne prepínanie medzi rôznymi úrovňami napätia.

Regulácia frekvencie a amplitúdy: menič musí tiež regulovať frekvenciu a amplitúdu výstupného signálu, aby bolo možné dosiahnuť požadované výstupné napätie a to 230V a frekvencie (typicky 50 Hz pre väčšinu spotrebičov v Európe). To možno realizovať pomocou riadiacej logiky a spätnoväzbových obvodov, ktoré monitorujú vstupné a výstupné parametre a podľa potreby prispôbujú operácie meniča.

Ochranné funkcie: patrí sem ochrana proti prepätiu, ochrana proti skratu a ochrana proti preťaženiu na zabezpečenie bezpečnej a spoľahlivej prevádzky.

Alternátor je kľúčovým prvkom elektrickej sústavy každého automobilu. Jeho úlohou je zabezpečenie generovania elektrickej energie pre všetky elektrické komponenty a dobíjanie akumulátora.

Alternátor je zariadenie využívajúce elektromagnetickú indukciu na prevod mechanickej energie na elektrickú. Jeho hlavná časť sa nazýva rotor, poháňaný je motorom cez remeň. Rotor sa otáča vo vnútri pevnej časti, ktorá sa nazýva stator. Otáčaním rotora sa vytvára meniaci magnetický tok, ktorý indukuje napätie vo vinutiach statora. Tým dochádza ku generovaniu striedavého prúdu AC ktorý sa následne premieňa prostredníctvom usmerňovača na jednosmerný prúd AC a poskytovaný automobilovým komponentom a akumulátoru.

Alternátor zabezpečuje, aby akumulátor rýchlo nestratil svoju kapacitu a zabraňuje vzniku neschopnosti zabezpečiť dostatok energie pre elektrické zariadenia vozidla, ďalej prispieva k tomu, aby bol akumulátor dostatočne nabitý a pripravený na štartovanie motora.

Tachometer zo stacionárneho bicykla je zariadenie, ktoré meria rýchlosť otáčok kolesa počas cvičenia na stacionárnom bicykli. Jeho hlavnou úlohou je poskytnúť užívateľovi spätnú väzbu o intenzite jeho cvičenia a vytvoreniu presnejších tréningových rutín. Tu je popis funkcie:

Snímač otáčok: je umiestnený na niektorom z kolesiek bicykla. Snímač je zvyčajne magnetický a generuje signál pri každej úplnej otáčke kolesa. Tento signál je potom zachytený senzorom umiestneným na pevnej časti bicykla.

Počítanie otáčok: Keď snímač zachytí signál od každej otáčky kolesa, tachometer počíta počet otáčok za jednotku času, obvykle za minútu. Tento počet otáčok je potom zobrazený na displeji tachometra ako rýchlosť otáčok, meraná v otáčkach za minútu (RPM) alebo v kilometroch za hodinu (Km/h), čo sa prepočíta z otáčok kolesa na základe priemeru kolesa a prevodového pomeru.

Zobrazenie rýchlosti: Na displeji tachometra je zobrazená rýchlosť otáčok kolesa v reálnom čase. Toto zobrazenie umožňuje užívateľovi sledovať svoju aktuálnu rýchlosť a prispôbiť intenzitu cvičenia podľa svojich potrieb a cieľov.

Ďalšie funkcie: Okrem základnej funkcie zobrazovania rýchlosti môže tachometer stacionárneho bicykla obsahovať aj ďalšie funkcie, ako sú napríklad:

Zobrazenie prejdenej vzdialenosti

Meranie doby trvania cvičenia

Meranie spálených kalórií

Programovateľné tréningové režimy

Funkcie pripojenia k externým zariadeniam (napr. smartphone) pre sledovanie výkonnosti a údajov o tréningu.

Metódy zapojenia: Mínus batérie je zapojený na kostru alternátora, plus batérie je zapojený na vstup alternátora. Výstup alternátora je zapojený na menič napätia. Prenos reťazového pohonu na koleso bicykla z ktorého ide remeň na remenicu alternátora zabezpečuje pohon alternátora, ktorý produkuje jednosmerný elektrický prúd.

3 Výsledky a diskusia

Montážou jednotlivých komponentov podľa popísanej metodiky došlo k realizácii funkčného zariadenia, ktoré je schopné nabiť elektrické zariadenie - mobilný telefón.

Čas potrebný na nabitie mobilného zariadenia na úroveň 100% 8,6h pri rýchlosti bicyklovania 19km/h pri 7A z alternátora. Baterka má 60Ah a 12V. Ďalšou zaujímavou víziou by mohlo byť hľadanie riešenia pre skrátenie času potrebného na nabíjanie. Prínosom tohto zariadenia je jednoznačne šetrenie elektrickej energie, podpora športu na školách a ekologickejší prístup nabíjania mobilného telefónu.



Obr. 2 Komponenty
Fig. 2 Components



Obr. 3 Výroba elektrickej energie na nabíjanie elektrických zariadení pomocou bicykla a alternátora
 Fig. 3 Production of electricity to charge electrical devices using a bicycle and an alternator

4 Záver

Na základe zvolenej metodiky došlo k zostrojeniu zariadenia určeného na nabíjanie elektrických zariadení pomocou bicykla a alternátora. Možno konštatovať, že sa jedná o prenos mechanickej energie na elektrickú vyprodukovanú spôsobom šetrnejším pre naše životné prostredie. Montážou elektrických komponentov si žiaci prehĺbili svoje zručnosti v oblasti elektroniky, na názornom príklade mohli lepšie pochopiť prenos mechanickej energie na elektrickú a mohli pracovať na svojej fyzickej kondícii.

Zariadenie, ktoré umožňuje výrobu elektrickej energie pomocou bicykla a alternátora, predstavuje inovatívny krok smerom k udržateľnej energii a zdravšiemu životnému štýlu. Jeho využitie môže mať pozitívny dopad nielen na životné prostredie, ale aj na individuálnu úroveň fyzickej aktivity a wellnessu. Tento spôsob produkcie elektrickej energie je nielen ekologicky šetrný, ale aj efektívny a dostupný pre širokú verejnosť. S rastúcim povedomím o potrebe obnoviteľných zdrojov energie a zdravom životnom štýle, je takéto zariadenie vhodným príkladom toho, ako môžeme spojiť elektroniku, technológiu a wellness v prospech nášho životného prostredia a osobného blaha. Stanovený cieľ bol splnený.

5 Literatúra

Alternátor, srdce elektrickej energie v automobiloch. 2023. In autoblink [online]. Dátum aktualizácie [cit.17-03-2023]. Dostupné na: <https://autoblink.sk/alternator-srdce-elektrickej-energie-v-automobiloch/>

PAULOVÍČ, Stanislav, Bohumír BRACHTÝR a Vladimír CVIKLOVIČ. Základy elektrotechniky. 5. nezmen. vyd. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2022. ISBN 978-80-552-2469-5.

TKOTZ, Klaus et al. 2014. Příručka pro elektrotechnika. Praha : Európa Sobotáles .624s. ISBN 9783808530344.

ŽOFČIN, ERIK. 2012. Autobatérie: bakalárska práca. Technická univerzita v Košiciach.50s

Súhrn

Tento projekt prezentuje možnosť uplatnenia inovatívneho prístupu k použitiu elektrokomponentov bez využitia elektrického zdroja na produkciu zelenej energie a podpory športu na školách. Riešenou problematikou bolo, či je možné konštrukčne zostaviť zariadenie, ktoré bude schopné poháňať elektrické komponenty ľudskou prácou dostatočne na to, aby došlo k požadovanému výsledku, tj. využitie mechanickej energie vyvinutej bicyklovaním na dobíjanie mobilných telefónov a iných elektrických spotrebičov v školskom prostredí. Prepája ekologický prístup s mechanikou a elektrotechnikou.

Prvým krokom bolo vytvorenie konštrukčného návrhu, zhromaždenie komponentov potrebných pre samotné zostavenie zariadenia, vytvorenie stojana, následne správne zapojenie elektrotechnických komponentov a odskúšanie funkcie a bezpečnosti zostaveného zariadenia.

Možno konštatovať, že zariadenie spĺňa požadovaný cieľ, pomocou bicyklovania možno „našliapať“ energiu ktorá nabije elektrický spotrebič a zároveň je prínosom pre životné prostredie a zdravší životný štýl žiakov.

Kľúčové slová: elektrotechnické komponenty, zelená energia, menič napätia, alternátor, prevod mechanickej energie na elektrickú

Podakovanie patrí pánovi majstrovi Mgr. Doležalovi za odbornú pomoc a praktické rady a pripomienky pri konštrukcii tohto zariadenia a pani učiteľke Ing. Hudecovej za pomoc pri príprave na študentskú vedeckú konferenciu na SPU v Nitre.

TESTOVANIE ZVOLENEJ PRÍSADY DO NAFTY TESTING SELECTED DIESEL ADDITIVE

ANDREJ KLOSTERMAN¹ – IVAN JANOŠKO²

Abstract

This study investigates the impact of a diesel fuel additive through comparative measurements. Initial measurements were conducted without the additive, followed by measurements with the additive under identical conditions. A thorough examination was then undertaken to compare the outcomes of these measurements. While maintaining consistent parameters, the only variable was the inclusion of the additive. The results demonstrate notable improvements in emission parameters, performance indicators, and fuel consumption, particularly evident in the reduction of emissions in exhaust gases. Additionally, there was a decrease in the vehicle's fuel consumption coupled with an enhancement in its overall performance. These findings underscore the effectiveness of the additive, affirming the success of the measurements.

Key words: diesel, additives, emissions

1 Úvod

Naftové motory sa stali neoddeliteľnou súčasťou mnohých aspektov našich životov a preto výrobcovia a výskumníci usilovne pracujú na inováciách, ktoré zlepšujú účinnosť paliva, výkon a znižujú emisie. Napriek ich výhodám však spaľovacie motory vyprodukovávajú emisie, ako sú oxidy dusíka, oxidy uhoľnaté a nepálené uhlíkovodíky, ktoré majú významný ekologický a zdravotný dopad. S rastúcim dopytom po energii a obavami z dopadov na životné prostredie, výrobcovia a výskumníci sa zameriavajú na hľadanie obnoviteľných alternatív, ktoré zabezpečia dostatočnú energetickú nezávislosť a zároveň minimalizujú ekologické riziká. (Elkelawy et al., 2022, Jablonický et al., 2018)

V posledných rokoch zaznamenávame neustály nárast záujmu o vylepšenie výkonu a životnosti nafty v dôsledku rastúcich nárokov na spoľahlivosť a efektívnosť motorov. Jedným z najčastejších spôsobov, ako dosiahnuť tieto ciele, je použitie aditív do nafty. Tieto prídavné látky sa ukázali ako účinné prostriedky na zlepšenie kvality paliva a minimalizáciu opotrebenia motorových súčiastok. Predtým, než sa však rozhodneme použiť akékoľvek aditívum, je kľúčové porozumieť ich účinkom a overiť ich skutočnú účinnosť prostredníctvom testov a výskumov. (FUELTEK, 2024, Synák, 2020, 2022) V tomto článku sa pozrieme na dôležitosť testovania aditív do nafty a ich úlohu pri zlepšovaní výkonu, znižovaní spotreby a znižovaní emisií.

2 Materiál a metódy

Charakteristika použitého materiálu

Na merania a výskumnú činnosť sme použili vozidlo Volkswagen Golf štvrtej generácie z roku 1999. Volkswagen Golf 4. generácie bola významným modelom v portfóliu značky

¹Bc. Andrej Klosterman, SPU TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, xklosterman@uniag.sk

²doc. Ing. Ivan Janoško, CSc., SPU TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, ivan.janosko@uniag.sk

Volkswagen, ktorý bol vyrábaný v rokoch 1997 až 2003. Verzia s motorom 1.9 TDI 81 kW bola jednou z najpopulárnejších vo svojej dobe. Základné parametre tohto modelu sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

Tab. 1 Technické parametre automobilu Volkswagen Golf IV
Tab. 1 Technical parameters of the vehicle Volkswagen Golf IV

Motor	1860 cm ³ štvorvalec s priamym vstrekom dieselu (TDI)
Výkon	81 kW pri 4100 min ⁻¹
Krútiaci moment	235 Nm
Prevodovka	manuálna 5-stupňová



Obr. 1: Automobil Volkswagen Golf IV pri meraní [Vlastná fotografia]

Fig. 1: The Volkswagen Golf IV during measurement. [Own photo]

Počas všetkých laboratórnych meraní bola ako palivo použitá nafta od spoločnosti RealK Energy Diesel 55. Prémiová nafta ENERGY 55 na čerpacích staniciach RealK má oproti štandardnej nafta zvýšené cetánové číslo o 3 až 4 jednotky.

Počas celého priebehu meraní bol používaný iba jeden konkrétny druh aditíva pre dieselové motory, Excellium Pro Concentrate PLUS. Prísadu sme riedili v pomere 70 ml na 100 l paliva. Táto prísada do motorovej nafty zlepšuje nasledovné parametre:

- silná čistota motora a ochrana vstrekovačov
- efekt čistenia usadenín a rekuperácie energie
- zlepšenie spaľovania (zvýšenie cetánového čísla)
- až 3,3% úspora paliva
- opotrebovanie motora



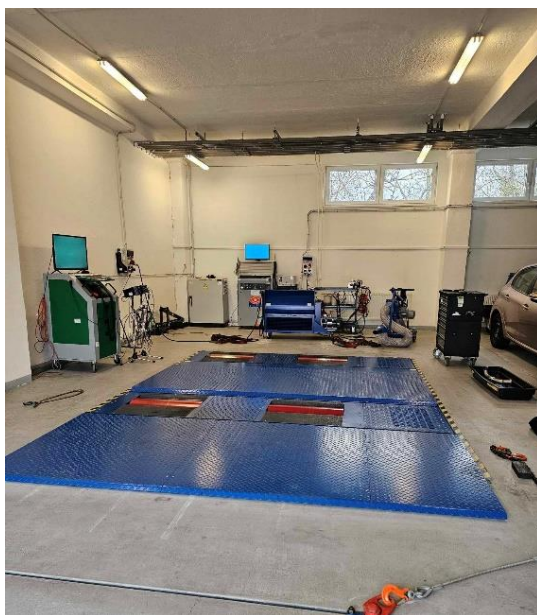
Obr. 2: Aditívum používané pri meraniach [Vlastná fotografia]

Fig. 2: Additive used in measurements [Own photo]

Charakteristika použitých prístrojov

Valcová skúšobňa

Meranie výkonových parametrov prebiehalo na valcovej skúšobni nemeckého výrobcu MAHA (obr.3) s typovým označením MSR 500/3 4WD v zostave s komunikačným pultom MCD 2000.



Obr.3: Valcová skúšobňa MAHA MSR 500 a komunikačný pult MCD 2000 [Vlastná fotografia]

Fig.3: Single roller dynamometer MAHA MSR 500 and MCD 2000 communication desk [Own photo]

Tab. 2: Technické dáta valcovej skúšobne MAHA MSR 500/3 4WD [údaje výrobcu MAHA]
 Tab. 2: Technical parameters of the MAHA MSR 500/3 4WD [MAHA manufacturer data]

Prípustné zaťaženie nápravy	2500 kg
Rozpätie rozchodu kolies	700 – 2200 mm
Nastaviteľný rázvor osí kolies od - do	2200 – 3200 mm
Merací valec – dĺžka / priemer	750 mm / 504 mm
Hrúbka steny valcov	12 mm
Max. testovacia rýchlosť	300 km.h-1
Prípustné zaťaženie nápravy	2500 kg
Výkon e-motora	2 x 22 kW
Výkon kolesa na prednej náprave statický / dynamický	260 kW / 1000 kW (špičkový)
Výkon kolesa na zadnej náprave statický / dynamický	260 kW / 1000 kW (špičkový)

Prietokomer AIC-5004 Fuel Flowmaster

Spotrebu paliva počas merania sme merali pomocou prietokomeru s presnosťou $\pm 1 \%$ v celom rozsahu merania. Výroba prietokomeru je švajčiarska spoločnosť AIC SYSTEMS AG, a typové označenie je AIC-5004 Fuel Flowmaster, (obr. 4). Prietokomer bol prepojený s palivovým systémom vozidla v motorovom priestore. Údaje z prietokomera sa priamo zobrazujú spoločne s ostatnými meranými veličinami na komunikačnom pulte valcovej skúšobne.



Obr.4: Prietokomer AIC-5004 Fuel Flowmaster [Vlastná fotografia]

Fig.4: Flow meter AIC-5004 Fuel Flowmaster [Own photo]

Analyzátor výfukových plynov

Emisné zloženie výfukových plynov sme analyzovali pomocou emisného analyzátoru MAHA MGT 6.3 a príslušného softvéru Maha Emission Software. Tieto zariadenia umožňujú vyhodnocovanie emisií z výfukových plynov u vozidiel s naftovými aj benzínovými motormi. Analyzátor je zobrazený na *Obrázku 5*.



Obr.5: Analyzátor výfukových plynov MAHA MGT 6.3 [Vlastná fotografia]

Fig.5: Exhaust gas analyser MAHA MGT 6.3 [Own photo]

Charakteristika pracovných postupov

Metodika merania pozostávala z nasledujúcich krokov:

1. vjazd vozidla na valcovú brzdú, vycentrovanie vozidla, aby kolesá boli na stred valcov testovacieho zariadenia.
2. upevniť zadnú nápravu pomocou článkových reťazí.
3. upevniť prednú nápravu pomocou popruhov z pevnej tkaniny.
4. kontrola predpísaného tlaku pneumatík na prednej náprave, následné doplnenie tlaku.
5. zapojiť prietokomer paliva, a experimentálne zariadenie do palivového systému vozidla na meranie spotreby.
6. vložiť sondu teploty oleja do otvoru mierky oleja, kontrola teploty oleja.
7. vložiť sondu na meranie emisií do výfuku.
8. umiestniť odsávacie zariadenie do tesnej blízkosti výfukového potrubia.
9. pripojiť OBD koncovku valcovej stoličky do diagnostickej zásuvky vozidla.
10. umiestniť ventilátor chladenia pred vozidlo.

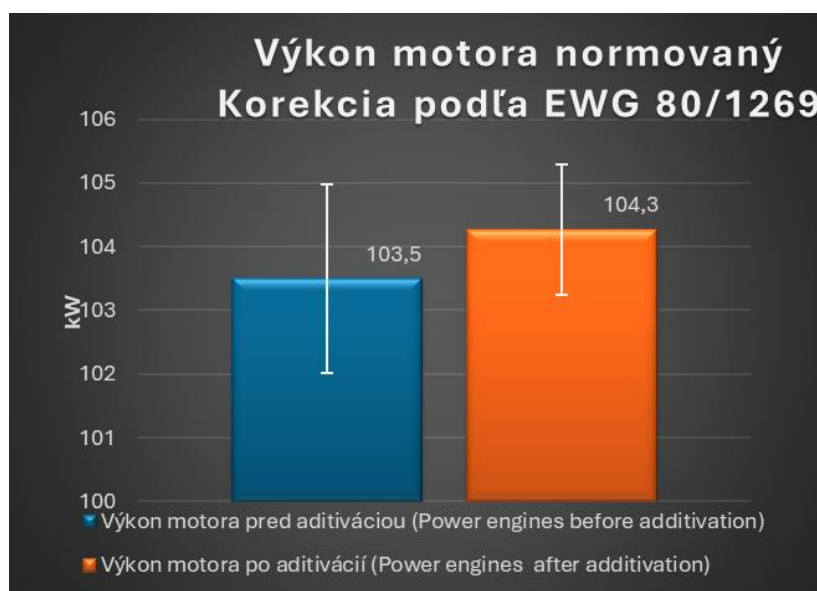
Po zafixovaní vozidla a príprave meracích prístrojov môžeme zahájiť experimentálne merania, pri ktorom sme postupovali nasledovne:

1. Zahriať motor na prevádzkovú teplotu.
2. Meranie výkonu motora bez použitia aditíva, opakovanie merania 3 krát.

3. Meranie spotreby paliva a emisií motora pri ustálenom zaťažení simulovanom na valcovej skúšobni.
4. Pridanie prísady v predpísanom objeme 70 ml na 100 l paliva do nádrže experimentálneho prístroja na meranie spotreby.
5. Simulovaná jazda na valcovej skúšobni so záťažou 300 N po dobu spálenia 2l paliva za účelom prepláchnutia systému palivom s prísadou.
6. Meranie výkonu motora s použitím prísady, opakovanie merania 3 krát.
7. Meranie spotreby paliva a emisií motora pri ustálenom zaťažení simulovanom na valcovej skúšobni. Opakovanie merania 3 krát.
8. Meranie výkonu motora po najjazdení 2000km od prvej aplikácie prísady, opakovanie merania 3 krát.
9. Opätovné meranie spotreby paliva pri ustálenej simulovanej záťaži a meranie emisií motora, opakovanie 3 krát.
10. Spracovanie, analyzovanie a vyhodnotenie výsledkov.

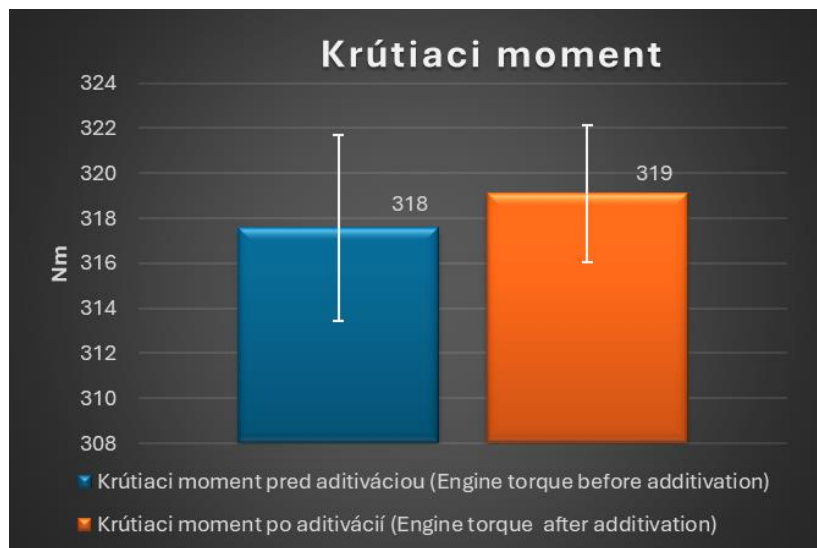
3 Výsledky a diskusia

Namerané hodnoty jednotlivých parametrov meraní, množstvo CO₂, množstvo CO, množstvo NO_x, a spotreby paliva boli spracované a vypočítané do priemerných hodnôt. Priemerné hodnoty boli vypočítané z troch totožných meraní. Následne bola vypočítaná smerodajná odchýlka a z hodnôt vytvorené grafy.



Obr. 6: Výkon motora [Vlastné spracovanie]
Fig. 6: Fuel consumption [Own measurement]

Nameraný výkon motora bol oproti hodnotám udávaným výrobcom vozidla odlišný. Tento rozdiel môže mať za následok úprava softvéru automobilu avšak presnú príčinu sme nedokázali odhaliť. Napriek rozdielom medzi nameranými hodnotami a hodnotami výrobcu sa nám podarilo namerať zvýšenie výkonu motora po pridaní aditíva a to nepatrných 0,8 kW, čo môžeme brať aj ako odchýlku merania. Presnosť valcovej skúšobne udávaná výrobcom je ± 2 percentá. Nameraný výkon bol prepočítaný podľa zvolenej normy (DIN 70020, EWG 80/1269, ISO 1585, JIS D 1001, SAE J 1349)

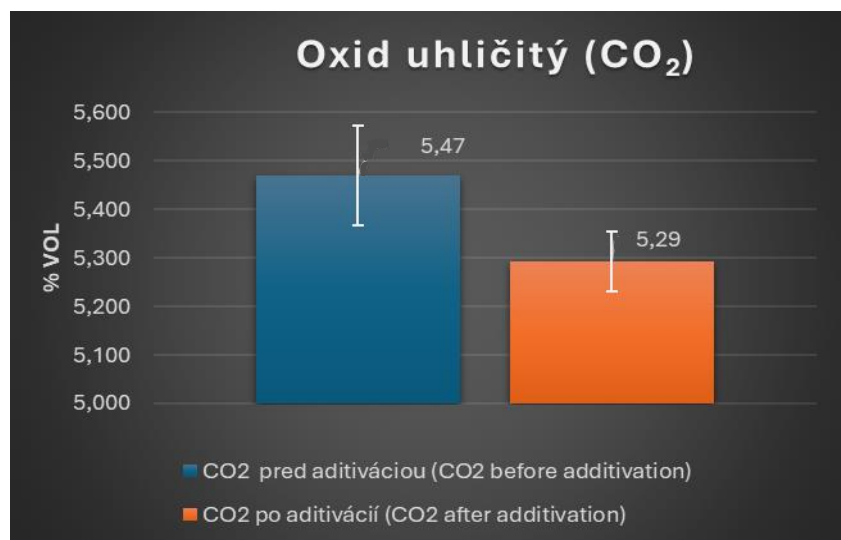


Obr. 7: Krútiaci moment [Vlastné spracovanie]
Fig. 7: Engine torque [Own measurement]

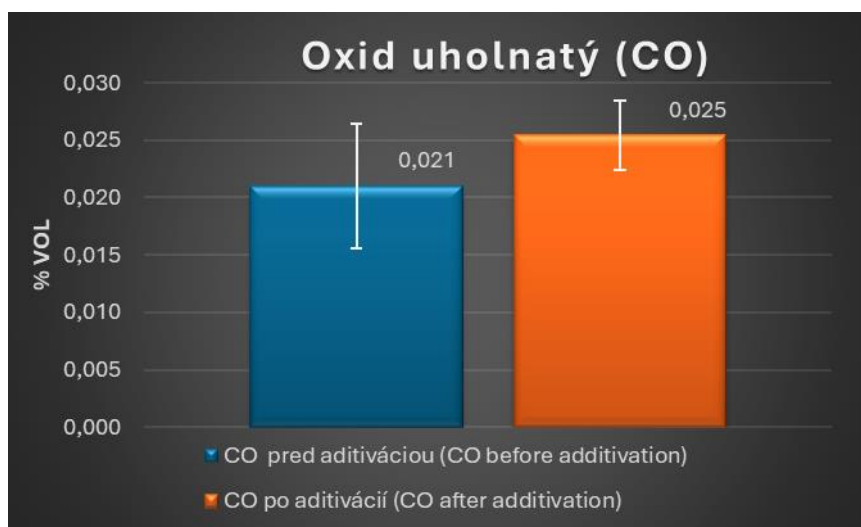
Na nameranom krútiacom momente neboli spozorované žiadne zásadné rozdiely medzi meraním bez aditíva a meraním s aditívom, avšak tieto hodnoty sú opäť vyššie ako hodnoty predpísané výrobcom vozidla. Preto opäť môžeme za príčinu označiť úpravu softvéru motora, avšak nevieme ju dokázať z nášho merania.

Osobné automobily sú zodpovedné za približne 16 % celkových emisií oxidu uhličitého (CO_2) a ľahké úžitkové vozidlá sú zodpovedné za 3 % celkových emisií oxidu uhličitého (CO_2) v EÚ2, ktoré sú hlavnou hnacou silou zmeny klímy v dôsledku zmeny klímy. (European Commission, 2024).

Vďaka pridaniu aditíva sa podarilo množstvo CO_2 znížiť o 3,29 % čo môže mať z dlhodobého hľadiska pozitívny dopad na vypúšťanie emisií.



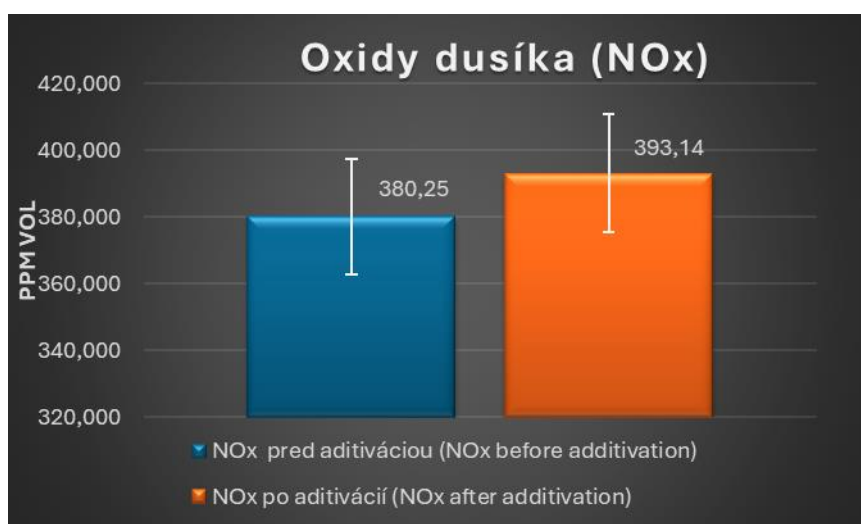
Obr. 8: Oxid uhličitý (CO_2) [Vlastné spracovanie]
Fig. 8: Carbon dioxide (CO_2) [Own measurement]



Obr. 9: Oxid uhoľnatý (CO) [Vlastné spracovanie]

Fig. 9: Carbon monoxide (CO) [Own measurement]

Oxid uhoľnatý vzniká neúplným spaľovaním, kde oxidačný proces neprebieha úplne. Táto koncentrácia je do značnej miery závislá od zmesi vzduch/palivo a je najvyššia tam, kde je faktor nadmerného vzduchu (λ) menší ako 1,0, ktorý je klasifikovaný ako bohatá zmes (Reşitoğlu, et al., 2015, Synák 2022)

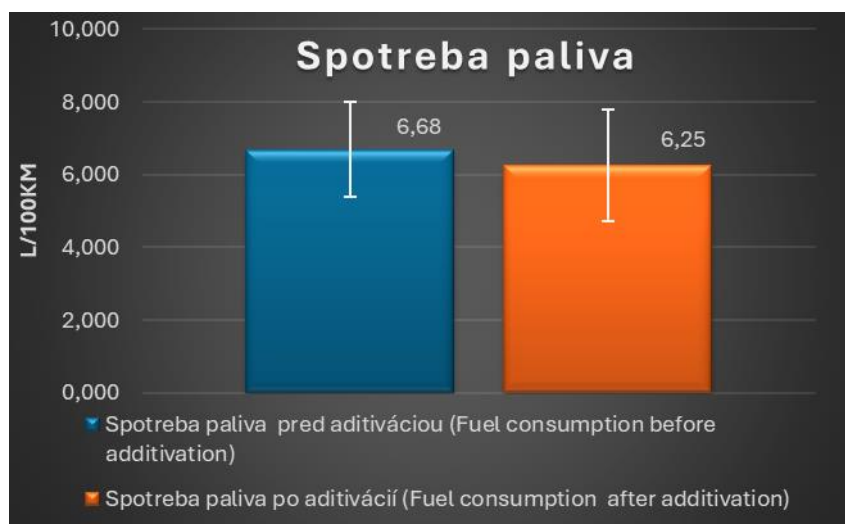


Obr. 10: Oxid dusíka (NOx) [Vlastné spracovanie]

Fig. 10: Nitrogen oxides (NOx) [Own measurement]

Vysoké teploty nad 1 600 °C vo valcoch spôsobujú, že dusík reaguje s kyslíkom a vytvára NOx Emisie. Hlavnými vplyvmi tvorby NOx sú teplota a koncentrácia kyslíka v spaľovaní. Zvýšenie teploty spaľovania zvyšuje množstvo NOx až trojnásobne na každých 100 °C zvýšenia. (Reşitoğlu, et al., 2015)

Preto dávame zvýšenie emisií NOx za následok zvýšenej teploty motora, keďže meranie po aditívácii sa uskutočnilo v poradí druhé, kedy teplota motora bola vyššia.



Obr. 11: Spotreba paliva [Vlastné spracovanie]

Fig. 11: Fuel consumption [Own measurement]

Spotreba paliva pri meraní s pridaným aditívom klesla oproti pôvodnému meraniu o 6,47%. Výrobca aditíva udáva minimálne zníženie spotreby o 3,3% čo sme meraniami dokázali potvrdiť. (TotalEnergies, 2023)

4 Záver

Porovnanie dosiahnutých výsledkov s existujúcimi poznatkami jasne ukazuje, že aditivácia paliva má významný vplyv na emisie, spotrebu paliva a výkon motora. Na základe našich experimentov sme zistili, že použitie aditív pre naftové motory, konkrétne Excellium Pro Concentrate PLUS, má pozitívny dopad na čistotu spaľovania, efektívnosť motorov a zníženie emisií. Tieto výsledky sú v súlade s mnohými existujúcimi štúdiami a podporujú ich závery.

Vzhľadom na pozitívne výsledky a identifikované oblasti pre ďalší výskum možno konštatovať, že naše experimenty úspešne dosiahli stanovený cieľ poskytnúť dôkazy o účinnosti aditivácie paliva a podporiť jej využitie ako prostriedku na zlepšenie výkonu a znižovanie emisného zaťaženia prostredia spaľovacími motormi.

5 Literatúra

Elkelawy, M., El Shenawy, E.A., Bastawissi, H.A., Shams, M.M., Panchal, H. "A comprehensive review on the effects of diesel/biofuel blends with nanofluid additives on compression ignition engine by response surface methodology." Energy Conversion and Management: X, vol. 14, 2022, article number 100177. ISSN: 2590-1745. [cit. 2024-3-27]

European Commission. (2024) "CO₂ emission performance standards for cars and vans." European Climate Action - Road Transport: Reducing CO₂ emissions from vehicles. [online] Dostupné na: <https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/co2-emission-performance-standards-cars-and-vans_en> [cit. 2024-3-28]

FUELTEK. 2024. The Role of Fuel Additives in Improving Diesel Fuel Performance and Longevity. Dostupné na: <<https://www.fueltek.co.uk/the-role-of-fuel-additives-in-improving-diesel-fuel-performance-and-longevity>>[cit. 2024-3-27]

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, 2018.

Reşitoğlu, İ.A., Altinişik, K. & Keskin, A. The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. *Clean Techn Environ Policy* 17, 15–27 (2015). Dostupné na: <<https://doi.org/10.1007/s10098-014-0793-9>> [cit. 2024-3-28]

SYNÁK, F.- SYNÁK, J.: Study of the Impact of Malfunctions of and Interferences in the Exhaust Gas Recirculation System on Selected Vehicle Characteristics. In SAE International Journal of Engines. ISSN19463936, Volume 15, Issue 6, 2022.

SYNÁK, F., SYNÁK, J.: Impact of using different types of gasoline on selected vehicle properties. In Applied Engineering Letters, ISSN 24664677, Volume 5, Issue 4, p. 142 – 151, 2020.

TotalEnergies. (2023) Excellium Pro Concentrate Plus: Technical booklet [online] Dostupné na: <https://additivesfuels.totalenergies.com/en/system/files/atoms/files/booklet_epcplus_2023v1.pdf> [cit. 2024-3-28]

Wen Mingsheng, Yin Zenghui, Zheng Zunqing, Liu Haifeng, Zhang Chuanqi, Cui Yanqing, Ming Zhenyang, Feng Lei, Yue Zongyu, Yao Mingfa. "Effects of Different Gasoline Additives on Fuel Consumption and Emissions in a Vehicle Equipped With the GDI Engine." *Frontiers in Mechanical Engineering*, vol. 8, 2022. ISSN: 2297-3079. Dostupné na: <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmech.2022.924505>> [cit. 2024-3-27]

Súhrn

Táto štúdia skúma vplyv aditíva do naftového paliva prostredníctvom porovnávacích meraní. Počiatočné merania sa uskutočnili bez aditíva, nasledované meraniami s aditívom za identických podmienok. Následne bola vykonaná dôkladná analýza na porovnanie výsledkov týchto meraní. Pri zachovaní konzistentných parametrov bol jedinou premennou zahrnutie aditíva. Výsledky preukazujú významné zlepšenia v emisných parametroch, výkonnostných ukazovateľoch a spotrebe paliva, najmä v znížení emisií výfukových plynov. Okrem toho bol pozorovaný pokles spotreby paliva vozidla spolu s zlepšením celkovej výkonnosti. Tieto zistenia podčiarkujú účinnosť aditíva, potvrdzujúc úspech meraní.

Kľúčové slová: nafta, aditíva, emisie

Podakovanie

Vyslovujeme podakovanie Výskumnému centru AgroBioTech v Nitre za poskytnutie priestorov a zariadení na realizáciu meraní.

SYSTÉM OPTICKEJ KONTROLY VÝROBY KOMPONENTOV PRE ZAVESENIE KOLIES AUTOMOBILOV

VISION SYSTEM BASED PRODUCTION INSPECTION FOR AUTOMOBILE WHEEL SUSPENSION COMPONENTS

NORBERT KOSÁR¹ – RADOSLAV MAJDAN²

Abstract

The work is focused on the application of an optical system, which was designed and applied in one globally known company to replace the already used final inspection using Keyence profilometers on a welding line specialized in welding CDC-RCI shock absorbers for manufacturers such as BMW, Porsche, Bentley and Stellantis. The work included thorough planning, implementation, and long-term testing in serial production, thanks to which we gained the opportunity to reveal and improve undesirable parameters of the application. The planning and design of the optical system began in 2022, it took more than a year until the final handover of the project, as we represented the TPV, quality, maintenance, PLC programmer and sometimes production departments in the work. The optical system was designed to eliminate the need of manual setup and adjusting the profilometers, thus reducing the necessary set-up time, and as we discovered during the tests, the ability to detect defects in mass production. Later, we discovered that the optical system can also be used to detect the presence of components, which further facilitated the setup process and reduced its time. The importance of the application can be seen from larger components such as stabilizers to the smallest such as T-bolts. The most complex and time-consuming part of the work was the implementation of new hardware into the already existing system, which consists of several parts such as the CETA exam, engraving device, code reader, several pneumatic cylinders, and the quantity of sensors.

Key words: Vision System, Machine Vision, Keyence IV, CDC, PLC, damper

1 Úvod

Vizuálna kontrola je výsledkom spracovania svetelných informácií, ktoré sa vnímajú, a spracovávajú v mozgu. Je jedným z hlavných zdrojov údajov skutočného sveta (Sannen a Van Brussel 2012). Informácie vnímané zrakom sa spracovávajú odlišnými spôsobmi na základe špecifických charakteristík, výsledkom procesu analýzy obrazu je získanie zobrazenia objektu. Ľudské bytosti každý deň rozpoznávajú predmety pomocou systému videnia. Tento proces sa robí nevedome (s minimálnou námahou) aj pri nedostatku úplných znalostí alebo popisu predmetu, ktorý sa má rozpoznať. Úloha vizuálnej kontroly rozpoznať predmety a vyhodnotiť ich kvalitu predstavuje jeden z najdôležitejších procesov vo viacerých odvetviach, ako je aj automobilový alebo potravinársky priemysel, pri ktorých je vzhľadom na požiadavky zákazníkov povinné zabezpečiť kvalitu výrobkov. S vizuálnou kontrolou kvality súvisí problematika kontroly predmetov s cieľom odhaliť chyby ako farba, škrabance, praskliny, prítomnosť alebo kontrola povrchov, či majú správnu povrchovú úpravu. Kontrolu kvality

¹Bc. Norbert Kosár, SPU TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, xkosar@uniag.sk

²doc. Ing. Radoslav Majdan, PhD., SPU TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, radoslav.majdan@uniag.sk

zvyčajne vykonávajú odborníci, ktorí však často robia chyby, pretože tento proces môže byť únavný aj pre dobre vyškolených operátorov. Problémy sú zvyčajne spôsobené tým, že pracovné dni inšpektorov sú dlhé a veľa krát monotónne, to vedie k tomu, že niekoľko priemyselných odvetví hľadá alternatívy, ako sa vyhnúť chybám, spôsobené ľudským faktorom. Jednou z alternatív prijatých mnohými priemyselnými odvetviami, aby zostali konkurencieschopné, je podpora štíhlej výroby, v ktorej môžu praktiky synergicky pôsobiť na vytvorenie efektívneho, vysokokvalitného systému, ktorý vyrába hotové výrobky tempom požiadaviek zákazníkov s malým alebo žiadnym odpadom. (Sullivan a kol. 2002; Abdulmalek a Rajgopal 2007). Ďalšou alternatívou je poskytnúť počítaču schopnosť automaticky kontrolovať a rozpoznávať objekty. Použitie počítača spolu s ďalšími mechanizmami, ako sú kamery, senzory, znalosti poskytované ľudským expertom a komplexné algoritmy, umožňuje mať schopný nástroj na automatickú kontrolu kvality produktu. Potom sa automatizácia stáva nevyhnutnou úlohou pri kontrole a rozpoznávaní objektov, aby sa zaručila kvalita produktu.

Cieľom našej práce bolo navrhnúť, realizovať a otestovať v sériovej výrobe z pohľadu spôsobilosti spoľahlivé nahrádzajúce riešenie finálnej kontroly prítomnosti švového zvaru a zváraných komponentov na zvarcoch automobilových tlmičov, pomocou strojového videnia. Doteraz používaná metóda finálnej kontroly založená na LJ sérii Keyence Profilomerov, preukázala menšie nedostatky ktoré viedli neprijemným externým reklamáciám, naša spoločnosť sa rozhodla preskúmať alternatívne možnosti, a nahradiť finálnu kontrolu týchto zvarov v sériovej produkcii. Dôvod prečo sa zvolil optický vyhodnocovací systém bol, že funguje na úplne inej báze ako profilomer, nevyžaduje výškové alebo pozičné nastavenie, čím sa eliminuje manipulácia personálom a zvyšuje OEE. Dodávateľom sa zvolila výrobca Keyence z dôvodov, že v čase realizácie sme už mali optické systémy aplikované od danej spoločnosti, sú partnerským dodávateľom našej organizácie, a z osobných skúseností vieme, že majú nekonkurenčné dodacie časy, zákazníku podporu pričom pracujú s vysokokvalitnou japonskou technológiou.

2 Materiál a metódy

Definícia optického systému

Systém optickej kontroly je časť výrobného procesu, slúži na kontrolu defektov a nedostatkov počas výroby alebo finálnej kontroly. V prípade už existujúceho výrobného procesu sa môže pridať ako samostatná stanica, alebo implementovať na jednu alebo viac staníc. Počas plánovacej fázy nášho optického systému sme mali preddefinované parametre:

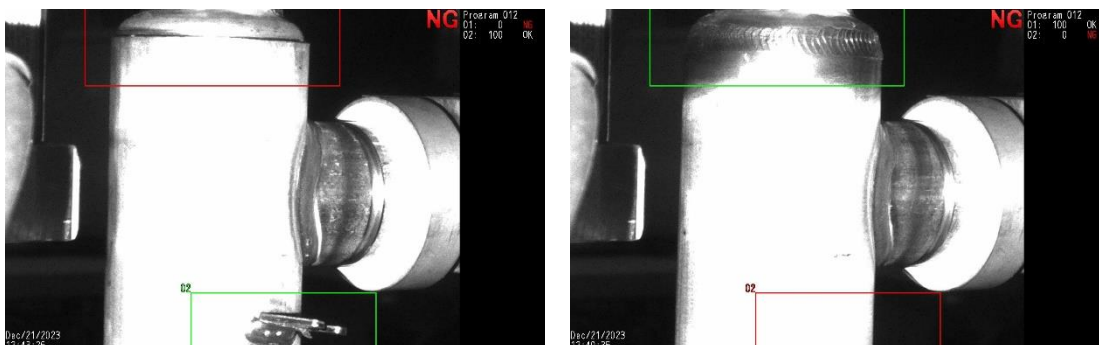
- Nemôže sa pridať dodatočná kontrolná stanica (zvýšenie výrobných cyklových časov),
- Kontrola sa musí uskutočniť v niektorom zo staníc (zníženie manipulačných krokov),
- Detekcia NOK výsledku musí aktivovať už vytvorenú NOK rutinu na danom stroji,
- Eliminovať potrebnosť zasahovať a upravovať optický systém zo strany výroby,
- Zablockovať možnosť vypínania/zapínania/prepínania nepovoleným osobám,
- Potrebnosť Poka-Yoke kontroly, s možnosťou deaktivácie v prípade poruchy systému,
- Monitorovacie zariadenie, pre vizuálnu spätnú väzbu z optického systému,
- Archivovanie OK/NOK/Threshold snímok,
- Pomocou archívu neustále zlepšovanie presnosti optického systému,
- Oboznámiť a zaškoliť nový systém operátorom/ zriaďovačom/ majstrom,
- Vytvoriť zriaďovací postup, pracovný postup, TPM plán, aktualizovať dokumentácie.

Definícia defektov s možnosťou kontroly optickým systémom

Švový zvar – je najdôležitejší parameter, ktorý sa musí kontrolovať na konci zváracieho procesu, jej prítomnosť je kritický na kvalitu, keďže diel bez švového zvaru sa považuje za

zmontovateľný tlmič. V prípade neprítomnosti zvaru, sily pôsobené na rúru a dno sú postačujúce aby tlmič bol naplniteľný, ale v tomto prípade je iba otázka času, kedy tlmič “praskne“, čo zaznamená že dno a rúra sa oddelia, pričom tlmiaca kvapalina úplne vytečie.

Komponenty – kontrola prítomnosti komponentov je podobne dôležitá časť finálnej kontroly, hlavný rozdiel medzi komponentmi a švovým zvarom je, že v prípade neprítomnosti napr. držiaka diel sa považuje za nezmontovateľný, preto aj keď sa chybný diel dostane k zákazníkovi vo finálnom zmysle tlmič nie je možné namontovať do vozidla. Z pravidla optických systémov, sa dá všetko kontrolovať strojovým videním, ale ak toto okolnosti neumožňujú, resp. nevyžadujú, radi sa držíme analógovo indukčným snímačom na detegovanie prítomnosti. Optické snímanie prítomnosti vyžadujú komponenty zvárané v kroku č. 9, keďže po tomto procese už nenasleduje ďalšie zváranie, ale finálna kontrola po chladení polotovaru.



Obr. 1 Prítomnosť švového zvaru a držiaka na kábel
Fig. 1 Presence/ absence of seam welding and cable holder

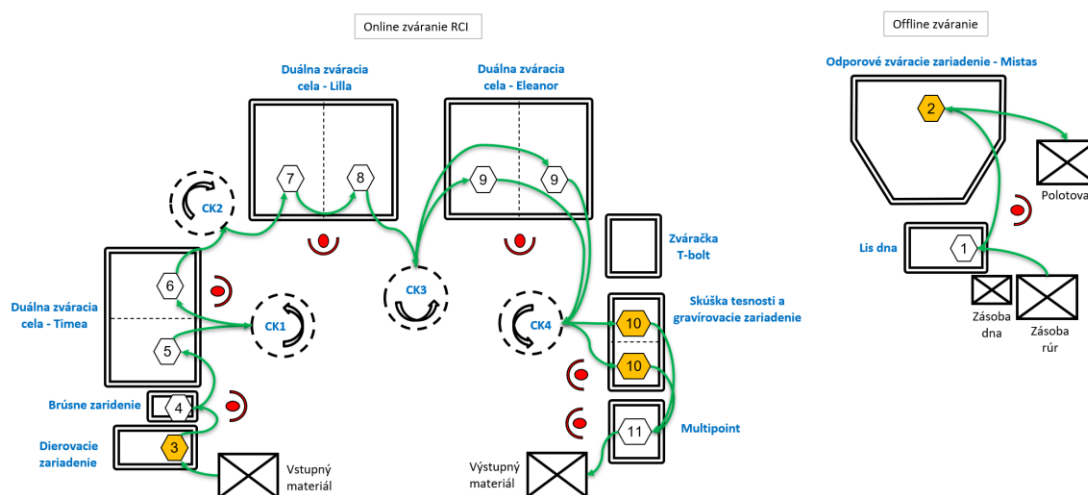
Miesto kontroly defektov

Zvolili sme si miesto, kde sa optický systém bude realizovať, na obrázku č. 1 sú oranžovou farbou označené možné miesta na zváracíjkej linke RCII.

Bod 2 – odporové zvaracie zariadenie Mistas

Bod 3 – dierovacie zariadení

Bod 10 – skúška tesnosti a gravírovacie zariadenie



Obr. 2 Materiálový tok na zváracíjkej linke RCII

Fig. 2 Material flow on welding line RCI1

Miesto aplikácie - Skúška tesnosti a gravírovacie zariadenie

Skúška tesnosti a gravírovacie zariadenie je špecifický stroj navrhnutý, konštruovaný a vyrobený v spolupráci medzi firmou ZF Slovakia a nemeckým výrobcom QTM GmbH. Každá linka obsahuje jeden takýto stroj, ktorá sa umiestňuje na konci linky ako forma 100 %-nej finálnej kontroly. Vyrábajú sa v jedno a dvoj stranných verziách, potrebnosť dvojstanice určuje cyklový čas linky. Stroj funguje na nasledovnom pracovnom princípe:

Hotový zvarenec sa nasunie na trň, ktorý sa zaklopí. Podľa navoleného programu sa aktivujú parametre zadefinované v receptúre, čiže horný valec zafixuje pozíciu, bočné hermeticky uzavreté tlmiče, ktoré sa naplnia stlačeným vzduchom. Ak tlmič je schopný udržať zadefinovaný tlak určitý čas bez poklesov, je schopný udržať aj tlmiacu kvapalinu alebo olej. Z pohľadu montáže, diel je nezmontovateľný ak neobsahuje DMC kód, preto sa gravírovací cyklus aktivuje až po splnení CETA a iných zadefinovaných podmienok ako sú aj výsledky z IV optických snímačov.

Faktory rozhodujúce pri voľbe optického snímača Keyence IV3-500ma

- V čase návrhu aplikácie sme už mali zrkadlový snímač série IV v našom závode,
- Dôkladná konzultácia s technickou podporou Keyence,
- Konzultácia s nemeckými kolegami skúsenými v oblasti strojového videnia,
- Testy v sériovej výrobe v offline režime vďaka možnosti zapožičania hardvéru,
- Nekonzistentná technická podpora, dodacie časy a profesionálny prístup,
- Jednoduchosť a všestrannosť ovládacieho softvéru IV navigátor 3.

Po voľbe vhodného optického systému na našu aplikáciu sme zvolili špecifikáciu snímača, keďže IV séria ponúka mnoho možností a príslušenstva. Pri výbere konkrétneho modelu sme brali do úvahy:

- Optický systém/snímač – Standard KEYENCE IV3-500ma,
 - Rozsah a vzorné pole – 500, štandardná vzdialenosť,
 - Osvetlenie – blízko infračervená,
 - Farebná verzia – MA, monochromatická optik.
- Dodatočné osvetlenie: KEYENCE IV3-L5M,
- Konštrukcia:
 - Pre horné RT a LT: kombinácia Haberkorn hliníkových profilov a Nastaviteľná konzola OP-88636,
 - Pre spodné RB a LB: kombinácia Haberkorn hliníkových profilov a komponentov z Balluff flexibilnej montážnej sady
- Komunikačné káble: Ethernet (M12 X-kódovaný 8-kolíkovaný) OP-88665 (5 m)
- Napájací kábel: 12-pinový OP88655 (5 m)

Konštrukcia a umiestnenie zariadenia optického systému

Po zvolení miesta pre kamery sme sa zamerali na konštrukciu, dôkladne sme si preštudovali všetky varianty dielov ktoré prechádzajú cez skúšku tesnosti. Konkrétne výškové pozície, kde sa komponenty nachádzajú počas finálnej kontroly sme si zapísali, aby sme našli ideálne miesto na umiestnenie optických jednotiek.

Spísali sme parametre ktoré sme potrebovali zväziť pri návrhu umiestnení kamerových snímačov:

- Pozíciu x a y-ovej osi švového zvaru všetkých variantov so švovým zvarom

- Pozície komponentov na dieloch ako: držiaky, stabilizátory, T-bolty,
- Možné pozície na montáž:

- mimo pracovnej trajektórie,
- mimo zriaďovacej trajektórie,
- mimo signalizačných alebo nastavovacích panelov.

Výber konkrétneho modelu IV3 kamery prebiehalo paralelne s výberom vhodnej pozície pre optické snímače v spolupráci s technickou podporou Keyence.

Potom ako sme mali zvolené vhodné pozície pre kamery RT, RB, LT a LB, pre horné kamery RT a LT, sme potrebovali pridať hliníkový profil na prednú časť stroja. Vhodnú pozíciu sme zvolili podľa parametrov:

- v strede na oboch staniciach 1 a 2, aby kamera videla symetricky na komponenty umiestňujúce sa na pravej a ľavej strane v skúške tesnosti,
- výšku konzoly sme zvolili tak aby, sa nemohla stať kolízia medzi kamerou a operátorom ani pri nadpriemernej výške operátora.

Dĺžku konzoly sme zvolili tak, aby kamera bola namontovaná na koniec, videla čo najviac z predného pohľadu tlmíča, s tým, aby operátor nevedel vykryť ani časť obrazu v prípade, že stojí pod kamerou, ale neprerušuje bezpečnostnú svetelnú clonu.

Pre spodné kamery RB a LB sme museli doplniť konzolu medzi pravú a ľavú kostru do zadnej časti stroja, keďže by sa nemalo prevrtávať a montovať na ochranné plexi sklo. Keďže umiestnenie sme už mali, ale konečnú výšku a uhol kamery ešte nie, snažili sme sa držať sa univerzálnym riešením, ktoré sa nám neskôr podarilo vylepšiť pri identickom projekte RCI2.

Keďže hlavná kostra stroja sa skladá z iného typu hlinových profilov Haberkorn ako typ, ktorý máme bežne na sklade, museli sme kombinovať profily, uholníky a drážkové matice.

Elektrická a komunikačná inštalácia zariadenia

Súčasťou práce bolo aj zapojenie elektrických vodičov a vytvorenie PROFINET prepojenia medzi optickými systémami a PLC-m. Keďže rozvádzač bol preplnený, a rozmerovo poddimenzovaný, museli sme doplniť vodiace DIN lišty na ľavú stranu zo strany rozvádzača, toto nám umožnilo nainštalovať 24 V zdroj a PROFINET spínač. Ďalej sa musela spraviť diera pod spínač s priemerom 50mm, cez ktorú sme vedeli dostať 4 silové/signálové vodiče a 4 PROFINET vodiče. Obe typy vodičov obsahujú jedinečné koncové spoje, ktoré sú špecifické pre výrobcu, alebo v niektorých prípadoch sú špecifické pre priemyselné štandardy. Zo signálových vodičov sa využil iba hnedý (+24 V) a modrý (0 V), keďže naše ani doplnené PROFINET spínače nepodporujú PoE protokol. Práce sa vykonávali cez Vianočnú celozávodnú odstavku. Náš systém sa skladá z:

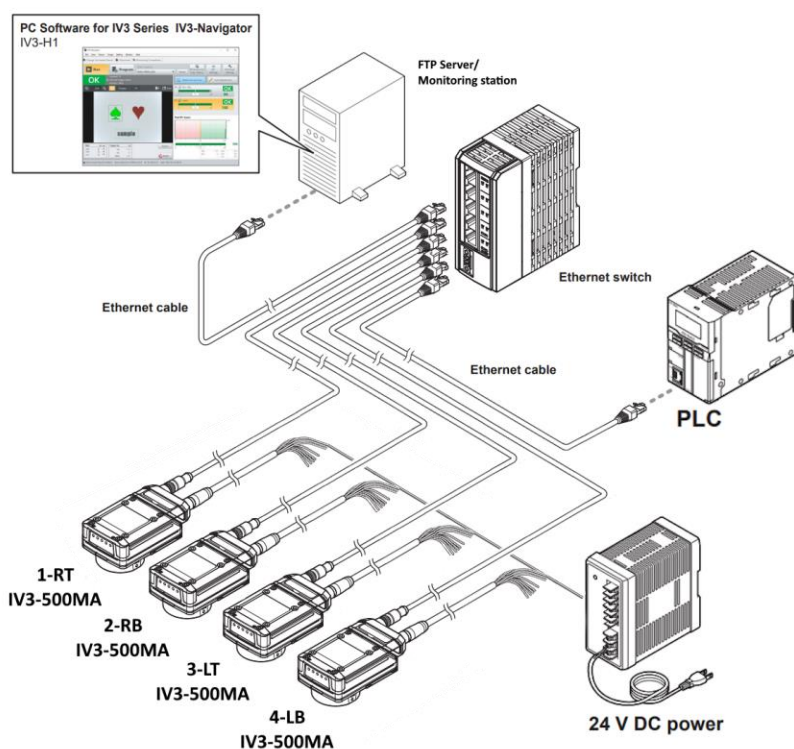
1. Weidmüller PRO ECO 240W 24V 10A primyslený zdroj,
2. PheonixContact PROFINET FL Switch 2408, priemyselný spínač,
3. 4x OP-88655, 12-pinový, 5 m napájací kábel
4. 4x OP-88665, M12-RJ45, 5 m ethernetový kábel
5. Trojfázový prúdový chránič s ističom
6. PLC Siemens ET 200SP
7. PheonixContact PROFINET FL Switch SFNB 8TX, priemyselný spínač.

Použité softvéry a PLC systém

- IV navigátor 3 - 1.30.52. (06/2023),
- SIMATIC STEP 7 Tia Portal - v16, update 6 (06/2022),
- SIMATIC STEP 7 WinCC – v16, update 6 (06/2022).

- SIMATIC ET 200SP – 6ES7512-1SK01-0AB0

Siemens SIMATIC ET 200SP je distribuovaný I/O systém, ktorý ponúka škálovateľnosť a flexibilitu na pripojenie procesných signálov k centrálnemu ovládaču cez PROFINET. Tento systém je určený na inštaláciu na montážnu lištu a je známy svojim kompaktným dizajnom, jednoduchou obsluhou a vysokým výkonom. SIMATIC ET 200SP komunikuje cez PROFINET, čím zabezpečuje vysokorýchlostný prenos dát a vyšší výkon v porovnaní s konvenčnými systémami. Je to spoľahlivé riešenie pre distribuované I/O aplikácie v rôznych priemyselných odvetviach, ktoré poskytuje efektívne a efektívne pripojenie signálu k centrálnemu riadiacemu systému. V prípade našej aplikácie PLC jednotka už bola zvolená, ale pracovala sa nej neuveriteľne dobre a bez hocijakých problémov.



Obr. 3 Zjednodušená schéma zapojenia optických systémov
Fig. 3 Simplified wiring diagram of optical systems

3 Výsledky a diskusia

Implementácia Keyence IV3 optických systémov v TiaPortal v16

Hardvérová konfigurácia - Z lokálneho servera sme stiahli aktuálnu verziu zálohy stroja, po otvorení v programe Tia Portal v16 sme sa uistili, že máme aktuálnu verziu, s ktorou sme mohli začať pracovať. Nainštalovali sme GSD súbory (výhoda týchto systémov je, že ak sa v budúcnosti pripojí niekto, kto nemá tieto GSD súbory nainštalované, PLC požiadala a vykoná inštalácie aj späť). Po pridaní nových zariadení do hardvérovej konfigurácii, sme nastavili PROFINET meno a adresu po jednom pre všetky štyri snímače (je veľmi dôležité, že v prípade omylu pripojenie nebude úspešné). Po úspešnom pripojení sme začali programovať.

Bloky a funkcie programu – presný program a jeho bloky nájdete v diplomovej práci: Systém optickej kontroly výroby komponentov pre zavesenie kolies automobilov – Bc. Norbert Kosár, doc. Ing. Radoslav Majdan, PhD., - 2024.

Softvérové nastavenie a príprava GSD súborov - Zvolili sme PROFINET komunikáciu medzi koncovými hardvérmí a PLC-m, preto snímače požadovali nastavenie cez program IV navigátor. Keyence je výnimočný aj v tom, oproti napr. výrobcovi Balluff, že ovládacie softvéry sú bezplatne dostupné po registrácii, bez limitu použitia.

Bloky a funkcie programu – presný program a jeho bloky nájdete v diplomovej práci: Systém optickej kontroly výroby komponentov pre zavesenie kolies automobilov – Bc. Norbert Kosár, doc. Ing. Radoslav Majdan, PhD., - 2024.

HMI grafické rozhranie aplikácie – HMI obrázky sme vytvárali pomocou podprogramu WinCC flexible v prostredí TIA Portal v16, ktoré tvoria kľúčovú časť aplikácie, keďže umožňujú manuálne: zapínanie, vypínanie, prepínanie, spúšťanie a zmenu programu.

Ďalej zobrazujú údaje ako počet OK/NOK kusov, stav posledného výsledku, aktuálne zvolený program a Poka-Yoke bypass funkciu. Okrem vytvorenia nových obrázkov, zobrazenie nastavenia receptúr sme museli upraviť, pridali sme funkcie automatických zapnutí kamier. Potom ako sme mali vytvorené HMI obrázky, upravili sme receptúry podľa pridaných zmien, čo znamená, že všetky receptúry (58) ktoré v čase prepisu existovali sme museli skopírovať, pridať zmeny a znovu zapísať do pamäte PLC. Táto časť je kritická, keďže malá chyba v zápise, alebo neúspešný prepis z hocikakého dôvodu môže „rozbiť“ receptúry. Oprava je možná iba v prípade, že existuje záloha.

Tiež sme zapísali mená zvolených receptúr pre existujúce programy, toto bolo potrebné aby aktuálne zvolený program vypísal PN na obrazovke pri obrazovke manuálnych funkcií. Programy, ktoré sa vytvoria v budúcnosti nepotrebujú túto úpravu, keďže PN zapisujeme v okne nastavenia receptúr.

Tvorba IV programov

Predpríprava dielov – Na začatie tvorby IV programov sme potrebovali minimálne 1 OK a 1 NOK kus s určenými parametrami, v prípade detekcie držiakov, stabilizátorov, T-boltov sme pozbierali diely pred posledným zväracím procesom, keďže našou hlavnou úlohou bolo detegovať komponenty zvärané v poslednom zväracom pracovnom postupe, alebo ak sa našiel potrebný diel medzi šrotom a vadou, ktorá neovplyvňuje optickú detekciu. Z dielmi so švovým zvarom to bolo trochu zložitejšie, keďže tieto vzorky sú vysoko rizikové. Spoje bez švového zvaru sme niekedy ručne zalisovali pomocou medeného kladiva, alebo zobrali priamo zo zväračky Mistas po strojnom lisovaní. Bolo veľmi dôležité aj tieto diely dôkladne označiť napr. zafarbením istej časti červenou farbou.

Postup tvorby IV programu – Tvorba programu pozostáva z viacerých možností. Už od prvých krokov nám IV navigátor ponúka režim so sprievodcom a bez. Možnosti sú:

1. Zvolíme štandardný alebo triediaci režim,
2. Nastavíme základné parametre snímania manuálne, alebo pomocou AI funkcie, ktorá nám navrhne viac možností, z ktorých si vieme vybrať jeden, popr. upraviť to,
3. Zvolíme vnútorný alebo vonkajší zdroj spúšťacieho signálu (Trigger),
4. Ak treba doladíme nastavenia pomocou osvetlenia, digitálnym priblížením alebo zaostrením,
5. Spravíme a uložíme hlavný obrázok (Master Image),

6. Zvolíme si jeden alebo viac nástrojov na optickú kontrolu,
7. Zvolíme alebo vytvoríme logiku výstupu,
8. Uložíme program a snímač prepne do režimu „RUN“ manuálne alebo príkazom.

Doučovanie IV programov – Funkcia „Additional learning“ nám umožňuje, aby sme hocikedy vedeli jednoducho pridať ďalšie fotky k IV databáze, čím vieme neustále zlepšovať vyhodnocovací algoritmus pre každý jeden program. Fotky na učenie môžeme pridávať z pamäte snímačov, zo súborov alebo z uložených položiek.

Dodatočné úpravy aplikácie

Monitorovacia stanica – Zaručuje vizuálnu odozvu operátorom vo forme posledného snímku, ktorý sa spravil. Monitorovacia stanica umožňuje, aby nastavovač, majster alebo technológovia mali prístup k nastaveniam cez vzdialený prístup bez toho, aby sa nachádzali na linke, vo výrobnej hale, majú dokonca prístup aj z domu. Keyence ponúka hotové riešenie vo forme integrovaného panelu, ale tento spôsob neponúka najdôležitejšiu funkciu ktorú používame 24 hodín denne, čím je monitorovací režim. Táto funkcia je zabudovaná v programe IV navigátora, umožňuje sledovanie až 16 kamier v tom istom čase, na jednej obrazovke.

Poka-Yoke kontrola – V našom prípade implementovať Poka-Yoke kontrolu znamenalo to, aby PLC nespustil automatický režim stroja, dokým sa nevloží PY diel – čiže umelo vytvorený zlý diel. Tento proces je potrebný vykonať po každej výmene programu, alebo pri reštartovaní stroja. PY kontrola na IV snímače sa líši od bežných PY kontrol hlavne v tom, že vo väčšine prípadov parametre dielov sa kontrolujú pomocou analógových meracích snímačov, pri ktorých jednotlivé stavy medzi OK a NOK dielom určujú nastavené hodnoty a tolerancie v receptúrach.

Archív na FTP a cloud server – Séria IV3 ponúka možnosť archivácie v štyroch formách, pre náš závod je najvýhodnejšia forma archivácia na FTP server. Jedná sa o jednoduché nastavenie adresy a hesla kde sa fotky a dáta ukladajú. Z lokálneho FTP servera, ktorý beží na počítači a je zodpovedný za monitorovanie, sme posielali údaje ďalej na cloudový jump-server, a ďalej na cloud server S:. Medzikroky boli potrebné kvôli oddeleniu výrobnéj a kancelárskej siete, podobne ako s prísnyimi firemnými predpismi ohľadom kyber bezpečnosti. Server S: umožňuje 24 hodinový prístup povoleným osobám. Identifikácia chýb ešte pred vznikom pomáha majstrom a technológom odhaliť nedostatky, napr. potreba preškoliť personál, alebo nastaviť dodatočné opatrenia.

MSA testy spôsobilosti

Pred oficiálnym zavedením optického systému na kontrolu prítomnosť švového zvaru a komponentov museli prebehnúť testy spôsobilosti a postupné schvaľovanie jednotlivých receptúr na základe už hotových IV programov. Úprava receptúr nám umožnila, aby sme systémy optickej kontroly mohli postupne zavádzať a využívať súbežne s pôvodným systémom konturo-grafickým odmeriavaním. MSA testy spôsobilosti bolo potrebné vykonať, aby sme dostali všetky povolenia od oddelenia kvality na úplné nahradenie pôvodného systému optickým vyhodnocovacím systémom. Okrem oddelenia kvality aj oddelenia TPV, údržba a výroba museli podpísať oficiálny dokument v ktorom súhlasili so zmenami, a mali možnosť sa vyjadriť alebo navrhnúť obavy súvisiace s novým systémom. Počas analýzy meracích a skúšobných zariadení sme sa riadili podľa DLE 11-07 lokálnej smernice, Revízný stav 02. Táto smernica stanovuje postup pre zisťovanie a posudzovanie schopnosti meracích

a skúšobných systémov z hľadiska metodiky MSA. Platnosť je stanovená od 23-05-2023. MSA testy sa robili na základe dvoch metodík:

1. MSA 1 – 1 kus, 1 operátor, 50-krát,
2. MSA 2 – 10 kusov, 3 operátory, 10-krát.

Po odovzdaní systému bolo potrebné vypracovať kompletne adaptačné školenie pre každého kto sa v nejakej forme dostáva do interakcie s novým systémom. Jednotlivé školenie boli určené pre: technologov, majstrov, zriaďovačov/ operátorov, údržbárov a kvalítarov. Vďaka úspechom ktoré sme dosiahli počas riešenia problematiky, sa ďalšie projekty začali plánovať do budúcnosti.

Cieľom našej práce bolo navrhnuť a realizovať spoľahlivé nahrádzajúce riešenie finálnej kontroly prítomnosti švového zvaru a zváraných komponentov na zvarencoch automobilových tlmičov, pomocou strojového videnia. Vo výskume od Herlambanga, Setiawana a Ikatrinisari (2021), sa potvrdili totožné výsledky ohľadom problematiky predĺžených zriaďovacích časoch, ktoré sa úspešne zredukovali po aplikácii IV jednotiek vo výrobe. V našom prípade však optická technológia nie len zredukovala čas potrebný na nastavovanie komponentových prítomnostných snímačov a profilomeru, ale kompletne eliminovala to. Počas výskumu autori (García-Alcaraz, Maldando-Macías, Cortes-Robles, 2014), potvrdili fakt že v priemyselnej optickej technike si nestačí len zaobstarať drahé vybavenie a špičkové zariadenie na optickú kontrolu kvality, ale k optimálnemu fungovaniu je potrebná vyššia znalosť v odbore optických systémov. V našom výskume sme prišli na podobné zistenie, aj keď najnovšia, vylepšená funkcia IV3 série - AI Learn uľahčuje proces tvorby IV programov a voľbu vhodných prístrojov.

4 Záver

Výskumná časť práce sa venuje problematike zlepšovania výrobného procesu, pričom hlavným cieľom práce bolo navrhnuť, realizovať a aplikovať nový optický systém na finálnu kontrolu zváraných spojov a komponentov. Optický systém s umelou inteligenciou mal celkom nahradiť konturo-grafický profilomer, ktorý sa preukázal v minulosti, že nie je na 100% dôveryhodný, keďže sa zistili nedostatky vzhľadom na spôsobilosť pri množstve variáciách.

Na báze dlhodobého skúmania, archivovania a učenia sme dosiahli, aby aplikované optické systémy dokázali vyhodnotiť prítomnosť švového zvaru na takmer dokonalú úroveň, a pritom priniesli množstvo výhod oproti pôvodnému riešeniu. Ako prvé nevyžadujú žiadne nastavenie operátorom, čo zvyšuje OEE. Keďže Keyence IV séria dokáže vyhodnocovať prítomnosť hocikákeho viditeľného komponentu, umožnilo nám to sledovať aj prítomnosť iných zváraných komponentov okrem švového zvaru. Kamerový systém na kontrolu švového zvaru a komponentov opisovaný v diplomovej práci bol úspešne implementovaný do procesu výroby v priebehu rokov 2023-2024 a spoľahlivo plní svoju funkciu dodnes, pričom sa stále zlepšuje.

5 Literatúra

ABDULMALEK, F. & RAJGOPAL, J., 2007. Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study, In: *International Journal of Production Economics* [online], vol. 107(1), p. 223-226 [cit. 2024-03-27]. ISSN: 0925-5273. Dostupné na: <<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.09.009>>.

DLE 11-07. 2023. Lokálna smernica. ZF Slovakia a.s., produktová rada elektrifikované moduly hnacieho ústrojenstva (EJ), Analýza meracích a skúšobných zariadení.

GARCÍA-ALCATRAZ J. L., CORTEZ-ROBLES G. & MALDONADO-MARCÍAS., 2014. Lean Manufacturing in the Developing World, In: *Methodology, Case Studies and Trends from Latin America* [online], vol. [cit. 2024-03-31]. ISBN: 978-3-319-04950-2. Dostupné na: <<https://www.researchgate.net/publication/286111321>>.

HERLAMBANG, H., IKATRINASARI Z. F. & SETIAWAN K., 2021., SINGLE-DIGIT TIME: TOWARD A QUICK CHANGE-OVER PROCESS WITH THE SMED METHOD USING THE VISION SYSTEM In: *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications* [online], [cit. 2024-03-31]. ISSN: 2620-1607. Dostupné na: <<https://www.researchgate.net/publication/356283302>>.

KEYENCE corp. 2023. IV Navigator 3 [softvér]. Verzia 1.30.52, [prístup 2023-06-01]. Dostupné na: <[\[For IV3 Series\] Software for sensors \(IV3-G120, IV3-500CA/500MA/600CA/600MA\)](#)>.

KEYENCE corp., et al. 2023. *IV3 Series User's Manual (PC Software)* [online]. [cit. 2024-03-26]. Počet strán 28. Dostupné na: <[IV3 Series User's Manual \(PC Software\)](#)>.

KEYENCE corp., et al. 2023. *IV3 Series Vision Sensor with Built-in AI Catalogue* [online]. [cit. 2024-03-26]. Počet strán 450. Dostupné na: <[IV3 Series Vision Sensor with Built-in AI Catalogue](#)>.

SANNEN, S. & VAN, B., 2012. A multilevel information fusion approach for visual quality inspection. In: *Information Fusion*, [online], vol. 13(1), p. 48-59 [cit. 2024-03-27]. ISSN: 1566-2535. Dostupné na: <<https://doi.org/10.1016/j.inffus.2011.02.005>>.

SULLIVAN, W., MCDONALD, T., & VAN A. E., 2002. *Equipment replacement decisions and lean manufacturing*. In: *Robotics and Computer Integrated Manufacturing* [online], vol. 18(3-4), p. 255-265., [cit. 2024-03-27]. ISSN: 0736-5845. Dostupné na: <[https://doi.org/10.1016/S0736-5845\(02\)00016-9](https://doi.org/10.1016/S0736-5845(02)00016-9)> .

Súhrn

Práca je zameraná na aplikáciu optického systému, ktorý bol navrhnutý a aplikovaný v jednej celosvetovo známej spoločnosti s cieľom nahradiť už používanú výstupnú kontrolu pomocou profilomerov Keyence na zváracej linke špecializovanej na zváranie tlmičov CDC-RCI pre výrobcov ako BMW, Porsche, Bentley a Stellantis. Práca zahŕňala dôkladné plánovanie, implementáciu a dlhodobé testovanie v sériovej výrobe, vďaka čomu sme získali možnosť odhaliť a zlepšiť nežiaduce parametre aplikácie. Optický systém bol navrhnutý tak, aby eliminoval potrebu manuálneho nastavovania a posúvania profilomerov, čím sa skrátil potrebný čas nastavenia a ako sme zistili počas testov, schopnosť odhaliť chyby v sériovej výrobe. Neskôr sme zistili, že optický systém je možné použiť aj na detekciu prítomnosti komponentov, čo ešte viac uľahčilo proces nastavovania a skrátilo jeho čas. Dôležitosť aplikácie možno vidieť od väčších komponentov, ako sú stabilizátory, až po tie najmenšie, ako sú T-skrutky. Najzložitejšou a časovo najnáročnejšou časťou práce bola implementácia nového hardvéru do už existujúceho systému, ktorý pozostáva z viacerých častí ako je skúška CETA, gravírovacie zariadenie, čítačka kódov, niekoľko pneumatických valcov a množstvo senzorov.

Kľúčové slová: optický systém, strojové videnie, Keyence IV, CDC, PLC, tlmič

HODNOTENIE KVALITY PROCESU OSÁDZANIA A TESTOVANIA DOSIEK PLOŠNÝCH SPOJOV QUALITY ASSESSMENT OF ASSEMBLY PROCESS AND TESTING OF CIRCUIT BOARDS

OLIVER KOVÁCS¹ – VIERA KAŽIMÍROVÁ²

Abstract

This study investigates the quality management practices within the manufacturing environment, focusing on the production processes of two key products, labeled as Product 1 and Product 2. The research methodology involves a comprehensive analysis of data, implementation of quality control tools such as Pareto analysis, histograms, and statistical process control methods, and presentation of findings regarding areas for improvement. Results indicate significant opportunities for enhancing quality and efficiency in the manufacturing processes. The proposed recommendations include the implementation of rigorous quality monitoring from the initial stages of production, advanced measurement tools integration, and structured training programs for employees. Overall, this study highlights the importance of continuous improvement efforts to maintain competitiveness and meet customer requirements in the manufacturing industry.

Key words: quality, process, capability, Pareto analysis, histogram, control chart

1 Úvod

Prax riadenia kvality zohráva v súčasnosti kľúčovú úlohu. Organizácie sa usilujú splniť očakávania zákazníkov a zároveň udržať si konkurenčné výhody.

Hayes (2021) zdôrazňuje význam implementácie spoľahlivých opatrení na kontrolu kvality s cieľom zabezpečiť spoľahlivosť výrobkov a spokojnosť zákazníkov, avšak existujú medzery v poznatkoch o konkrétnych výzvach a príležitostiach na zlepšenie vo výrobných procesoch, najmä pokiaľ ide o výrobu komplexných komponentov.

V tomto kontexte má táto práca za cieľ posúdiť účinnosť postupov riadenia kvality vo výrobnom prostredí so zameraním na identifikáciu oblastí na zlepšenie vo výrobných procesoch dvoch kľúčových produktov. Využitím etablovaných nástrojov a metodológií kontroly kvality sa táto práca snaží prispieť k existujúcemu poznaniu poskytnutím konkrétnych poznatkov, ktoré umožnia zvýšiť kvalitu a efektívnosť výrobných operácií. Metodika zahŕňa komplexný prieskum využitia analytických nástrojov, ako je Paretova analýza, histogramy a vývojové diagramy, s cieľom odhaliť hlavné zdroje variability a nekvality v procesoch výroby (Walker et al., 2019).

Hlavným zámerom tejto štúdie nie je iba identifikácia problémov, ale aj navrhnutie konkrétnych opatrení na ich odstránenie. Na základe analýzy budú predložené odporúčania pre optimalizáciu výrobných procesov, s cieľom dosiahnuť výrazné zlepšenie kvality a efektívnosti výrobného prostredia.

¹Bc.Oliver Kovács, SPU TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, xkovacso@uniag.sk

²doc. Ing. Viera Kažimírová, PhD., SPU TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, viera.kazimirova@uniag.sk

Celkový prístup a metodológia tejto práce sa zameriavajú na systematické zhodnotenie výrobných procesov a identifikáciu konkrétnych oblastí potenciálneho zlepšenia, s cieľom posilniť konkurenčnú pozíciu spoločnosti na trhu.

2 Materiál a metódy

V práci sa zaoberáme kvalitou dvoch výrobkov. Tieto výrobky označíme ako výrobok 1 a výrobok 2.

Výrobok 1 je snímač, ktorý monitoruje srdcovú činnosť používateľov nepretržite po celý deň. Tento snímač sleduje rôzne parametre - srdcový tep, rytmus a ďalšie relevantné údaje. Dáta, ktoré snímač zaznamenáva, sú prenášané buď priamo lekárovi, ktorý sleduje pacienta, alebo sú dostupné používateľovi prostredníctvom aplikácie, ktorá je prepojená s týmto zariadením pomocou technológie Bluetooth.

Výrobok 2 je solárny inverter. Je kľúčovým komponentom celého solárneho systému, pretože transformuje výstupnú energiu zo solárnych panelov na formu energie, ktorú môžeme prakticky využívať v domácnostiach alebo na pracoviskách. Solárny inverter pracuje tým spôsobom, že konvertuje jednosmerný prúd generovaný solárnymi panelmi na striedavý prúd, ktorý je pre nás vhodný a použiteľný (Biermeier a Tynan, 2013).

Na vyhodnocovanie nameraných údajov sme používali program Minitab (Minitab, 2024). Je to sofistikovaný softvér, ktorý poskytuje používateľom nástroje na štatistickú analýzu a vizualizáciu dát. Jeho fungovanie je založené na tom, že umožňuje používateľom načítať dáta do prostredia programu a aplikovať na ne rôzne analytické metódy a techniky. V našom prípade sme ho využili na vytvorenie Paretovej analýzy a histogramu, čo sú dve kľúčové metódy v rámci riadenia kvality a analýzy dát. Minitab automaticky zobrazuje hodnoty C_{pk} na histogramoch, čo poskytuje dodatočný pohľad o stabilite a presnosti nášho procesu.

Paretova analýza je metóda, ktorá pomáha identifikovať a prioritizovať problémy, alebo príčiny problémov, podľa ich výskytu alebo vplyvu. Minitab umožňuje jednoducho vytvoriť Paretove grafy, ktoré vizualizujú podiel každej príčiny na celkovom probléme.

Histogramy sú užitočné pre vizuálne zobrazenie distribúcie dát a skúmanie tvaru a charakteristík distribúcie. Minitab umožňuje užívateľom vytvárať histogramy pre rôzne premenné a dátové sady, čo im pomáha lepšie pochopiť ich dáta a identifikovať vzory alebo odchýlky.

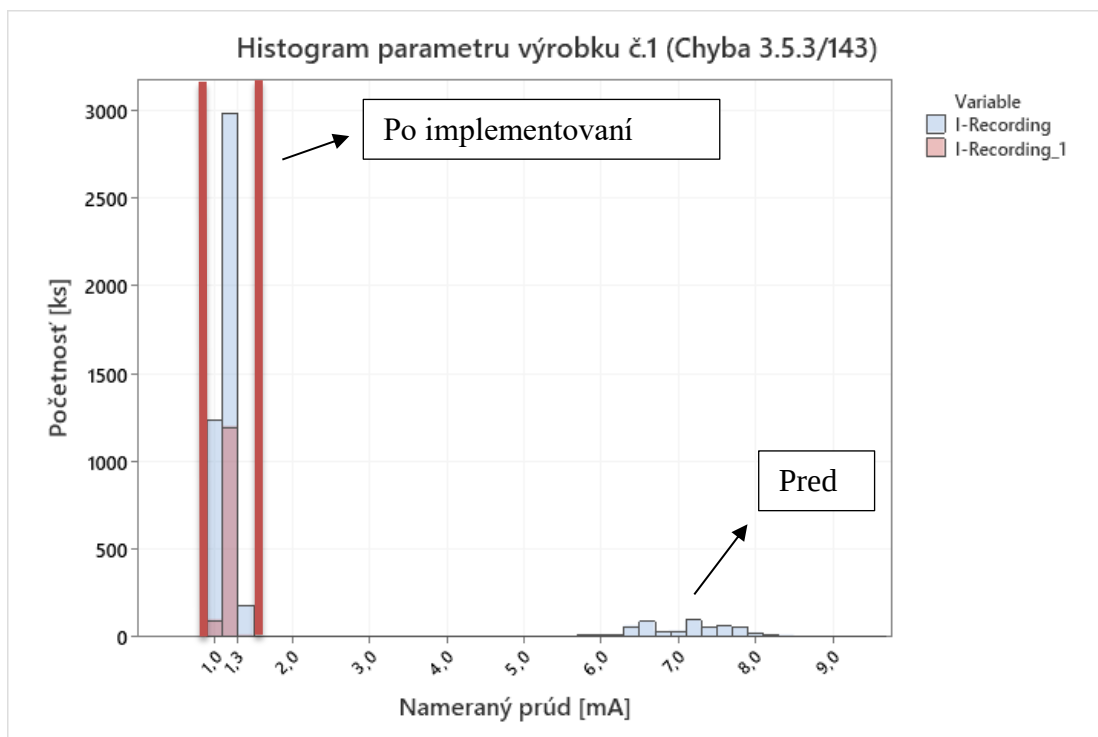
Kľúčovým ukazovateľom pri výrobku je index C_{pk} , ktorý naznačuje schopnosť procesu. Index spôsobilosti procesu (C_{pk}) sa používa na meranie schopnosti procesu vyrábať produkt v rámci špecifikácií definovaných zákazníkom. Inými slovami, tento nástroj sa používa na meranie schopnosti vyrobiť produkt v rámci zákazníkom definovaného tolerančného rozsahu. Pomáha odpovedať na otázku, ako blízko je proces k danému cieľu a nakoľko je konzistentný s priemernou výkonnosťou tohto procesu. Okrem najlepšieho scenára pre existujúci proces môže poskytnúť aj odhady výkonnosti budúcich procesov za predpokladu, že výkonnosť je v priebehu času konzistentná (Pannell, 2022).

C_{pk} je matematický nástroj, ktorý sa využíva na zhodnotenie, či je proces schopný splniť dané špecifikácie. Hodnotí polohu priemeru súboru údajov vzhľadom k špecifikáciám a taktiež mieru variácie v procese.

Pre výpočet C_{pk} v našom prípade sme použili nasledovný vzťah:

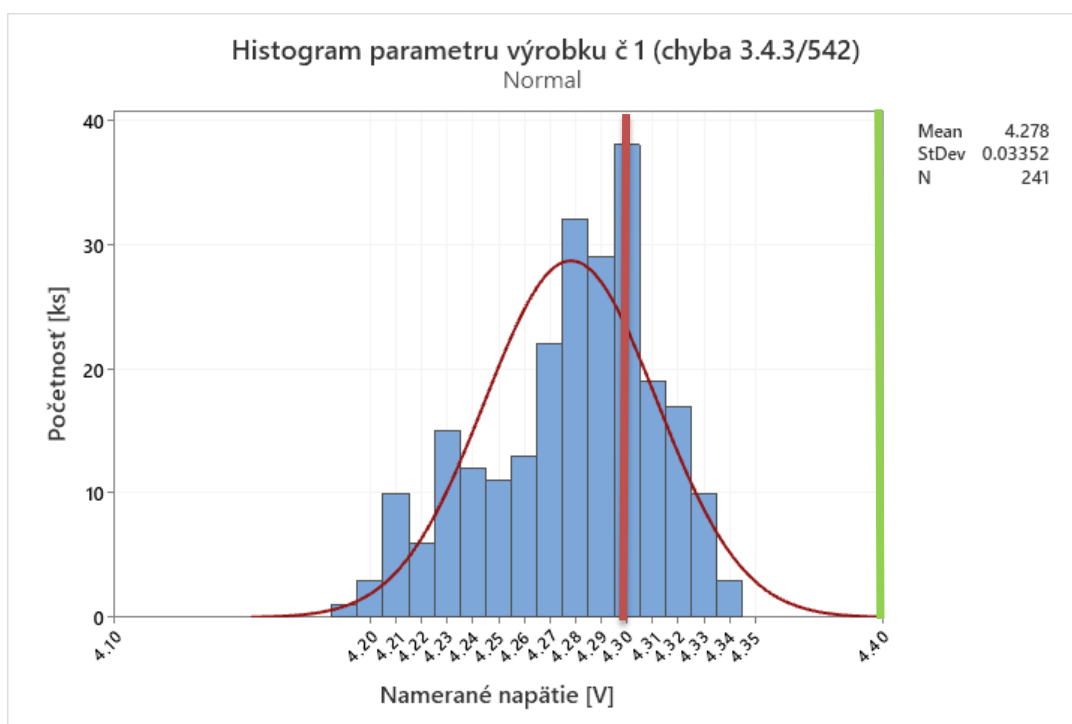
$$12,35 \leq \frac{M1.1+M2.1+M3.1+M4.1}{4} - \frac{M1.2+M2.2+M3.2+M4.2}{4} \leq 12,55 \quad (1)$$

kde: hodnota 12,35 mm – minimálna výška IGBT,



Obr. 2 Histogram pred a po implementovaní ECR
 Fig. 2 Histogram before and after implementing ECR.

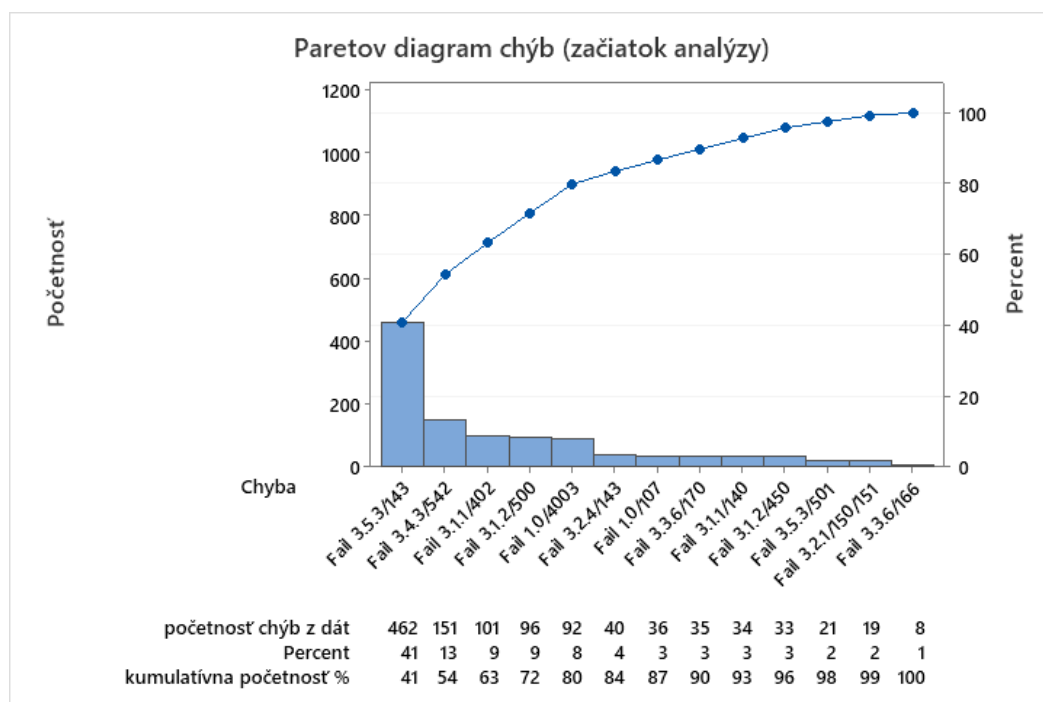
(Zdroj: autor)



Obr. 3 Histogram
 Fig. 3 Histogram

(Zdroj: autor)

Na obr. 4 je znázornený Paretov diagram, v ktorom je vidieť chyby, ktoré majú najväčší počet. Môžeme odčítať, že 80 % celkového množstva chýb tvorí prvých 5 chybových kódov. Tak sme sa primárne zamerali na analýzu ich príčin a následné riešenie.



Obr. 4 Paretov diagram

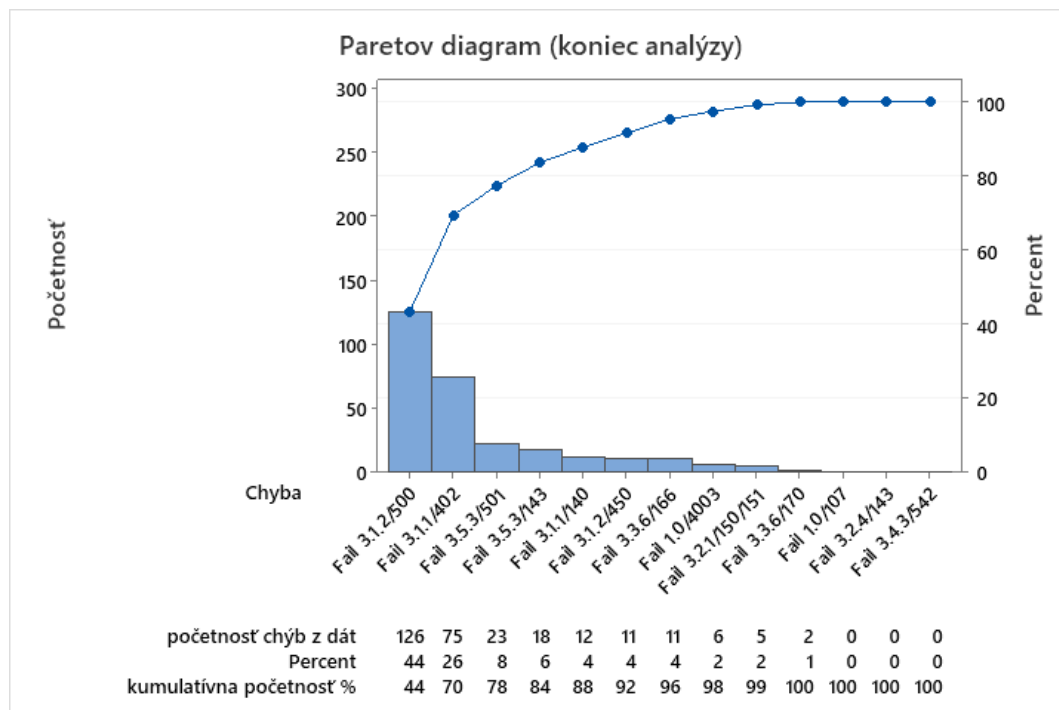
Fig. 4 Pareto chart

(Zdroj: autor)

Po implementácii ECR sme zaznamenali zmenu v poradí chýb od 2 do 5. Chybu 3.4.3/542 (napätie batérie je príliš vysoké) sa nám podarilo úplne odstrániť a chyba 3.2.4/143 (problém v nabíjacom obvode batérie) má výrazne nižšiu frekvenciu výskytu ako na začiatku. Na začiatku predstavovala približne 4 % všetkých chýb, po vyriešení klesla na menej ako 1 %.

Chyba 3.5.3/143 (nabíjací prúd do batérie je príliš vysoký) zostáva nevyriešená. Vzhľadom na zmenu v distribúcii chýb sa táto chyba stala dominantnou a jej riešenie sa stalo naliehavším, pretože tvorí viac ako 50 % všetkých chýb. Na elimináciu tejto chyby (3.5.3/143) sme navrhli implementovať technickú zmenu (známu ako ECR - žiadosť o technickú zmenu), ktorá zahŕňala nový postup merania. Tento nový postup merania obsahoval zvýšenie časového oneskorenia z 10 s na 15 s, aby bolo viac času na aktiváciu režimu zaznamenávania prúdu pomocou testovacieho prístroja.

Na záver analýzy (obr. 5) pozorujeme úplne iné rozloženie poradia jednotlivých chýb. Vyriešením hlavného problému sme dosiahli mieru kvality vyše 98 %, pričom hlavná chyba 3.5.3/143 teraz tvorí len 6 %. V Paretovom diagrame na konci analýzy sa na prvých miestach nachádzajú len testovacie chyby, ktoré podliehajú opätovnému testovaniu, a teda nie je potrebné ich fyzicky opravovať, čo neovplyvňuje konečnú mieru kvality.



Obr. 5 Koncová analýza
Fig. 5 Root cause analysis

(Zdroj: autor)

Výrobok 2

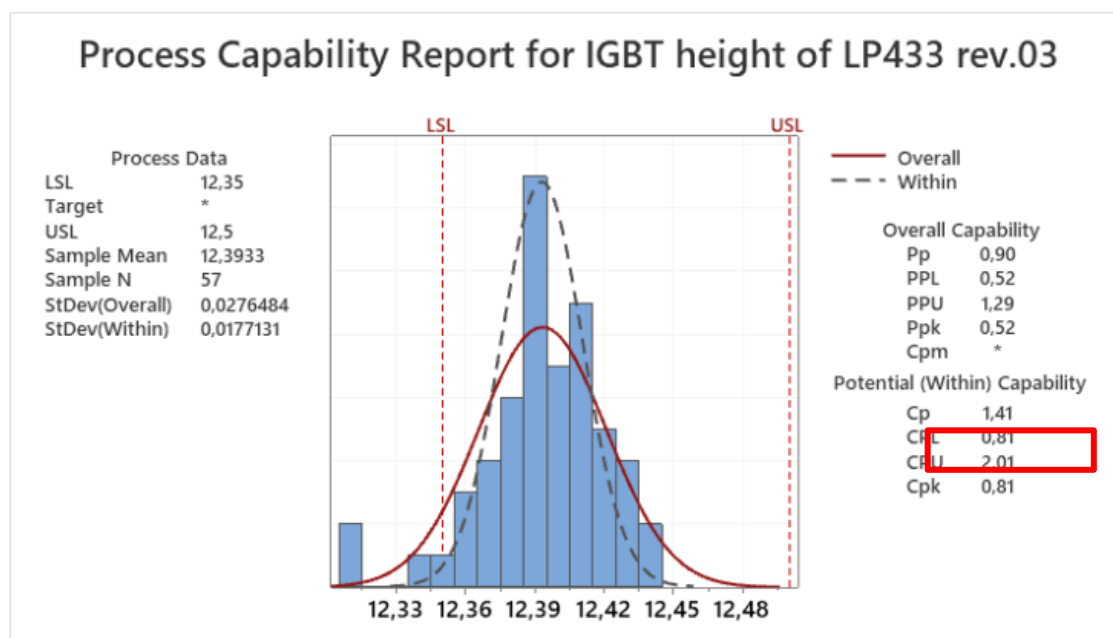
Na začiatku výrobného procesu sme pre meranie výšky tranzistorov IGBT využívali priemer výšky všetkých štyroch rohov (*obr. 1*). Výsledky meraní sú uvedené v *tab.1*. Ak sa hodnota priemeru nachádzala v tolerančnom rozpätí medzi 12,35 mm a 12,50 mm, považovali sme výrobok za akceptovateľný a mohol pokračovať do ďalšieho procesu. Do augusta 2023 sme používali metódu priemerovania výšky tranzistorov IGBT na zhodnotenie kvality výroby.

V septembri 2023 sme sa však vyskytla prvá reklamácia od zákazníka, ktorý upozornil na problém s nedostatočným kontaktom tranzistoru s chladiacou plochou. Po preskúmaní vývojovým tímom zákazníka sme zistili, že niektoré rohy tranzistorov boli mimo tolerancií, čo spôsobilo tento problém. Túto chybu sme akceptovali a rozhodli sme sa prehodnotiť našu metódu merania výšky tranzistorov a hľadať riešenia na ich odstránenie.

Tab. 1 Tabuľka merania rohov tranzistorov IGBT
Tab. 1 Table of measurements of IGBT transistor corners.

IGBT 1							
Meracie body				Výška	Bod merania		Výška lisovania (priemer)
roh 1.1	87,767	M1.2	100,288	12,421	MM 2	100,308	12,44895
roh 2.1	87,863	M2.2	100,321	12,458			
roh 3.1	87,799	M3.2	100,189	12,490			
roh 4.1	87,852	M4.2	100,279	12,427			
IGBT 2							
Meracie body				Výška	Bod merania		Výška lisovania (priemer)
roh 1.1	87,736	M1.2	100,230	12,494	MM 2	100,3175	12,489625
roh 2.1	87,823	M2.2	100,311	12,488			
roh 3.1	87,779	M3.2	100,284	12,405			
roh 4.1	87,808	M4.2	100,280	12,471			
IGBT 3							
Meracie body				Výška	Bod merania		Výška lisovania (priemer)
roh 1.1	87,755	M1.2	100,248	12,493	MM 2	100,311	12,49245
roh 2.1	87,813	M2.2	100,354	12,441			
roh 3.1	87,783	M3.2	100,285	12,402			
roh 4.1	87,827	M4.2	100,261	12,433			

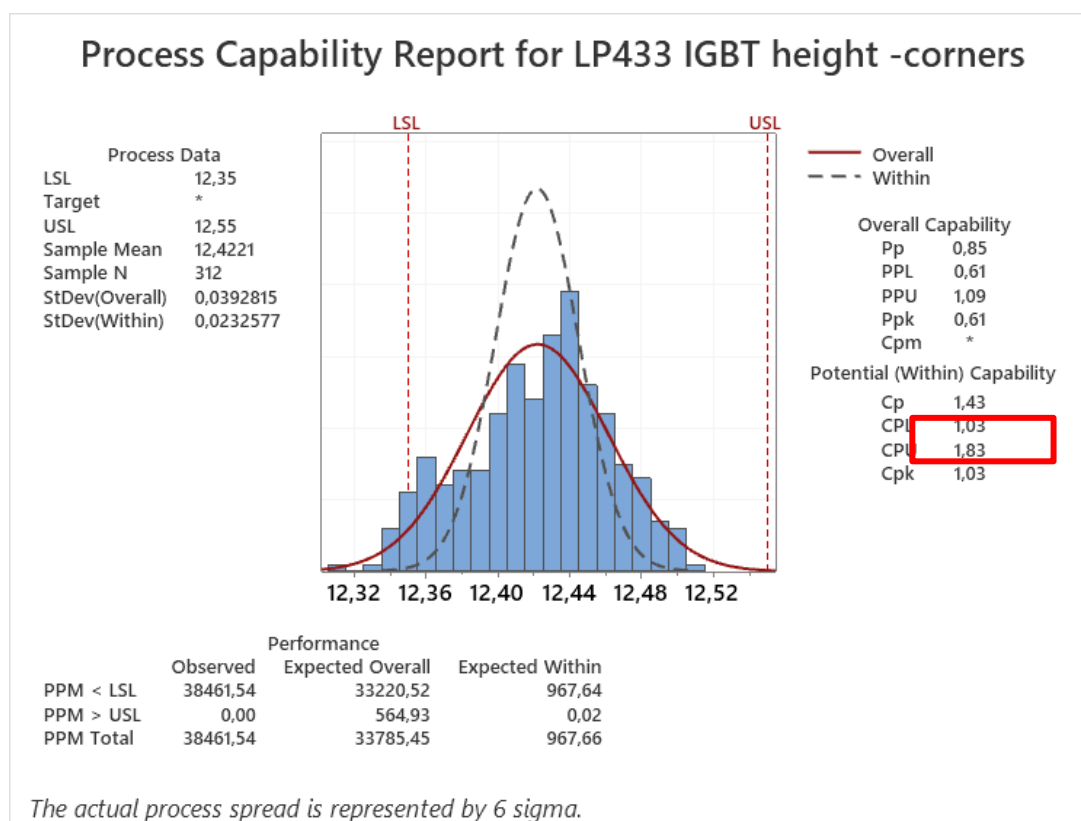
Zobrazený histogram (obr. 6) naznačuje nestabilitu v priebehu výrobného procesu. Hodnota indexu Cpk je kritická pre spoľahlivosť procesu a kvalitu výrobkov. Hodnoty Cpk menšie ako 1,0 signalizujú nedostatočnú spôsobilosť procesu a riziko nekvalitných výstupov. Rozsah hodnôt 1,0 až 1,33 indikuje len obmedzenú spôsobilosť procesu, pričom hodnoty vyššie ako 1,33 poukazujú na spôsobilosť procesu. Naše pôvodné ciele výroby však neboli dosiahnuté, čo naznačuje nízka hodnota Cpk. Je nevyhnutné podrobiť výrobný proces dôkladnej analýze a prijať opatrenia na zlepšenie kvality a spoľahlivosti výrobkov.



Obr. 6 Histogram merania a C_{pk}
Fig. 6 Histogram of measurements and C_{pk} .

(Zdroj: autor)

Pri komplexných meraniach výšky všetkých rohov komponentu sme zistili nedostatok presnosti, ktorú zákazník požaduje. Hlbšia analýza odhalila, že nedostatočná presnosť je spôsobená konfiguráciou lisovacieho stroja, ktorý pracoval na pevne stanovenej dráhe, čo obmedzovalo jeho schopnosť prispôbiť sa hrúbke dosky. Aby sme vyriešili tento problém, zaviedli sme inovatívnu metódu riadenia lisovacieho procesu na základe nastavenia sily prítlaču. Hoci táto úprava priniesla určitý stupeň zlepšenia, nedostatky neboli úplne odstránené. Riešením problému preto bola dohoda na zmene v procese hodnotenia výšky štvorcových častí IGBT komponentov. Požiadali sme zákazníka o revíziu špecifikácií, konkrétne o zvýšenie tolerančného intervalu na hodnoty medzi 12,35 mm a 12,55 mm. Po schválení tejto zmeny sme dosiahli zlepšenie na hodnote C_{pk} dosahujúcej 1,03, čo naznačuje, že náš výrobný proces sa zlepšuje a je schopný poskytnúť požadovanú presnosť a kvalitu výstupov (obr. 7).



Obr. 7 Histogram s novými limitmi
Fig. 7 Histogram with new limits.

(Zdroj: autor)

4 Záver

Na základe dôkladnej analýzy výrobných procesov sme identifikovali kritické oblasti, kde je možné dosiahnuť zlepšenia a zvýšiť efektivitu a kvalitu vo výrobnom prostredí. Naším cieľom bolo nielen identifikovať tieto oblasti, ale aj navrhnúť konkrétne opatrenia a stratégie,

ktoré by mohli posilniť konkurencieschopnosť organizácie a zabezpečiť jej dlhodobú udržateľnosť na trhu.

Po podrobnom preskúmaní histórie a charakteristík organizácie sme sa venovali metodike práce a analytickým nástrojom, ktoré sme aplikovali pri analýze kvality výrobkov 1 a 2. Naše výsledky jasne ukázali potrebu zlepšenia a optimalizácie, a to nielen vo výrobných procesoch, ale aj vo vzťahu k systematickej kontrole kvality a údržbe strojov.

Pre výrobok 1 sme navrhli zavedenie prísnych kritérií kontroly kvality už od začiatku výrobného procesu, zatiaľ čo pre výrobok 2 sme odporučili implementáciu pokročilých meracích prístrojov a pravidelnú údržbu strojov. Okrem konkrétnych návrhov na zlepšenie sme zdôraznili dôležitosť štruktúrovaného tréningového programu a podporu inovácií a rozvoja zručností zamestnancov. Navrhnuté opatrenia majú potenciál vytvoriť kultúru odbornosti a kvality vo firme, čo by mohlo viesť k posilneniu konkurencieschopnosti organizácie a zvýšeniu spokojnosti zákazníkov. Ich úspešná implementácia a dodržiavanie môžu viesť k významnému zlepšeniu výrobných procesov a dosiahnutiu vyššej úrovne kvality výrobkov vo firme.

Poukázali sme, že navrhnuté zlepšenia majú potenciál viesť k vytvoreniu silnejšej a efektívnejšej organizácie, ktorá je schopná konkurovať na trhu a uspieť v dnešnom konkurenčnom prostredí. Je dôležité, aby organizácia pravidelne monitorovala a aktualizovala svoje procesy a postupy, aby si udržala vedúcu pozíciu na trhu a úspešne sa vyrovnala s výzvami v dynamickom podnikateľskom prostredí.

5 Literatúra

Biermeier, D. – Tynan, C. 2023. Everything You Need to Know about Solar Inverters. Forbes HOME. [online], [cit. 2023-06-23]. Dostupné na: <https://www.forbes.com/home-improvement/solar/solar-inverter-guide/>. Dostupné na: <https://leanscape.io/what-is-capability-analysis-introduction-to-cp-and-cpk-diagram>.

Hayes, P. 2021. Why Quality Is Important and How It Applies in Diverse Business and Social Environments, Volume II. [online], Business Exper Press. 282 s. [cit. 2023-06-06]. Dostupné na: <https://app.knovel.com/kn/resources/pCQIHE011/toc?bq=ISO%209001>.

<https://ebookcentral.proquest.com/lib/uniag-ebooks/reader.action?docID=6437604&query>.

Minitab, 2024. Minitab. [online], [cit. 2024-02-04]. Dostupné na: <https://www.minitab.com/en-us/products/minitab/>.

Pannell, R. 2022. What is Capability Analysis? Intorduction to Cp and CpK. Leanscape. [online], [cit. 2023-08-31].

Walker, H. F. – Elshennawy, A. K. – Gupta, B. C. – McShane-Vaughn, M. 2019. Certified Quality Inspector Handbook (3rd Edition). [online], American Society for Quality. 524 s. [cit. 2023-08-06]. Dostupné na:

Súhrn

Práca skúma postupy riadenia kvality vo výrobnom prostredí so zameraním na výrobné procesy dvoch kľúčových výrobkov označených ako výrobok 1 a výrobok 2. Metodika výskumu zahŕňa komplexnú analýzu údajov, implementáciu nástrojov riadenia kvality, ako sú Paretova analýza, histogramy a metódy štatistického riadenia procesov a prezentáciu zistení týkajúcich sa oblastí na zlepšenie. Výsledky poukazujú na významné možnosti zvýšenia kvality

a efektívnosti výrobných procesov. Navrhované odporúčania zahŕňajú zavedenie dôsledného monitorovania kvality od počiatočných fáz výroby, integráciu pokročilých meracích nástrojov a štruktúrované programy odbornej prípravy zamestnancov. Celkovo táto štúdia zdôrazňuje význam úsilia o neustále zlepšovanie na udržanie konkurencieschopnosti a splnenie požiadaviek zákazníkov vo výrobnom priemysle.

Kľúčové slová: kvalita, proces, spôsobilosť, Paretova analýza, histogram, regulačný diagram

SOFTVÉROVÉ RIEŠENIE KOLABORÁCIE SCARA ROBOTA PROSTREDNÍCTVOM PLC SCARA ROBOT COLLABORATION SOFTWARE THROUGH PLC

JURAJ KRAJČOVIČ - MARTIN OLEJÁR

Abstract

The article deals with the software collaboration of the SCARA robot, through the PLC from the B&R company. It mainly focuses on controlling the SCARA robot using PLC, PLC module, frequency inverters, laser and ultrasonic sensor. First of all, it is a matter of sensing the torque and current in order to safely stop the operation of the robot in the event of a collision with the operator or a sudden increase of these values from the point of view of safety. Furthermore, to monitor the work zone of the robot and its surroundings for possible cooperation with a person and reduce the work speed or stop it completely in order to minimize the risks associated with the operator's activity in the work space.

Key words: SCARA robot, PLC, Collaboration human and robot

1 Úvod

Kolaboratívna robotika je v poslednom období stále viac presadzujúci sa spôsob využívania robotov v priemysle. Prednosťami takýchto robotov sú hlavne: uľahčovanie práce operátorom, vyššia presnosť, rýchlosť a bezpečnosť. Eliminujú ľudský faktor a nedostatok pracovnej sily v súčasnom priemyselnom odvetví. Robot taktiež pracuje efektívnejšie v aplikáciách kontroly, môže operovať aj v ťažko prístupných, či nebezpečných miestach, dosahuje neporovnateľnú presnosť a rýchlosť oproti človeku a zbavuje ho monotónnej práce, ktorú je nutné vykonávať opakovane. Dôležitá je samozrejme aj bezpečnosť pri kolaborácii robota a človeka, keďže môže ľahko dôjsť k úrazu. Využívajú sa viaceré bezpečnostné prvky ako napríklad bezpečnostné klieťky, senzory na detekciu pohybu v okolí robota, alebo snímače krútiaceho momentu sily, ktoré zabezpečujú okamžité zastavenia robota v prípade kontaktu s človekom. Človek, ktorý bude kolaboratívneho robota obsluhovať, musí rovnako dbať na bezpečnosť pri práci a dodržiavať pravidlá aby sa zamedzilo možnému ohrozeniu. Práca sa zaoberá programovaním SCARA robota tak, aby bol efektívny, spoľahlivý, presný a hlavne bezpečný pre spoluprácu s človekom. Jedná sa o nastavenie jeho základných parametrov potrebných pre fungovanie - teda konfigurácia parametrov. Následne vytvorenie programu pre cyklické vykonávanie sekvencie základných pohybov, ktorá pozostáva z počiatočnej hardvérovej konfigurácie, testovania, zapnutia frekvenčných meničov, zreferovanie jednotlivých osí a následne vykonávanie základných pohybov. Hlavným cieľom tejto práce je zabezpečenie okolitého priestoru robota pre dosiahnutie bezpečnosti k spolupráci človeka a robota.

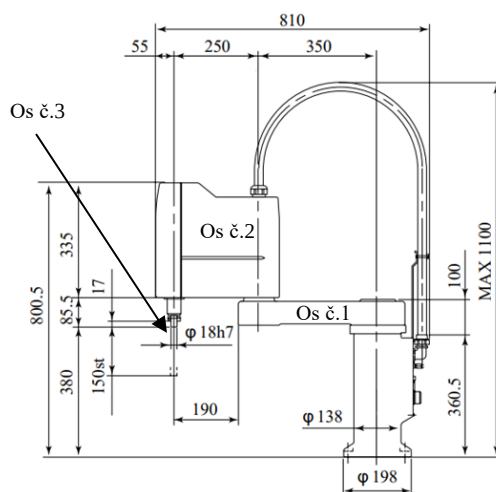
¹Bc. Juraj Krajčovič, SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky.
xkrajcovicj@uniag.sk

²doc. Ing. Martin Olejár, Phd., SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky.
martin.olejar@uniag.sk

2 Materiál a metódy

SCARA Robot

Konštrukcia SCARA robota je prevzatá z modelu vysokorýchlostných montážnych robotov Sony SRX-600. Je vhodná montáž malých dielov, kontrolu a manipuláciu atď., pri vysokých rýchlostiach a vysokej efektívnosti a tiež umožňuje jednoduchú obsluhu a údržbu. So štandardným užitočným zaťažením 5 kg.



Obr. 1 Rozmery SCARA robota
Fig. 1 SCARA robot dimensions

PLC B&R X20 CP 1584

Základom CPU je procesor ATOM taktovaný na 0,6 GHz a vybavený 256 MB DDR2 SDRAM. USB, Ethernet, POWERLINK a vymeniteľná CompactFlash sú súčasťou štandardnej výbavy spolu s rozhraním Gigabit Ethernet. Pre ešte väčší výkon siete v reálnom čase, podporuje zabudované rozhranie POWERLINK režim reťazenia odozvy (PRC). CPU má k dispozícii slot pre komunikačné moduly X20. Pomocou komunikačných modulov možno do systému X20 jednoducho integrovať rôzne zbernicové a sieťové systémy.



Obr. 2 PLC X20 CP 1584
Fig. 2 PLC X20 CP 1584

Modul X20CM8281

Modul je univerzálny kombinovaný modul. Na tomto module sú kombinované digitálne aj analógové vstupy a výstupy. Prúdový alebo napäťový signál sa môže použiť pre analógový vstup / výstup podľa potreby. Funkcie počítadla na dvoch digitálnych vstupoch rozširujú rozsah použitia. Obsahuje digitálne a analógové kanály, voliteľný prúd a napätie pre AI a AO. Digitálne vstupy sú vybavené vstupným filtrom s konfigurovateľným vstupným oneskorením. Vstupné stavy môžu byť tiež v prípade potreby uzamknuté.

Frekvenčný menič ACOPOS 1016 - 8V1016,00-2

Frekvenčný menič ACOPOS 1016 je súčasťou portfólia automatizačných produktov od spoločnosti B&R. Je určený na riadenie otáčok motorov prostredníctvom regulácie frekvencie elektrického prúdu, čo umožňuje presné a efektívne riadenie rýchlosti a krútiaceho momentu motorov počas prevádzky. ACOPOS 1016 je navrhnutý s ohľadom na širokú škálu priemyselných aplikácií, vrátane strojárstva, priemyselnej automatizácie a robotiky. Jeho vysoký výkon, spoľahlivosť a možnosti programovania poskytujú používateľom flexibilitu a presnosť pri implementácii do ich systémov.



Obr. 3 Frekvenčný menič ACOPOS 1016
Fig. 3 Frequency inverter ACOPOS 1016

Laserový snímač Allen-Bradley 42GRU-92L0

Jedná sa o špecifický model fotoelektrického laserového snímača vyrábaného spoločnosťou Rockwell Automation pod značkou Allen-Bradley. Používajú sa v aplikáciách priemyselnej automatizácie na zisťovanie prítomnosti alebo neprítomnosti objektov, počítanie a polohovacie účely. Malá veľkosť bodu je vhodná pre vysoko presné snímanie. Disponuje nastavením citlivosti a signalizačnými LED diódami.

Programovateľný ultrazvukový senzor Allen-Bradley 873P-DCAC2S-D5-A

Programovateľné ultrazvukové snímače 873P sú samostatné polovodičové zariadenia navrhnuté pre bezkontaktné použitie, snímanie pevných a tekutých objektov. Tieto snímače majú dva konfigurovateľné výstupy. Nastavené hodnoty možno naprogramovať na ľubovoľné prepínanie diskretného výstupu cieľovej polohy v dosahu snímača. Okrem toho majú tiež 4--20mA analógový výstup.

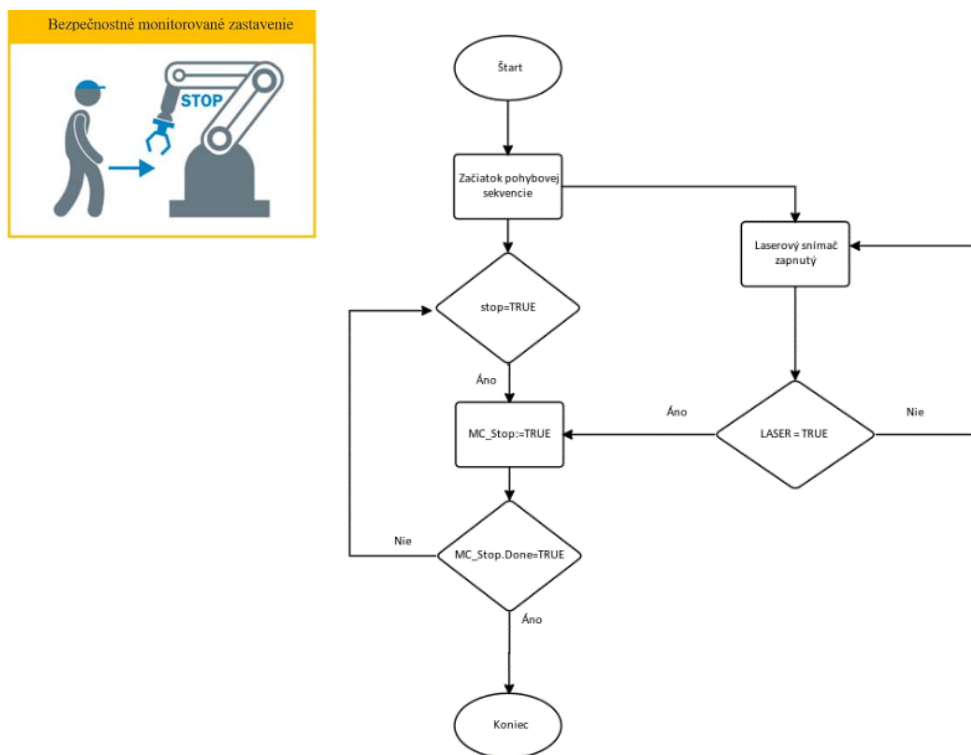
3 Výsledky a diskusia

Prvý program slúžil na vytvorenie základnej sekvencie pohybov robota, pričom sa jednotlivé osi robota cyklicky presúvali na nami zvolené pozície. Robot pozostával zo štyroch osí, my sme však ovládali len tri z nich. Po zapnutí meničov, zreferovaní osí a následného stlačenia tlačidla štart sa robot začal pohybovať týmto spôsobom:

1. Os 1 na pozíciu 110° a Os 2 na pozíciu 90°
2. Os 3 na pozíciu -150 mm
3. Os 3 na pozíciu 150 mm
4. Os 1 na pozíciu -110° a Os 2 na pozíciu -90°
5. Os 3 na pozíciu -150 mm
6. Os 3 na pozíciu 150 mm

Základný program, ktorý sme použili pri prvotnom testovaní robota, bolo z hľadiska bezpečnosti a kolaborácie s robotom potrebné doplniť o ďalšie funkcie. Aby sme predišli možným úrazom v blízkosti robota, implementovali sme tri hlavné spôsoby pre kolaboráciu.

1. Bezpečnostné monitorované zastavenie (safety-rated monitored stop)

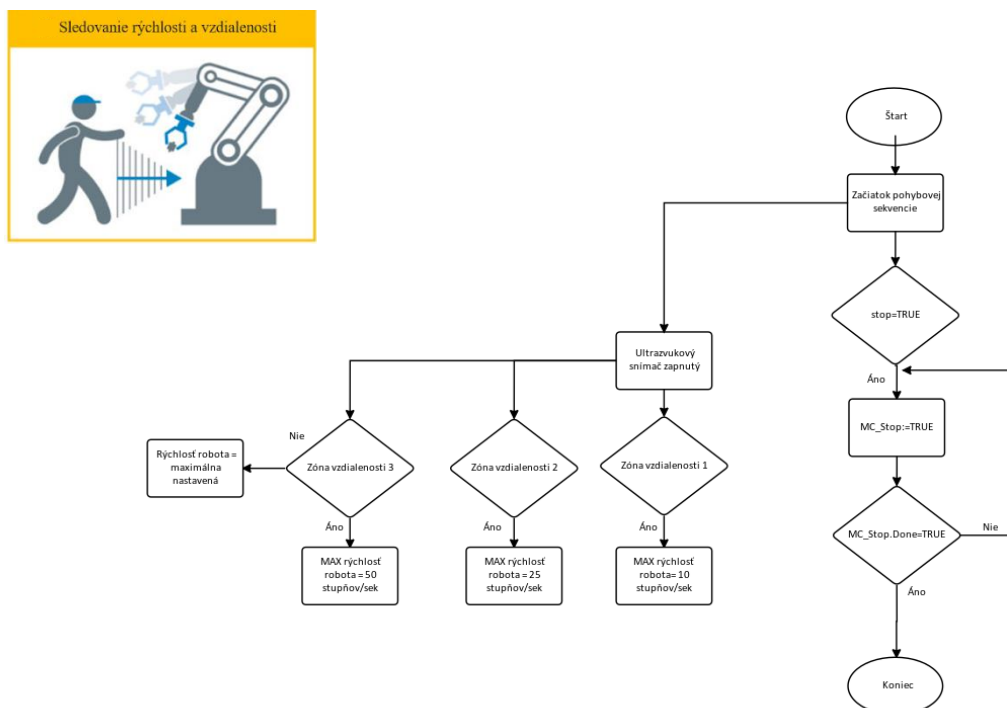


Obr. 4 Vývojový diagram bezpečnostného monitorovaného zastavenia
Fig. 4 Flowchart safety monitored stop

Funkcia monitorovaného zastavenia bola pridaná do programu pre bezprostredné zastavenie pohybu SCARA robota v prípade detekcie vstupu človeka do jeho pracovného prostredia. Použili sme laserový snímač Allen-Bradley 42GRU-92L0, ktorý bol pripojený ku k analógovej karte X20CM8281, následne sme si priradili

výstupnú hodnotu snímača do premennej dátového typu BOOL. V prípade, že sa v priestore nik nenachádzal bola jej hodnota FALSE, vtedy robot vykonával zadanú úlohu bez zmeny. Akonáhle však bol lúč laserového snímača prerušený nejakým objektom, došlo k okamžitej zmene stavu v programe a bol aktivovaný funkčný blok MC_Stop, ktorý ihneď robota zastavil. Následne program prešiel do stavu, v ktorom sme mohli ďalej pokračovať v činnosti, vykonať referovanie robota alebo vypnúť frekvenčné meniče a tým pádom skončiť prácu robota.

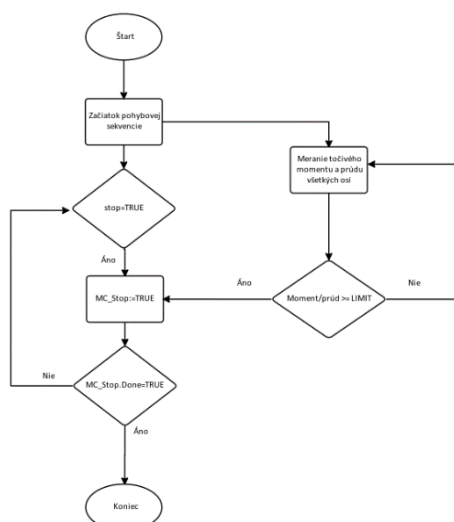
2. Sledovanie vzdialenosti (separation monitoring)



Obr. 5 Vývojový diagram sledovania vzdialenosti
Fig. 5 Flowchart separation monitoring

Funkcia sledovania vzdialenosti bola zabezpečená pomocou ultrazvukového snímača Allen-Bradley 873P-DCAC2S-D5-A. Ten bol umiestnený tak, že keď sme sa približovali k robotovi, snímač zaznamenával našu vzdialenosť a posielal tento údaj rovnako ako pri laserovom snímači do analógového vstupu modulu PLC. Odtiaľ sme tento údaj priradili do premennej dátového typu REAL. Program sledoval danú vzdialenosť a riadil tak rýchlosť robota. Priestor bol rozdelený na tri zóny, každá mala určenú inú rýchlosť. V zóne č. 3, mimo rozsah snímača (viac ako 2 metre) robot fungoval pri maximálnej rýchlosti, čiže 500 jednotiek/sekunda, čo zodpovedá hodnote 50 stupňov za sekundu. V zóne číslo dva (menej ako 2 metre, viac ako 1 meter) robot spomalil na 25 stupňov za sekundu. V zóne č.1 (menej ako 1 meter), najbližšej k robotovi dosahoval robot rýchlosť len 10 stupňov za sekundu.

3. Obmedzenie sily a výkonu (power and force limiting)



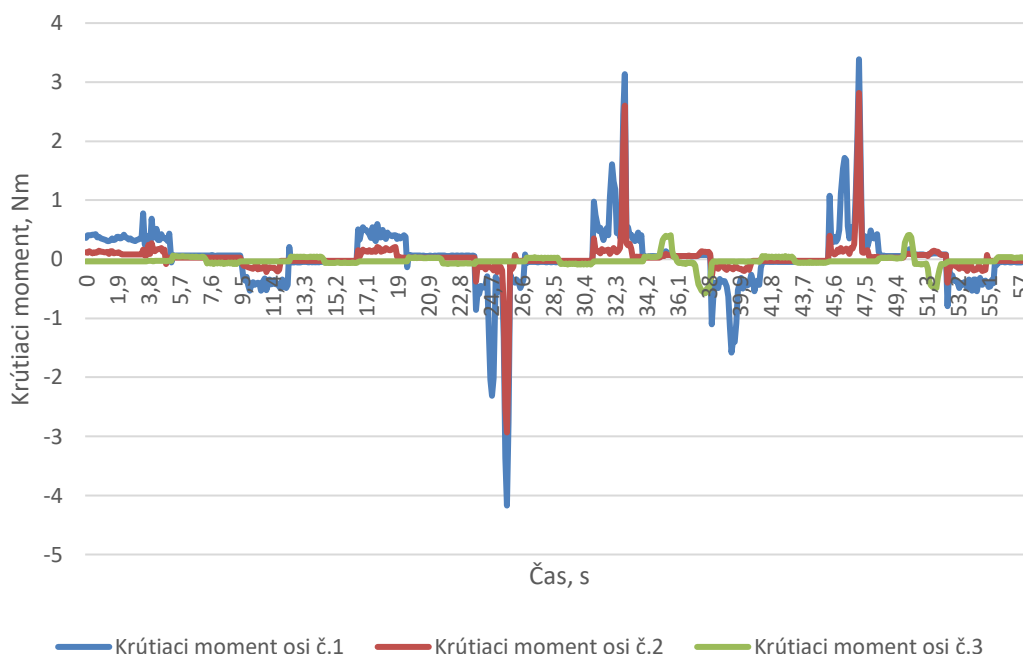
Obr. 6 Vývojový diagram obmedzenia sily a výkonu
Fig. 6 Flowchart power and force limiting

Do programu sme doplnili funkciu merania veľkosti krútiaceho momentu a následne pre zaistenie vyššej presnosti aj meranie veľkosti prúdu motorov. Namerané hodnoty sa po spustení programu zaznamenávali prostredníctvom programu datalogger na USB kľúč ako dáta s príponov .csv, ktoré sa po ukončení programu uložili. Veľkosti krútiacich momentov a prúdov jednotlivých osí sme takto merali pri troch rýchlostiach 10, 25, 50 stupňov za sekundu. Na základe nameraných hodnôt sme nastavili limitné hodnoty bezpečnostného zastavenia robota. Limitné hodnoty sme nastavili čo najcitlivejšie pre dané rýchlosti, tak aby sa robot pri zvýšenej hodnote krútiaceho momentu alebo prúdu (pri kontakte s človekom, nárazom do steny, materiálu...) robot okamžite zastavil a nedošlo tak ku žiadnym škodám.

Tab. 1 Limitné hodnoty krútiacich momentov a prúdov jednotlivých osí
Tab. 1 Limit values of torques and currents of individual axes

Rýchlosť osí:	Limitné hodnoty krútiaceho momentu:	Limitné hodnoty prúdu:
os č.1		
10 °.s ⁻¹	0,45 Nm	1,5 A
25 °.s ⁻¹	0,6 Nm	1,9 A
50 °.s ⁻¹	0,7 Nm	2,4 A
os č.2		
10 °.s ⁻¹	0,2 Nm	0,7 A
25 °.s ⁻¹	0,3 Nm	0,8 A
50 °.s ⁻¹	0,4 Nm	0,9 A
os č.3		
10 °.s ⁻¹	0,05; (-0,09) Nm (smer nahor)	0,25; (-0,3) A
25 °.s ⁻¹	0,06; (-0,1) Nm	0,25; (-0,4) A
50 °.s ⁻¹	0,07; (-0,1) Nm	0,25; (-0,4) A

Vyhodnotenie priebehu krútiacich momentov z hľadiska kolaborácie

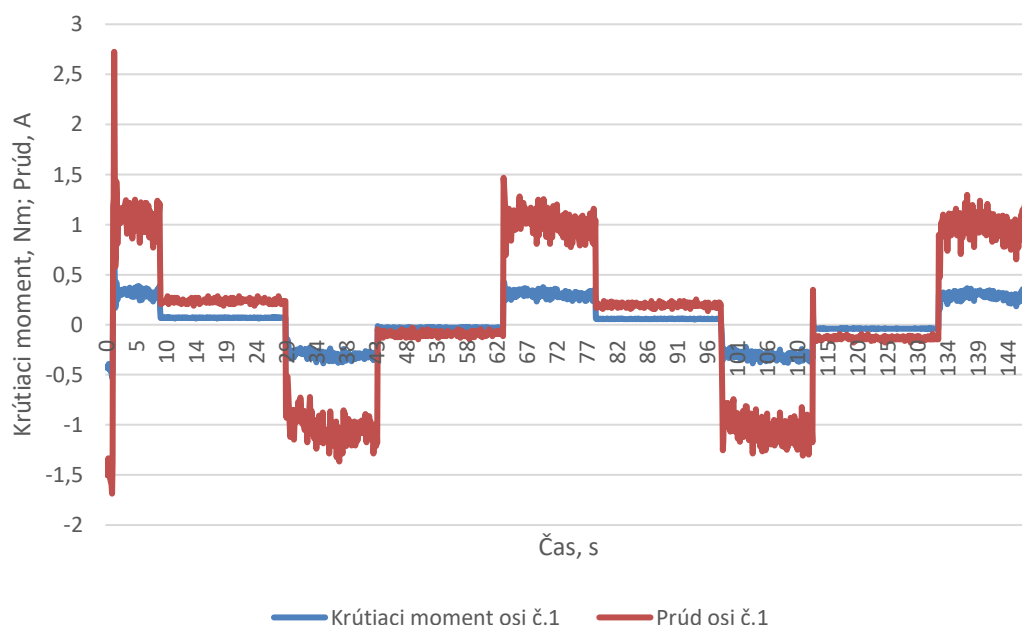


Obr. 7 Priebeh krútiacich momentov pri náraze robota do prekážky (spamalenie robota rukou)
Fig. 7 Course of torque when the robot hits an obstacle (deceleration of the robot by hand)

Na tomto grafe môžeme jasne vidieť ako sa menili v čase priebehy krútiacich momentov jednotlivých osí pri vykonávaní základnej sekvencie pohybov približne prvých 22 sekúnd, potom už na grafe vidíme ako sa krútiaci moment všetkých troch osí mení pri náraze robota do prekážky. V tomto prípade sa jednalo o úmyselné brzdenie robota dotykom ruky. Motor, ktorý poháňal os č.1 dosahoval v špičke až 4 Nm čo je osemnásobne viac ako pri bežnej prevádzke. Motor č.2 dosahoval v špičke skoro 3 Nm a motor č.3 dosahoval tiež oveľa väčšie hodnoty krútiaceho momentu až 0,55 Nm, čo je mnohonásobne viac ako pri bežnom zaťažení. Z toho vyplýva, že robot dokáže pracovať aj s väčším zaťažením a tiež to, že je bolo nutné zabezpečiť ochranu proti preťaženiu motorov a zaistiť bezpečnosť pri kolaborácii s ním. Sila, ktorú robot v tomto štádiu dokázal vyvinúť by bezpochybné spôsobila nemalé zranenia.

Porovnanie krútiacich momentov a prúdov z hľadiska kolaborácie

Pre zaistenie čo najvyššej spoľahlivosti a presnosti kolaborácie obmedzenia sily a výkonu SCARA robota sme vzali do úvahy dva odlišné parametre: krútiaci moment a prúd jednotlivých motorov, ktoré sme dôkladne porovnali z nameraných hodnôt z dataloggeru, ktorý nám zaznamenával hodnoty krútiacich momentov a prúdov všetkých osí každých 100 ms. Porovnania boli uskutočnené pre každú os pri troch rôznych rýchlostiach robota. Cieľom meraní bolo zistiť, ktorý z parametrov je citlivejší na zastavenie robota. Pri rýchlosti 10 stupňov za sekundu sme nastavili hodnotu vypnutia robota pri prekročení 1,5 A alebo 0,45 Nm.



Obr. 8 Porovnanie priebehu krútiaceho momentu a prúdu motoru č. 1
Fig. 8 Comparison of the course of torque and current of motor no. 1

Na tomto grafe môžeme vidieť, priebeh krútiaceho momentu a prúdu motoru č.1 pri rýchlosti 10 stupňov za sekundu. Robot vykonával sekvenciu základných pohybov. Vidíme, že jednotlivé poklesy a nárasty korešponujú, čo znamená, že prúd je závislý od krútiaceho momentu a opačne.



Obr. 9 Porovnanie krútiaceho momentu a prúdu osi č.1 pri rýchlosti 10 stupňov za sekundu
Fig. 9 Comparison of torque and current of axis #1 at a speed of 10 degrees per second

Na grafe je možné vidieť priebeh krútiaceho momentu súčasne s prúdom prvého motoru – osi č.1 pri rýchlosti 10 stupňov za sekundu a následnom zasiahnutí rukou do trajektórie osi robota, pričom okamžite zareagovala ochrana obmedzením sily a výkonu, ktorá robota zastavila a predišla možnému zraneniu obsluhy. Týmto porovnaním sme chceli zistiť, či je citlivejšia ochrana prúdom alebo krútiacim momentom. Nameraný krútiaci moment tesne pred vypnutím bol: 0,4896177 Nm (0,45 Nm nastavená hodnota vypnutia) a prúd bol: 1,32127 A (1.5A nastavená hodnota vypnutia). Z tohto porovnania teda jasne vidíme, že citlivejšie je vypínanie

pomocou hodnoty krútiaceho momentu. Merania prebehli aj pri zvyšných osiach a rýchlostiach s podobnými výsledkami. Avšak za určitých podmienok môže nastať stav, kedy skôr zareaguje ochrana prúdom. Kvôli tomu sme v programe nechali bežať súčasne obe z nich pre zaistenie maximálnej bezpečnosti a spoľahlivosti.

4 Záver

Hlavným cieľom práce bolo vytvoriť softvérové riešenie kolaborácie SCARA robota prostredníctvom PLC značky B&R. Na to aby sme mohli s robotom spolupracovať sme ho museli najprv správne nakonfigurovať a následne začať ovládať. Aby sme si mohli zaznamenávať jednotlivé parametre robota, v tomto prípade prúd a krútiaci moment a prúd každého z motorov, vytvorili sme ďalšie dva programy: datalogger a save. Pričom program datalogger slúžil na vytvorenie názvu súboru s príponou .csv, aby sa dal súbor otvoriť pomocou Excelu. Tieto hodnoty boli ukladané do tabuľky každých 100 ms. Program save slúžil na rozpoznanie zariadenia USB zapojeného do PLC, ktorému následne priradil vlastnú premennú a bol schopný USB otvoriť, čítať z neho a ukladať. Takto zistené hodnoty sme následne vložili do grafov a porovnávali sme hodnoty prúdov a krútiacich momentov pri určitých pracovných rýchlostiach. Na základe týchto dát sme určili priemerné veľkosti krútiacich momentov a prúdov jednotlivých motorov. Ďalším krokom práce bolo vytvoriť kolaboráciu s robotom pomocou nového programu. Kolaborácia pozostávala z troch hlavných bodov, pomocou ktorých sa stala práca v okolí robota bezpečná pre obsluhu. Prvým bodom kolaborácie bolo bezpečnostné monitorované zastavenie. To fungovalo na základe laserového snímača, ktorý snímал priestor pred robotom. V prípade že snímač zaznamenal niekoho v rozsahu laserového lúča, tak robot okamžite spustil funkčný blok MC_Stop a bezprostredne zastavil. Nevýhodou tohto snímača bolo to, že nemal dostatočný rozsah na to, aby pokryl celé okolie robota. Tým pádom bol len jeden laserový lúč, ktorý sa dal napríklad obísť a snímač by nič nezaznamenal. Ideálne by tak bolo použiť ich niekoľko a na rôznych pozíciách a výškach. Druhým bodom kolaborácie bolo sledovanie vzdialenosti. Funkcia sledovania vzdialenosti bola zabezpečená pomocou ultrazvukového snímača, ktorý snímал vzdialenosť človeka/objektu v okolí robota. Program vyhodnocoval vzdialenosť a riadil tak rýchlosť robota. Priestor bol rozdelený na tri zóny, každá mala určenú inú rýchlosť od najvyššej 50 stupňov za sekundu, ak sa nikto nenachádzal v rozsahu snímača, až po najnižšiu rýchlosť 10 stupňov za sekundu pokiaľ sa človek nachádzal v tesnej blízkosti robota (menej ako 1 meter). Tento spôsob tiež nebol ideálny z toho hľadiska, že snímač bol len jeden, a keby sme sa priblížili k robotovi z boku, tak by nás nezaznamenal. Dalo by sa to zlepšiť použitím iného typu snímača, ktorý by mal širší rozsah, alebo zvoliť lepšie umiestnenie. Posledným bodom kolaborácie bolo obmedzenie sily a výkonu. Na základe zistených hodnôt krútiaceho momentu alebo prúdu každého motora sme nastavili limitné hodnoty bezpečnostného zastavenia čo najcitlivejšie pre dané rýchlosti, tak aby sa robot pri zvýšenej hodnote krútiaceho momentu alebo prúdu (pri kontakte s človekom, nárazom do steny, materiálu...) okamžite zastavil a nedošlo tak ku žiadnym zraneniam alebo škodám. Tento spôsob sme testovali aj s meraním a ukladaním dát na USB, dáta sme potom porovnávali a zistili sme, že pri náraze robota do prekážky skôr reagovalo zastavenie vyvolané prekročeným krútiacim momentom. Zastavenie robota pomocou prekročenia limitných hodnôt prúdov dosahovalo o niečo vyššie hodnoty. V konečnom dôsledku bežali však prúdové aj momentové prvky kolaborácie súčasne, takže robot zastavil v oboch prípadoch prekročenia stanovených limitov. Toto zabezpečenie je dôležité ak by robot nebol ohradený bezpečnostnou klietkou a obsluha robota by potrebovala pracovať v jeho blízkosti. Tento spôsob sme otestovali aj v praxi a fungoval veľmi dobre. Pri nižších rýchlostiach stačil len letný náraz napríklad dotyk rukou a robot okamžite zastavil. Keď robot pracoval s najvyššou dovolenou rýchlosťou $50^{\circ} \cdot s^{-1}$, tak pri dotyku (kolízií s prekážkou) nastal menší náraz a následne okamžité zastavenie. Tento

spôsob kolaborácie by sa dal vylepšiť napríklad použitím presného snímača krútiaceho momentu, ktorý by sa dal nastaviť ešte citlivejšie a nedošlo by k nárazu. Avšak ku kolízií pri vyššej rýchlosti by v realite nedošlo kvôli ultrazvukovému snímaču, ktorý by pri takejto tesnej blízkosti rýchlosť znížil na minimálnu, alebo by zareagoval laserový snímač, ktorý by robota úplne zastavil.

5 Literatúra

Automation Studio. 2024. In br-automation.com [online]. © 2024 [cit. 2024-03-25]. Dostupné na: <https://www.br-automation.com/en/products/software/automation-software/automation-studio/>.

KRAJČOVIČ, Juraj. 2022. Meranie spotreby elektrickej energie prostredníctvom PLC : diplomová práca. Nitra : SPU. 64 s.

OLEJÁR, Martin – CVIKLOVIČ, Vladimír. 2019. *Programovanie PLC v prostredí AS4.5*. Miesto vydania : Nitra Slovenská Poľnohospodárska univerzita v Nitre. 218 s. ISBN 978-80-552-2035-2

OLEJÁR, Martin et al. 2020. *Riadenie pohonov prostredníctvom PLC. Tretie vydanie*. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. 193 s. ISBN 978-80-552-2155-7.

Súhrn

Tento článok sa venuje softvérovej kolaborácii SCARA robota, prostredníctvom PLC od firmy B&R. Zameriava sa hlavne na riadenie SCARA robota pomocou PLC, PLC modulov, frekvenčných meničov, laserového a ultrazvukového snímača. V prvom rade sa jedná o snímanie krútiaceho momentu a prúdu kvôli bezpečnému zastaveniu činnosti robota v prípade kolízie s operátorom alebo náhlemu zvýšeniu týchto hodnôt z hľadiska bezpečnosti. Ďalej na sledovanie pracovnej zóny robota a jeho okolia pre prípadnú spoluprácu s človekom a zníženie pracovnej rýchlosti alebo jeho úplné zastavenie s účelom minimalizácie rizík spojených s činnosťou operátora v pracovnom priestore.

Kľúčové slová: Scara robot, PLC, Kolaborácia človek a robot

ADHÉZNE VLASTNOSTI POSUDZOVANÝCH PNEUMATÍK

ADHESION PROPERTIES OF THE EVALUATED TIRES

IGOR KURUC – IVAN JANOŠKO

Abstract

The article deals with the implementation and processing of experimental tests of selected tires under operating conditions, examining the properties of winter tires of the same brand placed on two different vehicles. Measurements were carried out on dry roads in winter conditions and were divided into three starting speeds 50, 70 and 100 each vehicle. The brand under comparison was Matador, where on the VOLVO V60 D4 vehicle we used the size 215/55 R17 Matador MP93 Nordicca. On the Volkswagen Tiguan vehicle, we used the size 215/65 R16 Matador Sibir snow. The XL-Meter™ device was used for measurements, which can measure braking distance, braking deceleration, speed, and time and calculate adhesion. The thesis contains an overview and characteristics of measuring instruments, an overview of measured experiments, and test results.

Key words: adhesion, road slipperiness, adhesion measurement, tyres

1 Úvod

V snahe zlepšiť bezpečnosť jazdy sa v posledných rokoch kladie veľký dôraz na kvalitu pneumatík a ich schopnosť poskytnúť optimálny kontakt s povrchom cesty (VLK, F.: 2006). Spolu s brzdovou sústavou majú pneumatiky kľúčový vplyv na schopnosť vozidla zastaviť sa v požadovanom čase a na čo najkratšej dráhe. Zároveň sú pneumatiky neustále výzvou pre inžinierov, pretože musia spĺňať narastajúce nároky na bezpečnosť, výkonnosť a trvanlivosť (NOVOTNÝ, T., 2013.). Pneumatiky majú rozhodujúce vlastnosti nielen na bezpečnej prevádzke, ale majú aj významný vplyv na produkciu emisií a životné prostredie (Jablonický et al., 2015; Synak, 2022). Moderné automobilky sa preto čoraz viac sústreďia na vývoj a vylepšovanie brzdových systémov a pneumatík, ktoré sú kľúčovými činiteľmi v zabezpečení bezpečnej jazdy. Súčasné pneumatiky sú navrhnuté s ohľadom na špecifické požiadavky rôznych vozoviek, klimatických podmienok a jazdných štýlov. Ich dizajn, použitý materiál a technologické inovácie zohrávajú kľúčovú úlohu pri dosahovaní optimálnych vlastností (Hockicko, 2013).

V súvislosti s modernými technológiami sa do väčšiny vozidiel montujú aj rôzne elektronické systémy, ako sú protiblokovací brzdny systém (ABS), systémy kontroly trakcie (ASR) a stabilizačné systémy (ESP), ktoré pomáhajú minimalizovať riziko šmyku a nekontrolovateľného pohybu vozidla (Polanský, 2013). Cieľom tejto práce je dôkladne posúdiť adhézne vlastnosti zimných pneumatík.

¹Igor Kuruc, SPU TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky,
xkuruci@uniag.sk

²doc. Ing. Ivan Janoško, CSc., SPU TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky,
ivan.janosko@uniag.sk

2 Materiál a metódy

Na meranie boli použité dva automobily so zimnými pneumatikami tej istej značky. Prvým testovacím vozidlom použitým na meranie adhézných vlastností pneumatík je Volvo V60 D4, vyrobené v roku 2014, ktoré patrí do strednej triedy a je vybavené systémom ABS. Vozidlo je poháňané vznetovým spaľovacím motorom o objeme 1969 cm³ s výkonom motora 133kW pri 4250 otáčkach za minútu. Technické parametre vozidla sú v *tabuľke č.1*.



Obr. 1 Testovacie vozidlo VOLVO V60

Fig. 1 Test vehicle VOLVO V60

Tab 1- Technické parametre vozidla VOLVO V60

Tab 1- Technical parameters of VOLVO V60

Továrenská značka, typ	Volvo V60
Rok výroby	2014
Zdvihový objem valcov	1969 cm ³
Najvyšší výkon motora	133 kW pri 4250 ot.min ⁻¹
Stav ODOmetra počas testovania	265 000 km
Druh karosérie	Combi
Prevodovka a počet stupňov	Automatická 8 stupňová
Pohon nápravy	Predná náprava poháňaná
ABS	áno
ESP	áno
Prevádzková hmotnosť	1602 kg
Najväčšia prípustná hmotnosť	2150 kg

Testovanie prebiehalo na zimných pneumatikách. Testované na vozidle VOLVO V60 boli pneumatiky značky Matador MP93 Nordicca 215/55 R17. Údaje o letných pneumatikách sú v *Tab. 2*.

Tab. 2 Technické parametre zimných pneumatík Matador MP93 Nordicca

Tab.2 Technical parameters of winter tyres Matador MP93 Nordicca

Výrobca	Matador
Typ	MP93 Nordicca
Rozmer	215/55 R17
Index záťaže a rýchlosti	98V
Rok a mesiac výroby	2022, 21. týždňom (DOT 2122)

Tlak vzduchu v pneumatikách		Hĺbka dezénu
Ľavé predné koleso	260 kPa	7 mm
Pravé predné koleso	260 kPa	7 mm
Ľavé zadné koleso	260 kPa	7 mm
Pravé zadné koleso	260 kPa	7 mm



Obr. 2 Dezén zimnej pneumatiky Matador MP93 Nordicca
Fig. 2 Tread of the winter tyre Matador MP93 Nordicca

Druhým experimentálnym vozidlom použitým na meranie adhézných vlastností pneumatík je Volkswagen Tiguan, vyrobený v roku 2008, ktorý patrí do strednej triedy SUV a je vybavené systémom ABS. Vozidlo je poháňané vznietovým spaľovacím motorom o objeme 1968 cm³ s výkonom motora 103 kW pri 4200 otáčkach za minútu. Technické parametre vozidla sú v *tabuľke č.2*



Obr. 3 - Testovacie vozidlo Volkswagen Tiguan 2.0 TDi
Fig. 3 – Test vehicle Volkswagen Tiguan 2.0 TDi

Tab. 2- Technické parametre vozidla Volkswagen Tiguan 2.0 TDi
 Tab. 2- Technical parameters of Volkswagen Tiguan 2.0 TDi

Továrenská značka, typ	Volkswagen Tiguan
Rok výroby	2008
Zdvihový objem valcov	1968 cm ³
Najvyšší výkon motora	103 kW pri 4200 ot.min ⁻¹
Stav ODOmetra počas testovania	250 000 km
Druh karosérie	Combi
Prevodovka a počet stupňov	Automatická 6 stupňová
Pohon nápravy	Pohon všetkých štyroch kolies
ABS	áno
ESP	áno
Prevádzková hmotnosť	1679 kg
Najväčšia prípustná hmotnosť	2260 kg

Testovanie prebiehalo na zimných pneumatikách. Testované na vozidle Volkswagen Tiguan boli pneumatiky značky Matador Sibir Snow 215/65 R16. Údaje o letných pneumatikách sú v Tab. 4.

Tab. 4 Technické parametre zimných pneumatík Matador Sibir Snow
 Tab.4 Technical parameters of winter tyres Matador Sibir Snow

Výrobca	Matador	
Typ	Sibir Snow	
Rozmer	215/65 R16	
Index záťaže a rýchlosti	98H	
Rok a mesiac výroby	2020, 48. týždňom (DOT 4820)	
Tlak vzduchu v pneumatikách		Hĺbka dezénu
Ľavé predné koleso	260 kPa	6 mm
Pravé predné koleso	260 kPa	6 mm
Ľavé zadné koleso	260 kPa	6 mm
Pravé zadné koleso	260 kPa	6 mm

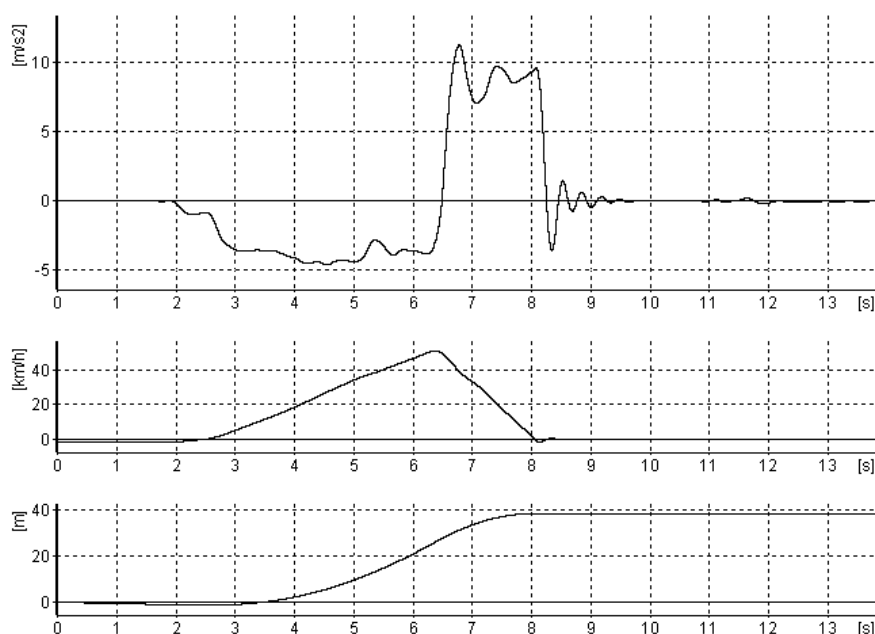


Obr. 4 Dezén zimnej pneumatiky Matador Sibir Snow
 Fig. 4 Tread of the winter tyre Matador Sibir Snow

Na účely zisťovania a analyzovania charakteristík brzdného spomalenia sme využili merací prístroj XL-Meter™Pro Alpha, ktorý exceluje v meraní kinematických parametrov, ako je napríklad dĺžka brzdného záberu, rýchlosť a brzdné spomalenie, spolu s časom a ďalšími. S pomocou špeciálneho softvéru sme schopní numericky aj graficky vyhodnotiť namerané dáta, čo nám umožňuje presné a podrobné analýzy.

3 Výsledky a diskusia

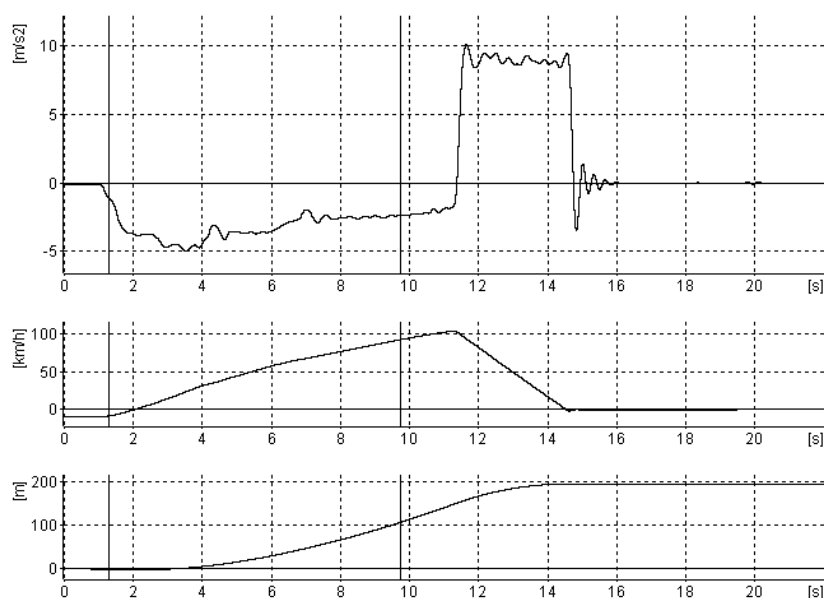
Meranie VOLVO V60:



So: 12.98 [m] Vo: 53.13 [km/h] Tbr: 1.74 [s] MFDD: 8.46 [m/s²]

Obr. 4 Volvo V60, $v_0=53,13 \text{ km.h}^{-1}$, teplota 0°C , Matador MP93 215/55 R17 98V, suchá vozovka, vozidlo s ABS, 1 osoba

Fig. 4 Volvo V60, $v_0=53,13 \text{ km.h}^{-1}$, temperature 0°C , Matador MP93 215/55 R17 98V, dry road, a vehicle with ABS, 1 person



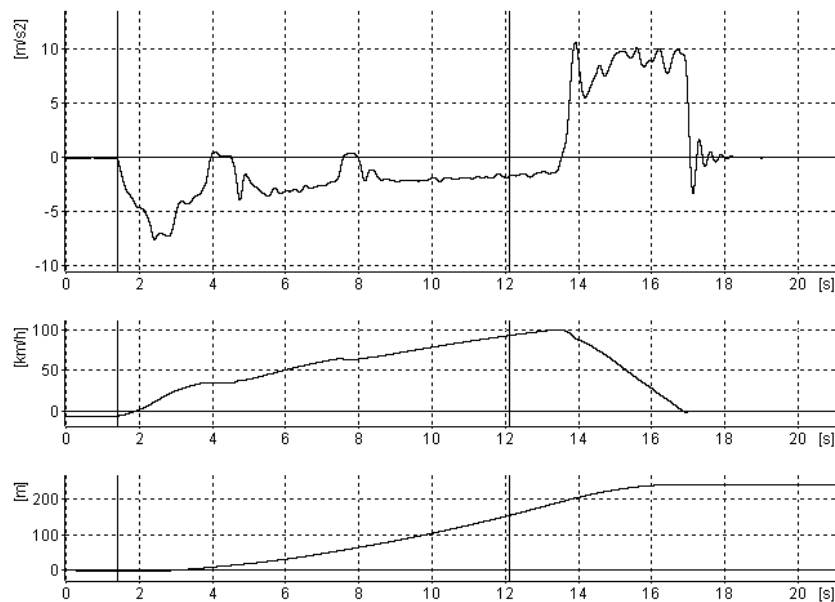
S_0 : 48,77 [m] V_0 : 105,10 [km/h] T_{br} : 3,33 [s] MFDD: 9,02 [m/s²]

Obr. 5 Volvo V60, $v_0=105,10$ km.h⁻¹, teplota 0°C, Matador MP93 215/55 R17 98V, suchá vozovka, vozidlo s ABS, 1 osoba

Fig. 5 Volvo V60, $v_0=105,10$ km.h⁻¹, temperature 0°C, Matador MP93 215/55 R17 98V, dry road, a vehicle with ABS, 1 person

Tab. 5 Namerané hodnoty brzdzenia vozidla Volvo V60, Matador MP93 na suchej podložke
Tab. 5 Measured parameters of deceleration of the vehicle Volvo V60, Matador MP93 on dry road

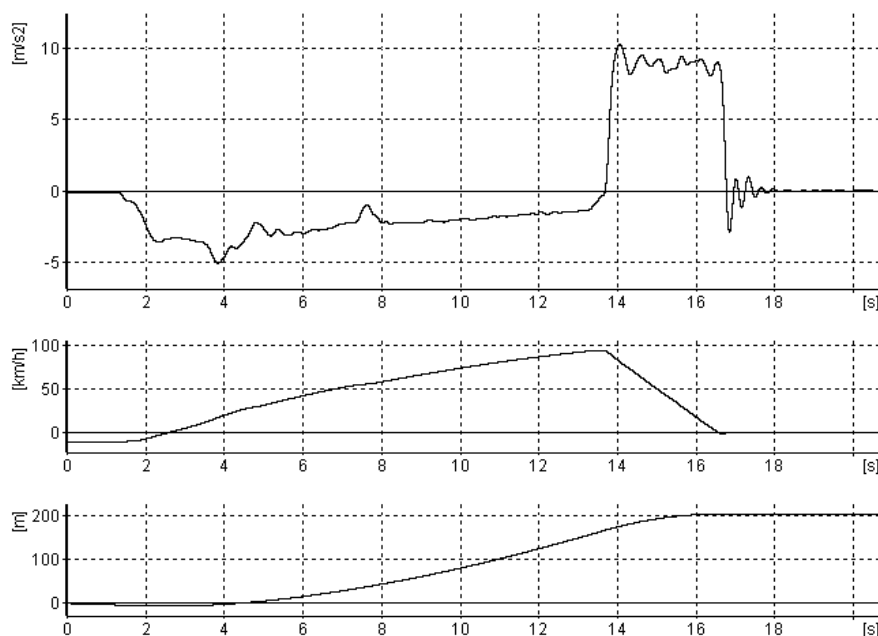
Druh vozidla	VOLVO V60		
Typ pneumatík	Zimná pneu. Matador MP93 215/55 R17 98V		
Meranie/teplota	Zimné / 0 °C		
Predpísaná počiatočná rýchlosť	50 km.h ⁻¹	70 km.h ⁻¹	100 km.h ⁻¹
Brzdná dráha (vozovka)	12,8 m	18,8 m	45,5 m
Namerané hodnuty z XL-Metra			
S_0	13 m	21,2 m	48,8 m
V_0	53,13 km.h ⁻¹	69,97 km.h ⁻¹	105,10 km.h ⁻¹
T_{br}	1,74 s	2,19 s	3,33 s
MFDD	8,46 m.s ⁻²	9,01 m.s ⁻²	9,02 m.s ⁻²



So: 21,02 [m] Vo: 50,20 [km/h] Tbr: 2,37 [s] MFDD: 8,67 [m/s²]

Obr. 6 Volkswagen Tiguan, $v_0=50,20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, teplota $2,5^\circ\text{C}$, Matador Sibir Snow 215/65 R16 98H, suchá vozovka, vozidlo s ABS, 1 osoba

Fig. 6 Volkswagen Tiguan, $v_0=50,20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, temperature $2,5^\circ\text{C}$, Matador Sibir Snow 215/65 R16 98H, dry road, a vehicle with ABS, 1 person



So: 39,43 [m] Vo: 94,43 [km/h] Tbr: 3,02 [s] MFDD: 8,97 [m/s²]

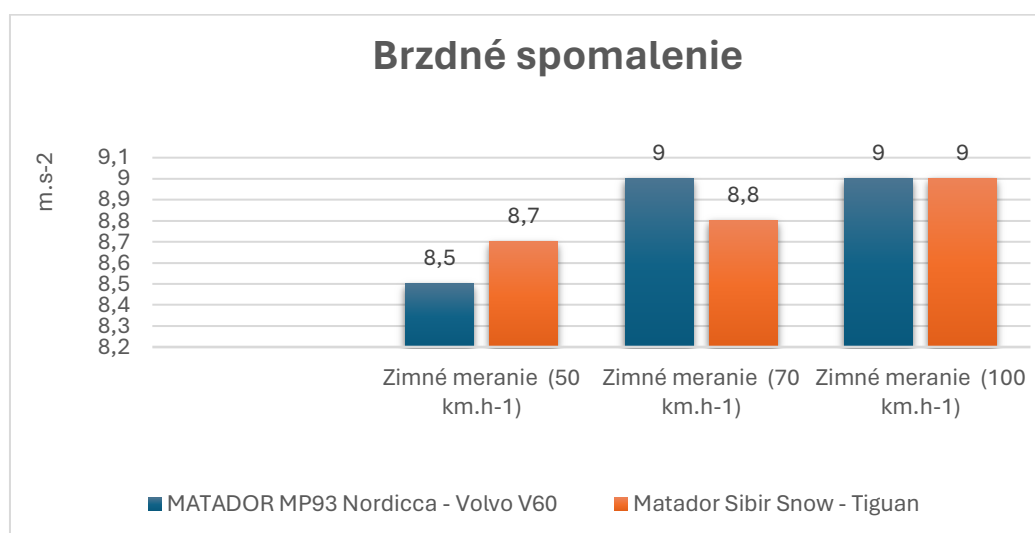
Obr. 7 Volkswagen Tiguan, $v_0=94,43 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, teplota $2,5^\circ\text{C}$, Matador Sibir Snow 215/65 R16 98H, suchá vozovka, vozidlo s ABS, 1 osoba

Fig. 7 Volkswagen Tiguan, $v_0=94,43 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, temperature $2,5^\circ\text{C}$, Matador Sibir Snow 215/65 R16 98H, dry road, a vehicle with ABS, 1 person

Tab. 6 Namerané hodnoty brzdenia vozidla Volkswagen Tiguan Matador Sibir Snow 215/65 R16 98H na suchej podložke

Tab. 6 Measured parameters of deceleration of the vehicle Volkswagen Tiguan, Matador Sibir Snow 215/65 R16 98H on dry road

Druh vozidla	Volkswagen TIGUAN		
Typ pneumatík	Zimná pneu. Matador Sibir Snow 215/65 R16 98H		
Meranie/teplota	Zimné / 2,5 °C		
Predpísaná počiatočná rýchlosť	50 km.h ⁻¹	70 km.h ⁻¹	100 km.h ⁻¹
Brzdňá dráha (vozovka)	13,9 m	18,1 m	46,3 m
Namerané hodnoty z XL-Metra			
S ₀	21 m	23,3 m	39,4 m
V ₀	50,20 km.h ⁻¹	68,8 km.h ⁻¹	94,43 km.h ⁻¹
T _{br}	2,37 s	2,32 s	3,02 s
MFDD	8,67 m.s ⁻²	8,79 m.s ⁻²	8,97 m.s ⁻²



Pneumatiky Matador MP93 Nordicca 215/55 R17, ktoré boli vyrobené v roku 2022 a majú hĺbku dezénu 7,0 mm (Tab.2), boli schopné vyprodukovať brzdňé spomalenie na suchej bitumenovej podložke za teploty 0°C $a=8,5-9 \text{ m.s}^{-2}$ (Tab.5). Pneumatiky Matador Sibir Snow v rozmere 215/65 R16, vyrobené v roku 2020 s hĺbkou dezénu 6,0 mm (Tab.4) vyprodukovali brzdňé spomalenie na suchom bitumenovom povrchu za teploty 2,5°C $a= 8,7- 9 \text{ m.s}^{-2}$ (Tab.6).

Súčiniteľ adhézie sa vypočíta ako podiel brzdňého spomalenia a , nameraného pri testovaní a gravitačného zrýchlenia g , ktorý je na Zemi stanovený na hodnotu $9,81 \text{ m.s}^{-2}$.

Vzorec pre výpočet súčiniteľa adhézie:

$$\mu = \frac{a}{g} \quad [1]$$

Tab. 7 Výpočet súčiniteľa adhézie zimných pneumatík Matador MP93 215/55 R17 z nameraných hodnôt brzdného spomalenia
 Tab. 7 Calculation of the adhesion coefficient of Matador MP93 winter tires 215/55 R17 from measured values of braking deceleration

Rýchlosť (km.h ⁻¹)	Spomalenie (m.s ⁻²)	Gravitačné zrýchlenie (m.s ⁻²)	Súčiniteľ adhézie μ
50	8,46	9,81	0,862
70	9,01		0,918
100	9,02		0,919
Aritmetický priemer	8,83		0,9

Tab. 8 Výpočet súčiniteľa adhézie zimných pneumatík Matador Sibir Snow 215/65 R16 z nameraných hodnôt brzdného spomalenia
 Tab. 8 Calculation of the adhesion coefficient of Matador Sibir Snow winter tires 215/65 R16 from measured values of braking deceleration

Rýchlosť (km.h ⁻¹)	Spomalenie (m.s ⁻²)	Gravitačné zrýchlenie (m.s ⁻²)	Súčiniteľ adhézie μ
50	8,67	9,81	0,883
70	8,79		0,896
100	8,97		0,914
Aritmetický priemer	8,81		0,898

Pri porovnaní aritmetického priemeru súčiniteľa adhézie vybraných pneumatík konštatujeme, že výsledné hodnoty sú analogické. Z toho vyplýva, že výrobca vybraných pneumatík používa pri výrobe totožné zmesi, avšak iný tvar behúňa, čo môže ovplyvniť adhézne vlastnosti pri mokrej zime a snehu.

4 Záver

Práca testuje a porovnáva adhézne vlastnosti vybraných pneumatík. Experimentálnymi spôsobmi bolo zistené brzdné spomalenie a brzdná dráha súvisiaca s brzdným spomalením pri určitých rýchlostiach z ktorého sa vypočítal súčiniteľ adhézie. Meranie sa uskutočnilo na suchej bitúmenovej vozovke pri podobnej rýchlosti, teplote vozovky 0°C – 2,5°C v zimnom období. Odborná literatúra hovorí, že zimné pneumatiky sú zvyčajne vyrobené z mäkkšej zmesi, ktorá sa pri vysokých teplotách stáva príliš mäkkou. Rozhodujúcim faktorom v tomto prípade je materiál použitý pri výrobe, jeho zloženie, tvar behúňa, stav pneumatiky. Meranie nám potvrdilo, že so zvyšujúcou sa teplotou vozovky je brzdné spomalenie vyššie. Testované boli pneumatiky tej istej značky avšak inej vzorky. Meranie nám potvrdilo, že zmes pri výrobe pneumatík je totožná a vlastnosti pneumatík sú zhodné pri suchej zime. Konštatujeme, že pri mokrej zime a snehu bude mať lepšie brzdné vlastnosti vzorka Sibir snow v porovnaní so vzorkou MP93 Nordicca, nakoľko Sibir snow má lepšie prispôsobený behún pre odvádzanie vody a snehu. Pneumatika MP93 Nordicca bude zas lepšia pri teplotách od 2°C do 10°C.

5 Literatúra

1. KOHÚT, P., KUBJATKO, T. Brzdenie vybraného súboru vozidiel. In : Znalectvo 2/2000, str. 05-30.
2. VLK, F.: 2006. *Podvozky Motorových Vozidiel*. 3. vyd. Brno : fvlk, 2006. 464 s. ISBN 80-239-6464-X.
3. www.goodyear.com/en-US/tires/eagle-nct-5-rof
4. SEMETKO, J.: Vlastnosti motorových vozidiel., Nitra: ES VŠP, 1996. 104 s, ISBN 80-7137-268
5. 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.
6. 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>
7. POLANSKÝ P., 2013, Závislosť smesí 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
8. 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.
9. 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

Súhrn

Práca sa zaoberá implementáciou a spracovaním experimentálnych testov vybraných pneumatík za prevádzkových podmienok, skúmaním vlastností zimných pneumatík rovnakej značky umiestnených na dvoch rôznych vozidlách. Merania sa uskutočnili na suchých cestách v zimných podmienkach a boli rozdelené do troch začiatočných rýchlostí 50, 70 a 100 každé vozidlo. Značka, ktorá bola porovnávaná, bola Matador, kde na vozidle VOLVO V60 D4 sme použili rozmery 215/55 R17 Matador MP93 Nordicca. Na vozidle Volkswagen Tiguan sme použili rozmery 215/65 R16 Matador Sibir snow. Na merania sme použili zariadenie XL-Meter™, ktoré dokáže merať brzdnú vzdialenosť, brzdné zrýchlenie, rýchlosť a čas a vypočítať adhéziu. Práca obsahuje prehľad a charakteristiky meracích prístrojov, prehľad meraných experimentov a výsledky testov.

Kľúčové slová: adhézia, prilínavosť vozovky, adhézne experimenty, pneumatiky

VYTVORENIE ZARIADENIA NA MERANIE TEPLOTY S VYUŽITÍM MIKROKONTROLÉRA CREATION OF A TEMPERATURE MEASURING DEVICE USING A MICROCONTROLLER

ERIK MOLNÁR¹ – PETER HLAVÁČ²

Abstract

In this article, we focus on the development of a temperature measurement system that utilizes the C8051F410 microcontroller and the Pt100 temperature sensor. The system is complemented by a C# application for controlling and monitoring the measurement processes. A key feature is the ability to remotely control temperature measurements via email, significantly enhancing user flexibility and convenience. By using software and hardware tools such as Autodesk Eagle and Keil C51, we achieved reliable and accurate measurement across a temperature range of (-20 to 120) °C. This approach not only allows for precise and dependable temperature measurement but also opens up opportunities for future development and innovation in the field of temperature measurement systems. Our results show the potential for improving monitoring systems and expanding their applicability in a wide range of applications.

Key words: temperature measurement, C8051F410 microcontroller, Pt100 temperature sensor, Autodesk Eagle, Keil C51

1 Úvod

Teplota je jedna z najdôležitejších fyzikálnych veličín meraných v rôznych vedeckých, priemyselných a domácich aplikáciách. Presné meranie teploty je nevyhnutné pre širokú škálu procesov, od monitorovania klimatických podmienok cez kontrolu priemyselných procesov až po zabezpečenie správneho fungovania elektronických zariadení. V týchto meracích systémoch zohrávajú dôležitú úlohu teplotné snímače, zariadenia navrhnuté na detekciu a meranie teplotných zmien (Michalski et al., 2021).

Úlohou teplotného snímača je zaznamenávať teplotné zmeny v jeho okolí a prevádzať tieto informácie na čitateľný formát, či už je to digitálny signál pre mikroprocesory alebo analógový výstup, ktorý možno ďalej analyzovať. Teplotný snímač sa často označuje za jeden z najobľúbenejších a najpraktickejších analógových snímačov v oblasti vstavaných systémov. Jeho základnou funkciou je premena okolitej teploty na napäťový signál, ktorý je možné ďalej spracovať analógovým vstupom mikrokontroléra. Tento typ senzora je vhodný pre aplikácie, ktoré vyžadujú monitorovanie a vizualizáciu teplotných dát (Fernandez – Dang, 2013).

Medzi významné typy teplotných snímačov patria odporové kovové snímače teploty, známe ako odporové teplotné detektory RTD (Resistance Temperature Detector), predstavujú kategóriu teplotných snímačov, ktoré využívajú vlastnosť kovov meniť odpor v závislosti od teploty. Snímače sú vyrobené z čistých vodivých kovov, ako je platina, meď alebo nikel (Sudip et al., 2022). Pre RTD by sa mohol použiť akýkoľvek kov, ale výber je obmedzený z

¹Bc. Erik Molnár, SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky.
xmolnare@uniag.sk

²doc.Mgr. Peter Hlaváč, Phd., SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky.
peter.hlavac@uniag.sk

dôvodu nákladov, teplotného koeficientu odporu, schopnosti odolávať oxidácii, výrobných obmedzení a stability (Raijmakers et al., 2019). Platinový RTD je pre svoju presnosť a spoľahlivosť považovaný za najlepší, ale je drahý. Niklové a medené RTD sú lacnejšie, ale nie sú také presné ako platinové RTD (Sudip et al., 2022). Najpoužívanějšíe odporové prevodníky teploty sú PT100 a potom PT1000, ktorý je podobný prvému s tým rozdielom, že jeho odpor pri teplote 0 °C je 1000 Ω namiesto 100 Ω (Button, 2015). RTD môže byť navrhnuté ako zariadenie s vnútorným vinutím, vonkajším vinutím alebo ako tenkovrstvové zariadenie. Tenkovrstvové RTD majú tú výhodu, že sú lacnejšie, robustnejšie a menšie v porovnaní s vnútorným vinutím a vonkajším vinutím RTD. Vďaka malej veľkosti majú tenkovrstvové RTD rýchlejšie časy odozvy (Raijmakers et al., 2019).

Na ochranu RTD pred poškodením, ktoré môže byť spôsobené mechanickým nárazom alebo koróziou, keď sa meranie teploty vykonáva v prostredí s korozívnymi kvapalinami, vlhkosťou alebo plynmi sa používa ochranné puzdro, zvyčajne vyrobené z keramiky, skla, syntetickej živice, mosadze alebo nehrdzavejúcej ocele. Toto puzdro nielen chráni prevodník, ale tiež zvyšuje konečnú veľkosť a čas odozvy snímača teploty (Button, 2015).

2 Materiál a metódy

V nasledovnom texte sú popísané komponenty, ktoré budú použité pri vytvorí zariadenia a nástroje pre vývoj a návrh softvéru a hardvéru.

Použité komponenty

Na zhotovenie funkčného systému pre monitorovanie a vizualizáciu teplotných dát si budeme musieť zaobstaráť mikrokontrolér C8051F410, ktorý bude pripojený pomocou sériovej komunikácie RS232 k počítaču. Ďalej budeme potrebovať integrovaný obvod XTR105, ktorý je navrhnutý predovšetkým pre použitie s teplotným senzorom typu Pt100.

Mikrokontrolér C8051F410

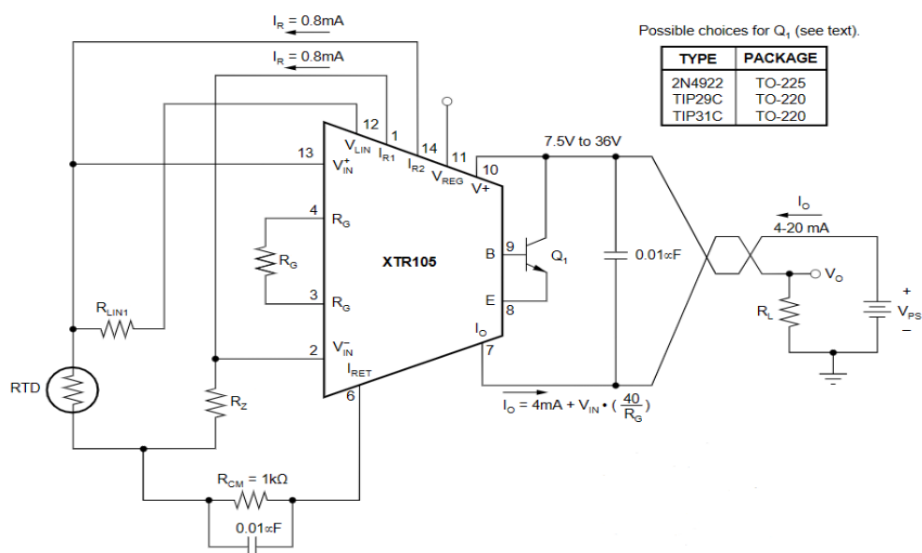
Mikrokontrolér C8051F410 od Silicon Labs je integrovaný 8-bitový čip navrhnutý pre rôzne aplikácie. Charakterizuje ho vysokorýchlostné jadro kompatibilné s mikrokontrolérmi 8051 a dosahuje rýchlosť až 50 MIPS (Million Instructions per Second - milión inštrukcií za sekundu). Obsahuje integrované debugovacie rozhranie, 12-bitový AD prevodník s rýchlosťou 200 ksps (kilo Samples per Second - tisíc vzoriek za sekundu) a až 24 analógovými vstupmi, dva 12-bitové DA prevodníky s prúdovým výstupom a vnútorný 24,5 MHz oscilátor. Ďalej spolu s 32 kB flash pamäťou a 2 304 bajtmi RAM poskytuje mikrokontrolér dostatočnú kapacitu pre náročné aplikácie. Podporuje rôzne sériové rozhrania ako SMBus/I2C, UART a SPI pre jednoduchú integráciu. Obsahuje aj štyri 16-bitové časovače, programovateľné počítadlo/časovač (PCA), smaRTClock pre spoľahlivé meranie času až do 1 V, CRC Engine pre detekciu chýb, komparátory napätia a až 24 I/O portov (Silicon Laboratories, 2007).

Sériový port RS232

Sériová komunikácia predstavuje efektívny a spoľahlivý mechanizmus pre rýchly prenos dát. Najbežnejšie sa pre tento účel využíva štandard RS232, ktorý umožňuje prenos dát medzi vysielacím a prijímacím zariadením prostredníctvom jediného vodiča. Pri tejto forme komunikácie sú dáta prenášané v bitovom sériovom formáte vopred špecifikovanou rýchlosťou, tiež známou ako prenosová rýchlosť (baudová rýchlosť) alebo počet bitov odoslaných za sekundu (Ibrahim, 2019).

XTR 105

XTR105 je integrovaný dvojvodičový vysielateľ prúdu v rozsahu (4 – 20) mA, vybavený dvojicou presných prúdových zdrojov. Poskytuje úplné prúdové budenie pre platínové RTD teplotné senzory. Jeho všestranný lineárny obvod poskytuje korekciu RTD 2. rádu, čím dosahuje výrazné zlepšenie linearity až 40:1. XTR105 je pre povrchovú montáž k dispozícii v baleniach DIP-14 a SO-14 (Texas Instruments, 2004). V našom prípade použijeme SO-14.



Obr. 1 Základný 2-vodičový RTD obvod na meranie teploty s linearizáciou
(Texas Instruments, 2004)

Fig. 1

Basic 2-wire RTD circuit for temperature measurement with linearization

Na Obr. 1 je zobrazená základná schéma zapojenia pre XTR105, ktorá vyjadruje možnosť umiestnenia RTD na diaľku jednoduchým predĺžením dvoch pripojení k RTD. S týmto vzdialeným 2-vodičovým pripojením k RTD, odpor linky spôsobí chybu. Táto chyba môže byť čiastočne opravená úpravou hodnôt R_Z , R_G a R_{LIN1} . Rezistor R_G nastavuje zosilnenie prístrojového zosilňovača podľa požadovaného teplotného rozsahu. R_G pre (2-vodičové pripojenie RTD) možno vypočítať z rovnice (3). R_{LIN1} zlepšuje lineárnu presnosť RTD, prostredníctvom korekcie 2. rádu, čím typicky dosahuje zlepšenie až 40:1 v linearite. R_{LIN1} sa volí podľa požadovaného teplotného rozsahu a vieme ho vypočítať pomocou vzťahu (4). Pre výpočet R_G a R_{LIN1} je potrebné dopočítať odpory R_1 , R_2 a R_Z , ktoré získame pomocou rovníc (1) a (2). XTR105 tiež zahŕňa externý tranzistor Q_1 , ktorý minimalizuje stratu výkonu a zvyšuje presnosť merania (Texas Instruments, 2004). V našom prípade zvolíme pre Q_1 tranzistor TIP31C s puzdrom TO-220.

Výpočet hodnôt odporu Pt100:

Rovnica pri teplotnom rozsahu od $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $0\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$R_{(T)} = 100[1 + 3,90802 \cdot 10^{-3} \cdot T - 0,5802 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 - 4,27350 \cdot 10^{-12}(T - 100) T^3] \quad (1)$$

Rovnica pri teplotnom rozsahu od $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+850\text{ }^{\circ}\text{C}$:

(2)

$$R(T) = 100(1 + 3,90802 * 10^{-3} * T - 0,5802 * 10^{-6} * T^2)$$

$$R_G = \frac{2R_1(R_2+R_Z)-4(R_2R_Z)}{R_2-R_1} \quad (3)$$

$$R_{LIN1} = \frac{R_{LIN}(R_2-R_1)}{2(2R_1-R_2-R_Z)} \quad (4)$$

Kde: $R(T)$ je odpor v Ω pri teplote T ; T je teplota v $^{\circ}\text{C}$; R_Z = odpor RTD pri minimálnej meranej teplote; R_1 = odpor RTD pri $(T_{\text{MIN}} + T_{\text{MAX}})/2$; R_2 = odpor RTD pri T_{MAX} ; $R_{\text{LIN}} = 1 \text{ k}\Omega$ (Texas Instruments, 2004).

Where: $R(T)$ is resistance in Ω at temperature T ; T is temperature in $^{\circ}\text{C}$; R_Z is resistance of RTD at minimal measured temperature; R_1 is resistance of RTD at temperature $(T_{\text{MIN}} + T_{\text{MAX}})/2$; R_2 is resistance of RTD at temperature T_{MAX} ; $R_{\text{LIN}} = 1 \text{ k}\Omega$.

Odporový teplotný snímač Pt100

Odporový teplotný snímač typu Pt100 patrí do kategórie známej ako odporové teplotné detektory (RTD) (Raijmakers et al., 2019). Pt100 je teda platinový RTD s odporom 100 Ω pri 0 $^{\circ}\text{C}$ (Raijmakers et al., 2019).

Nástroje pre vývoj a návrh softvéru a hardvéru

Pre realizáciu merania teploty si budeme musieť navrhnuť schému v softvéri autodesk eagle z ktorej vyrobíme dosku plošných spojov. Na dosku plošných spojov pripojíme mikrokontrolér, do ktorého budeme potrebovať naprogramovať pomocou vývojového prostredia Keil uVision5 prevod napätia na teplotu. Následne po naprogramovaní bude potrebné nahrať vytvoreného softvéru do vnútornej flash pamäte mikrokontroléra pomocou Flash Programming Utility od Silicon Labs. Nakoniec vytvoríme program pre riadenie merania v programovacom jazyku C# pomocou pripojenia počítača k mikrokontroléru cez sériový port RS232.

Softvér autodesk eagle

Autodesk EAGLE (Easily Applicable Graphical Layout Editor) je populárny softvér na návrh tlačných spojov PCB (Printed Circuit Board) a elektronických schém, určený pre inžinierov a dizajnérov elektroniky. EAGLE umožňuje užívateľom navrhovať komplexné schémy a rozloženia pre elektronické zariadenia s využitím intuitívneho grafického rozhrania. EAGLE vytvára detailné schémy zapojenia s využitím rozsiahlej knižnice súčiastok a symbolov (Sparkfun, 2015).

Vývojové prostredie Keil uVision5

Keil uVision5 je výkonný softvérový nástroj určený na vývoj vstavaných systémov, ktorý sa používa na písanie, ladenie a testovanie aplikácií pre vstavané systémy a používateľom poskytuje robustné funkcie a optimalizácie (IIES, 2023).

Keil obsahuje v súčasnosti viaceré verzie ako Keil MDK-ARM, Keil C51, KeilC166 a KeilC251 (Reversepcb, 2024). V našom prípade budeme využívať verziu Keil C51.

Keil C51 je skupina vývojových nástrojov od spoločnosti Keil, ktorá je určená pre mikrokontroléry založené na architektúre 8051. Keil C51 poskytuje všetko potrebné pre vývoj, kompiláciu, linkovanie, debugovanie a simuláciu aplikácií určených pre mikrokontroléry 8051 a súvisiace varianty (arm KEIL, 2019).

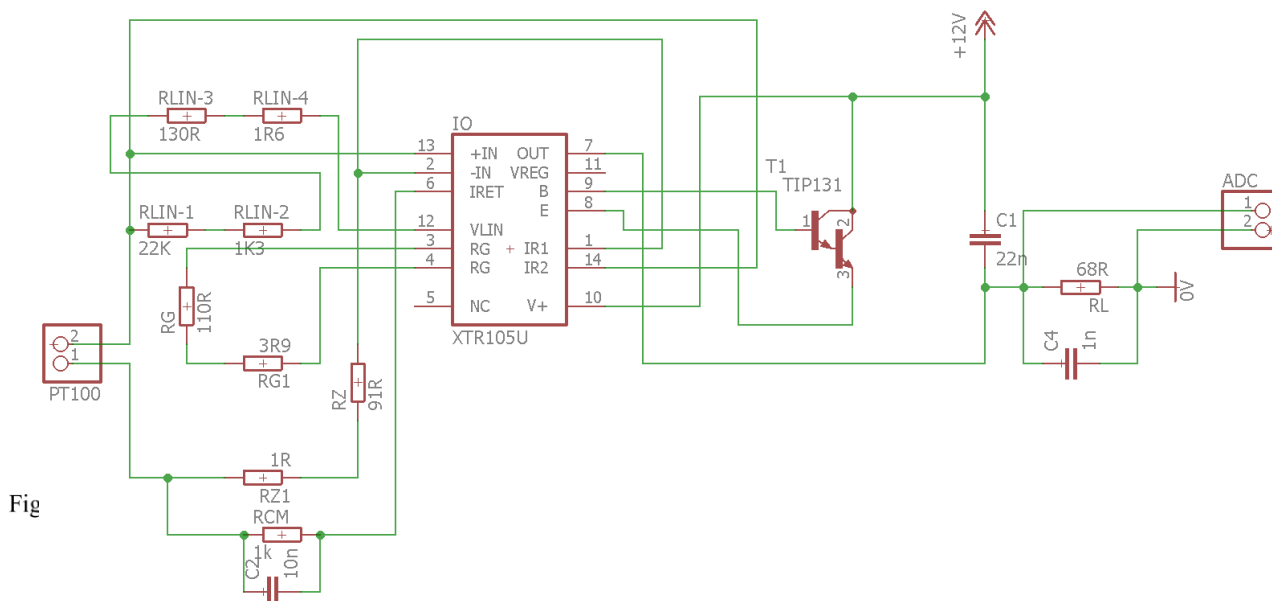
Programovací jazyk C Sharp (C #)

C Sharp je moderný, objektovo orientovaný a typovo bezpečný programovací jazyk, vyvinutý spoločnosťou Microsoft. Je označovaný aj ako C#. Vývojárom umožňuje vytvárať množstvo druhov bezpečných a robustných aplikácií, ktoré bežia v .NET (virtuálnom exekučnom systéme). Poskytuje jazykové konštrukty, vďaka čomu je prirodzeným jazykom na vytváranie a používanie softvérových komponentov (Microsoft, 2022).

3 Výsledky a diskusia

Pomocou softvéru Autodesk Eagle sme navrhli monolitický elektronický obvod s prúdovým výstupom (4 – 20) mA pre dvojvodičový prúdový prevodník XTR105, určený na meranie teploty (Obr. 2). Na linearizáciu signálu sme využili teplotný odporový snímač Pt100. Aby sme minimalizovali väčšiu stratu výkonu a zároveň zachovali presnosť vstupných a referenčných obvodov XTR105, tak sme do schémy integrovali externý tranzistor Q1, konkrétne model TIP31C s puzdrom TO-220. Na presné digitálne spracovanie výstupného signálu z prúdového prevodníka sme do obvodu zakomponovali analógovo-digitálny prevodník (ADC), čo umožňuje ďalšie spracovanie a analýzu meraných údajov v digitálnej forme v našom prípade pomocou mikrokontroléra C8051F410 .

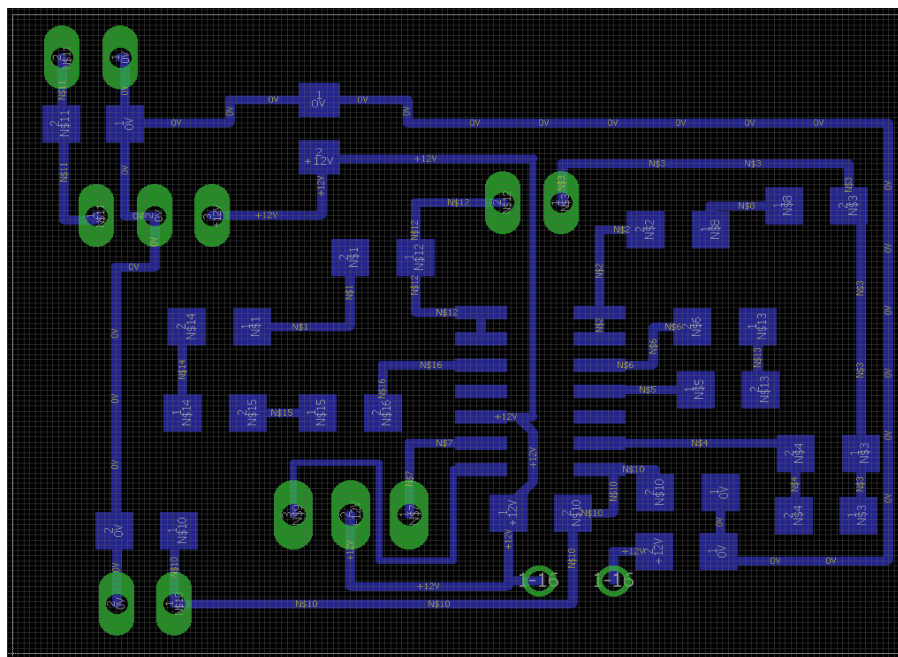
Ďalej na tvorbu schémy bolo potrebné pomocou vzťahov (1), (2), (3) a (4) dopočítať hodnoty odporov (R_1 , R_2 , R_Z , R_G a R_{LIN1}), ktoré sú uvedené v časti XTR105. Pre výpočet hodnôt odporov sme si určili rozsah teploty nášho merania (od -20 do 120) °C. Hodnota R_Z pri meranej minimálnej teplote (-20 °C) dosahovala odpor 92,16 Ω. Odpor R_1 pri teplote (50 °C) bol 119,395 Ω a odpor R_2 pri maximálnej teplote (120 °C) mal až 146,06 Ω. Následne sme hodnoty odporov (R_Z , R_1 a R_2) vložili do vzťahov (3) a (4), kde sme získali odpor R_G 114,03 Ω a odpor R_{LIN1} 23431,82 Ω.



Obr. 2 Dvojvodičový obvod na meranie teploty pomocou odporového snímača Pt100 s linearizáciou

Two-wire circuit for temperature measurement using a Pt100 resistance sensor with linearization

Po zhotovení schémy sme navrhli dosku plošných spojov (PCB) a zobrazili ju na Obr. 3. Na tejto doske sme usporiadali všetky komponenty a vzájomne ich prepojili vodivými cestami. Následne sme návrh dosky pripravili pre výrobný proces.

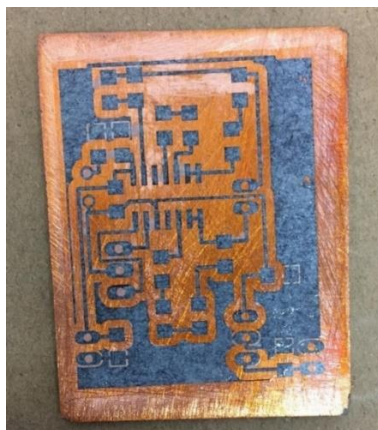


Obr. 3 Návrh dosky plošných spojov (PCB)
Printed Circuit Board (PCB) design

Fig. 3

Na začiatku výrobného procesu sme vytlačili návrh dosky plošných spojov (Obr. 3) na kladivkový papier. Následne sme potrebovali kuprecitovú dosku vyrobenú z laminátu, na ktorej bola z jednej strany nanosená tenká vrstva medi, slúžiaca na vytvorenie vodivých ciest a oblastí pre spájkovanie elektronických komponentov. Pred aplikáciou návrhu dosky na kuprecitovú dosku sme ju z medenej strany jemne zbrúsili a následne umyli od nečistôt.

Ako ďalší krok pri výrobe dosky plošných spojov sme na čistú a odmastenú kuprecitovú dosku aplikovali plošný spoj pomocou metódy nažehľovania. Táto metóda spočíva v prenose toneru z kladivkového papiera na kuprecitovú dosku pomocou tepla (obvykle pomocou žehličky). Po nažehlení a dostatočnom ochladení sme dosku namočili do vody a nažehlený papier sme opatrne odstránili, čím sa odhalil návrh plošného spoja, ktorý bol pripevnený na medenú vrstvu dosky pomocou toneru (Obr. 4).



Obr. 4 Plošný spoj na medenej vrstve kuprecitovej dosky
Printed circuit on the copper layer of a copper-clad board

Takto pripravený plošný spoj na kuprecitovej doske sme kvôli leptaniu umiestnili do nádoby s 35 % peroxidom a roztokom peroxosíranu sodného. Roztok odstránil medenú vrstvu tam, kde nebola chránená tonerom, čím sa vytvorili požadované vodivé cesty.

V poslednom kroku sme vyvrtali diery s vrtákom (veľkosť 1 mm), do ktorých sme osadili súčiastky s vývodmi a následne ich zaletovali na opačnej strane dosky. Spolu so súčiastkami sme naletovali aj elektronické komponenty. Takto vyhotovenú dosku plošných spojov sme zobrazili na Obr. 5.

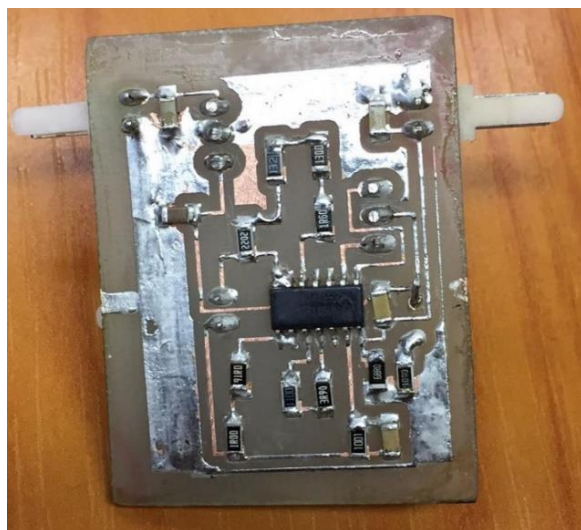


Fig. 5

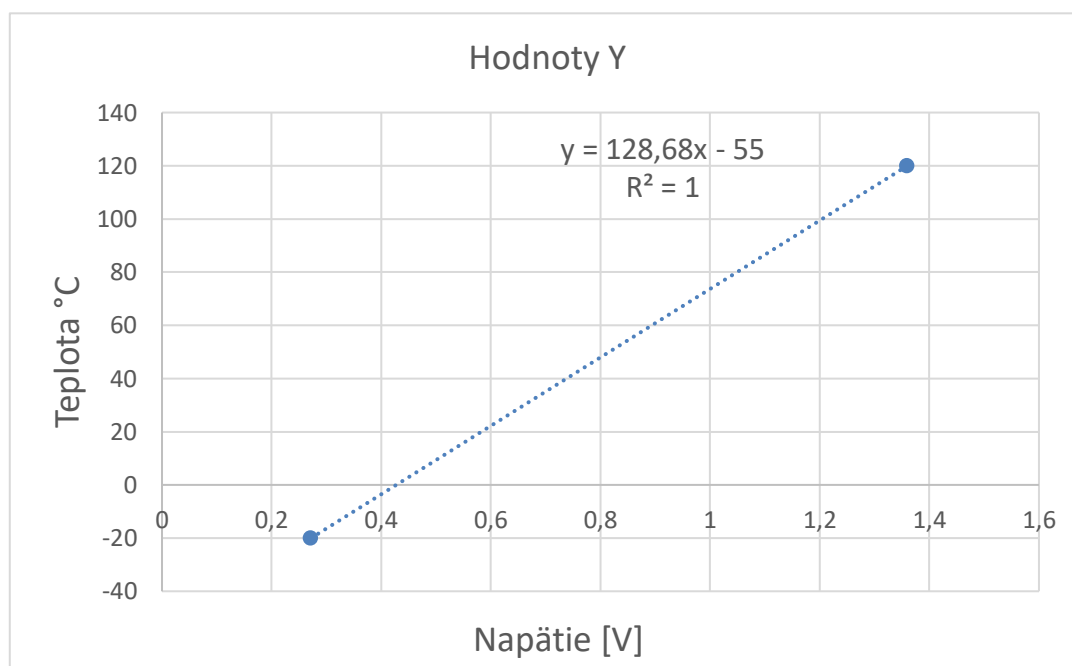
Obr. 5 Vyhotovená doska plošných spojov
Manufactured printed circuit board

Po osadení všetkých potrebných komponentov a úspešnom zhotovení dosky plošných spojov sme prešli k integrácii mikrokontroléra C8051F410. Mikrokontrolér sme pripojili k analógovo-digitálnemu prevodníku (ADC) prostredníctvom dvoch vodičov, čo bolo nevyhnutné pre správne spracovanie teplotných signálov získaných z teplotného senzora. Jeden vodič sme pripojili z výstupu AD prevodníka do vstupu mikrokontroléra na pin 1.7, čo umožňovalo prijímanie analógového signálu pre jeho digitálnu konverziu. Druhý vodič sme použili na uzemnenie AD prevodníka, čo zabezpečovalo stabilnú referenčnú hodnotu pre správne meranie.

Na základe potreby presného merania teploty v rozsahu (-20 – 120) °C sme vypočítali napätie použitím Ohmovho zákona $U = R \cdot I$, kde odpor $R = 68 \, \Omega$ a pri prúdoch (4 mA a 20 mA). Tieto prúdy reprezentujú rozsah výstupu z teplotného senzora, pričom prúd

4 mA zodpovedal najnižšej meranej teplote $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a prúd 20 mA najvyššej meranej teplote $120\text{ }^{\circ}\text{C}$. S vypočítanými napätiami $U_1 = 0,272\text{ V}$ pre prúd 4 mA a $U_2 = 1,36\text{ V}$ pre prúd 20 mA, sme potom vytvorili graf závislosti teploty od napätia (Obr. 6), kde sme použili trendovú spojnicu so zvolenou lineárnou rovnicou, ktorá umožňuje prevádzať merané napätie späť na hodnoty teploty.

Pre naprogramovanie mikrokontroléra sme využili vývojové prostredie Keil C51. Kód, ktorý sme napísali je zobrazený na Obr. 7, inicializuje zariadenie, nastavuje AD prevodník na nepretržitú prevodnú činnosť a zabezpečuje presné meranie teploty v rozsahu $(-20 - 120)\text{ }^{\circ}\text{C}$. Presné meranie teploty v tomto rozsahu je dosiahnuté vložením získanej rovnice pre konverziu napätia na teplotu $t = 128,68 U - 55$, ktorá bola odvodená z analýzy grafu (Obr. 6).



Obr. 6 Závislosť teploty od napätia
Dependency of temperature on voltage

```

1  #include "compiler_defs.h"
2  #include "C8051F410_defs.h"
3  #include "stdio.h"
4
5  extern void Init_Device();
6
7  unsigned char c;
8  float t;
9
10 void main()
11 {
12     Init_Device();
13     TIO = 1; //umožňuje vysielanie na sériovom porte, pripravuje sériový port na odosielanie dát
14     while(1)
15     {
16         RIO = 0; // resetuje bit prijmu
17         while(!RIO);
18         ADOINT = 0; // Resetuje prerušovací signál ADC, pripravuje na nové meranie
19         ADOBUSY = 1; // (zapínanie)spustí konverziu ADC, začína meranie
20         while(!ADOINT); // Čakam kým ADOINT nebude v log 1, čo signalizuje dokončenie merania ADC
21         t = (float) (ADCOH << 8 | ADCOL) * (2.25/4096); // precíta hodnotu z ADC, prevádza ju na napätie a potom na teplotu podľa rovnice
22         t = (128.68*t)-55; //rovnica pre konverziu napätia na teplotu.
23         printf("%.2f\n", t); //vypíše vypočítanú teplotu na (sériový port) s dvomi desatinnými miestami.
24     }
25 }

```

Obr. 7 Meranie a spracovanie teploty s využitím analógovo-digitálneho prevodníka (ADC)
Temperature measurement and processing using an analog-to-digital converter (ADC)

Fig. 7

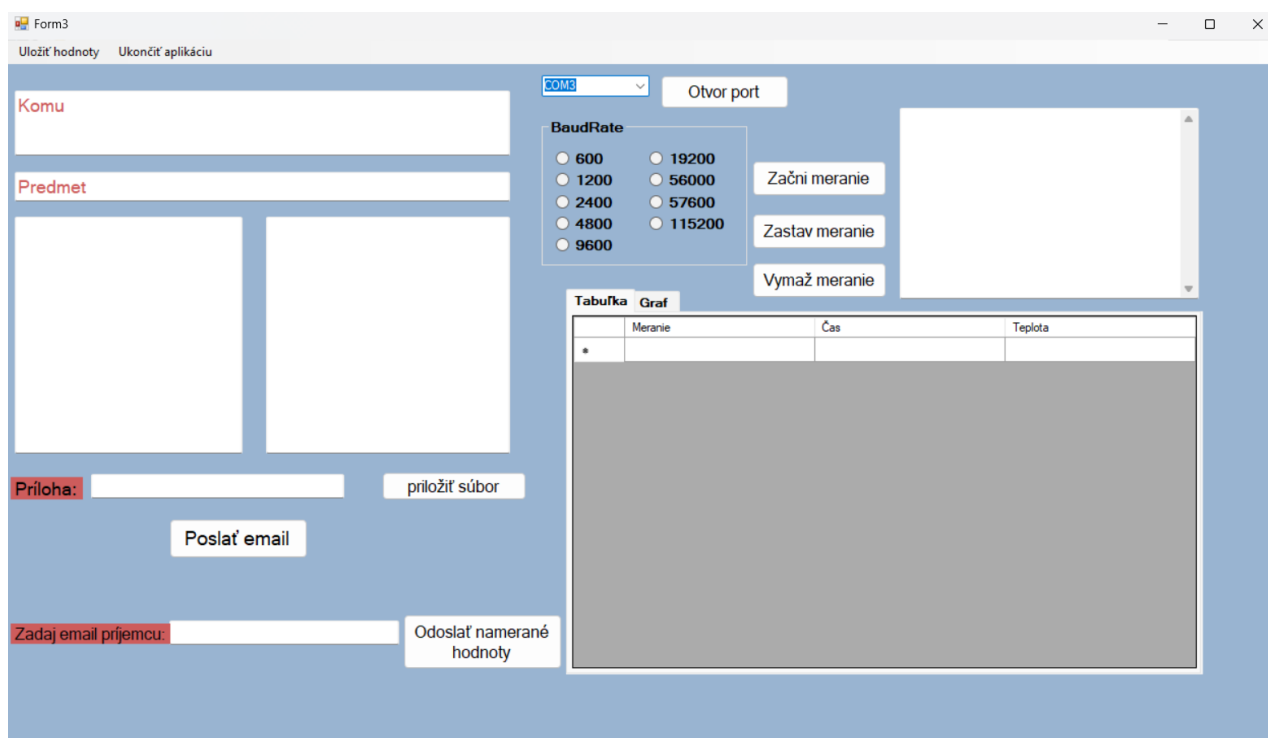
Pre nahratie vytvoreného softvéru do mikrokontroléra sme použili Flash Programming Utility od Silicon Labs, ktorý slúži ako špeciálne navrhnutý nástroj pre rýchle a efektívne programovanie mikrokontrolérov radu C8051, vrátane C8051F410, prostredníctvom USB pripojenia k počítaču. Tento nástroj umožňuje priame programovanie vnútornej flash pamäte mikrokontroléra bez potreby externého programátora, čo zjednodušuje a zrýchľuje proces vývoja.

Po naprogramovaní sme otestovali funkcionálnosť mikrokontroléra a následne sme začali s integrovaním celého systému. Aby sme overili presnosť a spoľahlivosť nášho elektronického obvodu, tak pomocou sériového terminálu sme v kontrolovanom prostredí vykonali merania teploty, ktoré nám umožnili v reálnom čase sledovať a analyzovať teplotné dáta. To nám pomohlo okamžite odhaliť a opraviť akékoľvek chyby. Získané výsledky následne viedli k optimalizácii systému a potvrdili jeho pripravenosť na praktické využitie.

Program v C# pre riadenie merania teploty

Náša prácu sme rozšírili o vývoj aplikácie v programovacom jazyku C#, ktorá slúži ako rozhranie pre riadenie a monitorovanie merania teploty (Obr. 8). Po otvorení sériového portu mikrokontroléra aplikácia umožňuje zaznamenávať teplotné dáta do tabuľky DataGridView a vytvárať z nich graf, ktorý znázorňuje závislosť teploty od počtu meraní v čase. Umožňuje tiež flexibilné riadenie meracieho procesu. Dáta z tabuľky možno jednoducho exportovať do Excelovských alebo textových dokumentov, čo uľahčuje ich archiváciu a zdieľanie. Ďalej je možné spúšťať, zastavovať a vymazať meranie priamo cez užívateľské rozhranie aplikácie pomocou tlačidiel. Výhodou je aj meranie na diaľku prostredníctvom e-mailu.

Funkcia riadenia merania cez e-mail pracuje na princípe odoslania e-mailu s určitým textom na emailovú adresu, cez ktorú sa prihlasujeme do aplikácie a potom môžeme vzdialene ovládať proces merania. Napríklad, správa s obsahom "S100" iniciuje meranie, pričom "S" symbolizuje štart a nasledujúce číslo "100" udáva počet meraní, ktoré má aplikácia vykonať. Tento prístup poskytuje výraznú flexibilitu a pohodlie, ktoré umožňuje riadiť meranie teploty bez nutnosti byť fyzicky prítomný pri zariadení.



Obr. 8 Aplikácia pre riadenie a monitorovanie merania teploty
Application for controlling and monitoring temperature measurement

Fig. 8

4 Záver

V rámci tohto článku sme sa zaoberali tvorbou systému pre meranie teploty pomocou mikrokontroléra C8051F410 a použitím teplotného snímača Pt100. Ďalej sme sa venovali vývoju aplikácie pre riadenie merania v C# a využitím programovacích a návrhových nástrojov ako Autodesk Eagle a Keil C51 sme vytvorili komplexný systém, ktorý poskytuje presné a spoľahlivé meranie teploty v rozsahu (-20 – 120) °C.

Jedným z kľúčových aspektov nášho článku je schopnosť aplikácie riadiť meranie teploty na diaľku prostredníctvom e-mailu, čo umožňuje používateľom flexibilitu kontrolu nad meracím procesom bez nutnosti fyzickej prítomnosti. Táto funkcia, spolu s možnosťou exportu dát do rôznych formátov značne zvyšuje používateľský komfort a rozširuje možnosti využitia systému.

Výsledky nášho výskumu potvrdzujú, že kombináciou softvérového riadenia a presného hardvérového merania môžeme vytvoriť systém, ktorý je nielen spoľahlivý, ale aj prispôsobivý pre potreby používateľa. Táto metóda umožňuje nové možnosti pre budúci vývoj a inovácie v oblasti merania teploty, ktoré ponúkajú príležitosti pre zlepšenie monitorovacích systémov a rozšírenie ich používania a dostupnosti v rôznych aplikáciách.

5 Literatúra

ARM KEIL. 2019. C51 C Compiler [online], [cit.2024-03-25]. Dostupné na internete: <<https://www.keil.com/products/c51/c51.asp#:~:text=The%20Keil%20C51%20C%20Compil>

er%20for%20the%208051,have%20the%20efficiency%20and%20speed%20of%20assembly%20language>.

BUTTON, V. L. S. N. 2015. Principles of Measurement and Transduction of Biomedical Variables. In *Chapter 4 - Temperature Transducers*. P. 101 – 154. ISBN 978-0-12-800774-7

FERNANDEZ, A. – DANG, D. 2013. Getting Started with the MSP430 Launchpad. In *Analog: The Infinite Shades of Gray*. P. 81 – 125. ISBN 978-0-12-411588-0.

IBRAHIM, D. 2019. ARM-Based microcontroller projects using MBED. In *Chapter 13 - UART Projects*. P. 325 – 332. ISBN 978-0-08-102969-5.

IIES. 2023. Indian Institute of embedded systems. In *Introduction - Keil uVision 5*. [online], [cit. 2024-03-25]. Dostupné na internete:

<<https://iies.in/blog/keil-uvision-5-a-step-by-step-tutorial-for-beginners/#:~:text=Keil%20uVision%20is%20a%20powerful%20software%20tool,and%20streamlined%20environment%20for%20project%20management%20and%20debugging>>.

MICHALSKI, L. – ECKERSDORF, K. – KUCHARSKI, J. – MCGHEE J. 2001. Temperature Measurement Second Edition. In *Temperature Scales and Classification of Thermometers*. P.1 – 18. ISBN 0-471-86779-9

MICROSOFT. 2022. A tour of the C# language [online], aktualizované 5. apríl 2023, [cit. 2024-03-13]. Dostupné na internete: <<https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/tour-of-csharp/>>.

RAIJMAKERS, L.H.J. – DANILOV, D.L. – EICHEL, R.-A. – NOTTE, P.H.L. 2019. Applied Energy. In *A review on various temperature-indication methods for Li-ion batteries*. P. 918 – 945. ISSN: 0306-2619

REVERSEPCB. 2024. Keil µVision5: Tutorial for Beginners [online], [cit.2024-03-25]. Dostupné na internete: <<https://reversepcb.com/keil-%ce%bcvision5/>>.

SILICON LABORATORIES. 2007. Silicon labs. In *C8051F410 Datasheet (PDF) - Silicon Laboratories*. P. 270. [online], [cit.2024-03-25]. Dostupné na internete:

<<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/201064/SILABS/C8051F410.html>>.

SPARKFUN. 2015. Introduction [online], [cit.2024-03-25]. Dostupné na internete: <<https://learn.sparkfun.com/tutorials/how-to-install-and-setup-eagle/all>>.

SUDIP, P. – ANGANA, S. – VINAYAK, M. – VINAY, K. P. 2022. Introduction to Biomedical Instrumentation and Its Applications. In *Transducers and amplifiers*. P. 87-167. ISBN 978-0-12-821674-3 [cit. 2023-06-17].

TEXAS INSTRUMENTS. 2004. XTR105 4-20mA CURRENT TRANSMITTER with Sensor Excitation and Linearization. [online] [cit. 2024-03-25]. Dostupné na internete:

<<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/502722/TI1/XTR105.html>>.

Súhrn

V tomto článku sa zameriavame na vývoj systému pre meranie teploty, ktorý využíva mikrokontrolér C8051F410 a teplotný snímač Pt100. Systém je doplnený o aplikáciu v jazyku C# pre riadenie a monitorovanie meracích procesov. Kľúčovou vlastnosťou je možnosť diaľkového ovládania merania teploty prostredníctvom e-mailu, čo prináša významné zvýšenie flexibility a pohodlia pre používateľa. Využitím softvérových a hardvérových nástrojov, ako sú Autodesk Eagle a Keil C51, sme dosiahli spoľahlivé a presné meranie v rozsahu teplôt (od -20 do 120) °C. Tento prístup nielenže umožňuje presné a spoľahlivé meranie teploty, ale otvára aj priestor pre budúce vývojové a inovačné príležitosti v oblasti teplotných meracích systémov. Naše výsledky ukazujú potenciál pre zlepšenie monitorovacích systémov a rozšírenie ich použiteľnosti v širokom spektre aplikácií.

Kľúčové slová: meranie teploty, mikrokontrolér C8051F410, teplotný snímač Pt100, Autodesk Eagle, Keil C51

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

VYUŽITIE ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ POUŽITÝCH MOTOROVÝCH OLEJOV PRI POSUDZOVANÍ ICH KVALITY

ELECTRICAL PROPERTIES OF USED ENGINE OILS UTILIZATION AT THEIR QUALITY ASSESSING

MARTIN OBERT¹ - ZUZANA HLAVÁČOVÁ²

Abstract

Motor oils are among the most technologically complex oil products. The properties of motor oils are of fundamental importance for the proper operation and longevity of motor vehicles. Viscosity, temperature range, cleaning ability, protection against wear, stability at high temperatures, or lubrication properties are the most important properties of engine oils. For optimal operation, it is necessary to pay attention to these properties and choose the right engine oil that will meet the specific needs of the vehicle and driving conditions. The oil must lubricate the engine at all temperatures during the entire operation of the engine. However, it must also meet fluidity at low temperatures, sufficient viscosity during each working temperature, the ability to dissipate heat, neutralize acidic products, as well as compatibility with sealing materials. We found that resistance and impedance decrease with increasing frequency. Pure oil samples had the highest resistances. The capacity of oils increases with increasing temperature.

Key words: electrical properties, resistance, motor oil, LCR meter

1 Úvod

Motorové oleje predstavujú zásadnú súčasť prevádzky motorových vozidiel. Ich správna voľba a údržba sú kritické pre zabezpečenie bezpečnosti premávky a rovnako i dlhovekosti motorov. V súčasnom svete motorovej dopravy je však vývoj nových technológií, ako napríklad elektrické vozidlá, stále viac prítomný. Tento vývoj mení aj požiadavky na motorové oleje a ich vlastnosti, s dôrazom na elektrické charakteristiky. Z makroskopického hľadiska sú elektrické vlastnosti biologických materiálov ovplyvnené ich chemickým zložením a ich textúrou, rozmiestnením a rozložením buniek v nich, ale najmä obsahom vlhkosti, jej nerovnomerným rozložením, rôznymi formami väzby vody na materiál, sorpčnými vlastnosťami (Hlaváčová, 2004). Elektrický odpor je fyzikálna veličina, ktorá vyjadruje schopnosť materiálu zabraňovať prechodu elektricky nabitých častíc. Je definovaný ako podiel napätia a prúdu prechádzajúceho predmetom následkom tohto napätia. Elektrická kapacita je fyzikálna veličina, ktorá preukazuje schopnosť látky udržať v sebe elektrický náboj pri určitom elektrickom napätí. V dnešnej dobe je široký sortiment motorových olejov, ktoré sú vyrábané s rôznymi zloženiami a špecifikáciami tak, aby vyhoveli požiadavkám rôznych motorových konštrukcií. Kapacita motorového oleja sa týka jeho schopnosti udržiavať elektrický náboj. Táto vlastnosť môže byť kľúčová pri minimalizácii elektrostatického náboja v pohyblivých častiach vozidla, čím sa znižuje riziko vzniku iskier. Je nutné zdôrazniť, že elektrické vlastnosti

¹Bc.Martin Obert, SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky.
xobertm@uniag.sk

²prof. RNDr. Zuzana Hlaváčová, CSc, SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky. hlavacova@uniag.sk

motorových olejov môžu byť dôležité predovšetkým v hybridných vozidlách, kde sa elektrické komponenty a systémy stávajú dominujúcimi. Zehnálek (2005) tvrdí, že motorové oleje sú najnáročnejšie mazivá. Tieto oleje sú určené na mazanie spaľovacích motorov. Pracovné teploty oleja v nádrži dosahujú až 150 °C, ojníčné ložiská majú teplotu až 180 °C a teplota na prvom piestnom krúžku môže byť viac ako 250 °C. Motorový olej je v prevádzke teplotne veľmi zaťažovaný. Vlk (2006) dopĺňa, že od teploty závisí aj viskozita oleja, pretože motor pracuje v širokom spektre teplôt.

Životnosť motorového oleja ovplyvňujú dve kľúčové zložky. Prvou je kvalita základového oleja a prísady. Základový olej tvorí základ motorového oleja a ovplyvňuje jeho schopnosť poskytnúť ochranu a mazanie oleja. Prísady, ako sú napríklad aditíva, sú dôležité pre vlastnosti ako viskozita, oxidácia, čistenie a disperzia nečistôt. Vyššia kvalita základových olejov a prísad zvyčajne vedie k dlhšej životnosti motorového oleja a lepšej ochrane motora. Druhou kľúčovou zložkou sú prevádzkové podmienky v motore. Patrí sem teplota, tlak, zaťaženie motora a intervaly výmeny oleja. Extrémne vysoké teploty môžu spôsobiť skoršiu oxidáciu oleja, čo znižuje jeho účinnosť a životnosť. Určenie stavu oleja používaného v prevádzkových podmienkach je veľmi dôležité pre potenciálne ďalšie použitie oleja (Dostál et al., 2019). Práve využitie elektrických vlastností pri kontrole olejov v prevádzkových podmienkach by bolo veľmi vhodné, nakoľko nás môže upozorniť na alarmujúci stav oleja. Priebežné meranie elektrických vlastností pri prevádzke motorového oleja by mohlo spotrebiteľa upozorniť na aktuálny stav oleja a predísť tak poškodeniu motora.

2 Materiál a metóda

Naše merania sme uskutočnili na vzorkách použitých motorových olejov, ktoré sme získali z rôznych typov automobilov a motocyklov. Použili sme oleje značky URANIA, CASTROL a MOTUL. Prvá vzorka bola z nákladného vozidla typu IVECO, rok výroby 2020, motorizácia 3,0 HTP (high torque performance) s nájazdom 50 000 km, značky Urania. Vzorka číslo dva bola z nákladného vozidla typu IVECO, rok výroby 2011, motorizácia 3,0 HTP, značky Urania. Tretia vzorka pochádza z osobného motorového vozidla typu Škoda octavia, motorizácia 1,9 TDI (turbocharged direct injection), značky Castrol. Vzorka číslo štyri pochádza z osobného motorového vozidla typu Suzuki S-Cross, značky Castrol. Piata vzorka z motocykla Yamaha YZF 1000R, vzorka Motul. Posledná vzorka je z motocykla JinLun 250, značky Motul. Vzorky boli odoberané v intervale, ktorý odporúča výrobca. Prvá vzorka oleja bola odobratá po 50 000 km, druhá po 40 000 km, tretia po 15 000 km, štvrtá po 10 000 km, piata po 6 000 km a posledná vzorka po 2 000 km. Merali sme elektrický odpor, impedanciu a kapacitu vzoriek v závislosti od frekvencie. Použili sme prístroj LCR meter GoodWill 817 pri frekvenciách 40, 50, 66, 100, 200 kHz. Prístroj bol prepojený k počítaču sériovým káblom a namerané hodnoty sa uložili do príslušných súborov. Prístroj nameral trikrát hodnoty pri každej frekvencii, odchýlky boli minimálne, hodnoty boli programom (doc. Cviklovič) k prístroju INSTEK načítané do počítača, následne sme vypočítali aritmetický priemer, ktorý sme použili v grafoch. Okrem frekvenčnej závislosti sme sa zamerali aj na teplotnú závislosť. Meraný rozsah teplôt bol od 7 °C do 50 °C. V kadičke sme zohriali olej na teplotu 50 °C a postupne pri chladnutí sme merali pri nižších teplotách.

3 Výsledky a diskusia

Z nameraných a vypočítaných hodnôt sme zostrojili grafické závislosti odporu, impedancie a kapacity od frekvencie.

Regresné rovnice majú charakter klesajúcej mocninnej funkcie

$$R = R_0 \left(\frac{f}{f_0}\right)^{-k} \quad Z = Z_0 \left(\frac{f}{f_0}\right)^{-n} \quad C = C_0 \left(\frac{f}{f_0}\right)^{-m} \quad (1)$$

kde:

R – odpor,

R_0 – referenčná hodnota odporu,

f – frekvencia,

$f_0 = 1$ kHz,

k, n, m – konštanty,

Z – impedancia,

Z_0 – referenčná hodnota impedancie,

C – kapacita,

C_0 – referenčná hodnota kapacity.

where:

R – resistance,

R_0 – reference resistance value,

f – frequency,

$f_0 = 1$ kHz,

k, n, m – constants,

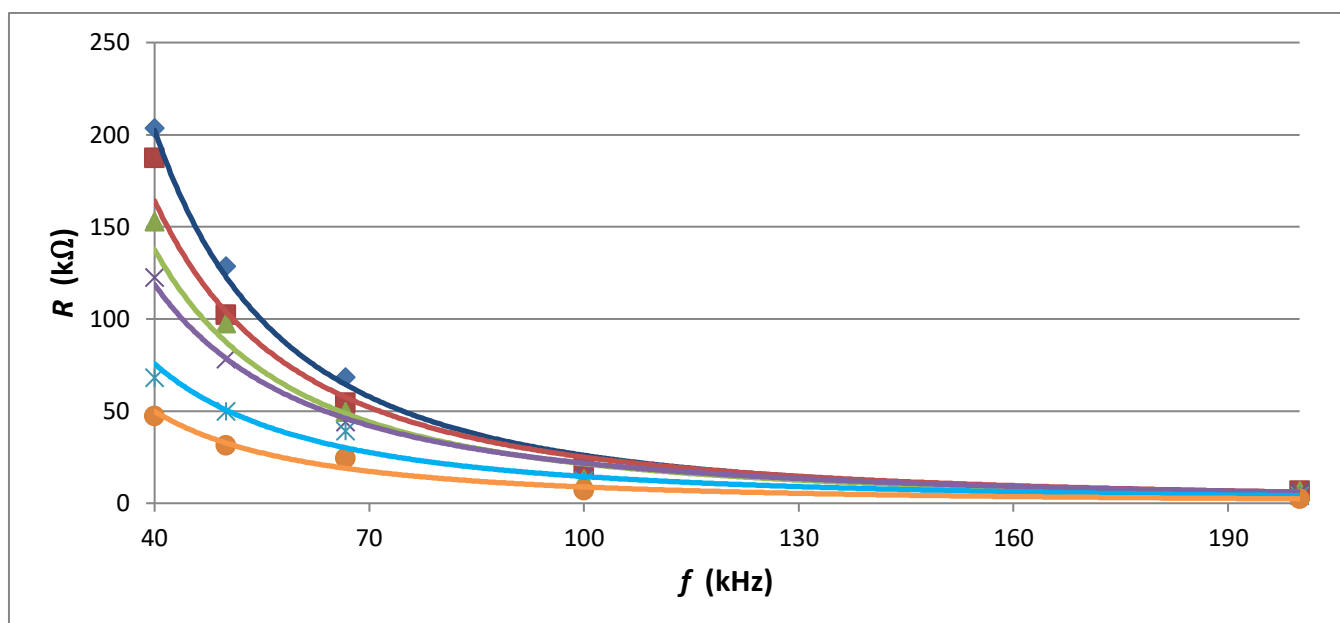
Z – impedance,

Z_0 – reference impedance value,

C – capacitance,

C_0 – reference capacitance value.

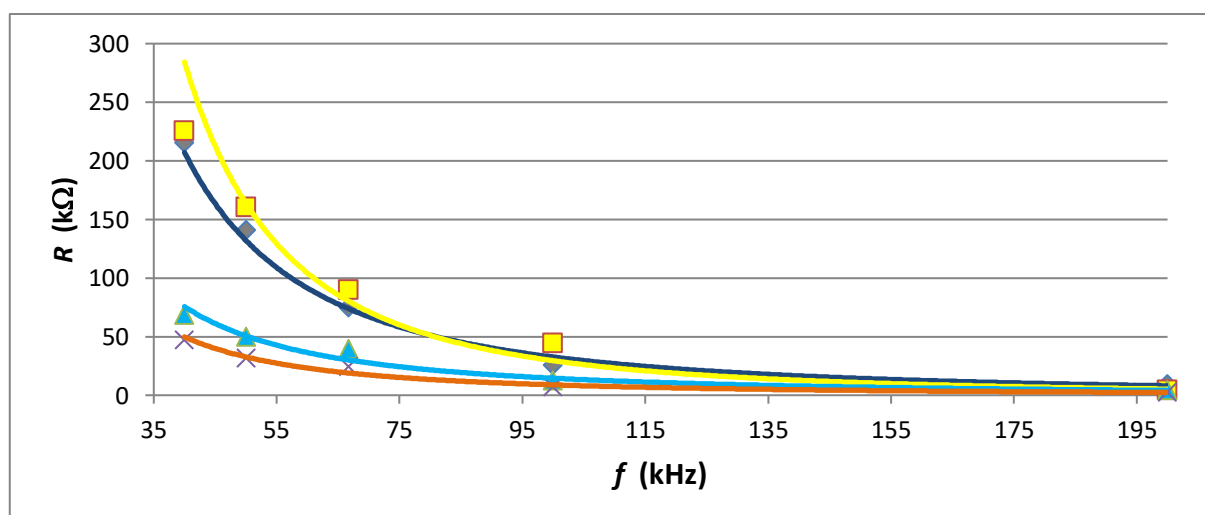
Na Obr. 1 je vidieť, že hodnoty odporu jednotlivých použitých vzoriek olejov klesajú s vyšším nájazdom kilometrov. Pri vysokých frekvenciách, asi nad 200 kHz, sú hodnoty takmer totožné. V našom prípade to bola maximálna merateľná hranica prístroja. Hodnoty odporu vzoriek preukázateľne klesajú, čo súvisí s vyšším obsahom vodivých častí v oleji pri vyššom nájazde kilometrov.



Obr. 1 Závislosť odporu od frekvencie pre všetky vzorky motorových olejov
Frequency dependence of resistance of all engine oil samples

Fig. 1 (Modrá – blue: 2 000 km - Motul, Červená - red : 6 000 km - Motul , Zelená - green : 10 000 km - Castrol, Fialová - purple : 15 000 km - Castrol, Tyrkysová - turquoise: 40 000 km – Urania, Oranžová - orange : 50 000 km - Urania)

Na Obr. 2 sa nachádza porovnanie dvoch nových vzoriek olejov s totožnými vzorkami použitého oleja, po nájazde 40 000 km a 50 000 km. Je viditeľné, že hodnoty nových vzoriek majú omnoho vyššie hodnoty odporu, čiže sú lepšie izolanty. Oleje po nájazde daných kilometrov majú nižšie hodnoty odporu, stávajú sa vodivejšie a sú horšími izolantmi. V publikácii Emara et al. (2023) tiež dokázali, že odpor nanokvapaliny na báze oleja s rastúcou frekvenciou klesá a jej konduktivita narastá.



Obr. 2 Porovnanie hodnôt odporu nových a použitých olejov
Comparison of resistance values of new and used oils

(▲ - (0W 30) 40 000 km; ■ - 5W 30 nový (new); ◆ - 0W 30 nový (new); ✕ - (5W 30) 50 000 km)

Na Obr. 3 sú uvedené prehľadnejšie zobrazené hodnoty odporov pre všetky použité, ale i dve nové vzorky oleja, ktoré sú viditeľne označené krúžkom.

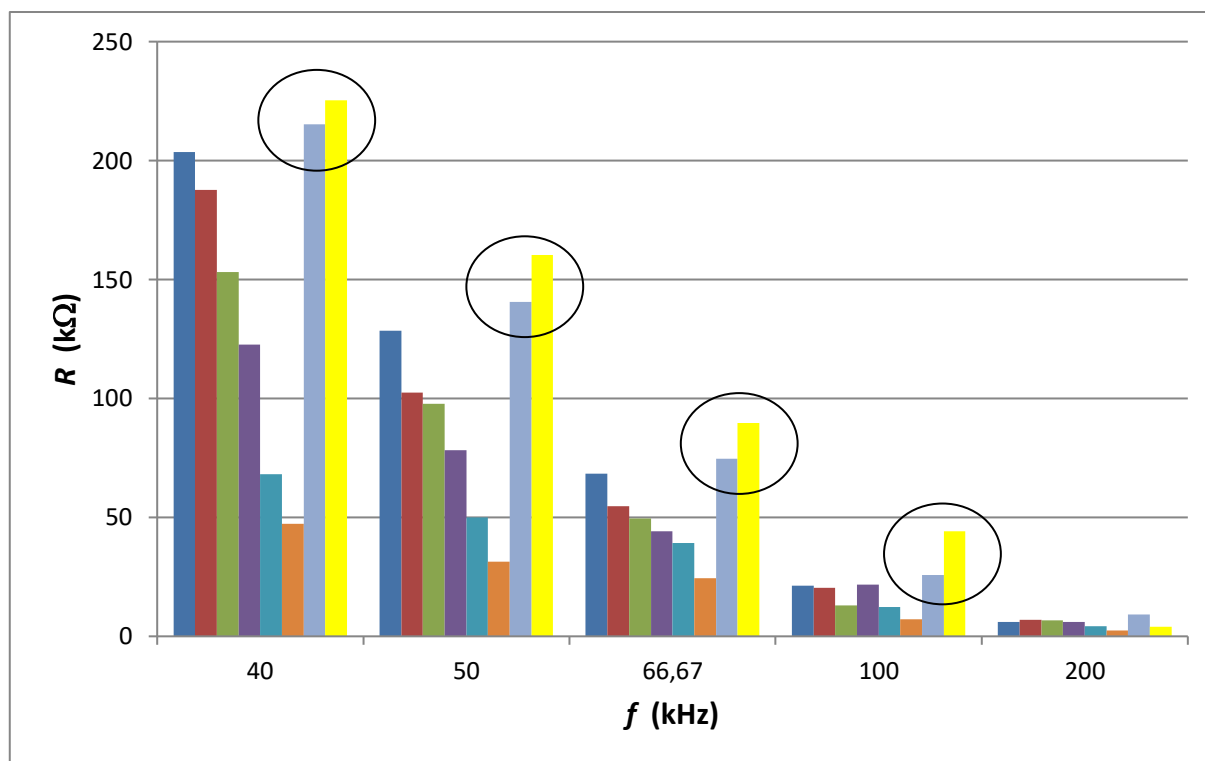
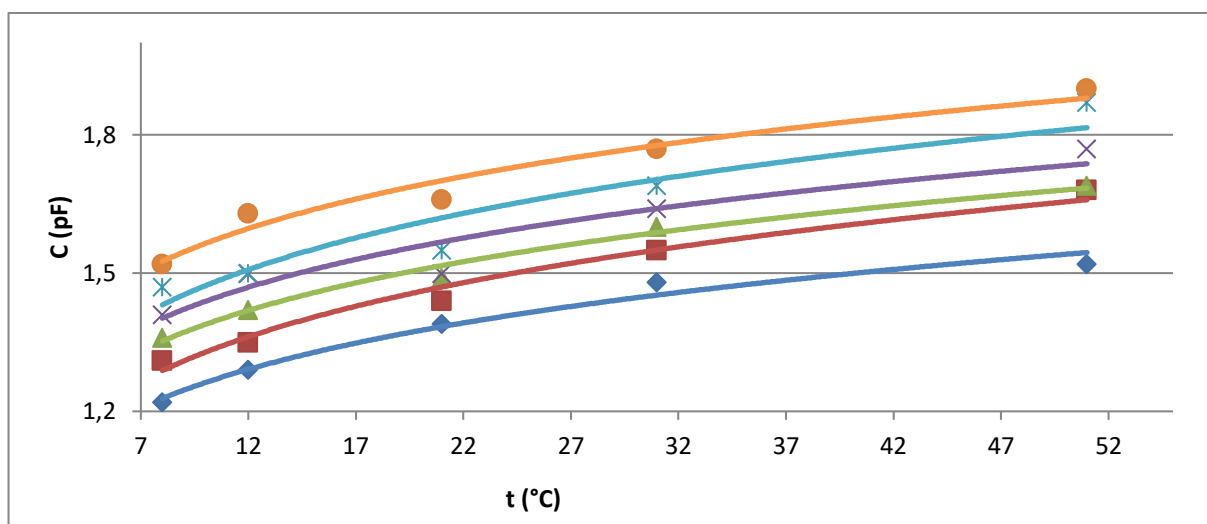


Fig. 3 Obr. 3 Hodnoty odporov pre nové a použité vzorky
Resistance values for new and used samples

(Modrá – blue : 2 000 km, Červená - red : 6 000 km , Zelená - green : 10 000 km, Fialová - purple : 15 000 km, Tyrkysová - turquoise: 40 000 km. Oranžová - orange : 50 000 km, Žltá – yellow : 5W30 nový - new, Svetlo modrá – light blue 0W30 nový - new)

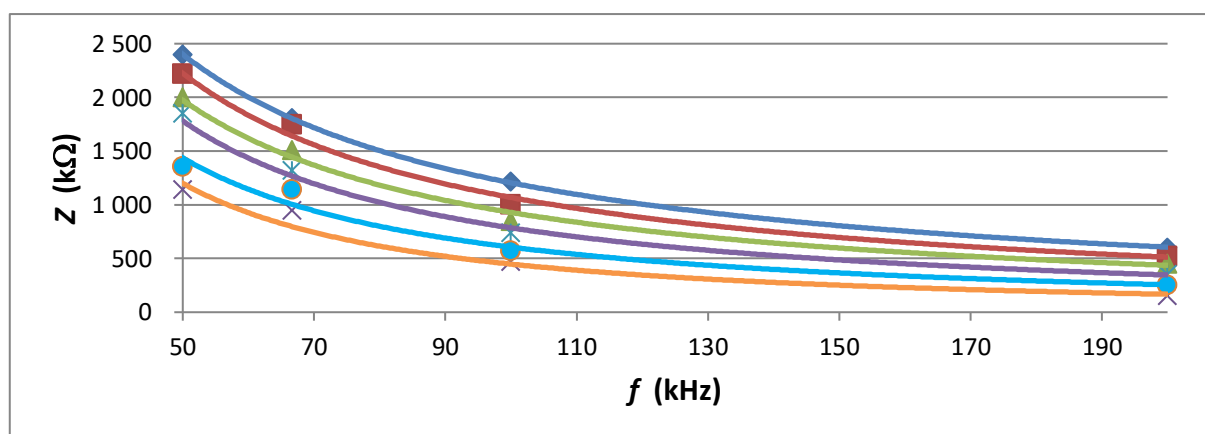
Keďže elektrická kapacita je fyzikálna veličina, ktorá preukazuje schopnosť látky udržať v sebe elektrický náboj pri určitom elektrickom napätí, na Obr. 4 je viditeľné, že kapacita stúpa so zvyšujúcou sa teplotou. Hodnoty kapacity sú merané pri teplotách 7, 12, 21, 31, 41 a 51 °C. Vzorky s najdlhšou dobou prevádzky majú najvyššiu hodnotu kapacity. Súvisí to s obsahom nečistôt v oleji. Čím je olej v prevádzke nižšiu dobu, má menej nečistôt, tým má menšiu schopnosť udržať v sebe elektrický náboj, má nižšiu kapacitu.



Obr. 4 Teplotná závislosť od kapacity
Temperature dependence of capacity

(Modrá - blue : 2 000 km, Červená - red : 6 000 km, Zelená - green : 10 000 km, Fialová - purple : 15 000 km, Tyrkysová - turquoise: 40 000 km. Oranžová - orange : 50 000 km)

Na Obr. 4 vidíme porovnanie hodnôt kapacity s rastúcou teplotou. Pri zvýšenej teplote dochádza ku rýchlejšiemu pohybu častíc, čo zapríčini níženie hodnôt odporu. Oleje sa vtedy stávajú vodivejšie. Teplotné závislosti na Obr. 4 sú merané pri frekvencii 66,67 kHz, pretože táto hodnota predstavuje stredovú hodnotu nami použitého meracieho rozsahu.



Obr. 5 Frekvenčné závislosti impedancie
Frequency dependencies of impedance

(Modrá – blue : 2 000 km, Červená - red : 6 000 km, Zelená - green : 10 000 km, Fialová - purple : 15 000 km, Tyrkysová - turquoise: 40 000 km. Oranžová - orange : 50 000 km)

Krivky narastajú exponenciálne a sú vyjadrené rovnicou v tvare

$$C = C_0 e^{w \frac{t}{t_0}} \quad (2)$$

kde:

C_0 – referenčná hodnota kapacity,

w – konštanta,

t – teplota,

$t_0 = 1^\circ\text{C}$.

where:

C_0 – reference capacitance value,

w – constant,

t – temperature,

$t_0 = 1^\circ\text{C}$.

Na Obr. 5 si môžeme všimnúť, že hodnoty impedancie klesajú so zvyšujúcou sa frekvenciou. V porovnaní s hodnotami odporu sú impedančné hodnoty vyššie, čo predpokladáme, že mohla zapríčiniť prítomnosť aditíva s dielektrickou polarizáciou. Takéto vlastnosti majú prísady, ktoré slúžia ako inhibítory korózie. V práci Ratiu et al. (2020) zistili, že nečistoty, ktoré najkritickejšie ovplyvňujú správne fungovanie motorového oleja, sú abrazíva, voda, palivo a chladiaca kvapalina.

4 Záver

Využitie elektrických vlastností použitých motorových olejov nie je v praxi bežne stanovované. V našej práci sme uskutočnili tieto merania, aby sme zistili koreláciu medzi nájazdom kilometrov a stavom oleja. Na základne nameraných hodnôt elektrických vlastností a zostrojených grafických závislostí môžeme konštatovať, že existuje spojitosť medzi fyzikálnymi vlastnosťami – odporu, kapacity a impedancie motorových olejov a nájazdom kilometrov. Dokázali sme, že existuje aj teplotná závislosť odporu, kapacity a impedancie so zvyšujúcim sa nájazdom kilometrov. Najviac sme sa zamerali na hodnoty elektrického odporu. Zistili sme, že samotné motorové oleje sú vyrábané a navrhované tak, aby boli vynikajúce izolanty. Ich elektrický odpor klesá s vyšším počtom najazdených kilometrov. Prenos prúdu prostredníctvom oleja je v praxi nežiadúci, pretože hrozí prenos iskry a možnosť vznietenia horľavých komponentov, či prevádzkových kvapalín. Okrem frekvenčných závislostí sme merali aj vlastnosti oleja pri rôznych teplotách. Nami zvolené teploty boli v intervale od 7 do 51°C.

Literatúra

EMARA, Manal M. – PEPPAS, Georgios D. – TSOVILIS, Thomas E. – TEGOPOULOS, Sokratis N. – KYRITSIS, Apostolos – PYRGIOTI, Eleftheria C. – MANSOUR, Dina A. – GONOS, Ioannis F. 2023. Thermal and Dielectric Analysis of an Ester-Based MgO Nanofluid. In IEEE TRANSACTIONS ON DIELECTRICS AND ELECTRICAL INSULATION, VOL. 30, NO. 5, OCTOBER 2023. pp. 2181-2187.

HLAVÁČOVÁ, Zuzana. 2004. *Využitie elektrických vlastností materiálov*. In: Zborník z konferencie Výskumné a edukačné aktivity na katedrách fyziky technických univerzít na Slovensku, september 2004 Bratislava, 1. vyd., Bratislava: StF STU, s. 52-56, ISBN 80-227-2112-3

DOSTÁL, Petr – ROZLIVKA, Jakub – KUMBÁR, Vojtěch. 2019. Operational Degradation of Engine Oil in Agricultural Technology. In *Acta Technologica Agriculturae*, 1, pp. 17–21, DOI: 10.2478/ata-2019-0004

RAȚIU, Sorin – JOSAN, A. – ALEXA, V. – CIOATĂ, V. G. – KISS, I. Impact of contaminants on engine oil: a review. In *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 1781, International Conference on Applied Sciences (ICAS 2020), pp. 20–22. DOI 10.1088/1742-6596/1781/1/012051.

VLK, František. 2006. *Paliva a maziva motorových vozidel*. Vydavatelství František Vlk., nakladatelství a vydavatelství, 2006. 376 s. ISBN 80-239-6461-5.

ZEHNÁLEK Josef. 2005. *Chemie, paliva, maziva*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2005. ISBN 80-7157-900-9.

Súhrn

Motorové oleje sa zaraďujú k technologicky najzložitejším olejárskym výrobkom. Vlastnosti motorových olejov majú zásadný význam pre správnu prevádzku a dlhovekosť motorových vozidiel. Viskozita, teplotný rozsah, schopnosť čistenia, ochrana pred opotrebovaním, stabilita pri vysokých teplotách, či vlastnosti mazania sú veľmi dôležité vlastnosti motorového oleja. Pre optimálnu prevádzku je nevyhnutné venovať pozornosť týmto vlastnostiam a zvoliť správny motorový olej, ktorý bude spĺňať špecifické potreby vozidla a jazdných podmienok. Olej musí mazať motor pri všetkých teplotách počas celej prevádzky motora. Musí však spĺňať aj tekutosť pri nízkych teplotách, dostatočnú viskozitu v priebehu každej pracovnej teploty, schopnosť odviešť teplo, neutralizovať kyslé produkty, ale i kompatibilitu s tesniacimi materiálmi. Zistili sme, že odpor a impedancia s narastajúcou frekvenciou klesá. Najvyššie odpory mali vzorky čistých olejov. Kapacita olejov sa s narastajúcou teplotou zvyšuje.

Kľúčové slová: elektrické vlastnosti, odpor, motorový olej, LCR meter

PodĎakovanie: Táto publikácia bola podporená Kultúrnou a vzdelávacou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR v rámci projektu KEGA 020SPU-4/2023: Implementácia virtualizácie fyzikálnych laboratórií pomocou riadiacich a automatizačných systémov v odbore Strojárstvo.

VPLYV PREJAZDU KOLIES CEZ SPOMAĽOVACÍ PRAH NA HLUČNOSŤ VOZIDLA EFFECT OF WHEEL PASSAGE OVER BREAK THRESHOLD ON CAR NOISE

JÓZSEF TIBOR OLLÉ – RADOSLAV MAJDAN

Abstract

In this scientific study, we focused on measuring the noise generated by vehicles when passing over a speed bump. Speed bumps, often used to reduce vehicle speed, can have a significant impact on noise levels in the outdoor environment. Our goal was to analyse and quantify this change in noise when using a speed bump at different speeds. During the experiment, we used professional measuring equipment to record the noise level as vehicles passed over the speed bump. Measurements were conducted at various locations with different types of vehicles and speed limits. Based on our results, we identified a significant difference in noise levels depending on the vehicle speed when passing over the speed bump. These findings are important for a better understanding of the impact of speed bumps on noise levels. Our work provides a new perspective on the issue of vehicle-generated noise and emphasizes the importance of considering speed bumps in the analysis and management of noise in public urban areas.

Key words: road, noise level, car velocity, electric car, city

1 Úvod

Cestná doprava predstavuje hlavný zdroj hluku v exteriéri, čo výrazne ovplyvňuje veľkú časť obyvateľov vyspelých krajín sveta, najmä v husto obývaných mestských oblastiach a pri diaľniciach, rýchlostných cestách a hlavných cestách. Na riešenie tohto problému Európska únia prijala viacero legislatívnych opatrení, vrátane Smernice 2002/49/EC, ktorá sa zaoberá hodnotením a riadením environmentálneho hluku. Táto smernica vyžaduje, aby členské krajiny vypracovali strategické mapy hluku a akčné plány na ochranu pred hlukom v špecifikovaných oblastiach, vrátane frekventovaných ciest, železničných tratí a letísk. Pri tvorbe týchto plánov sa sleduje priemerná hladina hluku v exteriéri zohľadňujúc rôzne zdroje hluku, ako je cestná, električková, železničná a letecká doprava, ako aj priemyselné aktivity. Okrem toho sa musí stanoviť aj počet obyvateľov, ktorí sú vystavení určitým hlukovým indikátorom. Slovenská správa ciest, ktorá má na starosti cesty I. triedy na území Slovenskej republiky, je povinná vypracovať tieto strategické mapy hluku a akčné plány v okolí ciest I. triedy s vyššou intenzitou dopravy. Jurkovičová a kol., 2015 uvádza, že až 60% hluku, ktorému je vystavená populácia pochádza z mimopracovného prostredia pričom najrozšírenejším a najrušivejším hlukom je hluk z dopravy. Hluk je zároveň jednou z najčastejších príčin podnetov a sťažností obyvateľov (Argalášová a kol., 2019). Vplyv hluku na človeka závisí nie len od frekvencie zvuku a časového pôsobenia aj od jeho intenzity a vzdialenosti zdroja hluku od človeka (Schwarz

¹Bc. József Tibor Ollé, SPU TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky.
xolle@uniag.sk

²doc. Ing. Radoslav Majdan, PhD., SPU TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky.
radoslav.majdan@uniag.sk

a kol., 2013). Subjektívne vnímanou intenzitou zvuku je hlasitosť, ktorá sa mení v závislosti od rôznych subjektívnych a objektívnych okolností. Príkladom je bežná konverzácia, ktorá má okolo 65 db a kričanie, ktoré má okolo 80 db, pričom rozdiel je len 15 db (Valouchová 2013).

Melódie a harmonické tóny dodávajú našim ušiam potešenie, zatiaľ čo neorganizovaný zvuk, ktorý väčšinou označujeme ako hluk, často spôsobuje nepohodlie. Zvuky sú neoddeliteľnou súčasťou mestského života, či už ide o hukot motorových vozidiel, huk vlakov alebo rachot leteckej dopravy. V niektorých krajinách stále chýba významná časť údajov o hlukových mapách a akčných plánoch. Preto mnohé regióny a mestá prijímajú rôzne opatrenia na zmiernenie problémov s hlukom. Medzi tieto opatrenia patrí napríklad inštalácia nízko hlukového asfaltu na cestách, používanie tichých pneumatík vo verejnej doprave, budovanie infraštruktúry podporujúcej elektrické vozidlá v mestských oblastiach, podpora aktívnych foriem dopravy ako je chôdza alebo cykloturistika, či vytvorenie peších zón v uliciach. Cieľom práce bolo zistiť vplyv prejazdu kolies automobilov cez vybraný spomaľovací prah v meste Komárno na zaťaženie populácie hlukom.

2 Materiál a metódy

Popis vozidiel a postup meraní

Na prvé meranie boli použité tri vozidlá, dve so spaľovacím motorom (Volkswagen Golf 7 Variant 1.4 TSI s hmotnosťou 1329 kg a pneumatikami Sebring snow 225/45 R17 94V, Ford Mondeo mk3 Turnier 2.0 TDCI s hmotnosťou 1505 kg a pneumatikami Sebring Snow 205/55 R16 91H) a elektrické vozidlo Škoda Enyaq Elektromotor 250 kW (339 k) 82 kWh s hmotnosťou 2540 kg a pneumatikami Pirelli Scorpion Winter S.I. + 255/50 R19 103T. Všetky vozidlá prechádzali cez spomaľovací prah rýchlosťami 10 km h⁻¹, 30 km h⁻¹ a 50 km h⁻¹. Merania boli vykonávané vždy v rovnakom úseku vozovky v noci. Samotná lokácia merania bola pri základnej škole v Komárne, kde z jednej strany sa nachádza samotná škola a na druhej sa nachádzajú panelové bytovky.



Obr. 1 Vozidlá: a) Volkswagen Golf, b) Ford Mondeo, c) Škoda Enyaq
Fig. 1 Vehicles: a) Volkswagen Golf, b) Ford Mondeo, c) Škoda Enyaq

V ďalšom meraní sme merali okoloidúce vozidlá, zapisovali typ áut a úroveň hluku v tom istom úseku. Týchto meraní bolo 25, ktoré boli vykonávané v dopravnej špičke. Pri stanovení hlukovej záťaže meraním je potrebné vo všeobecnosti dodržiavať zásady pre meranie hluku vo vonkajšom prostredí uvedené a definované v STN ISO 1996-1 a STN ISO 1996-2. Počas merania musí byť povrch vozovky CK suchý. Priemerná hodnota rýchlosti vetra, spriemerovaná za päť minút, počas celého časového intervalu merania, má byť nižšia ako 5 m s⁻¹.

Vybraný úsek (obr. 2), Komenského ulica, je ideálne miesto na takéto meranie keďže je tam hustá premávka. Z jednej strany sa tam nachádza základná škola a z druhej obytné bytové domy.



Obr. 2 Úsek merania so spomaľovacím prahom
Fig. 2 The measured road with break threshold

Popis prístrojov

Pri vykonávaní experimentálnych meraní vplyvu prejazdu kolies cez spomaľovací prah na hlučnosť vozidla je potrebné použiť prístrojové vybavenie (obr. 3), ktoré je určené na meranie a zaznamenávanie meraných parametrov:

- *Hlukomer*, Prístroj meria v triede presnosti 1 a spĺňa normy IEC a ANSI. Prístroj spĺňa IEC 61672 – 1:2002 trieda 1, IEC 60651 Typ 1 (1979) s dodatkom 1 a 2, IEC 60804 Typ 1 (2000), ANSI S1.4 – 1983 Typ S1, ANSI S1.43 – 1997 Typ 1. Meracie rozsahy: 30 dB – 140 dB. Citlivosť: –30 dB pre 1V/Pa ± 2 dB. Prevádzková teplota: –10 °C do 50 °C. Napájanie: dve 1.5 V alkalické batérie LR 6 veľkosti AA. Spotreba počas bežnej prevádzky: menej ako 300 mW. Rozmery: 230 mm x 78 mm x 31 mm vrátane mikrofónu. Hmotnosť: 245 g vrátane batérií (BKSV, 2013).
- *Anemometer*, Rozsah: 0 - 30 m s⁻¹. Rozlíšenie: 0,1 m s⁻¹. Prah: 0,1 m s⁻¹. Presnosť: +/- 5 %. Teplota vzduchu: -10°C až +45°C. Presnosť: $\pm 2^\circ\text{C}$.
- *Teplomer*, NTC teplomer. Prevádzková teplota: -10°C až +45°C. Relatívna vlhkosť menšia alebo rovná 90 %. Spotreba elektrického prúdu: 3 mA. Napájané 3V batériou CR2032. Rozmery: 10,7 cm x 4,3 cm x 2,1 cm.



Obr. 3 Meracie prístroje: a) hlukomer, b) anemometer, c) prístroje počas meraní
Fig. 3 Measurement devices: a) noise meter, b) anemometer, c) devices during the measurements

3 Výsledky a diskusia

Výsledky meraní hlučnosti pri prejazde rôznych automobilov cez spomaľovací prah

V Tab. 1, 2 a 3 sú uvedené namerané hodnoty hlučností po prejazde automobilov cez spomaľovací prah. Vypočítané sú priemerné hodnoty z troch opakovaní meraní pre každé vozidlo.

Tab. 1 Namerané a vypočítané hodnoty pre vozidlo Volkswagen Golf

Tab. 1 Measured and calculated values for Volkswagen Golf car type

Číslo merania	Parameter	Rýchlosť vozidla, km h ⁻¹		
		50	30	10
1	Hlučnosť, dB	80,3	65,7	58,5
2		80,6	66	60,6
3		79,7	65,1	59,1
	Priemerná hodnota hlučnosti, db	80,2	65,2	59,4

Tab. 2 Namerané a vypočítané hodnoty pre vozidlo Ford Mondeo

Tab. 2 Measured and calculated values for Ford Mondeo car type

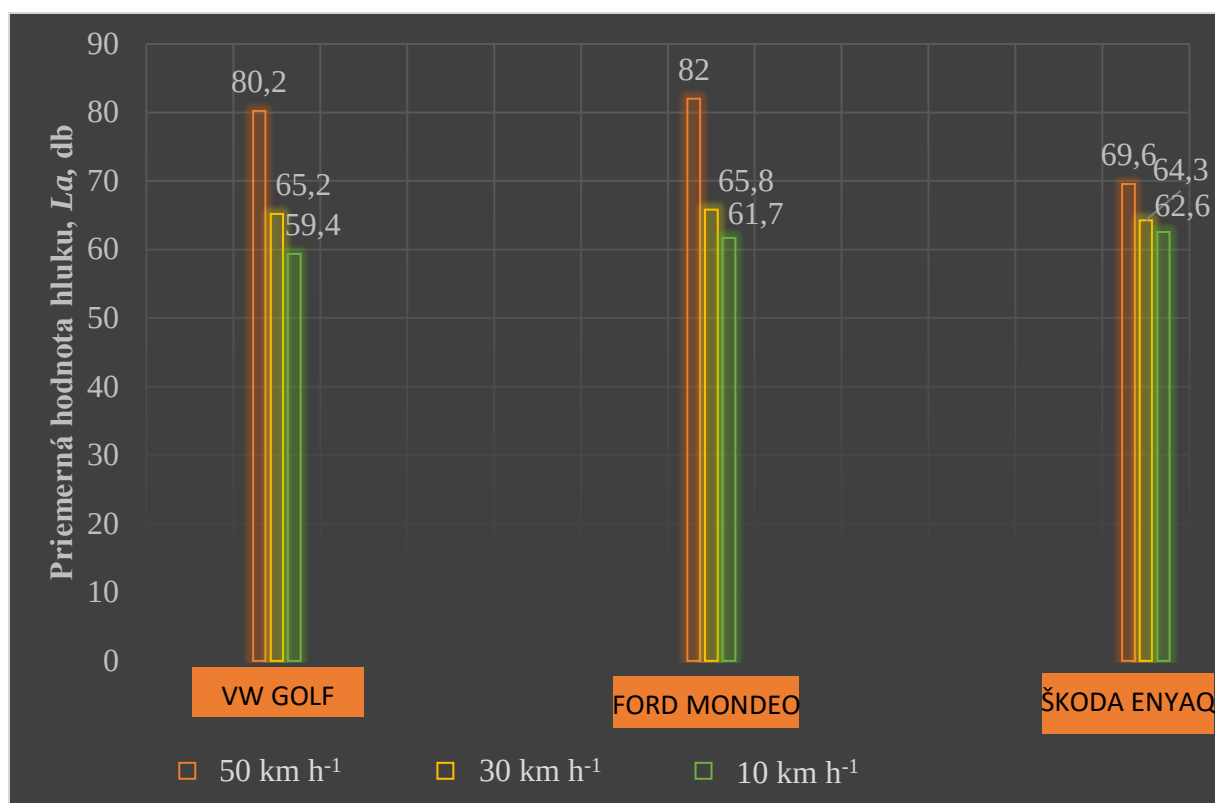
Číslo merania	Parameter	Rýchlosť vozidla, km h ⁻¹		
		50	30	10
1	Hlučnosť, dB	83	67	62
2		81,2	65,4	60,2
3		81,9	65,2	63
	Priemerná hodnota hlučnosti, db	82	65,8	61,7

Tab. 3 Namerané a vypočítané hodnoty pre vozidlo Škoda Enyiaq

Tab. 3 Measured and calculated values for Škoda Enyiaq car type

Číslo merania	Parameter	Rýchlosť vozidla, km h ⁻¹		
		50	30	10
1	Hlučnosť, dB	70,1	65,1	62,7
2		69,3	64,1	61,9
3		69,5	63,9	63,4
	Priemerná hodnota hlučnosti, db	69,6	64,3	62,6

Na obr. 4 sú porovnané hlučnosti po prejazde vybraných troch typov automobilov cez spomaľovací prah. Najvyššie hlučnosti dosiahli automobily so spaľovacím motorom, zatiaľ čo elektrické vozidlo dosiahlo najmenšie úrovne hluku pri maximálnej dovolenej rýchlosti v meste a to je 50 km h⁻¹. Pri najnižšej rýchlosti 10 km h⁻¹ bola úroveň hlučnosti elektrického vozidla o niečo vyššia ako v prípade hlučnosti pri prejazde vozidiel so spaľovacím motroom.



Obr. 4 Porovnanie hlučností po prejazde troch typov vozidiel

Fig. 4 Noise comparison after passage of three car types

Výsledky meraní hlučnosti pri prejazde automobilov cez spomaľovací prah počas bežnej premávky

Hlučnosť na chodníku pred spomaľovacím prahom bola meraná aj počas bežnej premávky, kedy bola hlučnosť ovplyvnená typom vozidla, ktorého kolesá prechádzali cez spomaľovací prah. V tab. 4 sú uvedené hodnoty hlučností náhodných vozidiel, ktoré prechádzali cez spomaľovací prah v určitom časovom období.

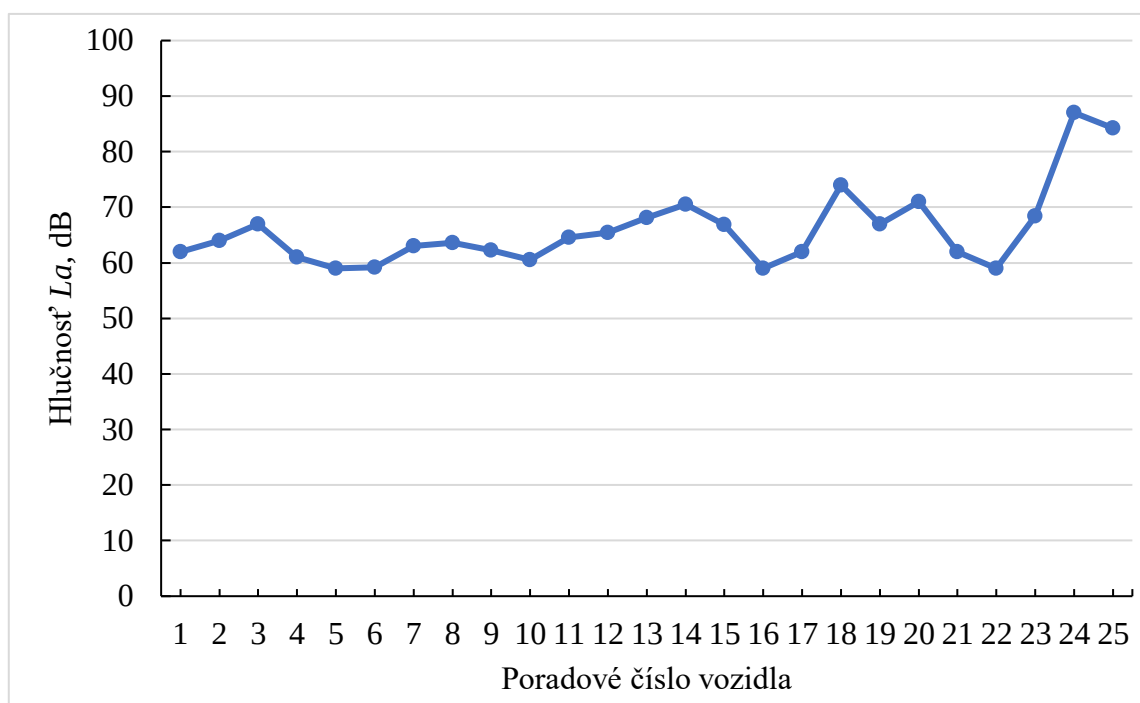
Tab. 4 Namerané a vypočítané hodnoty pre tri typy automobilov

Tab. 4 Measured and calculated values for three car types

Poradové číslo vozidla	Typ vozidla	Hlučnosť L_a , dB
1	Kia Rio	62
2	Audi A4	64
3	Opel Insignia	67
4	Škoda Octavia	61
5	Audi A6	59
6	Toyota Auris Hybrid	59,2
7	Škoda Fábria 2	63
8	Škoda Octavia Facelift	63,6
9	Škoda Superb 2	62,3
10	Toyota Rav 4 hybrid	60,5
11	Škoda Superb 3	64,6

12	Seat Leon	65,4
13	Škoda Fabia 2	68,1
14	Dacia Logan	70,5
15	Toyota Yaris	66,9
16	Mercedes SLK	59
17	Toyota Supra	62
18	Alfa 159	74
19	Peugeot 301	67
20	Ford Focus Taxi	71
21	Škoda Kamiq	62
22	Toyota Avensis	59
23	Ford Transit	68,4
24	Tatra 815 Dumper	87
25	Liaz 200	84,2

Na obr. 5 je graficky znázornený priebeh hlučnosti spôsobený prejazdmi rôznych vozidiel cez spomaľovací prah počas bežnej premávky vozidiel v určitom časovom období počas pracovného dňa. Úroveň hluku pri prejazdoch osobných automobilov bola v rozmedzí od minimálnej hodnoty 59,2 dB až po maximálnu hodnotu 84,2 dB, ktorá bola nameraná po prejazde nákladného automobilu zastaralého typu.



Obr. 5 Hluku pri prejazde vozidiel cez spomaľovací prah počas bežnej premávky
Fig. 5 Noise during the vehicles passage over break threshold at normal traffic

Kamandang a kol., 2020 uvádza úrovne hluku počas bežnej prevádzky vozidiel vo vybraných mestách, v ktorých uskutočnili merania od minimálnej hodnoty 52 dB až po maximálnu hodnotu 72 dB. Autori výskumu sa zamerali na tri kategórie dopravných prostriedkov a to motocykle, ľahké vozidlá a ťažké vozidlá. Hlučnosť jednotlivých dopravných prostriedkov zaznamenali a následne vypočítali priemerné hodnoty. Porovnateľné hodnoty sme namerali aj v rámci nášho výskumu, ktoré sú uvedené na obr. 5 a v Tab. 4. Feriancová a kol. 2013 vyhodnocovali hluk z dopravy pri obytných domoch v lokalitách západného Slovenska.

Ich meraniami boli zistené hodnoty hluku z dopravných prostriedkov v rozsahu od 49 dB do 68 dB. Nižšie hodnoty boli spôsobené väčšou vzdialenosťou sledovanej cestnej komunikácie od domov pod oknami ktorých sa meranie uskutočňovalo. V prípade výsledkov prezentovaných v tomto príspevku boli merania uskutočnené na chodníku, kde sa pohybujú chodci v blízkosti spomaľovacieho prahu.

4 Záver

Z tohto výskumu je evidentné že pri vyšších rýchlostiach sú elektromobily podstatne tichšie ako benzínové a naftové motorové vozidlá. Ďalším poznatkom je, že vozidlá ktoré idú rýchlejšie ako je odporúčaná rýchlosť 20-30 km h⁻¹ dokážu pôsobiť rušivo na obytné oblasti okolo umiestnených spomaľovacích pruhoch. Riešenie na zníženie hluku spôsobené vozidlami by boli moderné spomaľovacie prahy, tento spomaľovací prah sa vysúva iba keď senzor nameria auto ktoré prekročilo rýchlosť. Vozidlá ktoré rýchlosť dodržia tento retardér nepocítia.

5 Literatúra

ARGALÁŠOVÁ, Ľ a kol., 2019. *Vplyv hluku na zdravie v obytných územiach*. Bratislava: Úrad verejného zdravotníctva SR. ISBN 978-80-7159-243-3.

FERIANCOVÁ, R. a kol. 2013. *Hluková štúdia s návrhom a následnou optimalizáciou protihlukových opatrení*, [online]. Dostupné na:

https://www.trnava.sk/userfiles/download/attachment2/ourak/ourak_HS_2016-07_D1-R1-Modranka.pdf

JURKOVIČOVÁ, J. a kol., 2015. Environmentálny hluk a jeho vplyv na zdravie obyvateľstva. In: *Verejné zdravotníctvo* [online]. ISSN 1337-1789. (cit. 2024-21-03) Dostupné z: http://verejnezdravotnictvo.szu.sk/SK/2015/2/VZ-02-2015_Hluk_a_jeho_vplyv.pdf

KAMANDANG, Z., R. a kol. 2020. Analysis of Noise Pollution due to Traffic Volume Based on The Types of Automotive Vehicles: A . Study of West Surabaya Region In: J. Phys.: Conf. Ser. 1569 042044 [online]. (cit. 2024-02-03). Dostupné na:

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1569/4/042044>

Ministerstvo dopravy a výstavby Slovenskej republiky. 2001, *Technická podmienky, Stanovenie hlukovej záťaže spôsobenej dopravou po cestných komunikáciách*. [online]. (cit. 2024-25-03). Dostupné na:

https://www.ssc.sk/files/documents/technicke-predpisy/tp/tp_066_2021.pdf

SCHWARZ, M a kol. 2013. *Rizikové faktory pracovného prostredia*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. ISBN 978-80-228-2581-8.

STN ISO 1996-1: 2006 (01 1621), *Akustika. Opis, meranie a posudzovanie hluku vo vonkajšom prostredí*.

Slovenská správa ciest, 2008, *Strategické hlukové mapy a akčné plány ochrany pred hlukom*, [online]. (cit. 2024-21-03). Dostupné na:

<https://www.ssc.sk/sk/cinnosti/rozvoj-cestnej-siete/zivotne-prostredie.ssc>

VALOUCHOVÁ, K., 2013. *Hluk a environmentálne zdravie*. Bratislava: Vysoká škola zdravotníctva a sociálne j práce sv. Alžbety.

Vyhláška č. 549/2007 Z. z. Vyhláška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o prípustných hodnotách hluku, infrazvuku a vibrácií a o požiadavkách na objektivizáciu hluku, infrazvuku a vibrácií v životnom prostredí.

Súhrn

V tomto vedeckom štúdiu sme sa zamerali na meranie hluku vyvolaného vozidlami pri prejazde cez spomaľovací prah. Spomaľovacie prahy, často používané na znižovanie rýchlosti vozidiel, môžu mať významný vplyv na hladinu hluku v vonkajšom prostredí. Naším cieľom bolo analyzovať a kvantifikovať túto zmenu hluku pri použití spomaľovacieho prahu pri rôznych rýchlostiach. Počas experimentu sme použili profesionálne meracie zariadenia na zaznamenanie hladiny hluku počas prejazdu vozidiel cez spomaľovací prah. Merania sme vykonali na rôznych miestach s rôznymi typmi vozidiel a rýchlostnými obmedzeniami. Na základe našich výsledkov sme identifikovali významný rozdiel v hladine hluku v závislosti od rýchlosti vozidla pri prejazde cez spomaľovací prah. Tieto zistenia sú dôležité pre lepšie porozumenie vplyvu spomaľovacích prahov na hladinu hluku. Naša práca poskytuje nový pohľad na problematiku hluku vyvolaného vozidlami a zdôrazňuje dôležitosť zohľadnenia spomaľovacích prahov pri analýze a riadení hluku v verejných mestských oblastiach.

Kľúčové slová: vozovka, úroveň hluku, rýchlosť vozidla, elektromobil, mesto.

LASEROVÝ DIALKOMER A VYUŽITIE ZHLUKOVACÍCH ALGORITMOV PRE REPREZENTÁCIU DETEGOVANÝCH OBJEKTÓV

LASER RANGE METERS AND THE USE OF CLUSTERING ALGORITHMS FOR THE REPRESENTATION OF DETECTED OBJECTS

MARTIN POLÁK¹ – LUKÁŠ VACHO²

Abstract

This thesis focuses on developing a software application in C# language that utilizes the URG-04LX-UG04 laser rangefinder to acquire data. The application employs the DBSCAN clustering algorithm for clustering the collected data. The optimal parameter ε of the DBSCAN algorithm is identified through experiments using the "elbow" method. The developed application provides visualization of the acquired data in a graph and graphical representation of clusters, demonstrating the effective detection of objects by the algorithm. The application is designed with emphasis on user-friendly interface, offering an intuitive environment for analyzing and visualizing laser measurements.

Key words: laser rangefinder, DBSCAN, elbow ε , data visualization

1 Úvod

Laserové skenovanie je metóda zachytávania 3D a 2D dát. Inými slovami, je to metóda na generovanie numerického popisu objektu. Najčastejšie z dát získavame 3D model, ktorý môže byť použitý na generovanie obrázkov objektu z ľubovoľného pohľadu a za ľubovoľných svetelných podmienok (Bernardini, 2002).

Hlavné druhy laserových skenerov, diaľkomerov a profilovačov sú pohyblivé, letecké a vesmírne. Hlavne sa budeme zaoberať pozemnými skenermi.

Pozemné laserové skenery je možné rozdeliť do rôznych skupín, ktorých dve sú podľa uhla skenovania a podľa dosahu skeneru.

Podľa uhla:

- panoramatické skenery,
- hybridné skenery,
- kamerové skenery.

Podľa dosahu:

- skenery krátkého dosahu,
- skenery stredného dosahu,
- skenery dlhého dosahu.

Pre laserové skenery existujú tri princípy skenovania:

¹Martin Polák, SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky.
xpolakm@uniag.sk

²Ing. Lukáš Vacho, Phd., SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky.
lukas.vacho@uniag.sk

- meranie času letu,
- meranie fázového posunu,
- triangulácia (Petrie, 2018).

Na meranie času letu sa emituje impulz laserovej energie. Ak chceme dosiahnuť väčšiu presnosť a rýchlosť merania, môžeme použiť meranie fázového posunu. C/w (kontinuálna vlna) laser sa používa ako nosič signálu, ktorý je naň modulovaný, zvyčajne pomocou amplitúdovej modulácie. Fáza vysielaného a prijímaného signálu sa porovnáva. Ďalšia, menej presné meranie je trianguláciou. V triangulačnom laserovom prístroji sa laserová energia rozširuje, aby vytvorila rovinu a nie lúč. Pomocou otočného zrkadla sa táto rovina pohybuje priestorom objektu. Pre jednu polohu roviny, t.j. jeden uhol zrkadla, priesečník tejto roviny s plochami v objektovom priestore vedie k jednej krivke alebo viacerým krivkám (Petrie, 2018).

Pre zoskupenie nameraných údajov sa využívajú zhukovacie algoritmy. Zhukovanie je proces, ktorý zoskupuje dáta, do skupín na základe vopred určených podobností. Zhuk je tým pádom skupina dát s podobnosťami, ktorý je rôzny od iných zhukov s inými podobnosťami.

Zhukovacie algoritmy môžu byť hierarchické alebo ťažiskové.

Hierarchické:

- nachádzajú po sebe nasledujúce zhuky pomocou predtým vytvorených zhukov,
- aglomeratívne algoritmy začínajú s každým prvkom, ako samostatným zhukom a spájajú ich do postupne väčších zhukov
- môžu byť aglomeratívne (zdola nahor) alebo deliace (zhora nadol),
- deliace algoritmy začínajú s celou množinou a pokračujú v jej rozdeľovaní do postupne menších zhukov.

Ťažiskové:

- určujú všetky zhuky naraz (Madhulatha, 2012).

Najpodstatnejší algoritmus pre naše použitie je DBSCAN. Základná myšlienka DBSCANu je identifikovať oblasti v priestore s vysokou hustotou dát a zvyšok bodov označiť, ako šum. Funguje tak, že si zvolí náhodný bod, ktorý nie je súčasťou žiadnej skupiny. Potom vypočíta vzdialenosť tohto bodu od ostatných bodov a identifikuje všetky body, ktoré ležia v danom okolí ako susedov tohto bodu. Ak sa v tomto okolí nachádza aspoň určitý počet bodov, ktoré majú podobné susedné okolie, vytvorí sa nová skupina a všetky tieto body sa označia ako súčasť tejto skupiny. Ak sa okolo daného bodu nenachádza dostatočný počet susedov, označí sa tento bod, ako šum (Ester, 1996).

Práca bude zameraná na detegovanie objektov laserovým 2D diaľkomerom a reprezentáciu meraných údajov pomocou vybraných zhukovacích algoritmov. Pre reprezentáciu objektov bude navrhnutá jednoduchá softvérová aplikácia v programovacom jazyku C#, kde sa využije algoritmus DBSCAN. Výsledkom práce bude softvérová aplikácia, pomocou ktorej bude možné rozoznať a následne určiť vybrané základné objekty z údajov diaľkomera podľa určitých podobností.

2 Materiál a metódy

V práci bude použitý laserový diaľkomer URG-04LX-UG01 vyrobený spoločnosťou HOKUYO AUTOMATIC CO., LTD., ktorý bude pripojený k počítaču pomocou rozhrania USB Mini B.

Najdôležitejšie technické parametre diaľkomera:

rozsah merania: 20-4000 mm, 240°

presnosť:

20-1000 mm, ± 30 mm
 1000-4000 mm, ± 3 % z merania
 rozlíšenie: $\frac{360^\circ}{1024} = 0.3515625$
 maximálny počet krokov: 682

Softvérová aplikácia bude vytvorená v jazyku C# pomocou .NET Framework 4.8 vo vývojovom prostredí Visual Studio Community 2022. Na komunikáciu laserového diaľkomera s aplikáciou bude použitý komunikačný protokol SCIP 2.0. Aby sme mohli dáta zobraziť v grafe, použijeme knižnicu LiveCharts 2 a pre vzhľad grafického rozhrania použijeme knižnicu MaterialSkin.2. Dáta po zhľukovaní zobrazíme vstavanou grafickou funkciou Canvas.

Pre meranie dát laserovým skenerom a testovanie algoritmu DBSCAN vytvoríme experimentálne pracovisko v interiérovom prostredí.

Dáta, ktoré laserový diaľkomer nameria sú vzdialenosti v milimetroch. Preto ak ich chceme zobraziť v grafe, dať do zhľukov a následne graficky zobraziť, je nutné ich prepočítať na karteziánske súradnice X a Y pomocou trigonometrických funkcií sínus a kosínus.

$$x = r * \cos \theta$$

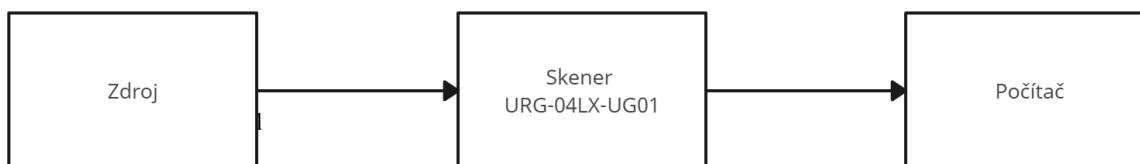
$$y = r * \sin \theta$$

Kde: r – vzdialenosť, mm
 θ – uhol, rad

Where:
 r – distance, mm
 θ – radius, rad

Zhľukovanie dát bude realizované DBSCAN algoritmom, ktorý do väčšej hĺbky rozoberá Weipeng (2018). Vzdialenosť medzi bodmi v algoritme DBSCAN, takzvaný „ ϵ “ zväčša určujeme experimentom, pretože pre každú skupinu dát je ϵ iný. Avšak pre urýchlenie nájdenia ϵ bola vymyslená metóda „laket“, ktorú popisujú Mohammed T. H. Elbatta a Wesam M. Ashour (2013). Táto metóda spočíva vo vypočítaní zvoleného počtu najbližších bodov ku každému nameranému bodu. Vypočítané body sa zoradia vzostupne a v rozsahu kde je sklon medzi jednotlivými bodmi najvyšší sa nachádza hodnota optimálneho ϵ . Presná hodnota sa z tohto rozsahu v experimente určí empiricky.

Na Obr. 1Obr. 1 je možné vidieť blokovú schému prepojenia skenera s počítačom.

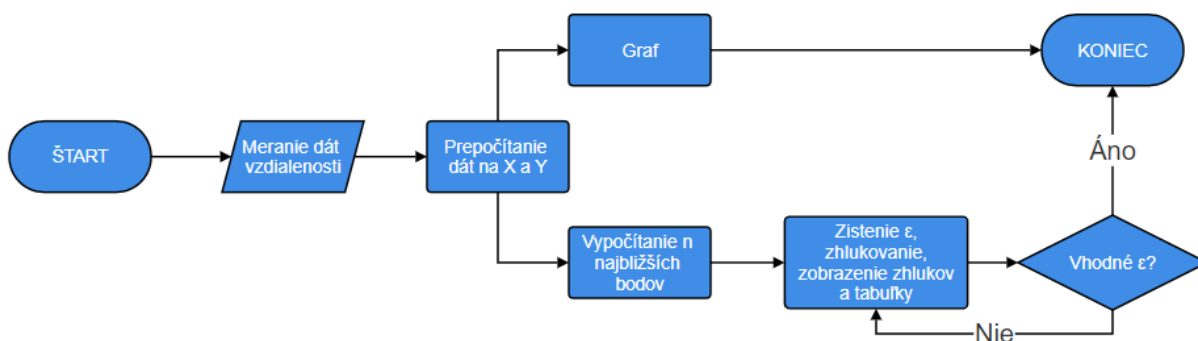


Obr. 1 Bloková schéma zapojenia
 Block diagram of the circuit.

3 Výsledky a diskusia

Vytvorili sme aplikáciu, ktorá meria dáta zo skenera, zobrazuje ich v grafe, zhľukuje a graficky zobrazuje.

Zhrnutý priebeh procesov nám zobrazuje Obr. 2. Po spustení programu sa začnú zbierať dáta vzdialeností, ktoré sa po zozbieraní prepočítajú na súradnice X a Y. Tieto hodnoty sa zobrazia v grafe a zároveň sa ďalej vypočítajú najbližšie body pre každý bod. Následne z bodov určíme ϵ , dáta dáme do zhľukov a graficky zobrazíme. Počet zhľukov a bodov v zhľukoch zobrazíme v tabuľke. Ak je ϵ nevhodný, zvolíme inú hodnotu a proces sa opakuje.

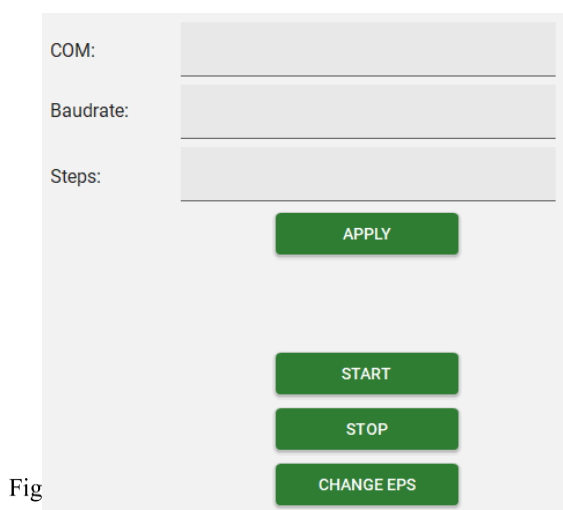


Obr. 2 Vývojový diagram programu
Flowchart of the program.

Na Obr. 3 môžeme vidieť hlavné okno aplikácie, kde nastavujeme port, cez ktorý je zariadenie pripojené, prenosovú rýchlosť a počet krokov. Program tu vieme spustiť, zastaviť a vieme zmeniť ϵ . ^{Fig. 2}

Pre naše meranie sme si zvolili základnú prenosovú rýchlosť 115200 Kb/s a najvyšší možný počet krokov 682.

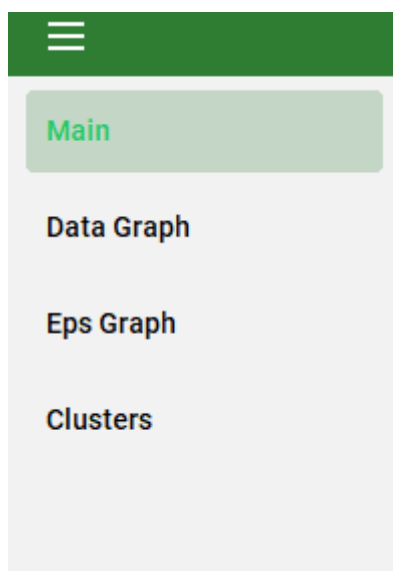
Najmenší počet bodov, aby DBSCAN vytvoril zhľuk sme zvolili základnú hodnotu 3.



Fig

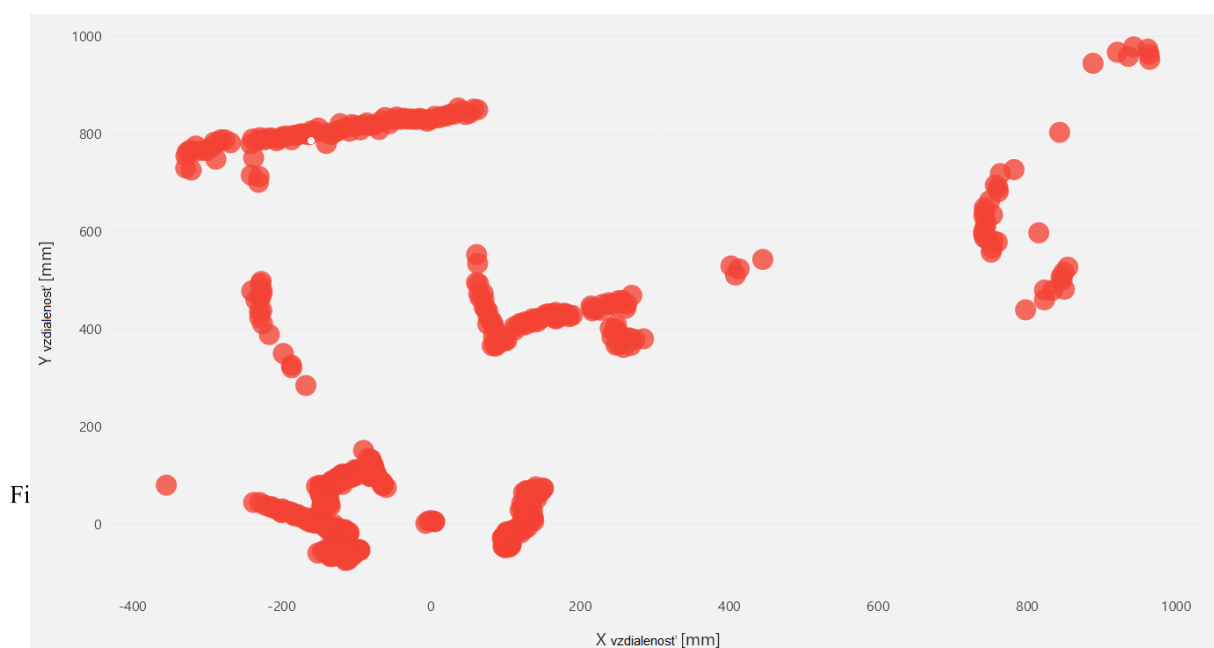
Obr. 3 Hlavné okno
Main window

Obr. 4 nám znázorňuje ďalšie okná aplikácie, ktoré sú v poradí hlavné okno, graf s nameranými dátami, graf ϵ získaný metódou „laket“ a tabuľku so zhľukmi a počtom bodov v každom zhľuku.

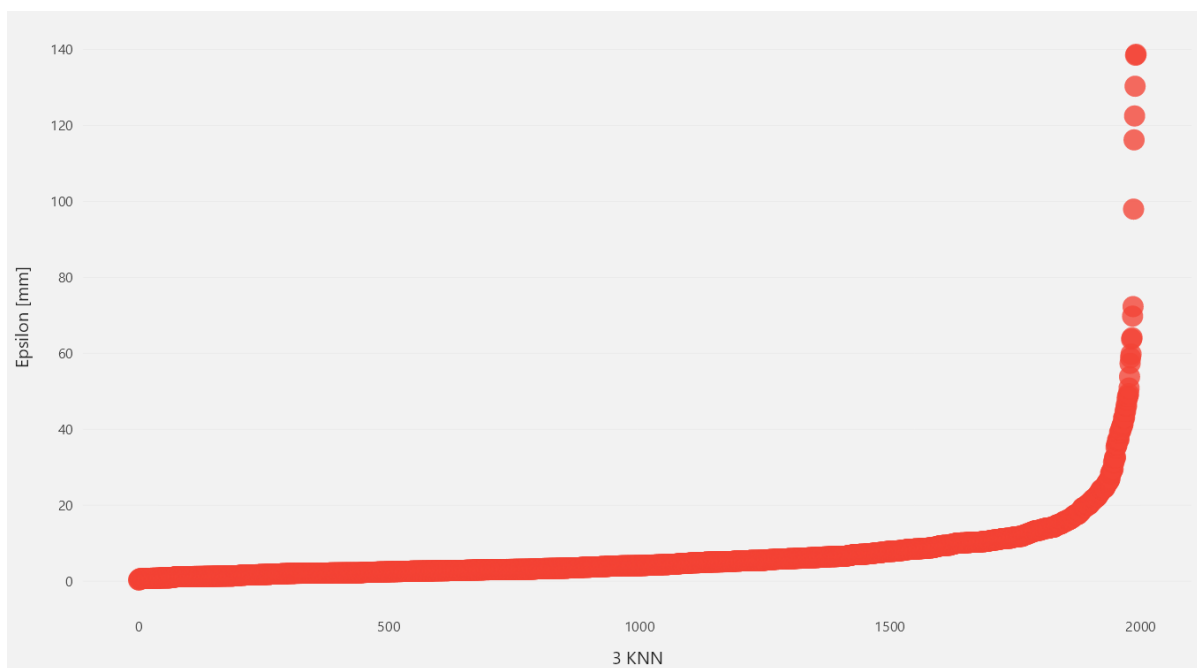


Obr. 4 Lišta okien
Window toolbar

V **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.** vidíme namerané dáta v karteziánskej súradnicovej sústave. Pre dosiahnutie rôznych výsledkov boli vo vytvorenom experimentálnom pracovisku v laboratóriu vo vzdialenostiach 800 mm pred skenerom a 100 mm v ľavej časti od skenera umiestnené objekty. Zvyšné body, ako sú vpravo hore sa nachádza pozadie. Z týchto dát sme metódou najbližších bodov uvedenou vyššie dostali graf ε zobrazený na Obr. 6. Na grafe vieme pozorovať „laket“, v ktorom sa nachádza optimálny ε . V príslušnom grafe sú to hodnoty v rozmedzí 55 mm až 70 mm. Experimentom sme zistili, že najvhodnejší ε je hodnota 65 mm. Z Obr. 7 je možné vidieť, že všetky body v blízkosti ε majú jednu farbu, takže sú v jednom zhluku. Na obrázku sa nachádzajú aj body, ktoré nie sú v žiadnom zhluku, takzvaný šum. Môžeme ich vidieť úplne vľavo dole, vpravo hore pod zelenou farbou a v strede vedľa zeleno-žltej farby.



Obr. 5 Zobrazenie nameraných dát laserovým skenerom v karteziánskej súradnicovej sústave
Display of measured data from a laser scanner in a Cartesian coordinate system.



Obr. 6 Graf ε v závislosti od susednosti bodov
Graph of ε as a function of point proximity.

Fig. 6



Obr. 7 Zobrazené dáta v zhluchoch v karteziánskej súradnicovej sústave
Displayed data in clusters in a Cartesian coordinate system.

Tab. 1 Počet zhlučkov a ich body
Tab. 1 Number of clusters and their points

Zhluky	Počet bodov v zhluchoch
Šum	6
0	156
1	9
2	21
3	5
4	7
5	83
6	82
7	17
8	257

Fig. 7

Z tabuľky vidíme, že koľko rôznych zhlučkov sa vytvorilo z nameraných dát a koľko bodov sa nachádza v každom zhluchoch. Spočítaním všetkých bodov dostaneme hodnotu 615, ktorá je menšia, ako sme si zvolili počet krokov. Toto môže byť zapríčinené chybným meraním skenera alebo viac pravdepodobnejšie, skener nedokázal zmerať vzdialenosť v danom kroku, pretože objekt sa nachádza pod najnižšou možnou meranou vzdialenosťou, čo je 20 mm, nachádza vo vzdialenosti väčšej, ako 4000 mm, alebo povrch objektu nedokázal odraziť laserový lúč, napríklad sklo. V týchto prípadoch skener vrátil hodnotu vzdialenosti 0.

Zhlukovací algoritmus DBSCAN je možné využiť v rôznych oblastiach, napríklad v detekcii anomálií teplotných dátach, ktoré opisujú Mete ÇELİK, Filiz DADAŞER-ÇELİK a Ahmet Şakir DOKUZ (2011). V práci analyzujú dáta teplôt za obdobie niekoľkých rokov. Pre rovnomerné dáta musia odstrániť vplyv ročného obdobia, čím dostanú hodnoty od -2.6 do 3.11 °C. Porovnávajú štatistickú metódu detekcie anomálií a zhlukovací algoritmus DBSCAN. Pre DBSCAN experimentovali s rôznymi hodnotami minimálnym počtom bodov a ϵ , ako sú 2, 4 a 6 pre počet bodov a 0.05, 0.1, 0.15 pre ϵ . Vo výsledkoch zistili, že pri jednotnom počte bodov a zvyšovaním ϵ sa počet detegovaných anomálií znižuje. Ak ϵ je jednotný a minimálny počet bodov sa zväčšuje, tak sa počet anomálií zvyšuje.

Algoritmom DBSCAN pri určitých parametroch pozorovali anomálie aj medzi bodmi, nie len extrémne hodnoty. To znamená, že anomálie sú aj dáta, ktoré sa často nevyskytujú.

4 Záver

Naša práca sa zaoberala vytvorením softvérovej aplikácie v jazyku C#, ktorá prostredníctvom laserového diaľkomera URG-04LX-UG01 získava dáta, ktoré následne zhlučuje dáta pomocou zhlukovacieho algoritmu DBSCAN. Daný algoritmus je schopný identifikovať oblasti v dátach s vysokou hustotou a označiť zvyšok bodov, ako šum.

Na základe experimentov sme určili optimálny parameter ϵ , vhodný pre naše dáta, čím sme dosiahli efektívne zhlučovanie nameraných údajov. Vytvorili sme grafické rozhranie, ktoré umožňuje vizualizovať namerané dáta a vytvorené zhluky.

Pri porovnaní výsledkov s inými prácami, ktoré využili DBSCAN v iných oblastiach sme zistili, že algoritmus bol účinný pri detekcii zhlučkov aj v našej aplikácii.

Najväčším problémom algoritmu DBSCAN je práve určovanie parametrov ϵ a minimálny počet bodov. Optimalizovanie určovanie týchto parametrov by zahŕňalo vývoj metód pre ich automatické nastavenie.

V závere môžeme povedať, že cieľ práce bol dosiahnutý. Úspešne sme vytvorili aplikáciu, ktorá zbiera dáta z laserového diaľkomera a následne ich zhľukuje a graficky zobrazuje. Naše riešenie by mohlo byť využité pri detekcii objektov v priemyselných prostrediach, GIS systémoch na mapovanie terénu alebo pri navigácii autonómnych vozidiel. Ďalej by sme mohli rozšíriť našu aplikáciu o možnosti ako export dát do rôznych formátov, implementovanie iných zhľukovacích algoritmov pre porovnanie s DBSCANom alebo integráciu s ďalšími senzormi a technológiami pre získanie komplexnejších informácií o prostredí.

5 Literatúra

BERNARDINI, Fausto – RUSHMEIER, Holly. 2002. The 3D Model Acquisition Pipeline. In *Computer Graphics Forum*, roč. 21, 2002, č. 2, s. 149-172.

ÇELİK, Mete – DADAŞER-ÇELİK, Filiz – DOKUZ, Ahmet Şakir, 2011, Anomaly detection in temperature data using DBSCAN algorithm. In *2011 International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications*, 2011, s. 91-95.

ELBATTA, Mohammed – ASHOUR, Wesam. 2013. A dynamic Method for Discovering Density Varied Clusters. In *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, roč. 6, 2013, č. 1.

ESTER, Martin a i. 1996. A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise. In *Proceedings of 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD-96)*, roč. 2, 1996, č. 1, s. 226-231.

MADHULATHA, Soni T. 2012. An Overview on Clustering Methods. In *IOSR Journal of Engineering*, roč. 2, 2010, č.4, s. 719-725.

PETRIE, Gordon – TOTH, Charles K. 2018. Airborne and Spaceborne Laser Profilers and Scanners. In *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*. Boca Raton: CRC Press, 2018. s. 89-158. ISBN 978-13-151-5438-1.

PETRIE, Gordon – TOTH, Charles K. 2018. Introduction to Laser Ranging, Profiling, and Scanning. In *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*. Boca Raton: CRC Press, 2018. s. 1-28. ISBN 978-13-151-5438-1.

PETRIE, Gordon – TOTH, Charles K. 2018. Terrestrial Laser Scanners. In *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*. Boca Raton: CRC Press, 2018. s. 29-88. ISBN 978-13-151-5438-1.

WEIPENG, Jing – CHUANYU, Zhao – CHAO, Jiang. 2018. An improvement method of DBSCAN algorithm on cloud computing. In *Procedia Computer Science*, roč. 147, 2019, s. 596-604.

Súhrn

Táto práca sa zaoberá vytvorením softvérovej aplikácie v jazyku C#, ktorá využíva laserový diaľkomer URG-04LX-UG04 na získanie dát. Aplikácia využíva zhľukovací algoritmus DBSCAN pre zhľukovanie nameraných dát. Optimálny parameter ε algoritmu DBSCAN je identifikovaný vykonanými experimentami použitím metódy „laket“. Vytvorená

aplikácia poskytuje vizualizáciu nameraných dát v grafe a grafické zobrazenie zhlukov, ktoré dokazuje účinnú detekciu objektov algoritmom. Aplikácia je navrhnutá s dôrazom na jednoduché použitie a poskytuje užívateľovi intuitívne prostredie pre analyzovanie a vizualizáciu laserových meraní.

Kľúčové slová: laserový diaľkomer, DBSCAN, laker' ϵ , vizualizácia dát

PodĎakovanie: Táto publikácia bola podporená Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR v rámci projektu KEGA 020SPU-4/2023: Implementácia virtualizácie fyzikálnych laboratórií pomocou riadiacich a automatizačných systémov v odbore Strojárstvo.

MOŽNOSTI RIADENIA KROKOVÉHO MOTORA PROSTREDNÍCTVOM OPC UA SERVERA POSSIBILITIES OF STEPPER MOTOR CONTROL VIA OPC UA SERVER

ERIK PUCHER¹ – LUKÁŠ VACHO²

Abstract

The thesis explores the possibilities of controlling a stepper motor using an OPC UA server. It includes an analysis of the functionality and control principles of the stepper motor using a driver card. This section required identifying the configuration and control registers of the driver card, the method of their configuration, supported functionalities of the driver card, the method of controlling these functionalities using control registers, as well as identifying the control method of the stepper motor itself.

Furthermore, the thesis involves the development of a client OPC UA application for controlling the stepper motor via the OPC UA server. This part encompasses the selection of programming language, choice of development environment, selection of software libraries for OPC UA functionality, and the development of the application itself for controlling stepper motors with the required functionality, such as connecting to the OPC UA server, configuration, controlling the stepper motor using multiple modes (such as position mode, speed mode).

Finally, the individual functionalities of the stepper motor control were tested, and measurements were performed.

Key words: stepper motor, OPC-UA, OPC, OPC-UA server, OPC-UA client

1 Úvod

Komunikačný štandard OPC UA patrí stále medzi pomerne nové komunikačné štandardy. Oproti jeho predchodcom OPC DA (OPC Classic) je viac bezpečný, otvorený a spoľahlivý. OPC UA už aktívne implementovalo a podporuje u svojich priemyselných zariadení množstvo špičkových výrobcov ako Siemens, Omron, Weintek, B&R a ďalší. OPC Jednotná architektúra (OPC UA) je štandardom na výmenu údajov pre bezpečnú, spoľahlivú, na výrobcovi a platforme nezávislú priemyselnú komunikáciu. Umožňuje výmenu dát medzi produktmi od rôznych výrobcov a medzi rôznymi operačnými systémami. (VOJÁČEK, 2020)

OPC UA štandard bol vyvinutý za účelom vyriešiť problém medzi komunikáciou medzi priemyselnými zariadeniami a zlepšiť priemyselnú automatizáciu. Historicky museli firmy investovať veľa času a veľa finančných prostriedkov do vývoja ovládačov, ktoré umožňovali komunikáciu medzi počítačmi a ďalšími zariadeniami. Každé nové zariadenie znamenalo nový špecifický ovládač. (opcfoundation.com, 2024)

Štandard OPC UA je založený na špecifikáciách, ktoré boli vypracované v úzkej spolupráci s výrobcami, používateľmi, výskumnými ústavmi a konzorciami, aby sa umožnila bezpečná výmena informácií v heterogénnych systémoch. (opcfoundation.com, 2024)

¹Bc. Erik Pucher, SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky.
xpucher@uniag.sk

²Ing. Lukáš Vacho, Phd., SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky.
lukas.vacho@uniag.sk

OPC je veľmi populárna v priemysle a taktiež sa stáva populárnou aj v iných odvetviach, ako je Internet vecí (IoT). S uvedením architektúry orientovanej na služby (SOA – Service-Oriented-Architecture) v systémoch priemyselnej automatizácie v roku 2007, OPC UA začala používať škálovateľné riešenie nezávislé na platforme, ktoré kombinuje výhody web servisov a integrovaného zabezpečenia s konzistentným dátovým modelom. (opcfoundation.com, 2024)

Medzi hlavné aspekty OPC UA patria:

- Bezpečnosť
- Spoľahlivosť
- Nezávislosť od platformy
- Škálovateľnosť

OPC UA Server

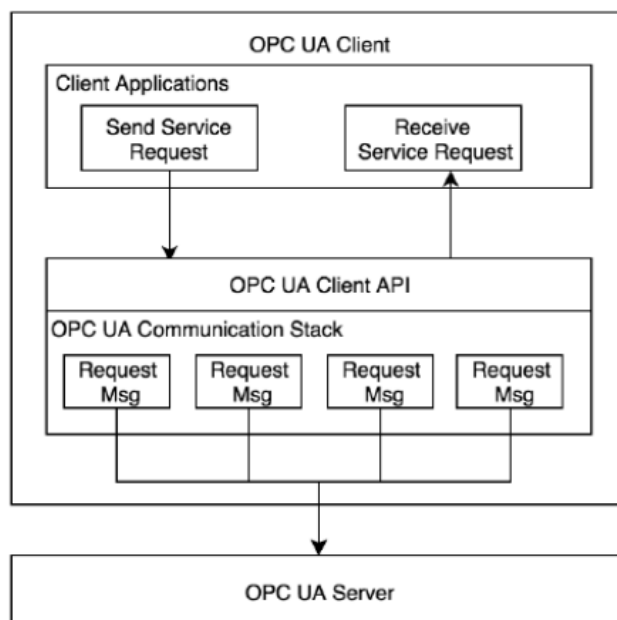
OPC UA Server je pasívna, serverovo orientovaná časť OPC klient/server vzťahu. Je to softwarová aplikácia alebo modul ktorý beží na počítači alebo inom zariadení. OPC UA Server validuje, príma a vykonáva prichádzajúce požiadavky od OPC UA klientov. Server poskytuje prístup k aktuálnym údajom, historickým údajom, alarmom, udalostiam a ďalším údajom. Taktiež zbiera údaje zo senzorov a iných zariadení.

OPC UA Server môže byť výrobcom dodávaný ako samostatný softvér alebo ako zabudovaný OPC server v zariadení, alebo riadiacom počítači. (ptc.com, 2024)

OPC UA Klient

OPC UA Klient je aktívna, klientovo orientovaná časť OPC klient/server vzťahu. OPC UA klient je taktiež softvérová aplikácia alebo modul. OPC UA klient zahajuje komunikáciu z OPC UA Servermi a podáva požiadavky pre čítanie alebo zápis údajov. Klient môže čítať alebo zapisovať údaje, odoberať aktualizácie v reálnom čase, využívať funkcionality servera a vykonávať ďalšie úlohy.

Keďže OPC UA Server implementuje preddefinované OPC UA rozhranie, každý klient dokáže pristupovať k OPC UA serveru a vymieňať si s ním dáta tým istým spôsobom. (ptc.com, 2024)



Obr. 1 OPC UA Klient – Server architektúra
OPC UA Client – Server architecture

(https://www.researchgate.net/publication/332944714_Streaming_Information_Transmission_Based_on_OPC_UA)

OPC UA obvykle využíva komunikačný režim klient/server, pričom klient získa službu odoslaním požiadavky serveru. Aplikácia klienta OPC UA používa aplikačné rozhranie programu (API) na volanie služieb poskytovaných serverom. Komunikačný stack OPC UA konvertuje volania aplikačného rozhrania programu (API) klienta na správy, ktoré môže poslať podliehajúcej komunikačnej entite serveru (obrázok č.1). (WEI, 2019)

2 Materiál a metódy

Použité prístroje a zariadenia:

- OPC UA server - B&R X20BC008U
 - OPC UA protokol
 - Konfigurácia I/O pomocou OPC UA
- Karta meniča - B&R X20SM1436-1
 - Pre 1 krokový motor 24-48 V, 2,5 A
 - 4 digitálne vstupy
- Krokový motor - 80MPD1.300S014-01
 - Dvojfázový hybridný krokový motor
 - 24 V, 3 A
- Ďalšie IO moduly
- Merací prístroj pre meranie otáčok - Ahlborn Almemo 2590
 - Univerzálny merací prístroj
 - Použitý na meranie otáčok
- Snímač pre meranie otáčok – Ahlborn Almemo FUA 919-3
 - Fotoelektrický snímač
 - Rozsah od 5 do 30000 otáčok za minútu
 - Rozlíšenie 1 otáčka za minútu
- Osobný počítač

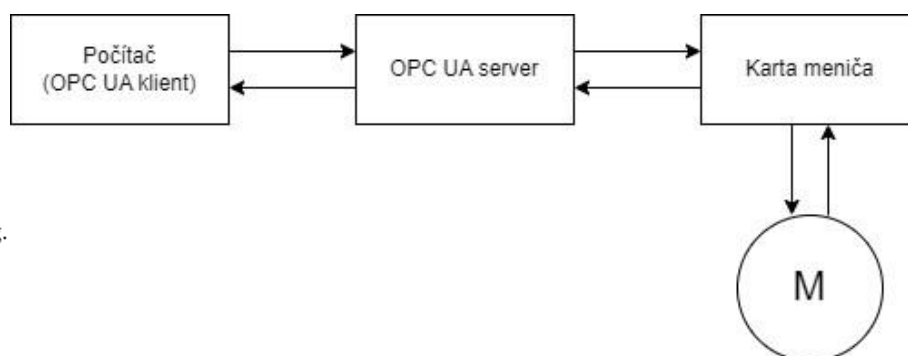


Fig.

Obr. 2 Schéma zostavy zariadení pre riadenie krokového motora
Diagram of the stepper motor control system assembly

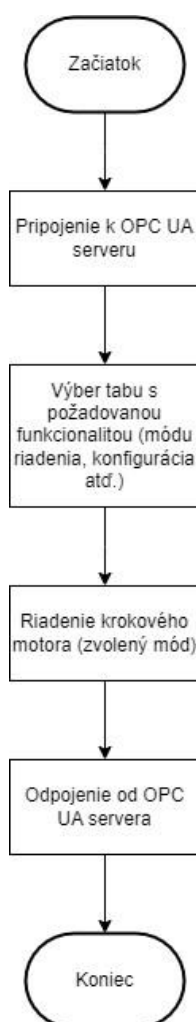
Použitý softvér:

- Programovací jazyk C#

- Vývojové prostredie Microsoft Visual Studio 2022
- Softvérová knižnica pre OPC UA funkcionalitu od Unified Automatization (UA .NET SDK Bundle 3.3.2 (Evaluation Edition))
- OPC UA klient – UaExpert V1.7.1
- Microsoft Excel V2402 (vyhodnotenie výsledkov meraní)

Charakteristika pracovných postupov:

- Analýza funkcionality a princíp riadenia krokového motora pomocou karty meniča
 - identifikácia konfiguračných a riadiacich registrov karty meniča
 - analýza spôsobu konfigurácie konfiguračných registrov
 - analýza podporovanej funkcionality karty meniča
 - analýza spôsobu ovládania daných funkcionalít pomocou ovládacích registrov
 - identifikácia samotného riadenia spôsobu riadenia krokového motoru
- Tvorba klientskej OPC UA aplikácie pre riadenie krokového motora
 - výber programovacieho jazyka
 - výber vývojového prostredia
 - výber softvérovej knižnice pre OPC UA funkcionalitu
 - tvorba samotnej aplikácie pre riadenie krokových motorov s požadovanou funkcionalitou



Obr. 3 Zjednodušený vývojový diagram klientskej aplikácie
Simplified flowchart of the client application

Na vývojovom diagrame z *obrázka č.3* môžeme vidieť, že po spustení klientskej aplikácie sa je v prvom kroku potrebné prihlásiť na príslušný OPC UA server. Po pripojení na server si môžeme zvoliť požadovanú funkcionality (mód riadenia krokového motora, konfigurácia, nastavenie aktuálnej polohy atď.). Následne môžeme motor ovládať podľa zvoleného módu. Po konci riadenia motora treba vykonať odpojenie od OPC UA servera.

3 Výsledky a diskusia

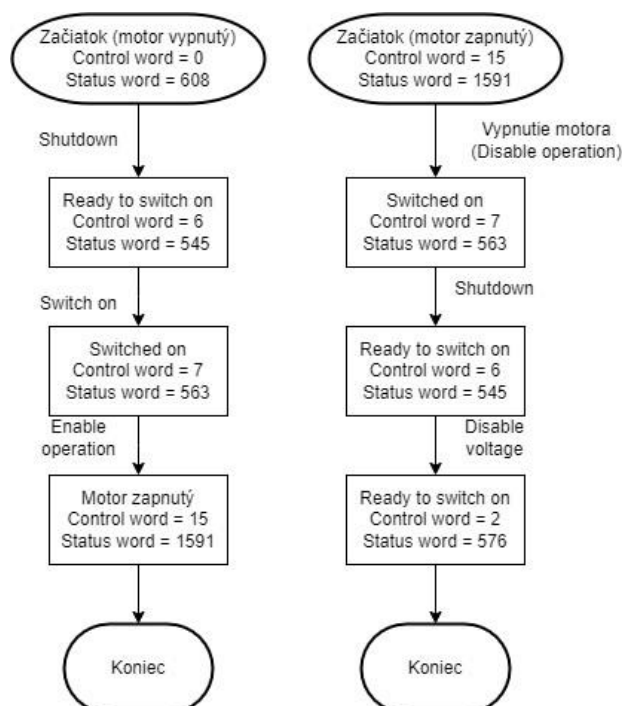
Pre riadenie krokové motora karta meniča obsahuje dva registre MpGenControl01 a MPGenMode01. Karta taktiež obsahuje tretí register MpGenStatus01, ktorý zobrazuje aktuálny stav meniča.

V riadiacom registri MPGenMode01 nastavujeme mód funkcionality riadenia krokového motora. Medzi podporované módy karty patria napríklad nastavenie aktuálnej pozície enkódera, nastavenie domovskej pozície, riadenie krokového motora pomocou posiotion módu, riadenie pomocou rýchlostného módu atď.

V riadiacom registri MpGenControl01 nastavujeme pomocou bitov kontrolného slova stav meniča. Cez tento register ovládame samotný motor. Pre spustenie motora musíme do registra postupne zadať sekvenciu čísel (číslo predstavuje nastavenie bitov v kontrolnom slove), pri ktorom postupne prepíname stav meniča až po stav kedy sa motor spustí. Tieto stavy musia byť prepínané v presnom poradí, inak sa motor nespustí. Obdobne to platí aj pre vypnutie motora. V kontrolnom slove sa taktiež pomocou bitov menia iné parametre meniča.

V registri MpGenStatus01 sa zobrazuje aktuálny stav a nastavenie meniča. Slúži pre spätnú väzbu. Výstup tohto registra je taktiež číslo ktoré predstavuje nastavenie bitov v kontrolnom slove.

Ďalej karta meniča obsahuje 31 registrov pre konfiguráciu meniča ako aj konfiguráciu krokového motora.



Obr. 4 Vývojový diagram ovládania (zapnutia a vypnutia) motora v position móde
Flowchart of motor control (turning on and off) in position mode

Ako môžeme vidieť na *obrázku č.4* zapnutie a vypnutie krokového motora prebieha vo viacerých krokoch, pričom musíme dodržiavať presný postup prepínania stavov meniča. Nedodržanie tohto postupu zapríčiní nespustenie motora.

Fig. 4

Klientská OPC UA aplikácia pre riadenie krokového motora bola napísaná v programovacom jazyku C#, vo vývojovom prostredí Microsoft Visual Studio. Programovací jazyk C# spolu s Visual Studiom bol vybraný pre jeho jednoduchú prácu s objektmi, taktiež ako dobrú podporu OPC UA softvérových knižníc. Ako softvérovú knižnicu pre OPC UA funkcionality bola zvolená softvérová knižnica od Unified Automation. Táto knižnica ponúka výbornú funkcionality, kompatibilitu, ako aj to že jej testovacia verzia je ponúkaná zdarma.

Klientská aplikácia ponúka funkcionality :

- Pripojenie k OPC UA serveru
- Konfigurácia parametrov meniča, motora
- Nastavenie aktuálnej pozície enkódera, nastavenie domovskej pozície
- Ovládanie motora pomocou **position módu**
- Ovládanie motora pomocou **rýchlostného módu**
- Testovací (diagnostický) mód

Pripojenie k OPC UA serveru prebieha pomocou URL adresy servera a namespace servera.

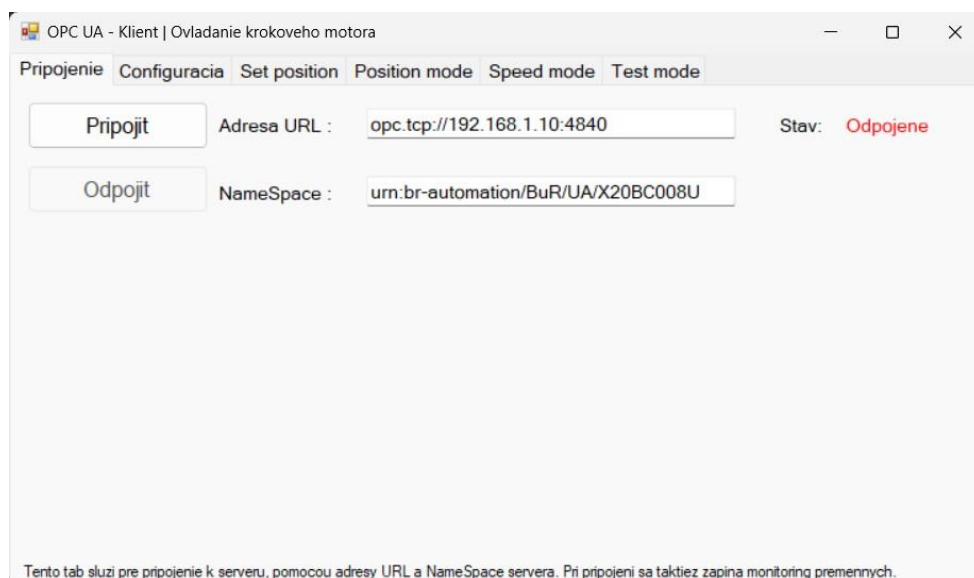
Parametre servera je možné konfigurovať pomocou konfiguračného súboru. Po zvolení konfiguračného súboru sa konfiguračný súbor nahrá a otvorí v tabuľke, kde je následne možné hodnoty zapísať na server. Po otvorení konfiguračného súboru je taktiež možné hodnoty parametrov upraviť.

V aplikácii je možné nastaviť aktuálnu pozíciu enkódera. Taktiež je možné nastaviť domovskú pozíciu krokového motora.

V position móde je krokový motor možné ovládať pomocou zadanej pozície. Po zadaní pozície sa motor presunie na danú pozíciu.

V rýchlostnom móde sa po zadaní rýchlosti motor otáča konštantnou rýchlosťou. Rýchlosť motora je možné zadať buď pomocou mikrokrokov alebo pomocou otáčok.

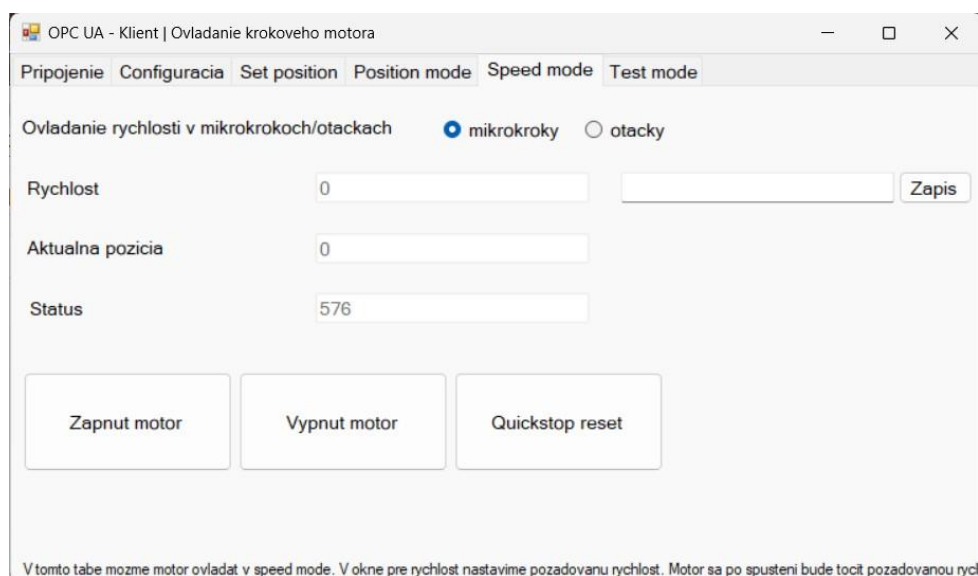
Testovací mód slúži pre testovanie alebo diagnostiku. V tomto móde je možné čítať a zapisovať hodnoty z alebo do ľubovoľného registra. Taktiež sa tu monitorujú dôležité registre pre riadenie krokového motora.



Obr. 5 OPC UA klient – pripojenie k OPC UA serveru
OPC UA client – connection to OPC UA server

Fig. 5

Na *obrázku č.3* môžeme vidieť okno v klientskej aplikácii pre pripojenie k OPC UA serveru pomocou adresy URL a namespace servera.



Obr. 6 OPC UA klient – rýchlostný mód
OPC UA client – speed mode

Na *obrázku č.4* môžeme vidieť okno v klientskej aplikácii pre ovládanie krokového motora pomocou rýchlostného módu. Rýchlosť je možné zadávať v mikrokrokoch alebo otáčkach.

Štandardne sa v rýchlostnom móde ovláda rýchlosť krokového motora pomocou mikrokrokov/cyklus. Pre možnosť zadávania rýchlosti v otáčkach bolo vykonané meranie závislosti rýchlosti od zadaného počtu mikrokrokov. Z údajov z merania bol vytvorený graf v Microsoft Exceli, z ktorého bola následne pomocou regresie odvodená rovnica pre prevod mikrokrokov na otáčky.

Rovnica pre prevod mikrokrokov na otáčky :

$$x = \frac{y}{0,1171} + 3,719043553 \quad (1)$$

Kde: x - otáčky, min-1

y - zadané mikrokroky, mikrokroky/cyklus

Where: x – revolutions per minute (RPM), min-1

y - input microsteps, microsteps/cycle

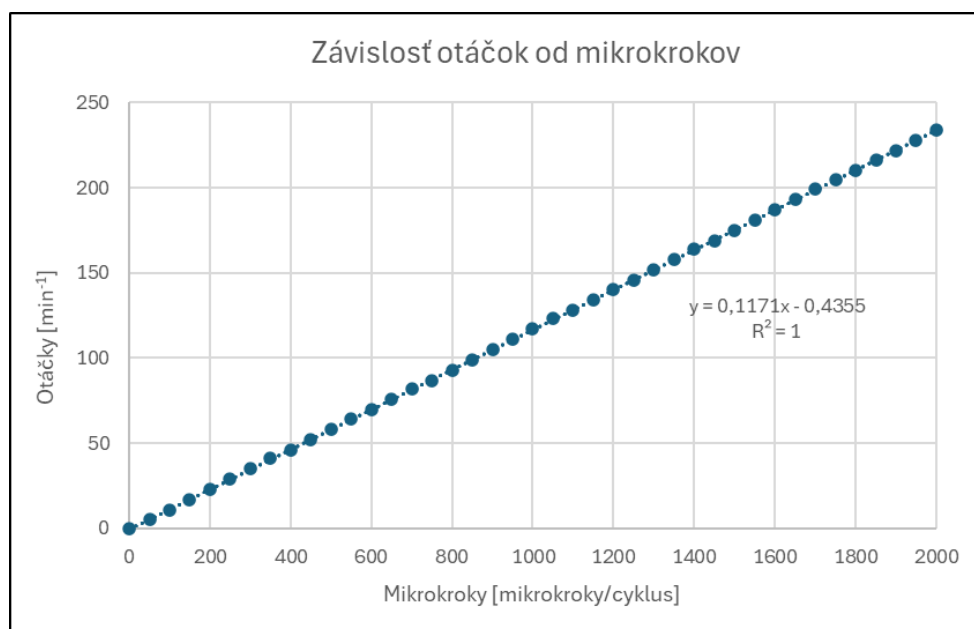
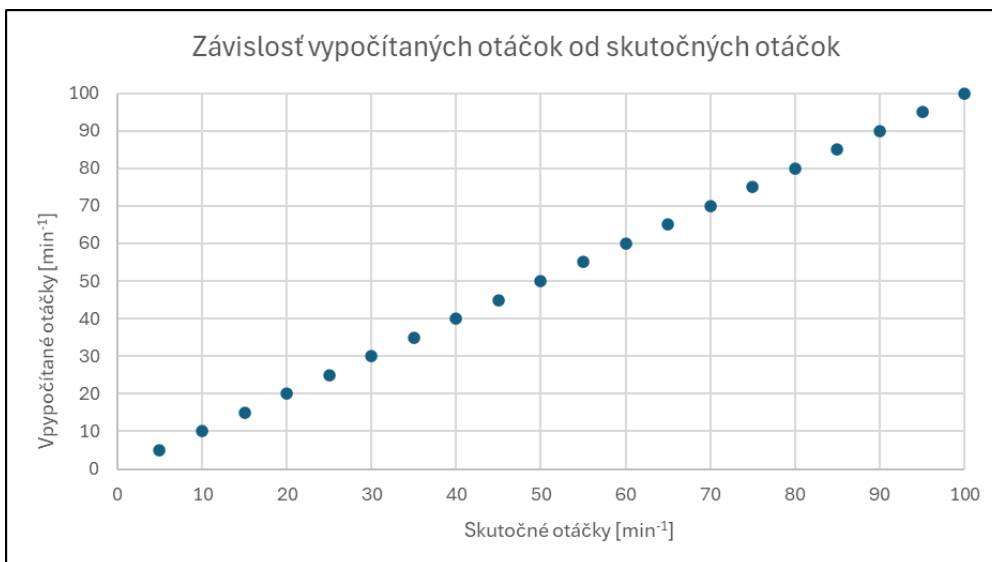


Fig. 7

Obr. 7 Graf závislosti nameraných otáčok od zadaných mikrokrokov
Graph depicting the dependency of measured revolutions on input microsteps

Na grafe v *obrázku č.5* môžeme vidieť graf závislosti otáčok od mikrokrokov. Ako môžeme vidieť z grafu, so zvyšujúcimi mikrokrokmi sa otáčky lineárne zvyšovali. Na grafe taktiež môžeme vidieť rovnicu z regresie.



Obr. 8 Graf závislosti vypočítaných otáčok od skutočných otáčok

Graph depicting the relationship between calculated revolutions and actual revolutions

Na grafe v *obrázku č.6* môžeme vidieť, že vypočítané otáčky, ktoré sme dostali po prepočte pomocou rovnice sú totožné so skutočnými nameranými otáčkami.

Fig. 8 **4 Záver**

V práci sme analyzovali funkcionality a princíp riadenia krokového motora pomocou karty meniča. To zahŕňalo identifikáciu konfiguračných a riadiacich registrov karty meniča, spôsob ich konfigurácie, podporované funkcionality karty meniča, spôsob ovládania daných funkcionalít pomocou ovládacích registrov, ako aj identifikácie samotného spôsobu riadenia krokového motora.

Ďalej sme navrhli a vytvorili klientskú OPC UA aplikáciu pre riadenie krokového motora. Ako programovací jazyk sme vybrali jazyk C#. Program bol písaný vo vývojovom prostredí Microsoft Visual Studio. Pre OPC UA funkcionality sme vybrali softvérovú knižnicu od Unified Automation. Medzi funkcionality aplikácie patrí pripojenie k OPC UA serveru pomocou adresy URL a namespace, konfigurácia karty meniča, nastavenie aktuálnej pozície enkódera a domovskej pozície krokového motora, position mód pre riadenie polohy motora podľa zadanej pozície, rýchlostný mód, kde môžeme rýchlosť zadávať v otáčkach alebo mikrokrokoch a taktiež testovací mód.

V závere práce boli jednotlivé funkcionality riadenia krokového motora otestované. Pre rýchlostný mód boli vykonané merania pri ktorých sme zistili, že vypočítané otáčky, podľa rovnice z regresie, boli totožné so skutočnými nameranými otáčkami a nevznikli výrazné odchýlky medzi vypočítanými otáčkami a skutočnými otáčkami.

5 Literatúra

OPC Unified Architecture. 2023. In opcfoundation.org [online]. ©2023 [cit. 2024.30.03]. Dostupné na: <https://opcfoundation.org/wp-content/uploads/2023/05/OPC-UA-Interoperability-For-Industrie4-and-IoT-EN.pdf>.

VOJÁČEK, Antonín. 2020. Průmyslová komunikace OPC UA - 1.díl - popis protokolu [online]. ©2020 [cit. 2024.30.03]. Dostupné na: <https://automatizace.hw.cz/prumyslova-komunikace-opc-ua-1dil-popis-protokolu.html>.

WEI, Liu. 2019. Streaming Information Transmission Based on OPC UA [online]. ©2019 [cit. 2024.30.03]. Dostupné na: https://www.researchgate.net/publication/332944714_Streaming_Information_Transmission_Based_on_OP_C_UA.

What is OPC Unified Architecture (OPC UA)?. 2024. In [ptc.com](https://www.ptc.com) [online]. ©2024 [cit. 2024.30.03]. Dostupné na: <https://www.ptc.com/en/technologies/iiot/industrial-automation/opc/opc-ua>.

Súhrn

Práca sa zaoberá možnosťami riadenia krokového motora pomocou OPC UA servera. Práca zahŕňa analýzu funkcionality a princíp riadenia krokového motora pomocou karty meniča. V tejto časti bolo potrebné identifikovať konfiguračné a riadiace registre karty meniča, spôsob ich konfigurácie, podporované funkcionality karty meniča, spôsob ovládania daných

funkcionalít pomocou ovládacích registrov, ako aj identifikovať samotný spôsob riadenia krokového motora.

Ďalej práca zahŕňa tvorbu klientskej OPC UA aplikácie pre riadenie krokového motora pomocou OPC UA servera. Táto časť zahŕňa výber programovacieho jazyka, výber vývojového prostredia, výber softvérových knižníc pre OPC UA funkcionality, a tvorbu samotnej aplikácie pre riadenie krokových motorov s požadovanou funkcionalitou, ako pripojenie na OPC UA server, konfigurácia, riadenie krokového motora pomocou viacerých módov, ako je position mód, rýchlostný mód.

V závere boli odskúšané jednotlivé funkcionality riadenia krokového motora a boli vykonané merania.

Kľúčové slová: krokový motor, OPC-UA, OPC, OPC-UA server, OPC-UA klient

PodĎakovanie: Táto publikácia bola podporená Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR v rámci projektu KEGA 020SPU-4/2023: Implementácia virtualizácie fyzikálnych laboratórií pomocou riadiacich a automatizačných systémov v odbore Strojárstvo.

MERANIE PEVNOSTI ZÁVITOVÝCH SPOJOV NA 3D TLAČENÝCH VZORKÁCH STRENGTH MEASUREMENT OF THREADED JOINTS ON 3D PRINTED SAMPLES

ANDREJ RAGALA¹ – PATRIK KÓSA²

Abstract

This work deals with the investigation of thread resistance to shearing of plastic printed samples from 3D printers. The work also deals with the current state of 3D printing, as well as comparing research results with results from other authors. The aim of the work will be to investigate which threaded connections on 3D printed samples are the strongest, most durable, and therefore which of them will best withstand the increasing load. Research will be carried out in the form of stress testing on these 3D printed samples in the laboratory of the Slovak University of Agriculture in Nitra, and all research results will be entered into graphs.

Key words: 3D print, threaded insert, testing of engineering materials

1 Úvod

3D tlač je aditívna výroba nanášania vrstiev (väčšinou nataveného) materiálu, ktorá zároveň dokáže okrem plastov spracovať aj keramiku alebo kovy. Spojenie skrutkou v závitovej vložke do plastu je najbežnejšou metódou závitového spojenia pomocou dielov tlačených formou 3D tlače. Obrovskou hlavnou výhodou tejto metódy je jej jednoduchá aplikácia v rôznych odvetviach. Ako uvádza časopis KVT Solutioneering (2024) od výrobcu BOSSARD Company je táto metóda využiteľná napríklad v strojárskom priemysle, elektronike, automobilovom, leteckom a kozmickom priemysle. Túto metódu je možné implementovať pomerne rýchlo a aj jednoducho, keďže táto metóda patrí medzi najjednoduchšie metódy spájania skrutiek s 3D tlačenými výrobkami. Ludek Hejhal vo svojej bakalárskej práci (2019) popisuje túto metódu ako veľmi efektívnu a rýchlu pri aplikácii. Vkladanie závitových vložiek do plastu je nesmierne dôležité z hľadiska udržania spoju v nepoškodenom stave. Totižto väčšina plastov, či už tlačených formou 3D tlače alebo vyrobených inak, majú vysokú tendenciu deformovať sa a meniť svoje rozmery pri väčšom namáhaní alebo pri väčších zmenách teploty. V našej práci sa potvrdili rýchle a nenáročné implikácie tejto metódy. Cieľom našej práce bolo zistiť a správnymi postupmi preukázať množstvo sily potrebnej na odňatie jednotlivých závitových vložiek z prípravkov vyrobených formou 3D tlače. Ako Eunika Kumorová vo svojej bakalárskej práci (2022) prehlasuje, „každá technológia 3D tlače podporuje len vybrané materiály. Preto je voľba 3D materiálu úzko súvisiaca so zvolenou 3D technológiou. Pri výbere materiálu je nutné pamätať na rôzne fyzikálne vlastnosti daných materiálov zohľadnením výsledného použitia finálneho 3D výtlaku“. Keďže pre naše účely bolo nutné vybrať materiály, ktoré majú predpoklad odolať napätiu pri odnímaní závitovej vložky z neho, nami skúmané boli dva typy plastových materiálov, konkrétne PETG (Polyetyléntereftalátglykol) a ASA (Akrylonitril styren akrylát).

¹Bc. Andrej Ragala, SPU TF, Ústav konštruovania a strojárskych technológií.

xragala@uniag.sk

²Ing. Patrik Kósa, PhD., SPU TF, Ústav konštruovania a strojárskych technológií.

patrik.kosa@uniag.sk

Z týchto materiálov bolo nutné navrhnuť a následne vytlačiť formou 3D tlače prípravky, na ktorých boli dané skúšky vykonané. Ako ešte Eunika Kumorová vo svojej bakalárskej práci (2022) uvádza „na začiatku tvorby modelu je podstatné porozumieť základom 3D modelovania a pravidlám pre vytvorenie správneho modelu. Len na základe týchto znalostí môžeme vymodelovať a optimalizovať model, ktorý bude možné úspešne vytlačiť“. To zahŕňalo napríklad vytváranie príliš zložitých tvarov, ktoré by boli neefektívne z pohľadu zvyšného odpadu materiálu po tlači alebo vytvorenie takého prípravku, ktorý nebude možné časovo efektívne vytlačiť. Firma FP3D vo svojom online článku (2024) uvádza, že „rýchlosť tlače závisí od celkových parametrov tlačiarne, zložitosti objektu ale aj na type použitého materiálu. Vyššia rýchlosť tlače so sebou prináša pokles kvality. Môžeme však zohľadňovať aj počet tlačových hláv, ktoré pri väčšom počte umožňujú tlačiť rýchlejšie“. V našom prípade 3D tlačiareň značky PRUSA s označením I3 Mk3S obsahuje jednu tlačovú hlavicu a teda bolo nutné nájsť ideálny pomer rýchlosti tlače a kvality výsledného tlačeného materiálu. Keďže nie všetky povrchy nami navrhnutého prípravku museli mať dobrú kvalitu, ubratím materiálu z nich sa zaistila vyššia rýchlosť tlače. Pri realizácii 3D tlače bolo nutné zohľadniť aj tlačové rozlíšenie nami použitej 3D tlačiarne. Ako ešte firma FP3D vo svojom online článku (2024) uvádza, „tlačové rozlíšenie do značnej miery ovplyvňuje presnosť 3D tlačiarne. Rozlíšenie delíme na horizontálne (vzťahuje sa k osiam X a Y) a vertikálne (vzťahuje sa k osi Z). Horizontálne rozlíšenie sa odporúča pod 0,1 mm a vertikálne do 0,2 mm. Čím drobnejšie vrstvy tlačiarne zvládne, tým detailnejšie budú vytlačené objekty. To však môže výrazne predĺžiť dobu tlače“. Nami vytvorený tlačený prípravok bol navrhnutý tak, aby otvory zo spodnej strany presne dosadali do úchyty na nami použitom trhacom zariadení vo vedeckých laboratóriách SPU Nitra.

2 Materiál a metódy

Použité prístroje:

- Trhacie zariadenie TESTOMETRIC X350-10
 - silová kapacita – 10 kN,
 - presnosť: lepšia než $\pm 0,5\%$ odčítania na jednu tisícinu kapacity snímača zaťaženia,
 - minimálna rýchlosť pohybu: 0,00001 mm/min,
 - maximálna rýchlosť pohybu: 2000 mm/min,
 - presnosť rýchlosti: $\pm 0,1\%$ za stálych podmienok,
 - maximálna sila pri plnej rýchlosti: 10 kN,
 - maximálna rýchlosť pri plnej záťaži: 2000 mm/min,
- 3D tlačiareň PRUSA I3 Mk3S
 - objem stavby: 250 x 210 x 210 mm,
 - podporované materiály: široká škála termoplastov, zahŕňajúc PLA, PETG, ASA, ABS, PC (Polykarbonát), CPE, PVA/BVOH, PVB, HIPS, PP (Polypropylén), nGen, Nylon, materiály plnené uhlíkom alebo drevom a ďalšie;
- Digitálne posuvné meradlo CD20-DCX
 - presnosť: 0,02 mm,
 - merací rozsah: 150 mm,
- USB prevodník IT-014UT,
- Dielenský vretenový lis
 - rozsah pohybu: 250 mm,
- Súkromný počítač

- procesor: AMD Ryzen 7 1700,
- RAM: 16GB/DDR4/2400 MHz,
- grafická karta: Nvidia GeForce 1060,
- Použité softvéry:
 - WinTest-Analysis EC Testing,
 - SolidWorks 2017.
- Lepidlá
 - Loctite 243 5 ml,
 - Loctite 2701 5 ml.

Charakteristika použitého materiálu:

- 3D tlačová struna PETG Gembird,
- závitová vložka BOSSARD B5/BN1036,
- závitová vložka BOSSARD B5/BN1936,
- závitová vložka BOSSARD B5/BN1054,
- závitová vložka TAPPEX KVT-001M5 MULTISERT,
- závitová vložka BOSSARD B5/BN242.

Tab. 1 Vizualizácia použitých závitových vložiek
Tab. 1 Visualization of used threaded inserts

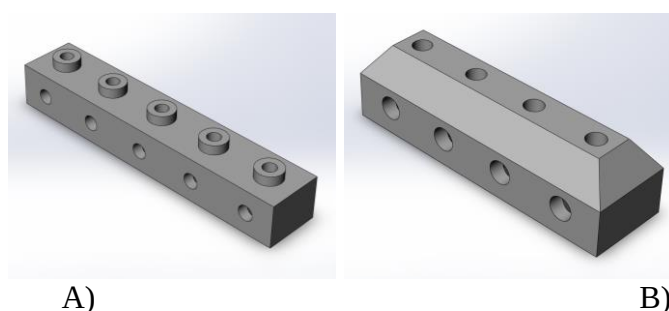
Závitová vložka	Výrobca	Druh vnútorného závit	Označenie	Vizualizácia
1	BOSSARD	M5	B5/BN 1036	
2	BOSSARD	M5	B5/BN 1936	
3	BOSSARD	M5	B5/BN 1054	
4	TAPPEX	M5	KVT-001M5	
5	BOSSARD	M5	B5/BN 242	

Charakteristika pracovných postupov:

- Zváženie postupov,
- voľba závitových vložiek,
- zistenie rozmerov použitého zariadenia,
- návrh vhodných prípravkov,
- 3D tlač prípravkov:
- vkladanie vložiek do prípravkov,
- doba na ustálenie vzoriek,
- trhanie závitových vložiek,
- záznam výsledkov,
- záver.

3 Výsledky a diskusia

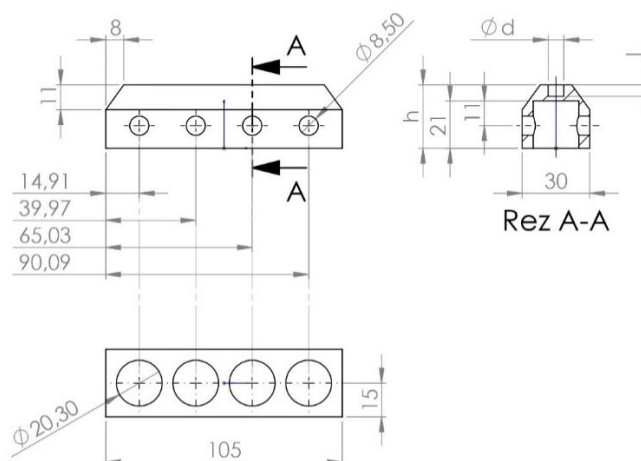
Podľa výberu závitových vložiek bolo našou úlohou navrhnuť požadovaný prípravok zohľadnením času 3D tlače, napätových síl, spôsobu vkladania a úchyty na skúšobných strojoch. Nami boli navrhnuté dva prípravky. Ako sa však po dôkladnom preskúmaní záťažových síl ukázalo, prvý typ prípravku mal isté nedokonalosti, ktoré výrazne ovplyvňovali jeho výkon v daných podmienkach experimentu. Preto bolo nutné navrhnuť iný prípravok. Druhý typ prípravku sa odvíjal od prvého typu, avšak nadobudol omnoho robustnejšie steny a jeho dĺžka bola skrátená o celých 45 milimetrov na ušetrenie času pri 3D tlači. Navyše boli zmenené priemery otvorov a doplnené zrazenia hrán. Na nasledujúcom obrázku môžeme vidieť vzhľad prvého prípravku (obr. 1A) a vzhľad upraveného druhého prípravku (obr. 1B).



Obr. 1 Predchádzajúci tvar prípravku (A), nový tvar prípravku (B)

Fig. 1 Old shape of product (A), new shape of product (B)

Keďže každá závitová vložka mala iné rozmery, bolo nutné navrhnuť prípravky, kde každý mal individuálne rozmery pre konkrétny typ závitovej vložky. Tri hlavné rozmery, ktoré sa v prípravkoch menili boli hĺbka otvoru pre závitovú vložku, priemer otvoru pre závitovú vložku a celková výška samotného prípravku vzhľadom na dĺžku závitovej vložky. Ostatné rozmery mal každý prípravok rovnaké. Rozmery prípravkov sú ukázané na nasledujúcom obrázku (obr. 2), ktorý predstavuje výkres samotného prípravku. Tie rozmery, ktoré boli nemenné sú zakótované číselne. Premennivé rozmery sú zakótované písmenami „ l “, „ d “ a „ h “, kde „ l “ predstavuje hĺbku otvoru pre závitovú vložku, „ d “ predstavuje priemer otvoru pre závitovú vložku a „ h “ predstavuje celkovú výšku prípravku. Kompletne číselné prevedenie týchto rozmerov môžeme vidieť v nasledujúcej tabuľke (tab. 2) pod výkresom prípravku (obr. 2).



Obr. 2 Výkres prípravku
Product drawing

Tab. 2 Číselné rozmery „l“, „d“ a „h“
Tab. 2 Numerical dimensions “l”, “d” and “h”

Závitová vložka	Rozmer		
	l [mm]	d [mm]	h [mm]
B5/BN 1036	5,1	7,0	28,1
B5/BN 1936	9,6	7,0	32,6
B5/BN 1054	8,4	6,6	31,4
KVT-001M5	10,2	6,0	33,2
B5/BN242	12,1	6,7	35,1

Po navrhnutí prípravkov sme pristúpili k ich 3D tlači. Po vytlačení potrebných výtláčkov bolo potrebné jednotlivé závitové vložky nalisovať do týchto prípravkov. Aby nedošlo k nalisovaniu nesprávnej vložky do nesprávneho prípravku, jednotlivé prípravky mali na hornej podstave číslo podľa poradia konkrétnej závitovej vložky. Keďže na výkrese prípravku (obr. 3) môžeme vidieť prvý prípravok v poradí, tento prípravok číslo nepotreboval, keďže nebolo možné si ho zameniť s iným. Preto tento konkrétny druh prípravku číslo neobsahuje a preto ho na výkrese (obr. 3) nie je možné vidieť. Aby sa predišlo nedostatočnému zalisovaniu závitovej vložky do otvoru, každý otvor pre konkrétnu závitovú vložku musel byť vypočítaný pridaním 0,1 mm k dĺžke závitovej vložky. Týmto sa zaistilo správne nalisovanie závitových vložiek aj po možných zostatkoch odpadového materiálu v otvore po 3D tlači. Celkovo sme uskutočnili dvanásť meraní pri troch rozličných situáciách, konkrétne to boli situácie, kedy do otvoru nebola vložená žiadna prídavná látka (lepidlo), ďalej to bola situácia, kedy sme do otvoru pred nalisovaním závitovej vložky naniesli lepidlo Loctite 243 a napokon situácia, kedy sme pred nalisovaním závitovej vložky naniesli lepidlo Loctite 2701. Aby sme mali ako takú ucelenú predstavu, aký objem lepidla do otvoru aplikujeme, snažili sme sa vkladať do každého otvoru približne jeden a pol kvapky lepidla, čo v prepočte na objem predstavuje približne 0,075 ml lepidla na každý jeden otvor. Po zaschnutí lepidla sme pristúpili k ťahovým meraniam na trhácom prístroji. Každá ťahová skúška začínala upnutím prípravkov na svoje miesta a pritiahnutím čelustí prístroja. Keďže pri manipulácii s čelustami prístroja vznikajú na čelustiach nežiadúce sily a je potrebné s čelustami pohybovať, bolo nutné pred každou skúškou vynulovať aktuálnu silu na čelustiach a rovnako vynulovať aj aktuálnu vzdialenosť od referenčnej polohy. Skúška pokračovala spustením merania sily pri vynímaní závitovej vložky z otvoru. Koniec skúšky nastal v momente, kedy sa závitová vložka prestala dotýkať 3D výtláčku. Výsledky z týchto meraní budú analyzované a predstavené v nasledujúcich častiach práce.

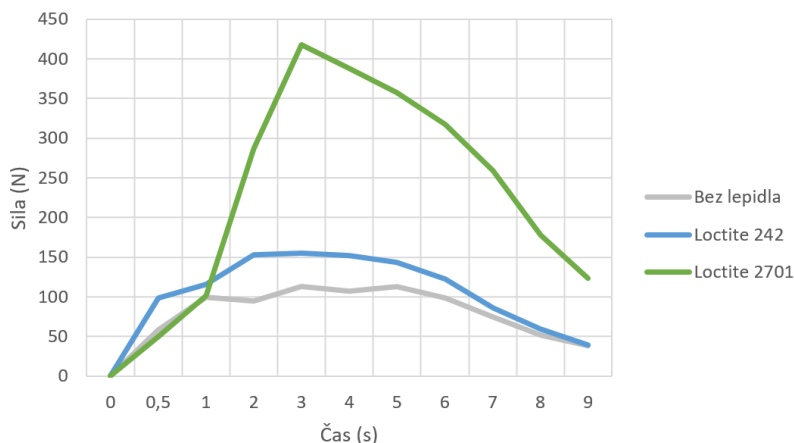
Meranie sily závitových vložiek:

Jedná sa o vložky z mosadze bez povrchovej úpravy. Všetky vložky boli vkladané za studena pomocou dielenského lisu, pričom pred meraniami sme vytvorili tri prípravky bez lepidla, tri prípravky s lepidlom Loctite 243 a tri s lepidlom loctite 2701. Rýchlosť posuvu bola 25 mm.min⁻¹, pričom sme skúmali priebeh sily v čase až do úplného vytiahnutia vložky z materiálu. Tieto vstupné parametre sme nastavili v počítačovom softvéri WinTest-Analysis EC Testing a uskutočnili sme merania. Nasledujúce grafy (obr. 3 – 7) zobrazujú priemerné hodnoty priebehov daných skúšok. Keďže prvá sekunda každej skúšky bola väčšinou najkritickejším okamihom skúšky, bola rozdelená na polovice. Preto je čas odstupňovaný po pol sekunde do uplynutia prvej sekundy.

Vyhodnotenie meraní:

Meranie sily – 1. typ vložky:

Pri tomto meraní sme používali závitovú vložku s označením B5/BN 1036 od výrobcu BOSSARD Company. Z tejto série malo každé meranie najrelevantnejšie výsledky v prvých deviatich sekundách preto boli grafy rozdelené na časový priebeh 9 sekúnd. Na nasledujúcom grafe (obr. 3) môžeme vidieť priemerné hodnoty týchto meraní.



Obr. 3 Graf priemerných výsledkov skúšok závitovej vložky B5/BN 1036

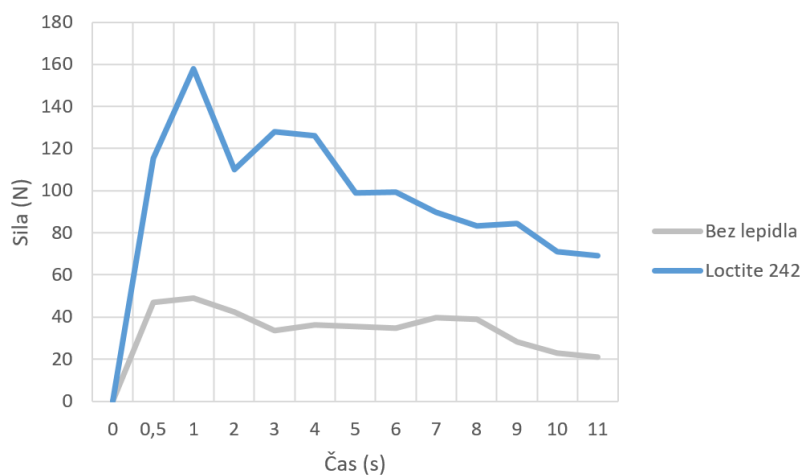
Graph of average test results for a threaded insert B5/BN 1036

Fig. 3

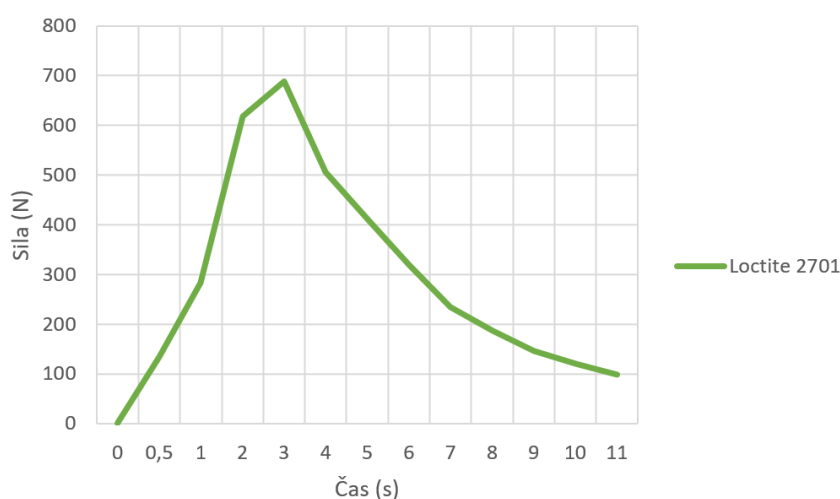
Z uvedeného grafu vyplýva, že najlepšie silovým účinkom odolávali vzorky s lepidlom Loctite 2701. Tieto získané výsledky boli aj predpokladané. Pri meraní za týchto podmienok vznikla najväčšia sila 618,6N. Pri meraniach s lepidlom Loctite 242 bola najvyššia zaznamenaná sila 231,5N. Na druhej strane, vzorky bez lepidla odolávali silovým účinkom najmenej, keďže trecí odpor bol jediná fyzikálna sila, ktorá bránila vložke v uniknutí z materiálu. Pri meraní bez lepidla vznikla najväčšia sila 168,4N. Ako môžeme v grafe (obr. 3) vidieť, vzorky s lepidlom Loctite 2701 a vzorky bez lepidla mali veľmi podobný začiatok priebehu skúšky do zhruba prvej sekundy a následne sa preukázal plný účinok použitého lepidla. Naopak vzorky s lepidlom Loctite 242 mali v prvej pol sekunde výrazne vyššiu efektivitu než ostatné vzorky. Zo získaných výsledkov danej série vyplýva, že závitové vložky typu B5/BN 1036 sa neoplatí vkladat' do materiálu bez použitia podpornej zaisťovacej látky.

Meranie sily – 2. typ vložky:

Pri tomto meraní sme používali závitovú vložku s označením B5/BN 1936 od výrobcu BOSSARD. Pri týchto meraniach boli najrelevantnejšie výsledky získané v prvých 11 sekundách každej skúšky. Keďže by zlúčenie výsledkov z týchto skúšok mohlo výrazne skresliť čiary v grafoch, druhé meranie muselo byť teda rozdelené na dva samostatné grafy. Na nasledujúcich grafoch (obr. 4A a 4B) môžeme vidieť priemerné hodnoty meraní daných skúšok.



A)



B)

Fig. 4 Obr. 4 Graf priemerných výsledkov skúšok (A, B) závitovej vložky B5/BN 1936
Graph of average test results (A, B) for a threaded insert B5/BN 1936

Z uvedených grafov opäť vyplýva, že najlepšie odolávali vzorky s lepidlom Loctite 2701. Pri týchto vzorkách bola najvyššia zaznamenaná sila 1040,9 N v približne tretej sekunde od spustenia merania. Naopak vzorky prichytené lepidlom Loctite 242 mali veľmi podobný začiatok priebehu ako vzorky prichytené lepidlom Loctite 2701, no ich hlavný rozdiel bol v dĺžke odolávania silovým účinkom, kde lepidlo Loctite 242 povolilo až o dve sekundy skôr než druhé lepidlo. Pri meraniach s lepidlom Loctite 242 bola najväčšia zaznamenaná sila 354,5N. Pri vzorkách bez lepidla to bola sila iba 72,9 N. V tomto prípade pre závitové vložky typu B5/BN 1936 neodporúčame vkladať vložky do plastov bez lepidla alebo s použitím lepidla Loctite 242.

Meranie sily – 3. typ vložky:

Pri tomto meraní sme využili závitovú vložku typu B5/BN 1054. Grafy boli vyhodnotené do desiatej sekundy priebehu skúšky. Opäť ako v predošlom prípade musel byť kvôli lepšiemu prehľadu aj tento graf rozdelený na dva obrázky (obr. 5A a 5B).

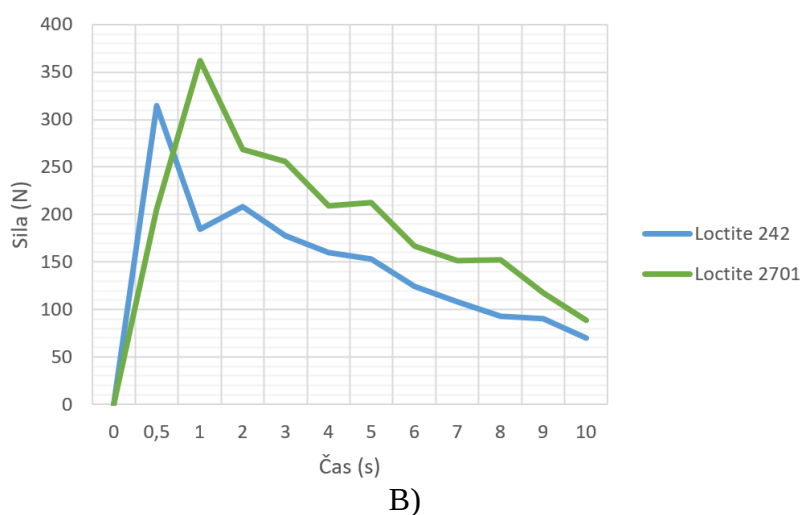
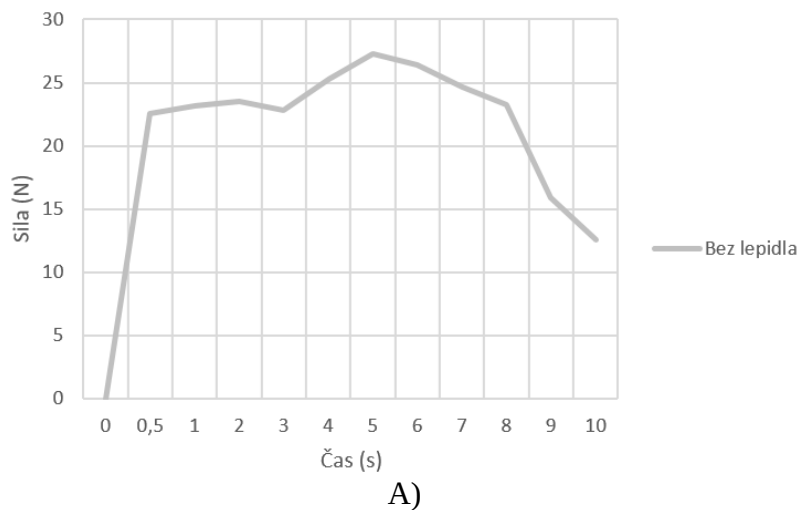
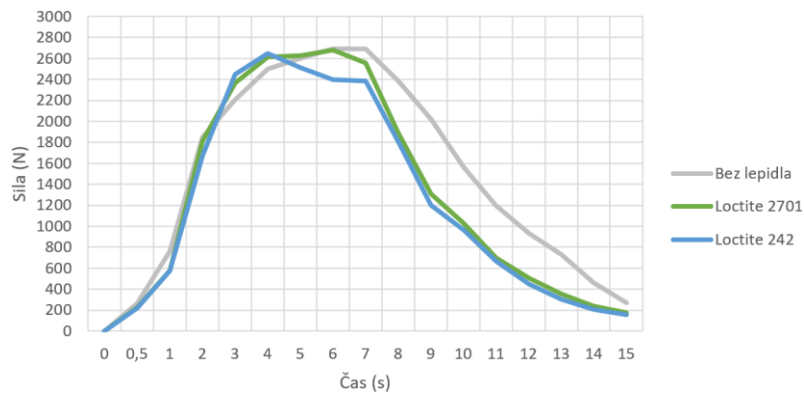


Fig. Obr. 5 Graf priemerných výsledkov skúšok (A, B) závitovej vložky B5/BN 1054
Graph of average test results (A, B) for a threaded insert B5/BN 1054

Zo získaných výsledkov môžeme pozorovať výrazný rozdiel medzi závitovými vložkami vkladnými s lepidlom a bez. Vložky vkladné bez lepidla dosiahli maximálnu silu 38,6N. Naopak pri vložkách vkladných s lepidlami môžeme vidieť značné zhody v priebehoch. Jediným väčším rozdielom bol iba začiatok skúšky kedy Loctite 2701 odolával záťažovej sile o približne pol sekundy dlhšie. Najväčšie dosiahnuté záťažové sily mali hodnoty pre Loctite 242 rovných 612 N a pre Loctite 2701 iba o niečo viac, konkrétne 642,8 N. Vzorky vkladné bez lepidla dosiahli horšiu efektivitu v odolávaní záťažovej sile o takmer 94% v porovnaní so vzorkami vkladnými do lepidla Loctite 2701. Z týchto získaných výsledkov usudzujeme, že závitové vložky typu B5/BN 1054 sa neoplatí vkladat' do plastových výtlačkov bez použitia lepidla.

Meranie sily – 4. typ vložky:

Pri tomto meraní sme mali k dispozícii závitovú vložku typu KVT-001M5, tentoraz od výrobcu TAPPEX. Keďže tieto merania trvali najdlhšie, museli sme časový rozsah grafov zväčšiť na 15 sekúnd. V grafe (obr. 6) vidíme priebeh týchto skúšok.



Obr. 6 Graf priemerných výsledkov skúšok závitovej vložky KVT-001M5
Graph of average test results for a threaded insert KVT-001M5

Zo získaných výsledkov týchto skúšok vidíme, že lepidlo nemalo na závitové vložky takmer žiadny vplyv, ba naopak by sa dalo povedať, že lepidlá zhoršili vlastnosti závitových vložiek a uľahčili ich odňatie z materiálu. V grafe (obr. 6) vidíme, že v prvých štyroch sekundách sila iba stúpala, následne sa na ďalšie štyri sekundy ustálila a potom začala klesať. Pri lepidle Loctite 242 bola maximálna sila najnižšia s hodnotou 2705,2 N. Pri vložkách s použitím lepidla Loctite 2701 bola táto hodnota rovných 2792 N. Pri vložkách bez akéhokoľvek lepidla bola maximálna sila najvyššia a to konkrétne 2830,5 N. Pri závitovej vložke do plastu typu KVT-001M5 sa ukázalo, že rozdiel v použití či už akéhokoľvek lepidla alebo bez lepidla nebol až taký výrazný, teda použitie lepidla v tomto prípade nemalo zmysel.

Meranie sily – 5. typ vložky:

Pri tomto meraní bola použitá samo-rezná závitová vložka typu B5/BN 242 od výrobcu BOSSARD. Počas meraní sa už pri vyberaní závitových vložiek z materiálu bez lepidla poškodil samotný materiál a 3D výtlačok nevydržal maximálnu zaťažujúcu silu a roztrhol sa. Keďže už ani bez použitia lepidla výtlačok maximálnu silu nevydržal, ďalšie merania (s lepidlami) už nebolo potrebné vykonať pretože by materiál taktiež nedokázal odolať zaťažujúcej sile. Nasledujúci graf (obr. 7) má spriemerované sily jednotlivých meraní, až do poškodenia materiálu. Keďže roztrhnutie materiálu vždy nastalo približne 3,5 sekundy od začiatku merania, relevantnú dĺžku trvania jednotlivých meraní sme stanovili na 5 sekúnd, kde každá sekunda bola rozdelená na polovice.

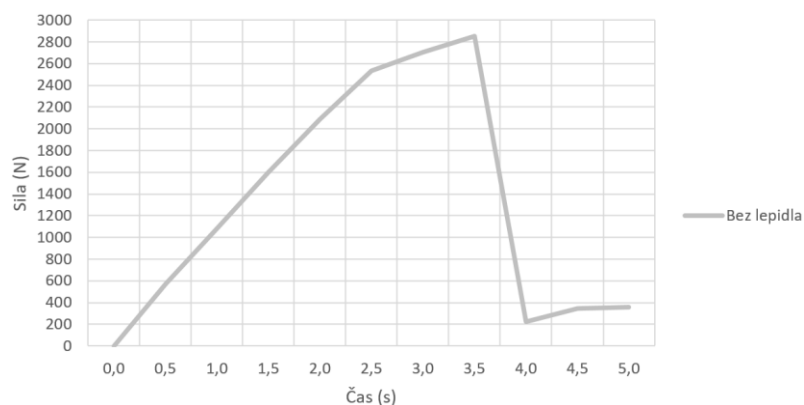


Fig. 7

Obr. 7 Graf priemerných výsledkov skúšok samo-reznej závitovej vložky typu B5/BN 242
Graph of average test results for a self-cutting threaded insert B5/BN 242

V grafe (obr. 7) vidíme veľký úbytok zaťažujúcej sily pri roztrhnutí výtlačku z 2850 N na 225 N počas doby trvania pol sekundy. Najvyššia nameraná dosiahnutá sila tesne pred jeho

roztrhnutím bola 3536,4 N. Sila závitovej vložky prekonala silu vrstiev 3D tlačeného plastového materiálu PETG. Najskoršie roztrhnutie materiálu nastalo 2,38 s od začiatku merania a najneskoršie roztrhnutie materiálu nastalo 4,15 s od začiatku merania. Kvôli prehľadnosti grafu (obr. 7) bol priemerný čas do roztrhnutia stanovený na 3,5s od začiatku merania. Keďže sú závitové vložky typu B5/BN 242 viac než dostatočne silné, neodporúčame použitie lepidla do 3D výtlačkov. Tieto závitové vložky sú obstojné aj bez lepidla.

4 Záver

Naším cieľom bolo otestovať vynímanie závitových vložiek z materiálu a ich vplyv na výslednú silu. S použitím závitových vložiek a prípravkov sme vykonali potrebný počet meraní a všetky výsledky sme úspešne zaznamenali a vyhodnotili ich.

Stanovený cieľ našej práce, teda zmerať potrebnú silu na vybratie závitových vložiek z materiálu, sme dosiahli úspešne a nami získané výsledky taktiež poukazujú na relevantnosť a efektívnosť používania lepidiel na fixovanie závitových vložiek v 3D tlačenom plaste. Ako experimenty (vložiek typov B5/BN 1036, B5/BN 1936, B5/BN 1054, KVT-001M5 a B5/BN 242) ukázali, najlepšie v meraniach obstála samo-rezná závitová vložka typu B5/BN 242 bez lepidla s najvyššou nameranou silou 3536,4 N, čo je v prepočte na kilogramy akoby sme na závitovú vložku zavesili závažie o hmotnosti 360,71 kilogramov. V opačnom prípade úplne najnižšiu nameranú silu 34,5 N dosiahla závitová vložka typu B5/BN 1936 bez lepidla.

Prípady, kedy zvolené materiály dovoľujú použiť hrubšie steny výtlačkov odporúčame použiť závitové vložky typov KVT-001M5 a B5/BN 242. Naopak pre tenkostenné materiály odporúčame použitie závitových vložiek B5/BN 1036, 1052 a 1936.

5 Literatúra

All3DP. 2023. In All3DP [online]. ©2023 [cit. 2024-3-18]. Dostupné na: <<https://all3dp.com/2/gluing-3d-printed-best-ways-bond-3d-prints/>>.

HEJHAL, Luděk. 2019. ZÁVITOVÁ SPOJENÍ U DÍLŮ VYROBENÝCH METODOU 3D TISKU : bakalárska práca [online]. České Vysoké Učení v Praze. 42s. [cit. 2024-3-18]. Dostupné na: <<https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/86268/F2-BP-2019-Hejhal-Ludek-Bakalarska%20Prace.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>>.

KUMOROVÁ, Eunika. 2020. 3D tlač – spájanie a finalizácia : bakalárska práca [online]. Žilinská Univerzita v Žiline. 52s. [cit. 2024-3-18]. Dostupné na:

<<https://opac.crzp.sk/?fn=docview2ChildQFST6&record=42FF770CB0BE77797DFF2F521E7F&seo=CRZP-Prehliadanie-pr%C3%A1c>>.

KVT-SOLUTIONEERING. 2024. In KVT-Fastening [online]. 2024 [cit. 2024-3-18]. Dostupné na: <<https://www.kvt-fastening.sk/sk/produkty/zavitove-vlozky/>>.

ONEINDUSTRY. 2019. Ako dosiahnuť integritu spoja v plastových komponentoch [online]. ©2019 [cit. 2024-3-18]. Dostupné na: <<https://www.oneindustry.cz/plasty/ako-dosiahnut-integritu-spoja-v-plastovych-komponentoch/>>.

THAKAR, Chetan. 2022. 3d Printing: Basic principles and applications. In ScienceDirect [online], vol. 51, no. 1, pp. 842-849 [cit. 2024-3-18]. ISSN. Dostupné na: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785321046575>>.

Súhrn

Táto práca sa zaoberá skúmaním odolnosti závitov na strih plastových vytlačených vzoriek z 3D tlačiarní. Práca sa zaoberá taktiež súčasným stavom 3D tlače, ako aj porovnávaním výsledkov zo skúmaní s výsledkami od iných autorov. Cieľom práce bude skúmanie toho, ktoré závitové spoje na 3D tlačených vzorkách sú najpevnejšie, najodolnejšie a teda, ktoré z nich budú najlepšie odolávať zvyšujúcemu sa zaťaženiu. Uskutoční sa výskum v podobe skúšania namáhania na týchto 3D tlačených vzorkách v laboratóriu Slovenskej Poľnohospodárskej Univerzity v Nitre a všetky výsledky výskumu budú zapísané do grafov.

Kľúčové slová:

Týmto by som chcel poďakovať Ing. Patrikovi Kósovi, PhD. za pomoc, odborné vedenie, cenné rady, pripomienky a podporu pri vypracovávaní tejto vedeckej práce.

Taktiež by som chcel poďakovať Zuzane Matejkovej za prejavenu dôveru a podporu pri vypracovávaní práce.

VYTVORENIE SOFTVÉRU A SNÍMACIEHO ZARIADENIA NA MERANIE TEPLOTY FOTOVOLTICKÝCH PANELOV

CREATION OF SOFTWARE AND SENSING DEVICE FOR MEASURING THE TEMPERATURE OF PHOTOVOLTAIC PANELS

DAVID RÓŽA - MATÚŠ BILČÍK

Abstract

The objective of this thesis is to create a device for measuring and evaluating the temperature of a Photovoltaic system. By integrating hardware components and developing custom software, the objective is to consolidate all functionalities into a single, compact application. Additionally, serial communications are utilized to interface with sensors and data loggers for efficient data recording. The result of the work will be both a hardware device for temperature monitoring and software for data evaluation.

Key words: Photovoltaics, Thermal monitoring, Single-Board Computer, Serial communication.

1 Úvod

Meranie teploty fotovoltických systémov

Podstata tejto kapitoly bude v objasnení princípov rôznych metód merania teploty, analýzy vplyvu teploty na fotovoltické články a spôsoby komunikácie medzi teplotnými snímačmi a počítačmi.

Vplyv teploty na fotovoltické články

Základné princípy termodynamiky, ako sú zákony termodynamiky a zákon zachovania energie, poskytujú rámec pre pochopenie tepelných procesov v fotovoltických systémoch. Teplota môže byť prenášaná kondukciou, konvekciou alebo žiarením, tieto procesy sú významné pri určovaní teploty FV panelov a ich okolia. Vlastnosti materiálov v súvislosti so slnečným žiarením, ako je absorpcia, odrážanie a prenos tepla, majú významný vplyv na teplotu fotovoltických panelov. Materiály používané vo fotovoltických bunkách majú špecifické optické charakteristiky, ktoré ovplyvňujú ich schopnosť absorbovať slnečné svetlo a produkovať elektrický prúd (Alami, 2022).

Zvýšená teplota fotovoltických panelov môže spôsobiť termálnu degradáciu materiálov a zníženie ich výkonu a účinnosti. Tento proces je často spôsobený tepelnou rozťažnosťou, starnutím materiálov a tepelným cyklovaním, ktoré môžu mať za následok pokles výroby elektrickej energie fotovoltických systémov. Taktiež platí, že teplota má priamy vplyv na účinnosť fotovoltických článkov. Nadmerná teplota často vedie k zníženiu výkonu fotovoltického systému. Tento efekt je známy ako tepelný účinok a je spôsobený zvýšením vnútornej teploty článku, čo vedie k zníženiu napäťového rozdielu a zvýšeniu výkonových strát. Výkon FV článkov klesá so zvyšujúcou sa teplotou, zásadne v dôsledku zvýšených rýchlostí

¹Bc. David Róža, SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky.

xroza@uniag.sk

²Ing. Matúš Bilčík, PhD., SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky.
matus.bilcik@uniag.sk

re-kombinácie vnútorných nosičov spôsobených zvýšenými koncentraciami nosičov. Prevádzková teplota hrá kľúčovú úlohu v procese FV premeny. Elektrická účinnosť aj výstupný výkon fotovoltického modulu lineárne závisia od prevádzkovej teploty. Elektrický výkon je primárne ovplyvnený použitým materiálom, z ktorého je FV panel skonštruovaný. S cieľom minimalizovať vplyv teploty na fotovoltické články sa v súčasnosti aplikujú rôzne inžinierske riešenia. Medzi tieto riešenia patrí napr. použitie chladiacich systémov, termálnych izolácií a materiálov s vylepšenými tepelnými vlastnosťami. Tieto technologické inovácie pomáhajú znižovať tepelný stres a termálnu degradáciu fotovoltických článkov, čo vedie k zlepšeniu ich výkonu a životnosti (Dubey, 2013).

Technológie a snímače používané na meranie teploty FV systémov

Meranie teploty fotovoltických systémov je kritickým aspektom pre ich správne fungovanie a dlhodobú životnosť. Existuje niekoľko technológií a snímačov, ktoré sa používajú na monitorovanie teploty FV systémov, s rôznymi metódami merania a aplikáciami. Metóda kontaktného merania teploty, ktorá využíva tepelný odpor, termočlánky a iné elektrické senzory, je častou praxou pri monitorovaní teploty fotovoltických systémov. Tento prístup často zahŕňa umiestnenie elektrického senzora na povrch základnej dosky fotovoltického článku, čo umožňuje presné meranie teploty. Príkladný digitálny teplotný senzor DS18B20 je jedným zo snímačov, ktorý sa používa na tento účel, kde sa môže použiť ako jednozbernicový digitálny snímač teploty na meranie teploty fotovoltických zariadení. Bezkontaktná metóda merania teploty využíva viditeľné svetlo a infračervené zobrazovanie, čo umožňuje zhromaždiť infračervený tepelný obraz fotovoltického poľa. Tento tepelný obraz môže byť ďalej spracovaný pomocou obrazových techník a algoritmov, ako je detekcia hrán, čo umožňuje identifikáciu horúcich miest v module. Experimentálny systém impulzného elektrického infračerveného termálneho zobrazovania, je využívaný pri odhaľovaní defektov fotovoltických článkov. Ďalším prístupom je použitie automatického algoritmu spájania pre infračervené obrazy, ktorý je založený na rýchlej a robustnej detekcii funkcií a umožňuje automatické spájanie obrazových sekvencií. Existuje aj metóda merania teploty založená na elektrických charakteristikách fotovoltického modulu, ktorá sa zameriava na detekciu horúcich miest. Táto metóda zahŕňa aktívnu detekciu horúcich miest na základe elektrických parametrov, ako je kapacita a impedancia jednosmerného prúdu. Ďalšie metódy zahŕňajú vylepšené algoritmy detekcie horúcich bodov pomocou infračerveného zobrazovania a multi-senzorové metódy detekcie a lokalizácie porúch, ktoré využívajú vylepšené neurónové siete AI. Tieto prístupy poskytujú spoľahlivé prostriedky na monitorovanie teploty vo fotovoltických systémoch a identifikáciu potenciálnych problémov (Li, 2022).

V praxi sa snímače ako napr. DS18B20 a DHT20 využívajú na monitorovanie teploty v rôznych oblastiach fotovoltických systémov. Ich presné merania a jednoduchá integrácia s rôznymi počítačovými zariadeniami robia z týchto senzorov vyhľadávaný nástroj pri diagnostike a monitorovaní teploty v FV systémoch. Ich využitie umožňuje efektívne riadenie prevádzky fotovoltických zariadení a predchádzanie potenciálnym problémom spojeným s nadmerným prehrievaním článkov alebo modulov.

Monitorovanie teploty FV panelu pomocou infračervenej termovíznej kamery

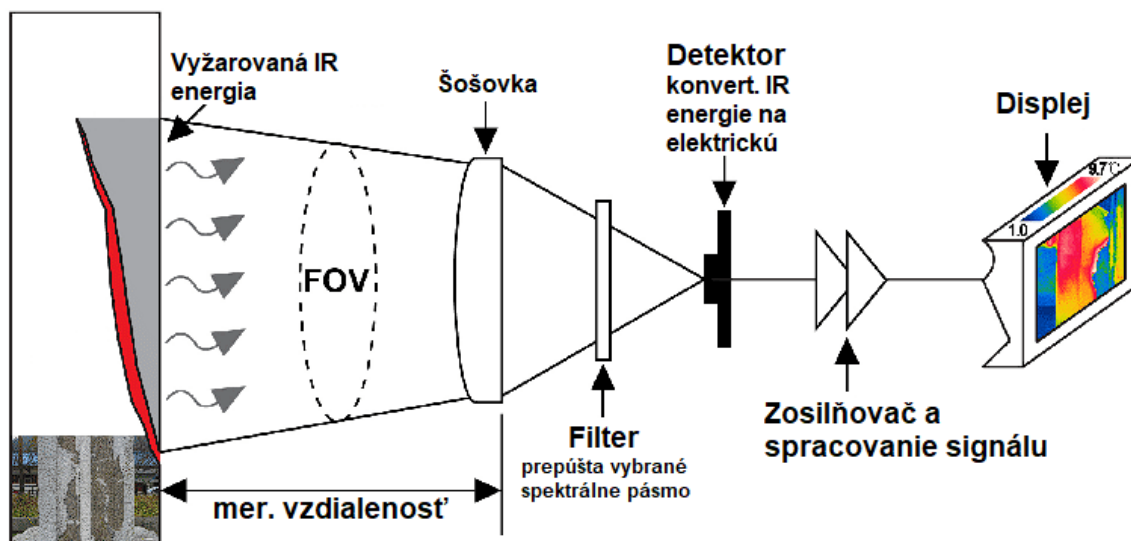
Infračervené termovízne kamery pracujú na princípe snímania infračerveného žiarenia vyžarovaného teplými objektami. Tieto kamery zachytávajú infračervené žiarenie a prevádzajú ho na obrazový signál, ktorý zobrazuje teplotné rozloženie na povrchu snímaného objektu. Vysoká citlivosť a rozlíšenie infračervených senzorov umožňuje presné meranie teploty s vysokou presnosťou. Infračervené termovízne kamery sa ukázali ako dôležitý nástroj pri monitorovaní teploty fotovoltických systémov. Ich schopnosť poskytnúť rýchle a presné merania teploty umožňuje identifikovať potenciálne problémy, ako sú prehrievanie panelov,

nehomogénne tepelné rozloženie a defekty spojov. Tieto informácie sú neoceniteľné pri prevencii poškodenia fotovoltických panelov a optimalizácii výkonu celého systému. Pri použití infračervených termovíznych kamier na meranie teploty fotovoltických systémov je dôležité dodržiavať určité postupy a protokoly. To zahŕňa kalibráciu kamery, ktorá zabezpečuje presné a spoľahlivé merania, ako aj správne umiestnenie kamery a optimálne podmienky osvetlenia pre získanie najpresnejších výsledkov. Okrem toho je dôležité zabezpečiť správne spracovanie a interpretáciu získaných dát. Výhody infračervených termovíznych kamier v meraní teploty fotovoltických systémov zahŕňajú ich schopnosť rýchlo a efektívne identifikovať problémy a zlepšiť výkon systému. Okrem toho poskytujú bezkontaktné merania, čo minimalizuje riziko poškodenia panelov a znižuje potrebu zasahovania do systému. Avšak existujú aj niektoré obmedzenia, ako je vplyv okolitého prostredia, výška citlivosti kamery na určité povrchy a potreba správnej kalibrácie a interpretácie získaných dát (Tanda, 2024).

Infračervené termovízne kamery poskytujú možnosť rýchleho skenovania fotovoltických systémov a identifikáciu problémov, ako sú napríklad horúce miesta (tzv. hotspot), tienenie či nedostatky výkonu článkov. Tieto kamery dokážu rýchlo zmapovať teplotné rozloženie na povrchu fotovoltických panelov a identifikovať miesta s neprimeraným zahrievaním, čo umožňuje presnejšiu diagnostiku a rýchlejšie riešenie problémov. Meranie teploty fotovoltických systémov pomocou termovíznych kamier umožňuje monitorovať tepelné rozloženie v rôznych častiach panelov a modulov. Uvedené informácie môžu byť využité na optimalizáciu umiestnenia panelov, orientácie a chladiacich opatrení, čo vedie k zvýšeniu výkonu fotovoltických systémov a ich efektívnemu využitiu slnečnej energie (Kumar, 2017).

Sledovanie teploty „hotspotov“ fotovoltických panelov je kľúčové z hľadiska identifikácie potenciálnych problémov a optimalizácie výkonu fotovoltických systémov. Keď sa vytvoria horúce miesta, zvyšuje sa riziko prehriatia bunky a zvýšenej straty výkonu. Tento jav je spôsobený situáciou, kedy aspoň jeden článok vo fotovoltickom module produkuje menší prúd ako jeho skratový prúd za podmienok osvetlenia. V dôsledku toho bunka s najnižším krátkym prúdom v module je nútená pracovať v opačnom smere, keďže je skratovaná vonkajším solárnym osvetlením. Táto situácia vedie k nadmernému prehriatiu bunky a tvorbe horúceho miesta, čo je viditeľné na tepelných snímkach (Dubey, 2013).

Sledovanie týchto miest pomocou termovízie zreteľne pomôže identifikovať problematické oblasti a prijať vhodné kroky na ich riešenie. Tepelné snímky získané pomocou termovízie poskytujú presné mapovanie teploty na povrchu solárnych panelov a umožňujú rýchlu identifikáciu horúcich miest. Tieto horúce miesta sú často znakom rôznych porúch, ako sú tienenie či praskliny na článku. V prítomnosti týchto degradačných režimov sa výskyt horúcich miest ešte zosilňuje, čo môže viesť k závažným problémom so výkonom fotovoltických systémov. Práve z tohto dôvodu je sledovanie teploty „hotspotov“ dôležité pre identifikáciu potenciálnych problémov a prevenciu ich vzniku. Infračervená termo-grafická technika umožňuje presné mapovanie teploty na povrchu solárnych panelov a umožňuje inžinierom rýchlu identifikáciu horúcich miest a ich príčin. Týmto spôsobom sa pomôže zvýšiť spoľahlivosť a efektivita fotovoltických systémov a minimalizuje sa tak riziko ich porúch a straty výkonu (Kumar, 2017).



Obr. 1 Schematický diagram infračervenej kamery (ResearchGate.net, 2013)

Fig. 1 Schematic diagram of infrared thermography camera (ResearchGate.net, 2013)

Sériová komunikácia snímačov s jednoduskovým počítačom

Jedným zo spôsobov, ako zabezpečiť spoľahlivé monitorovanie teploty, je použitie snímačov teploty, ktoré sú prepojené prostredníctvom jednoduskových počítačov (SBC). Táto kapitola sa zameriava na popis a vysvetlenie rôznych typov komunikácie, ktoré sa používajú na pripojenie snímačov teploty k jednoduskovým počítačom. Snímače teploty sú zariadenia, ktoré merajú teplotu vo svojom okolí a generujú signál, ktorý je možné interpretovať pomocou jednoduskového počítača. Pri komunikácii so snímačmi teploty sa používajú rôzne komunikačné protokoly, ako je I2C (Inter-Integrated Circuit), 1-Wire a SPI (Serial Peripheral Interface). Každý z týchto protokolov má svoje vlastné charakteristiky a výhody, ktoré sa uplatňujú v rôznych aplikáciách a využitíach.

2 Materiál a metódy

Jednoduskový počítač

Raspberry Pi 4 Model B slúži ako základná výpočtová platforma vybavená štvorjadrovým procesorom ARM Cortex-A72 pracujúcim na frekvencii 1,5 GHz a je k dispozícii v konfiguráciách s 2 GB alebo 4 GB LPDDR4 RAM. Tento jednoduskový počítač (SBC) obsahuje integrované kolíky GPIO na prepojenie snímačov, viacero portov USB, ethernet pripojenie a vstavané bezdrôtové rozhrania, ako je Wi-Fi a Bluetooth (raspberrypi.com, 2022).

Displej

Použitý displej je 7-palcový LCD panel navrhnutý na prepojenie s Raspberry Pi cez DSI konektor. Môže sa pochváliť rozlíšením 800×480 pixelov, podporuje 24-bitové farby a poskytuje široký pozorovací uhol pre lepšiu viditeľnosť. Displej ponúka kapacitnú viacdotykovú funkciu, ktorá umožňuje intuitívnu interakciu používateľa. Bude vhodný najmä na zobrazovanie snímok z termokamery, vďaka displeju bude zariadenie prenosné.

Snímač DHT20

Snímač DHT20 je digitálny snímač teploty a vlhkosti, význačný je presnosťou a stabilitou. Komunikuje cez rozhranie I2C a ponúka široký rozsah merania teploty (-40 až $+80$ °C) a vlhkosti.

- Napájacie napätie: 3,3 V - 5,5 V,

- Presnosť teploty: $\pm 0,5$ °C,
- Presnosť vlhkosti: ± 3 % RH (pri 25 °C),
- Rozhranie: I2C,
- Podporovaný rozsah merania teploty: -40 až +80 °C,
- Podporovaný rozsah merania vlhkosti: 5 až 100% RH.

Snímač DS18B20

Senzor DS18B20 je digitálny teplotný senzor s programovateľným rozlíšením v rozsahu od 9 do 12 bitov, čo zodpovedá teplotným prírastkom od 0,5 °C do 0,0625 °C. Využíva 1-Wire rozhranie a je známy svojou presnosťou, jednoduchosťou a všestrannosťou.

- Vstupné napätie: 3,0 V až 5,5 V,
- Rozsah merania teploty: -55°C až +125 °C,
- Teplotné rozlíšenie: Programovateľné od 9 do 12 bitov,
- Presnosť teploty: $\pm 0,5$ °C od -10 °C do +85 °C,
- Rozsah prevádzkovej teploty: -55 °C až +125 °C,
- Rozhranie: 1-Wire,
- Napájací prúd: 1,5 mA (max.) počas konverzie,
- Pull-Up Rezistor: Zabudovaný, s nominálnou hodnotou 4,7 k Ω .

Jedinečný 64-bitový sériový kód snímača DS18B20 umožňuje viacerým snímačom pracovať na rovnakej 1-Wire zbernici, vďaka čomu je vhodný pre rôzne aplikácie monitorovania teploty.

Snímač MLX90640

MLX90640 je plne kalibrované tepelné IR pole s 32 x 24 pixelmi, zabalené v štandardnom 4-zvodovom obale TO39. Ponúka digitálne rozhranie kompatibilné s komunikačným protokolom I2C a je schopné monitorovať s teplotným rozdielom ekvivalentným šumu (NETD) 0,1 K RMS pri obnovovacej frekvencii 1 Hz. Senzor poskytuje široký rozsah prevádzkových teplôt (-40°C až 85 °C) a cieľový teplotný rozsah -40 °C až 300 °C (analog.com, 2019).

Táto kapitola objasňuje technické špecifikácie každého zariadenia a zdôrazňuje ich príslušné schopnosti a funkcie, ktoré sú kľúčové pre úspešnú implementáciu systému monitorovania teploty.

3 Výsledky a diskusia

Postup práce bol rozdelený do niekoľkých krokov, ktoré boli zahrňané konfiguráciou hardvéru a softvéru, zapojením snímačov, vytvorením softvéru na zaznamenávanie a vizualizáciu dát, ako aj ladením softvéru a tvorbou grafického GUI rozhrania aplikácie. Nasleduje stručný popis jednotlivých krokov postupu práce:

Začalo sa s nastavením a konfiguráciou jednodoskového počítača Raspberry Pi 4. Operačný systém bol nainštalovaný, sieťové pripojenia boli nakonfigurované a softvér bol aktualizovaný na najnovšiu verziu.

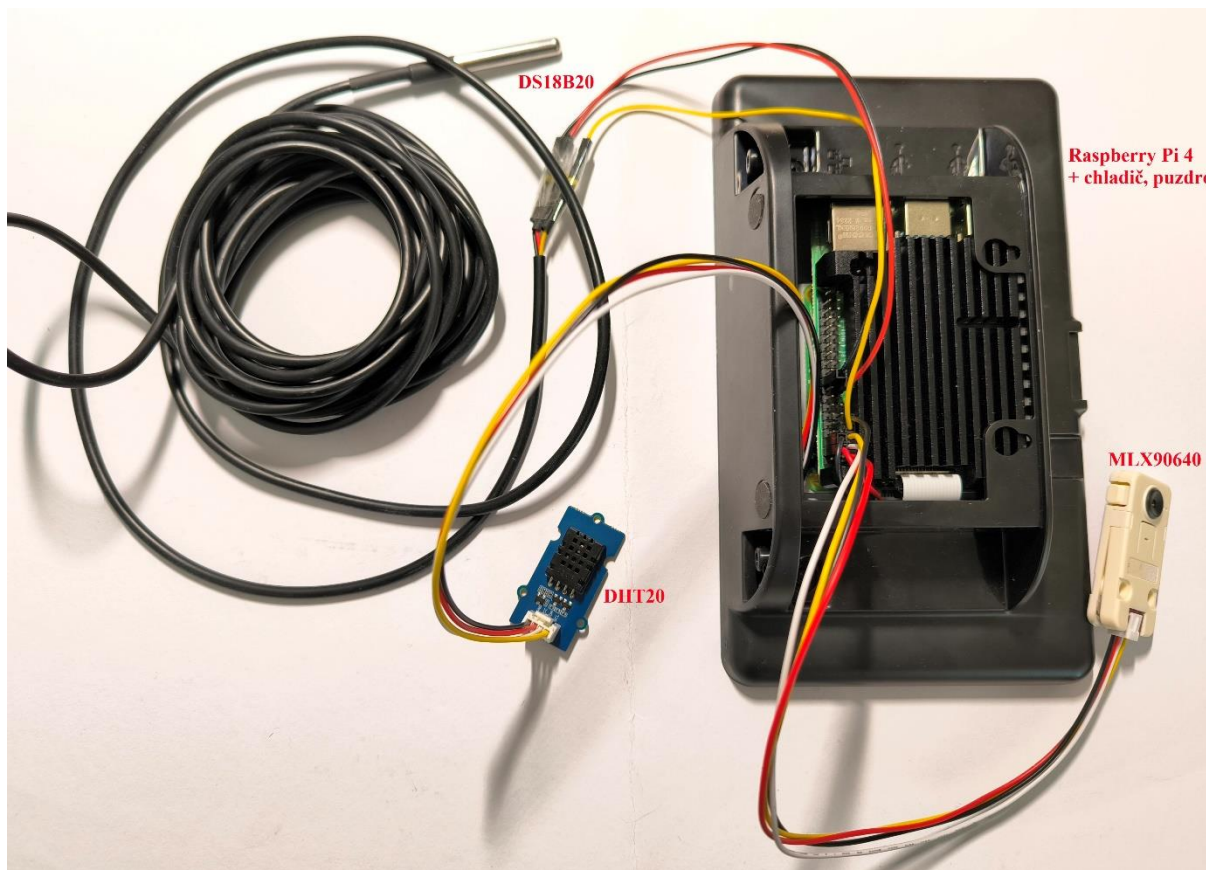
Nasledovalo správne zapojenie chladenia a zapuzdrenie jednodoskového počítača Raspberry Pi 4 model B. Proces zahŕňal inštaláciu chladiča a vhodné umiestnenie jednotlivých komponentov v kryte. Ďalším krokom bolo zapojenie snímačov teploty, ako sú DHT20, DS18B20 a MLX90640, k GPIO (General Purpose Input/Output) portom jednodoskového počítača Raspberry Pi 4. Tento krok zahŕňal správne pripojenie vodičov a nastavenie komunikácie medzi snímačmi a Raspberry Pi.

Po úspešnom zapojení a otestovaní snímačov bol vytvorený softvér na zaznamenávanie a vizualizáciu teplotných dát. Softvér bol naprogramovaný tak, aby periodicky snímал teplotu z jednotlivých snímačov a zapisoval ich do csv súborov. Tieto súbory boli následne bezdrôtovo prenášané na počítač, kde bol vytvorený softvér na ich analýzu a vizualizáciu. Ďalším dôležitým

krokom bolo vytvorenie grafického GUI rozhrania aplikácie, ktoré umožňovalo užívateľovi pohodlné a prehľadné ovládanie a vizualizáciu dát.

Po vytvorení softvéru a grafického rozhrania nasledovala integrácia všetkých komponentov a ladenie celého systému. To zahŕňalo testovanie funkčnosti jednotlivých snímačov, overovanie spoľahlivosti zapisovania dát, ladenie softvéru a ošetrovanie chýb a výnimiek.

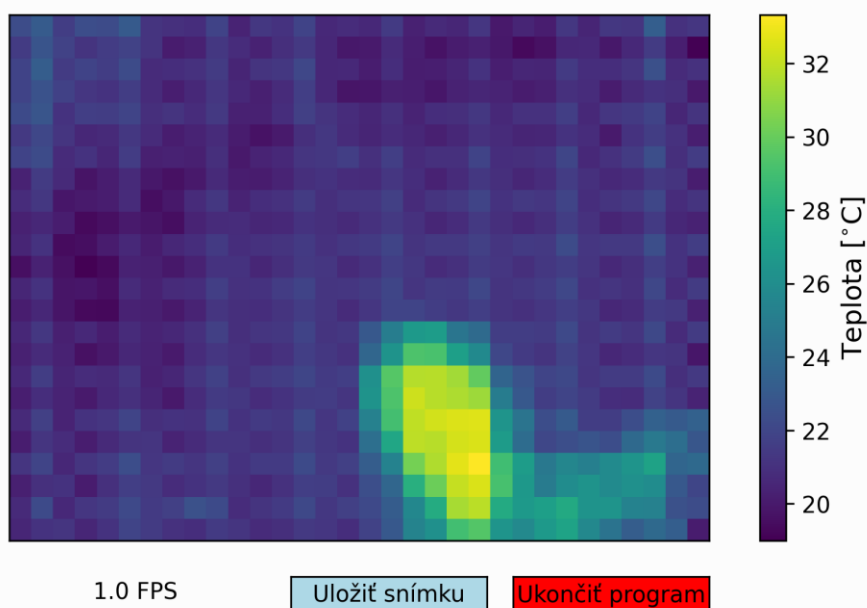
Nakoniec bol celkový výkon systému zhodnotený a všetky postupy, kroky a problémy, s ktorými sa stretlo počas vývoja, boli zdokumentované. Tieto informácie slúžia ako základ pre ďalšie vylepšenia a optimalizácie projektu.



Obr. 2 Raspberry Pi 4 s chladičom, v puzdre, s pripojenými snímačmi
Fig. 2 Raspberry Pi 4 with passive cooler, in case with connected sensors

V aplikácii s využitím Raspberry Pi získava údaje zo senzorov prostredníctvom bezdrôtového prenosu zdieľaných súborov. Sensory zaznamenávajú teplotu bodu, teplotu okolia, teplotu CPU Raspberry Pi a atmosférickú vlhkosť. Tieto údaje sú ukladané vo formáte CSV do zdieľaného priečinka. Počítač Raspberry Pi číta tieto súbory a analyzuje ich obsah. Následne aplikácia vytvára grafické znázornenie údajov pomocou grafov, čo umožňuje užívateľovi prehľadne sledovať vývoj teploty a vlhkosti v čase. Následne grafy zobrazí v okne aplikácie, pričom sa dá meniť v reálnom čase interval merania od 30 sekúnd až do minút. Výraz „Datalogger“ označuje zariadenie alebo aplikáciu, ktorá automaticky zaznamenáva a ukladá dáta z rôznych senzorov alebo zdrojov do súborového formátu, ako je napríklad CSV, a umožňuje ich následné vyhodnotenie a analýzu. Interval merania definuje interval zápisu dát pre každý „datalogger“, ktorých úlohou je ukladať nasnímané údaje do zdieľaného priečinka. Každý snímač má vlastný „datalogger“, okrem toho sa získavajú aj priamo údaje z operačného systému Raspberry o teplote CPU, vyťažení procesora, RAM a podobne. Z týchto hodnôt je relevantné sledovať najmä teplotu CPU, či je Raspberry dostatočne chladené. Obvyklá prevádzková teplota Raspberry dosahovala do 40 °C.

Termokamera MLX90640 funguje na princípe snímania infračerveného žiarenia (FIR) z povrchu objektov. Snímač obsahuje mriežku termických pixelov, ktoré absorbujú IR žiarenie a generuje odpoveď v podobe teplotného obrazu. Každý pixel na senzore meria teplotu v zornom poli kamery a prenáša túto informáciu do digitálneho spracovania. Aplikácia je priamo prepojená aj s priečinkom termokamery, kde sa dajú zobrazit' vyhotovené termálne snímky. V aplikácii založenej na Raspberry Pi je implementovaný proces neustáleho snímania teploty z termokamery MLX90640. V pravidelných intervaloch je spúšťaná komunikácia s termokamerou, aby sa získali aktuálne teplotné údaje z každého pixelu. Tieto hodnoty sú následne ukladané do pamäte počítača Raspberry Pi a aktualizované v grafe každú sekundu. Pre každú nameranú teplotu je vytvorený farebný kód, ktorý zodpovedá určitej teplotnej hodnote. Tento farebný kód je priradený každej teplote v grafe, čím umožňuje vizuálne porovnávanie teplotných rozdielov v prostredí. Pre predstavu, teplota s hodnotou 20 °C je tmavomodrá, zatiaľ čo teplota nad 35 °C bude znázornená ostrejšou žltou farbou a postupne sa bude zvýšená teplota interpretovať teplejšími odtieňmi farby, ako oranžová a v prípade vysokých nameraných teplôt i červená.



Obr. 3 Náhľad aplikácie termokamery
Fig. 3 Preview of the thermal camera application

Na obr. 3 je možné vidieť ukážku skúšobného záberu termosnímača. Jeho softvérová aplikácia obsahuje obslužné tlačidlá na okamžité uloženie termo-snímky do priečinka, ku ktorému má plný prístup aj hlavná aplikácia. Ďalej sú viditeľné na obrázku: stupnica teplôt priradených farbám v termo-snímke, tlačidlo na ukončenie programu či počítadlo snímkov obrazovky za sekundu (FPS).

Softvér, ktorý spája celý ekosystém a vykresľuje grafy je umiestnený do jedného prehľadného okna. Okno má decentné sivé sfarbenie pozadia zámerne, aby vynikli farby línií grafu, mriežka s hodnotami i samotné farebné body v grafe. Aplikácia obsahuje aj funkcionality filtra dát, pomocou ktorého sa dá nastaviť preferované časové rozpätie zobrazenia údajov od posledných 24 hodín až do napr. 365 dní, v ktorom sa namerané údaje zobrazia. V závislosti od zvoleného časového intervalu zobrazenia dát je automaticky vykonané pre-vzorkovanie dát (resampling), ktorý zabezpečuje optimálne zobrazenie napr. aj údajov nameraných za rok, nakoľko pri dátach zobrazených za rok nie je nutné v grafe zobrazovať každý nameraný údaj pri frekvencií merania napr. 30 sekúnd.

Grafy sú v tomto prípade vyhotovené zo skúšobných meraní v krátkej dobe a nie sú referenčné.



Obr. 4 Náhľad aplikácie na vykresľovanie grafov, s hornou lištou na ovládanie funkcií
Fig. 4 Preview of the application for plotting graphs, with a top bar for function control

4 Záver

Cieľom tejto práce bolo vytvoriť zariadenie a softvér, ktorý efektívne prepojí hardvérové zariadenia s aplikáciou, ktorá bude nápomocná pri vyhodnocovaní dát z FV systému. Využitie jednoduchej a efektívnej kombinácie hardvéru, ako je Raspberry Pi 4, spolu s rôznymi senzormi vrátane termo-kamery, umožnilo vytvorenie plne funkčného systému. Softvér, ktorý bol vytvorený, umožňuje snímanie a zaznamenávanie teplotných údajov a následnú vizualizáciu pomocou grafických reprezentácií. Tento softvér je navyše prispôsobiteľný a ponúka možnosti úpravy intervalu merania a ďalšie funkcie, ktoré zvyšujú jeho flexibilitu a použiteľnosť. Využitelnosť tohto projektu môže byť významná, najmä pre fotovoltické systémy, kde je dôležité monitorovať teplotu a zhromažďovať údaje na ich analýzu. Plánuje sa vykonávanie skúšobných meraní na reálnych fotovoltických paneloch, kde budú analyzované teplotné rozloženie a jeho vplyv na výkon a spoľahlivosť systému. Využitie termovízie v tejto oblasti môže poskytnúť cenné informácie o teplotných anomáliách a umožniť identifikáciu potenciálnych problémov predtým, než sa stanú kritickými. Dôkladná analýza teplotných dát tiež umožní lepšie porozumenie prevádzkových podmienok fotovoltických systémov a optimalizovanie ich výkonu a životnosti.

5 Literatúra

Abdul Alami et al. 2022. Novel and practical photovoltaic applications, Thermal Science and Engineering Progress, Vol. 29, 101208, ISSN 2451-9049, <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2022.101208>. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2451904922000166> [dátum citovania 2024-02-10].

Analog Devices. 2019. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer Datasheet. Dostupné na: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds18b20.pdf> [zobrazené 2024-03-02].

F. Mavromatakis, E. Kavoussanaki, F. Vignola, Y. Franghiadakis, Measuring and estimating the temperature of photovoltaic modules, Solar Energy, Volume 110, 2014, s. 656-666, ISSN 0038-092. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X14004952> [zobrazené 2024-02-15].

Giovanni Tanda, 2024. Mauro Migliazzi, Infrared thermography monitoring of solar photovoltaic systems: A comparison between UAV and aircraft remote sensing platforms, Thermal Science and Engineering Progress, Vol. 48, 102379, ISSN 2451-9049. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2451904923007321> [zobrazené 2024-03-24].

Kumar, Sagarika & Jena, Priyanka & Sinha, Archana & Gupta, Rajesh, 2017. Application of Infrared Thermography for Non-Destructive Inspection of Solar Photovoltaic Modules. Journal of non-destructive testing and evaluation. Dostupné na: https://www.researchgate.net/publication/321331854_Application_of_Infrared_Thermography_for_Non-Destructive_Inspection_of_Solar_Photovoltaic_Modules [dátum citovania 2024-02-15].

Li G, Feng F, Wang F, Wei B., 2022. Temperature Field Measurement of Photovoltaic Module Based on Fiber Bragg Grating Sensor Array. DOI: 10.3390/ma15155324. PMID: 35955257; PMCID: PMC9369540. Dostupné na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9369540/> [dátum citovania 2024-02-14].

Raspberry Pi Foundation. (n.d.). Raspberry Pi documentation. Raspberry Pi. Dostupné na: <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/raspberry-pi.html> [zobrazené 2024-02-12].

Schematic diagram of infrared thermography camera, 2013. ResearchGate.net. Online. Dostupné na: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-infrared-thermography-camera_fig1_264185886 [zobrazené 2024-02-02].

Swapnil DUBEY, Jatin Narotam Sarvaiya, Bharath Seshadri, 2013, Temperature Dependent Photovoltaic (PV) Efficiency and Its Effect on PV Production in the World – A Review, Energy Procedia, Vol. 33, n. 311-321, ISSN 1876-6102, Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610213000829> [dátum citovania 2024-02-14]

Súhrn

Cieľom tejto záverečnej práce bolo navrhnúť a vyvinúť integrované riešenie pre monitoring a analýzu teplotných podmienok v systémoch fotovoltiky. Prostredníctvom úspešnej integrácie hardvérových komponentov, vrátane jednodoskového počítača Raspberry Pi, displeja a snímačov teploty, vlhkosti a termálneho obrazu, spolu s vývojom prispôbeného softvéru, bola vytvorená kompaktná aplikácia schopná poskytovať komplexný pohľad na aktuálne podmienky fotovoltického systému. Využitím sériových komunikačných protokolov na spojenie s hardvérovými snímačmi, práca preklenula medzeru medzi fyzickým sledovaním a digitálnym vyhodnocovaním, čím posunula možnosti monitoringu a údržby fotovoltických systémov. Výsledkom je nielen efektívne hardvérové zariadenie pre neustále sledovanie, ale aj intuitívny softvér na analýzu získaných dát, ktorý ponúka užívateľom hlbší náhľad do teplotných charakteristík ich systémov. Toto riešenie môže predstavovať významný krok k optimalizácii výkonu a životnosti fotovoltických systémov prostredníctvom presného a prístupného teplotného monitoringu.

Kľúčové slová:

Fotovoltika, Monitorovanie teploty, Jednodoskový počítač, Sériová komunikácia.

Podakovanie

Chcem vyjadriť vďaku vedúcemu práce Ing. Matúšovi Bilčíkovi, PhD. ktorý mi poskytol cenné rady a podporu počas celej prípravy tejto záverečnej práce. Touto cestou taktiež ďakujem Technickej fakulte SPU, ktorá mi poskytla všetky potrebné zariadenia a prostriedky, ktoré boli nevyhnutné pre realizáciu tejto práce.

Táto publikácia bola podporená Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR v rámci projektu KEGA 020SPU-4/2023: Implementácia virtualizácie fyzikálnych laboratórií pomocou riadiacich a automatizačných systémov v odbore Strojárstvo.

MOŽNOSTI IDENTIFIKÁCIE OBJEKTOV V DIGITÁLNO OBRAZE S PODPOROU SOFTVÉROVEJ KNIŽNICE DLIB OPTIONS FOR IDENTIFYING OBJECTS IN A DIGITAL IMAGE WITH THE SUPPORT OF THE DLIB SOFTWARE LIBRARY

MIROSLAV RYBA¹ – LUKÁŠ VACHO²

Abstract

The research deals with the use of the SVM+HOG object detector from the Dlib library for the identification of selected objects from live video input or still images and the identification of the colour of the detected object. The methodology consists in training the classifier on the selected objects. The detection uses HOG with SVM combination where the classifier scans each frame using a sliding window. The experiment showed satisfactory results for a classifier with similar training data. The less successful model which was trained on random data had the full number of true negative (TN) detections in the confusion matrix which were surprising results. The worst classifier was from the 3D environment however more avenues can be explored to improve its detection, further research could support the creation of procedurally generated data for detecting unusual, unpredictable, or odd detections. These results suggest that the SVM+HOG combination can be an effective solution for object detection in controlled environments.

Key words: dlib, programming, machine learning, computer vision

1 Úvod

Poľnohospodárstvo je jednou z najdôležitejších častí mnohých štátov, využitie technológií ako umelá inteligencia by mohla zvýšiť produkciu plodín, zabrániť poškodeniu škodcom a zefektívniť prácu aby sa eliminovalo riziko neúspechu zapríčineným ľudským faktorom. Ak ide o umelú inteligenciu v hospodárstve, delia sa na poľnohospodárske roboty, monitoring zeme a plodín, prediktívna analýza (Abdullayeva, 2019).

Jedna z najdôležitejších vlastností umelej inteligencie pre hospodárstvo je počítačové videnie, vďaka ktorému za pomoci algoritmov dokáže samostatne rozhodovať na základe dát čo pomerne najefektívnejšie. Metóda ktorá ma veľa výhod oproti tradičnej konvolučnej neurónovej sieti (CNN) je hlboké učenie (deep learning) ktoré dokážu samostatne priradiť vlastnosti a informácie, kde pri tradičnom strojovom učení sa musia vytvárať pravidlá (MEGETO, 2020).

Počítačové videnie sa vo veľkej miere používa v automobilovom vnímaní pre úlohy, ako je detekcia objektov, sledovanie a rozpoznávanie, čo prispieva k autonómnemu riadeniu a bezpečnosti. Počítačové videnie sa tiež používa v rôznych oblastiach, ako je zdravotná

¹Miroslav Ryba, SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky.
xryba@uniag.sk

²Ing. Lukáš Vacho, Phd., SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky.
lukas.vacho@uniag.sk

starostlivosť, dohľad, robotika a rozšírená realita, pri úlohách, ako je klasifikácia obrazu, rozpoznávanie objektov, odhad pozície a pochopenie scény (Pandharipande, 2023).

Strojové učenie a počítačové videnie sa využívajú vo virtuálnom testovaní a simulácii, čo umožňuje monitorovanie abnormálnych situácií, zisťovanie neznámych a zlepšuje vernosť systémov vnímania (Wang, 2019).

V súčasnosti sa na Slovensku v oblasti poľnohospodárstva nevyužíva dostatočne technológia umelej inteligencie a strojového videnia, verejnosti boli predstavené rôzne druhy techniky využívajúcej umelú inteligenciu a strojové videnie. Avšak celoplošné využitie tejto technológie sa ešte neuskutočnilo.

2 Materiál a metódy

V tomto výskume sme využili farebný spektrofotometer YS3020 s prispôbenou clonou na merania farebných hodnôt detegovaných objektov. Merania boli vykonané vo farebnom priestore CIELab s osvetlením D65, pozorovacím uhlom 10° a apertúrou D/8.

Vo výskume boli použité viaceré objekty ktoré boli identifikované a lokalizované pomocou detekcie objektov. Každý z daných objektov mal jedinečnú hodnotu vo farebnom priestore CIELab pričom ich geometrický tvar bol rovnaký. Farebný priestor CIELab bol použitý na získanie presných farebných charakteristík objektov, čo nám umožnilo presne určiť farby týchto objektov podľa farebného modelu.

Získané dáta boli zhromaždené pomocou fotoaparátu mobilného telefónu Samsung Galaxy A50 SM-A505FN/DS pričom sme zachovali pomer strán 9:16 a rozlíšenie 4032x2268.

Vo výskume bol použitý programovací jazyk Python z dôvodu jednoduchosti, podpory pre vedecké výpočty, rozsiahleho výberu knižníc pre počítačového videnia a strojového učenia. Pre úpravu dát a zachytenie živého vstupu bola použitá knižnica OpenCV ktorá ponúka mnoho užitočných nástrojov pre počítačové videnie, táto knižnica bol tiež použitá na úpravu dát pre tréningovanie (zmena veľkosti predspracovaných dát). Knižnica PIL spĺňala podobnú funkciu.

Dlib je open source knižnica napísaná v programovacom jazyku C++ ktorá sa skladá zo nezávislých softvérových komponentov, obsahuje rozsiahlu dokumentáciu a je zameraná na to aby sa dala využiť v komerčnej, osobnej a výskumnej sfére kde sa dá integrovať už do vytvorenej aplikácie v jazyku C++. Dlib je vytvorený hlavne pre tých ktorý chcú vytvoriť softvér v jazyku C++ na rozdiel od iných knižníc ako Shogun a Torch ktoré podporujú viacero jazykov (King, 2009).

Numpy slúži na zložitejšie výpočty, efektívnejšie ukladanie dát a podporou pre vedecké výpočty. Tkinter je rozsiahla knižnica ktorá nám pomohla vytvoriť GUI softvérovej aplikácie.

Online aplikácia Imglab slúžila na proces označovania objektov na vstupných dátach. Výstupom tejto aplikácie bol XML súbor ktorý mal v sebe dáta ktoré slúžili pre tréningovanie detektora objektov. Nástroj je dostupný na webe <https://solothought.com/imglab/>.

Aplikácia Blender slúžila na tvorbu dátových súborov v 3D prostredí.

Hlavným komponentom ktorý sa využíval najviac bol procesor Intel® Core i5-7300HQ ktorý slúžil na tréningovanie a detekciu objektov pre knižnicu Dlib. Druhým hlavným komponentom bola grafická karta NVIDIA GeForce GTX 1050 (mobile) ktorá slúžila hlavne pri tréningovaní a detekcii v knižnici Keras.

Pre konvertovanie z formátu CIELab na hexadecimálne číslo sme využili web stránku dostupnú na <https://www.nixsensor.com/free-color-converter/>.

Experiment sa vykonával v laboratórnych podmienkach. Bolo potrebné vytvoriť vhodné podmienky pre experiment tým že sme vytvorili kontrolné prostredie s čiernym pozadím, kde odtieň čiernej farby zodpovedal hodnotám podľa modelu CIE Lab ako je uvedené v tabuľke – riadok 4. Tiež bolo potrebné zhotoviť vybrané objekty v určitom tvare, pre tento experiment

bol vybraný objekt v tvare kocky z dôvodu komplexnosti ktorý spôsoboval komplikácie pri experimentoch. Farby boli vybrané podľa základného farebného priestoru RGB (Red – červená, Green – zelená, Blue - modrá), biela a čierna.

Po získaní dostatku súborov údajov nastal proces štítkovania pomocou Imglab pričom bolo potrebné udať obrázku kde sa presne nachádza vybraný objekt, pomocou ohraničujúceho rámu (anglicky ‘bounding box’, čo je abstraktný obdĺžnik používaný ako referenčný bod pre detekciu objektov).

Nazbierané videá pre súbor údajov s identifikačným číslom [4] boli prekonvertované na obrázky pomocou jednoduchého skriptu v jazyku Python.

Pri tréňovaní sme nastavovali parametre tréňovania C, epsilon a obrátenie obrázku. Vyššie parametre C viedli k lepším výsledkom pričom ale hrozilo vyššie riziko pretrénovania (anglicky ‘overfitting’).

Pre zistenie skutočnej úspešnosti natrénovaných modelov v kontrolnom prostredí bolo potrebné zhotoviť matice zámien. Každý model bol testovaný vizuálne, na rovnakých obrázkoch pri istých pravidlách a podmienkach. Ak model vyhodnotil obrázok s jedným vybraným objektom s viac ako jedným vybraným objektom bol oddelený a samostatne skúmaný.

Tab. 1 Hodnoty farebného priestoru CIELab pre každú vzorku a jej hodnota v hexadecimálnom formáte, pričom stĺpec s názvom farba slúži na lepšie vizuálne znázornenie

Tab. 1 The values of the CIELab color space for each sample and its value in hexadecimal format, where the column named colour serves for better visual representation

Vzorka	L	a	b	HEX	Farba
1.	52,45	35,75	19,42	#BB625E	
2.	63,9	-30,06	36,25	#72A956	
3.	53,11	4,24	-38,58	#647EC1	
4.	28,32	0,71	1,75	#454240	
5.	92,22	0,95	-7,5	#E5E8F7	

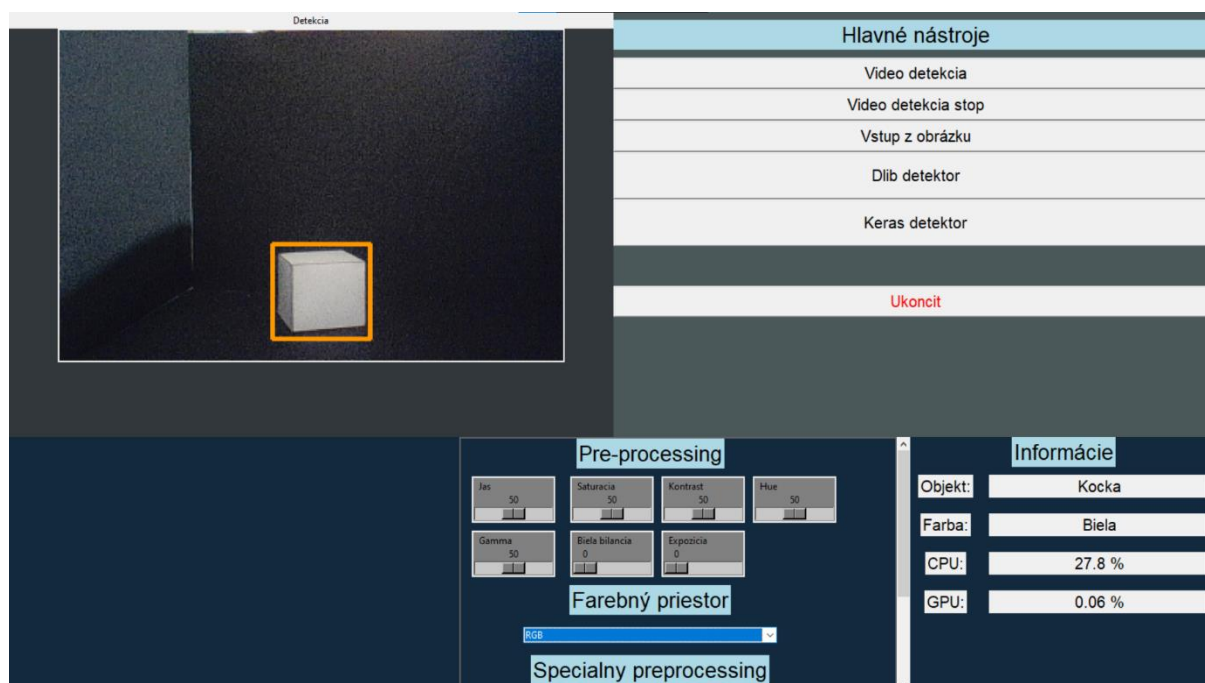
3 Výsledky a diskusia

Výsledným výstupom experimentu bola aplikácia v jazyku Python ktorá deteguje objekt zo živého vstupu kamery počítača a z obrázku nachádzajúceho sa na disku. V aplikácii je možné pomocou tlačidla „Dlib detektor“ automaticky spustiť SVM+HOG detektor objektov pomocou knižnice Dlib pričom je potrebné vybrať súbor SVM ktorý slúži na špecifickú detekciu pri ktorom boli natrénované dáta.

Tlačidlo „Keras detektor“ má podobnú funkciu ako Dlib detektor pričom sa ale využíva konvolučná neurónová sieť na detekciu objektov zo živého vstupu.

Aplikácia disponuje rôznymi funkciami ktoré slúžia pre predspracovanie obrazu. V okne „Pre-processing“ je možné nastavovať jas, saturáciu, kontrast, hue a gammu živého vstupu. Ak je potrebné odstrániť viacero údajov zo živého vstupu, „Farebný priestor“ má základné módy RGB, GRAY, HLS, Lab a HSV.

Pre odstránenie čo najväčšieho množstva údajov zo vstupu nám napomáha predspracovanie obrazu ktorý sa skladá z piatich funkcií pričom prvý je základný vstup. Medzi prvé štyri funkcie patrí canny (detekcia hrán v obrazových dátach), laplacian, binary threshold (binárna segmentácia obrazu na základe prahovej hodnoty) a bilateral filtering (využíva vážený priemer intenzít okolitých pixelov na nahradenie intenzity každého pixelu).



Obr. 1 Softvérová aplikácia pre detekciu objektov
Software application for object detection

Fig. 1
Súbory údajov pre trénovanie boli tri, pričom dáta pre prvý ([1]) boli zhotovené pre kontrolované prostredie pri špecifickom prostredí s čiernym pozadím a žiarovkou Philips 5,5W 2700K 470lm 48mA. Druhý súbor údajov ([2]) bol zhotovený pri rôznych podmienkach, svetle, prostrediach pričom bol dôraz kladený a náhodnosť a nepredvídateľnosť skutočného prostredia. Tretí súbor údajov ([3]) je z prostredia softvéru Blender pre trojdimenzionálnu grafiku, pozadie scény bolo nastavené na čiernu farbu. Výber tejto farby môže mať za následok kontrast s objektom v popredí čo umožňuje lepšiu diferenciáciu medzi objektom ktorý sa trénuje a pozadím.

Testovacie dáta [(4)] boli zozbierané z niekoľko videí v kontrolnom prostredí pričom konečný počet bol 3179 obrázkov. Video s vybraným objektom modrou farbou trvalo 353 snímok čiže približne jedenásť sekúnd, video vybraného objektu so zelenou farbou trvalo 520 snímok čiže približne sedemnášť sekúnd, video s vybraným objektom s červenou farbou trvalo 508 snímok čiže približne šestnásť sekúnd, video s vybraným objektom s čiernou farbou trvalo 334 snímok čiže približne jedenásť sekúnd, video s vybraným objektom s bielou farbou trvalo kombinovane z dvoch videí 655 snímok a 404 snímok čiže kombinovane približne tridsaťpäť sekúnd a video bez žiadneho kontrolného objektu trvalo 405 snímok čiže približne 13 sekúnd.

Tab. 2 Natrénované modely s najlepšimi výsledkami pre samostatné súbory údajov
Tab. 2 Trained models with the best results for individual data sets

Názov	Súbor údajov pre trénovanie	Použitý súbor údajov [Počet obrázkov]	Precision [%]	Recall [%]	Average precision [%]
TR2.svm	[1]	Trénovacie dáta [373]	100	100	100
		Testovacie dáta [93]	100	100	100
TRR-9.svm	[2]	Trénovacie dáta [1051]	98	91	91
		Testovacie dáta [262]	90	70	69
TR3D.svm	[3]	Trénovacie dáta [402]	100	100	100
		Testovacie dáta [100]	100	100	100

Tab. 3 Matica zámien pre TR2.svm pre testovacie obrázky
Tab. 3 Confusion matrix for TR2.svm for test images

Testovacie obrázky súboru údajov [1]		Skutočné hodnoty	
		Pozitívne	Negatívne
Predpovedané hodnoty	Pozitívne	TP [93]	FP [0]
	Negatívne	FN [0]	TN [0]

Tab. 4 Matica zámien pre TR2.svm pri reálnom využití v kontrolovanom prostredí
Tab. 4 Confusion matrix for TR2.svm for real use in a controlled environment

Testovacie obrázky súboru údajov [4]		Skutočné hodnoty	
		Pozitívne	Negatívne
Predpovedané hodnoty	Pozitívne	TP [2661]	FP [64]
	Negatívne	FN [113]	TN [343]

Tab. 5 Matica zámien pre TRR-9.svm pre testovacie obrázky
Tab. 5 Confusion matrix for TRR-9.svm for test images

Testovacie obrázky súboru údajov [2]		Skutočné hodnoty	
		Pozitívne	Negatívne
Predpovedané hodnoty	Pozitívne	TP [196]	FP [13]
	Negatívne	FN [64]	TN [0]

Tab. 6 Matica zámien pre TRR-9.svm pri reálnom využití v kontrolovanom prostredí
Tab. 6 Confusion matrix for TRR-9.svm for real use in a controlled environment

Testovacie obrázky súboru údajov [4]		Skutočné hodnoty	
		Pozitívne	Negatívne
Predpovedané hodnoty	Pozitívne	TP [2642]	FP [367]
	Negatívne	FN [239]	TN [405]

Tab. 7 Matica zámien pre TR3D.svm pre testovacie obrázky
Tab. 7 Confusion matrix for TR3D.svm for test images

Testovacie obrázky súboru údajov [3]		Skutočné hodnoty	
		Pozitívne	Negatívne

Predpovedané hodnoty	Pozitívne	TP [100]	FP [0]
	Negatívne	FN [0]	TN [0]

Tab. 8 Matica zámien pre TR3D.svm pri reálnom využití v kontrolovanom prostredí
Tab. 8 Confusion matrix for TR3D.svm for real use in a controlled environment

Testovacie obrázky súboru údajov [4]		Skutočné hodnoty	
		Pozitívne	Negatívne
Predpovedané hodnoty	Pozitívne	TP [1157]	FP [1838]
	Negatívne	FN [341]	TN [45]

Tab. 9 Reálne výsledky modelov podľa matic zámien vypočítaných vzorcami pri experimente na kontrolnom prostredí

Tab. 9 Real results of models according to the confusion matrices calculated by formulas during the experiment in a controlled environment

Názov	Precision [%]	Recall [%]	F1 skóre [%]
TR2.svm	97,65%	95,93%	96,78%
TRR-9.svm	87,8%	91,7%	89,71%
TR3D.svm	38,63%	77,24%	51,5%

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} * 100 \quad (1)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} * 100 \quad (2)$$

$$F1 \text{ skóre} = \frac{2 * Precision * Recall}{Precision + Recall} * 100 \quad (3)$$

Kde: TP – pravdivé pozitíva, -
FP – falošné pozitíva, -
FN – falošné negatíva, -

Where: TP – true positive, -
FP – false positive, -
FN – false negative, -

Maximálna hodnota parametrov recall, precision a F1 skóre je 1 a začína od 0, pre zlepšenie čitateľnosti výsledkov sme sa rozhodli násobiť s číslom 100 aby sme získali výsledky v percentách. Recall a precision sú dva dôležité parametre ktoré vyjadrujú výkonnosť modelov strojového učenia. Recall (citlivosť) je podiel skutočných pozitívnych prípadov, ktoré sú správne predpovedané pozitívne. Precision (presnosť) je podiel predpokladaných pozitívnych prípadov, ktoré sú správne skutočné pozitívne. F1 skóre poskytuje jedinu hodnotu ktorá ukazuje celkovú účinnosť modelu pri správnej identifikácii pozitívnych prípadov a zároveň pri minimalizácii falošných poplachov (Powers, 2020).

4 Záver

V tejto práci sme sa zaoberali vývojom a tréňovaním detektora založeného na metóde SVM a HOG. Naše experimenty ukázali že tento prístup je schopný dosiahnuť presnosť detekcie pri kontrolnom prostredí 96,78% čo súhlasí s poznatkami iných autorov. Detektor je schopný pracovať aj mimo kontrolného prostredia avšak so stratami pri čom sú viac prevalentné FN detekcie spôsobené veľkou podobnosťou jednoduchého vybraného objektu s objektami mimo kontrolného prostredia ktoré sú si podobné v histograme orientovaných gradientov.

Naša práca prináša nový poznatok pri ktorom využitie čisto náhodných obrázkov dokázalo úspešne klasifikovať obrázky z kontrolného prostredia bez vybraného objektu, bez akejkolvek FP detekcie.

Tiež sa naša práca zaoberala aj využitím 3D objektov na tréňovanie klasifikátorov, avšak v tejto oblasti by bol potrebný ďalší výskum. Dôvodom neúspešnosti mohol byť nedostatok tréňovacích dát alebo príliš veľa podobných obrázkov.

Vzhľadom na dosiahnuté výsledky môžeme konštatovať že stanovený cieľ práce bol úspešne dosiahnutý. Naše experimenty ukázali že knižnica Dlib v jazyku Python a jeho SVM a HOG detektor objektov je efektívnym nástrojom pre detekciu objektov.

5 Literatúra

KING, Davis. 2009. Dlib-ml: A Machine Learning Toolkit. Journal of Machine Learning Research. roč. 10. 1755-1758. Dostupné na: <https://jmlr.csail.mit.edu/papers/volume10/king09a/king09a.pdf> [cit. 2023-07-07]

PANDHARIPANDE, Ashish, Chih-Hong CHENG, Justin DAUWELS, Sevgi Z. GURBUZ, Javier IBANEZ-GUZMAN, Guofa LI, Andrea PIAZZONI, Pu WANG a Avik SANTRA, 2023. Sensing and machine learning for Automotive Perception: A Review. IEEE Sensors Journal [online]. 2023, roč. 23, č. 11, s. 11097–11115. Dostupné na: doi: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2023.3262134> [dátum citovania 2024-04-01]

POWERS, David M. W. Evaluation: from precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness and correlation [online]. 2020, Dostupné na: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2010.16061> [dátum citovania 2024-04-02]

WANG, Jue a Anoop CHERIAN, 2021. Discriminative video representation learning using support vector classifiers. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence [online]. 2021, roč. 43, č. 2, s. 420–433. Dostupné na: doi: <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2019.2937292> [dátum citovania 2024-04-02]

Súhrn

Výskum sa zaoberá využitím SVM+HOG detektora objektov z knižnice Dlib pre identifikáciu vybraných objektov zo živého video vstupu alebo statických obrázkov a identifikácia farby detekovaného objektu. Metodika spočíva v natréňovaní klasifikátora na vybraných objektoch. Pri detekcii sa využíva HOG s kombináciou SVM kde klasifikátor prehladáva každú snímku pomocou posuvného okna (sliding window). Experiment ukázal uspokojujúce výsledky pri klasifikátore s podobnými tréňovacími dátami. Menej úspešný model ktorý bol natréňovaný na náhodných dátach mal v matici zámien plný počet true negative (TN

– true negative) detekcií čo boli prekvapivé výsledky. Najhorší klasifikátor bol z 3D prostredia avšak je možné preskúmať viac možností ako zlepšiť jeho detekciu, ďalší výskum by mohol podporiť tvorbu procedurálne generovaných dát pre detekciu nezvyčajných, nepredvídateľných alebo zvláštnych detekcií. Tieto výsledky naznačujú, že kombinácia SVM+HOG môže byť efektívnym riešením pre detekciu objektov v kontrolovaných prostrediach.

Kľúčové slová: dlib, programovanie, strojové učenie, počítačové videnie

Pod'akovanie: Táto publikácia bola podporená Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR v rámci projektu KEGA 020SPU-4/2023: Implementácia virtualizácie fyzikálnych laboratórií pomocou riadiacich a automatizačných systémov v odbore Strojárstvo.

TEST EKOLOGICKEJ HYDRAULICKEJ KVAPALINY TEST OF ECOLOGICAL HYDRAULIC FLUID

DANIEL SKLADANÝ – ZDENKO TKÁČ

Abstract

The aim of our research was to test hydraulic pump in cooperation with new hydraulic fluid in 50 hour normalized examination. University's Parallel testing device for flow characteristics and technical lifespan measurement of hydraulic transmitters and HYDAC measurement units were used.

To get an information about wear of hydraulic pump, we measured its characteristics – pressure and flow rate – before, during and after 50 hour normalized VICKERS test. Modern HYDAC measurement units were used and provided us with exclusive measurement precision which led us into usable results.

Difference between values before and after VICKERS test showed us that efficiency was not reduced, moreover, it grew up. Having this data, we can judge that new oil was still running-in and all additives started to do their job gradually.

Since new hydraulic oil was tried during this experiment, our work contributed to testing of new, environmentally friendly hydraulic liquid.

Key words: hydraulic pump, pressure, flow rate, hydraulic oil, HYDAC, VICKERS

1 Úvod

Zrýchlené životnostné skúšky hydraulických prevodníkov boli vyvinuté za účelom skrátenia testov hydraulických prvkov. Vďaka nim je možné prevodníky zaťažovať kratší čas, než v prevádzke, pri predpísaných simulovaných podmienkach. Takto sú menej energeticky náročné a je možné ich opakovať – výsledky sú **reprodukovateľné**. Táto výhoda umožňuje výrobcovi alebo nezávislým inštitúciám testovať výrobky a porovnávať ich vlastnosti.

Drabant et al. popisuje, že: zrýchlená životnostná skúška hydraulického prvku je skúška pri ktorej zrýchlením mechanizmu porúch, prípadne zväčšením záťaže, alebo zrýchlením jej časového priebehu, vzhľadom k normálnej prevádzke, je experimentálne overená životnosť hydraulického prvku. V praxi sa používajú hlavne 3 základné metódy zrýchlených životnostných skúšok hydraulických prvkov:

Silne znečistenou kvapalinou – vychádza sa z predpokladu že ináč rovnaké hydraulické prvky, prevádzkované s kvapalinou s väčším obsahom nečistôt, majú nižšiu životnosť než tie, ktoré pracujú s kvapalinou s menším obsahom nečistôt.

Zvýšeným prevádzkovým tlakom

Zrýchlením pracovného cyklu

Pri životnostných skúškach sa do obvodu s testovaným hydrostatickým prevodníkom zaradi tlakový ventil, (jeden, alebo viacero) ktorý vytvára v obvode odpor a tým zvyšuje tlak, ktorý musí prevodník vyprodukovať, čím ho zaťažuje.

Petranský et al. uvádza, že: tlakové ventily predstavujú automatické regulačné systémy pri ktorých je regulovanou veličinou tlak.

S využitím elektrohydraulického proporcionálneho tlakového ventilu je možné ovládať tlaky v rôznych cykloch, pravidelných aj nepravidelných a simulovať podmienky zaťažovania v prevádzke.

Všetky podmienky, rovnako, ako správnu metodiku takéhoto merania popisuje norma VICKERS, ktorá určuje ako jeden z variantov testovania 50 hodinovú životnostnú skúšku.

Cieľom práce je namerať prietokové charakteristiky hydrogenerátora s novou hydraulickou kvapalinou MOL Biohyd 46 pred a po 50 hodinovej životnostnej skúške podľa normy VICKERS a posúdiť vplyv takéhoto zaťaženia na pokles prietoku hydrogenerátora.

Parametre hydrogeneátora budú posudzované pomocou zhodnotenia prietokovej účinnosti hydrogenerátora.

2 Materiál a metódy

Počas experimentu postupujeme podľa normy VICKERS pre zubové hydrostatické prevodníky a pre hydraulické oleje na rastlinnej báze. Tá popisuje postup a podmienky merania nasledovne: Testovanie sa vykoná pri otáčkach hydrogenerátora 1800 min^{-1} , bez zaťaženia (0 MPa) a pri plnom zaťažení hydrogenerátora (20 MPa).

Poznámka autora: Nakoľko nie je možné mať systém úplne bez zaťaženia, budeme považovať tlak $1,5 \text{ MPa}$ za nezaťažený systém.

Meranie tlaku a prietoku prebehne na začiatku skúšky a po jej ukončení, ale aj po 12,5 hodinových intervaloch, teda dokopy 5 meraní. Merania budú vykonané pri otáčkach hydrogenerátora 1500 min^{-1} .

Pre vyvodenie podmienok podľa normy budeme olej testovať pri stálej teplote 65°C aj napriek odporúčaniu výrobcom, 45°C .

Pri testovaní používame zariadenie technickej fakulty SPU zostrojené podľa patentu Tkáča Zdenka, Ľubomíra Huja a Juraja Jablonického, *Súbežné testovacie zariadenie na meranie prietokových charakteristík a technickej životnosti hydrostatických prevodníkov*, (Databáza patentov Slovenska, U7427 2.5. 2016.)

Súbežné testovacie zariadenie hydrostatických prevodníkov a nositeľov energie v dvoch okruhoch pozostáva z dvoch hydraulických okruhov A a B a umožňuje na základe zvoleného testu merať na tom istom laboratórnom zariadení prietokové charakteristiky hydrogenerátora a hydromotora v hydraulickom okruhu A, prietokové charakteristiky hydrogenerátora v hydraulickom okruhu B, životnosť hydrogenerátorov a hydromotora v hydraulických okruhoch A a B (plynulé konštantné a cyklické zaťažovanie hydrogenerátorov a hydromotora) a súbežné testovanie fyzikálno-chemických vlastností nositeľov energie v hydraulických okruhoch A a B. (Tkáč Z. a kol. 2016)



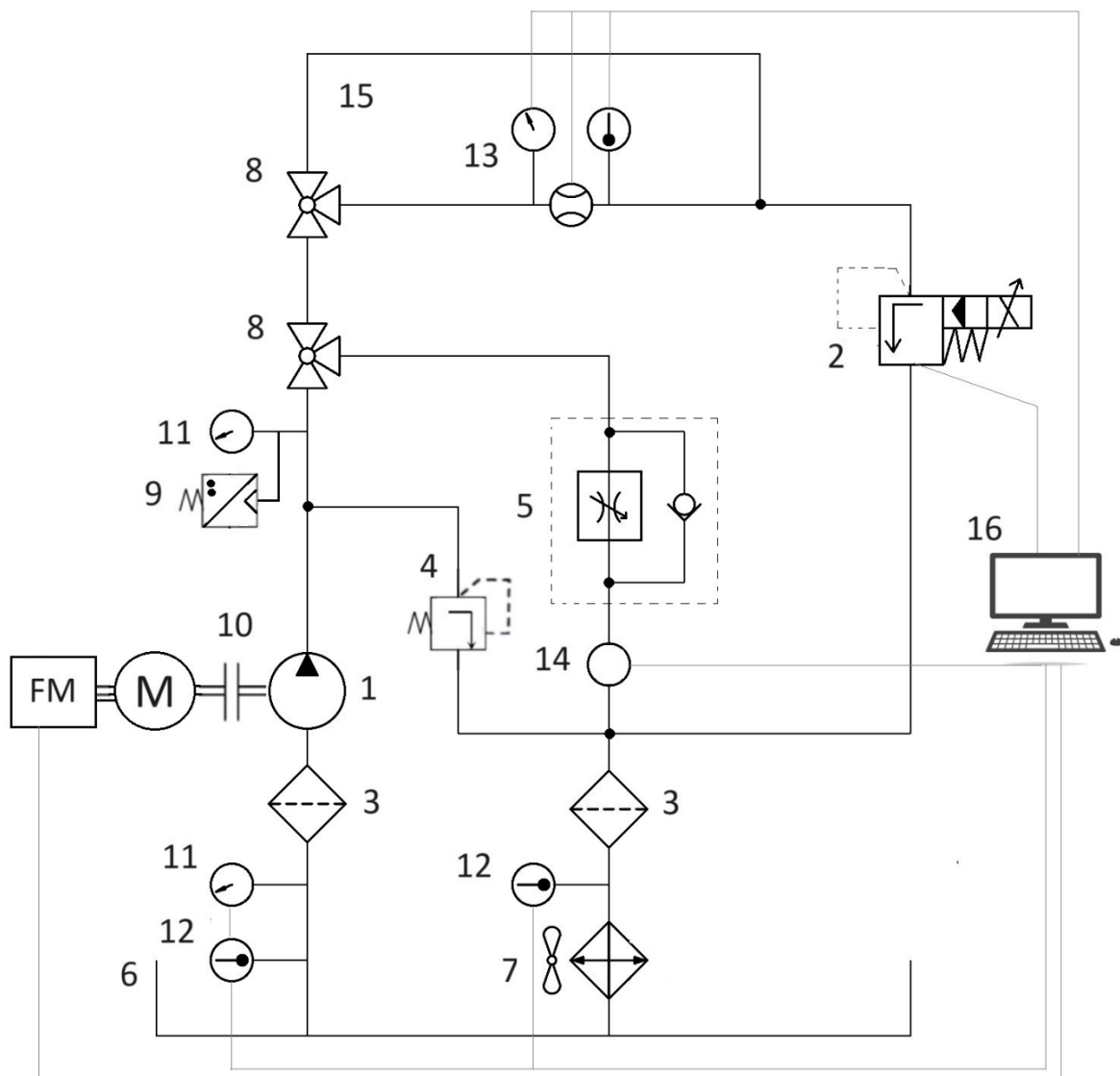
Obr. 1 Súbežné testovacie zariadenie hydrostatických prevodníkov (KDM TF, Tkáč a kol. 2016, Hujo a kol. 2017)

Parallel testing device for flow characteristics and technical lifespan measurement of hydraulic transmitters (KDM TF, Tkáč a kol. 2016, Hujo a kol. 2017)

Fig. 1

Pre účely zrýchlenej životnostnej skúšky využijeme iba jeden z okruhov súbežného testovacieho zariadenia.

Hujo Ľ popisuje v svojom článku princíp funkcie zariadenia: Princíp fungovania laboratórneho testovacieho zariadenia počas prevádzkových testov pozostáva zo simulovania tlakov pomocou proporcionálneho tlakového ventilu, ktorý je napojený na primárny, alebo sekundárny obvod podľa potreby, (v našom prípade na primárny) a teda vyvíjajúci záťaž na jednotlivé prvky hydraulického primárneho obvodu a súčasne prevádzkovú kvapalinu.



Obr. 2 Schéma súbežného testovacieho zariadenia. Legenda: FM – frekvenčný menič, M – elektromotor, 1. Zubový hydrogenerátor, 2. EHPV elektrohydraulický proporcionálny tlakový ventil, 3. Filter, 4. Poistný tlakový ventil, 5. Škrtiaci ventil so spätným ventilom, 6. Nádrž, 7. Chladič s ventilátorom, 8. Trojcestný ventil, 9. Elektrický poistný ventil, 10. Spojka, 11. Tlakomer, 12. Teplomer, 13. Tlakomer, prietokomer a teplomer vo forme združeného meracieho zariadenia HYDAC, 14. Merač starnutia kvapaliny HYDAC, 15. Paralelná vetva, 16. Počítač s programom LabView

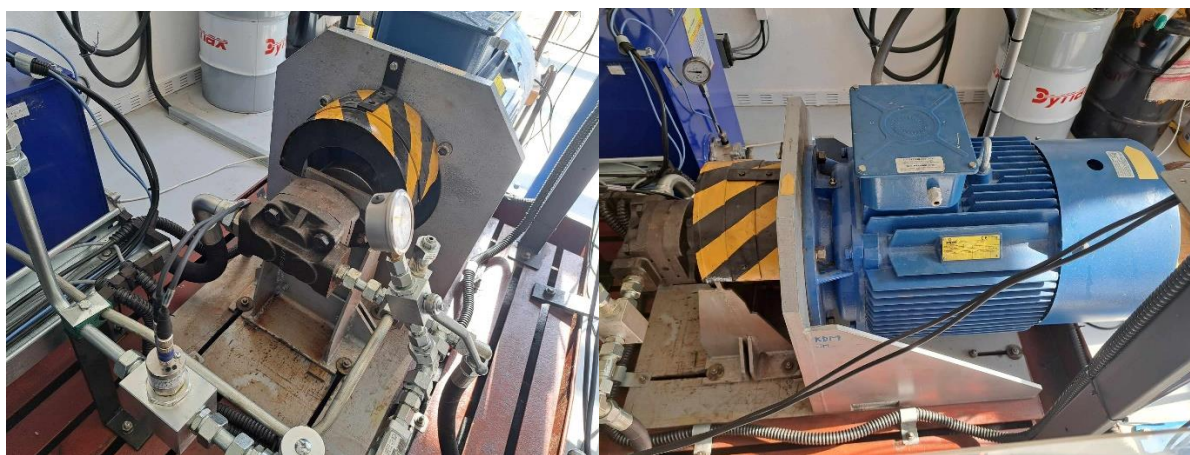
Hydraulic scheme of parallel testing device for flow characteristics and technical lifespan measurement of hydraulic transmitters. Explanations: FM – frequency converter, M – electric motor, 1. hydraulic gear pump, 2. EHPV elektrohydraulický proporcionálny tlakový ventil, 3. Filter, 4. Safety pressure valve, 5. Throttle valve with non-return valve, 6. Tank, 7. Cooler with fan, 8. Three-way valve, 9. Electronic safety valve, 10. Clutch, 11. Pressure gauge, 12. Thermometer, 13. Pressure gauge, flow meter and thermometer as combined measurement device HYDAC, 14. HYDAC measurement device for liquid aging, 15. Paralelná vetva, 16. Počítač s programom LabView

Na zaťažovanie obvodu bol použitý elektrohydraulický proporcionálny tlakový ventil, ktorý dokáže meniť zaťaženie obvodu podľa nastavenia na počítači, v programe LabView.

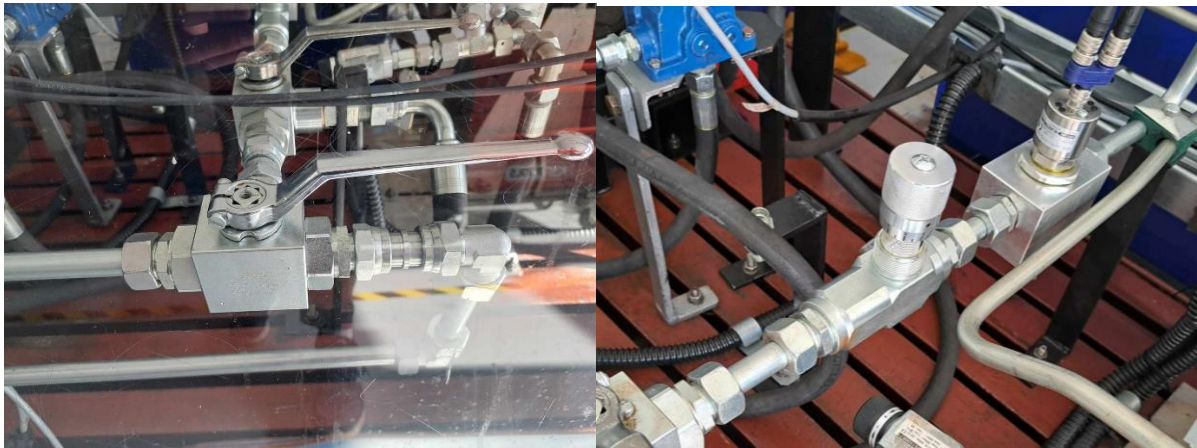


Obr. 3 EHPV elektrohydraulický proporcionálny tlakový ventil PARKER R4V
EHPV electrohydraulic proportional pressure valve PARKER R4V

Pohon zariadenia je zabezpečený 30 kW elektromotorom GM 200LA. Aby boli dosiahnuté konštantné otáčky, je využitý frekvenčný menič. Motor cez spojku poháňa testovaný zubový hydrogenerátor QHD 17R. Geometrický objem testovaného hydrogenerátora je $V_g = 17 \text{ cm}^3$. Ten nasáva kvapalinu z nádrže, cez filter a zároveň je zmeraná jej teplota a tlak na vstupe, a tlak aj na výstupe z prevodníka. Pri začiatku meracej časti experimentu, keď je nutné kvapalinu zahriať, je trojcestný ventil uzavretý a médium prúdi cez škrtiaci ventil VRFU 90° späť do nádrže. Pri tejto cirkulácii sa kvapalina zohreje na požadovanú teplotu. Na zahrievacej vetve sa nachádza aj snímač starnutia kvapaliny HLB.

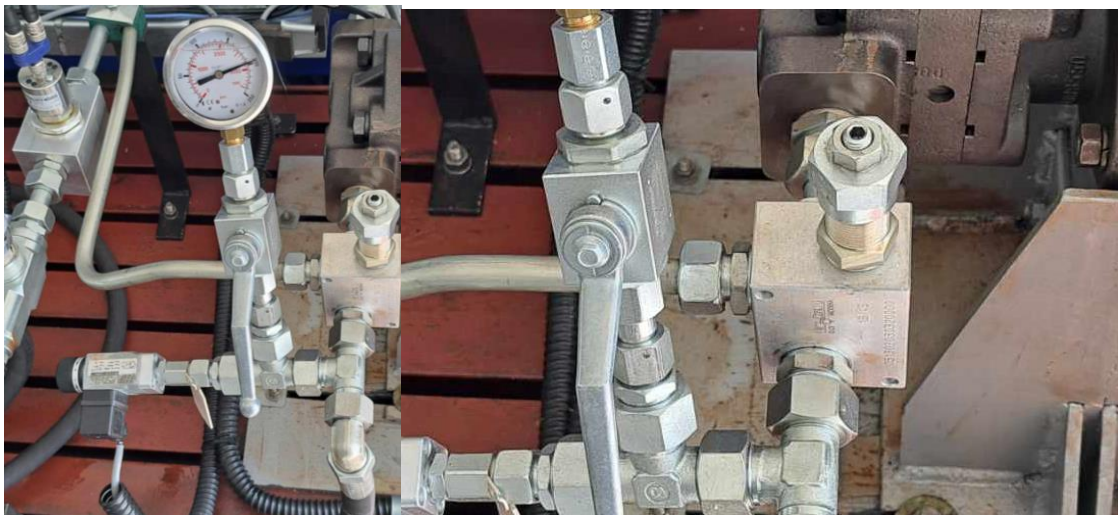


Obr. 4 Testovaný zubový hydrogenerátor QHD 17R, Elektromotor
Tested gear pump QHD 17R, Elektric motor



Obr. 5 Trojcestný ventil, VRFU 90° škrtiaci ventil so spätným ventilom zahrievacieho okruhu a za nim zaradený snímač starnutia kvapaliny HYDAC HLB.
Three-way valve, VRFU 90° Throttle valve with non-return valve of heating circuit and HYDAC measurement device for liquid aging HLB set behind.

Fig. 5



Obr. 6 Elektrický aj číselníkový merač tlaku, poistný tlakový ventil.
Electronic and mechanic pressure gauge, safety pressure valve.

Po dosiahnutí požadovanej teploty sa kvapalina trojcestným ventilom prepustí do druhej vetvy, kde preteká elektrohydraulickým proporcionálnym tlakovým ventilom. Na tomto ventile sme schopní pomocou programov simulovať zaťaženie z prevádzky, alebo vytvoriť pre prúdiacu kvapalinu konštantný odpor, čo využijeme v našom prípade. Z neho prúdi médium cez čistič do chladiča, ventilátory ochladzujú kvapalinu na prepade do nádrže. Aj tu je meraná teplota oleja.

Pred trojcestným ventilom je zapojené meracie zariadenie HYDAC s meračmi tlaku HDA a prietoku HVS. Toto zariadenie je však možné paralelnou vetvou obísť, aby sa počas zaťažovania obvodu meracie zariadenie HYDAC obišlo a zabránilo sa jeho poškodeniu. V meracích fázach experimentu, sa pustí médium do vetvy s meracím zariadením HYDAC EVS 3100 a zmerajú s parametre hydrogenerátora.

Toto zariadenie je zapojené do obvodu a na jeho tri sloty na vrchu je možné pripojiť rôzne snímače, na meranie prietoku (EVS), teploty (ETS) a tlaku (HDA). Taktiež je možné merať stav kvapaliny samostatným snímačom HLB. Takto je možné jedným meracím zariadením merať viacero veličín v obvode.



Obr. 7 Združené meracie zariadenie HYDAC so senzormi na meranie (zľava) tlaku, prietoku a teploty
(from left) Pressure gauge, flow meter and thermometer sensors as combined measurement device HYDAC

Fig. 7

Príručka HYDAC uvádza nasledovné podmienky, ktoré by mali byť splnené pri montáži: Táto jednotka by mala byť zapojená do priamej časti vedenia. Je vhodné sa vyhnúť umiesteniu bezprostredne medzi ohyby potrubia, rozdvójky alebo klapky. Potrubie musí byť neustále zaplnené kvapalinou, vzduch v systéme znehodnotí výsledky meraní. Pred inštaláciou jednotky by sa malo potrubie prepláchnuť, aby sa zamedzilo tuhým časticiam (nečistotám) dostať sa do turbíny.

Príručka opisuje aj používané snímače nasledovne:

Snímač na meranie prietoku:

Snímač EVS 3100 operuje na báze **turbínového** princípu, čo znamená, že otáčky obežného kolesa rotujúceho v toku média (kvapaliny) sú odmerané a konvertované na 4 – 20 mA analógový signál.

Snímač na meranie teploty:

ETS 4100 s HART rozhraním je elektronický teplotný senzor s protizápalnou nehorľavou schránkou. Na báze **kremikového polovodičového zariadenia** prislúchajúcej vyhodnocovacej elektroniky je tento teplotný senzor navrhnutý na meranie teplôt v intervale od -25 do +100 °C. Senzor vydáva analógový signál 4 – 20 mA

Snímač na meranie tlaku:

Senzor HDA 4700 je kompaktný tlakový senzor, ktorý je používaný na meranie relatívnych tlakov v hydraulických a pneumatických zariadeniach. Tlak je meraný veľmi presným a robustným senzorom, s tenkovrstvovým **tenzometrom** na membráne z nerezovej oceli.

Snímač na monitorovanie stavu olejov:

HYDAC HLB 1400 je multifunkčný senzor pre online monitorovanie stavu štandardných aj bio olejov. Používateľ je informovaný o zmenách v kvapaline rýchlo a môže okamžite napraviť neakceptovateľné podmienky. Meria elektrické parametre kvapaliny, dielektrickú konštantu a jej relatívny stav, relatívnu zmenu konduktivity, ale aj prítomnosť vody, jej saturačný stav a teplotu a poskytuje digitálny alebo analógový výstup.

Obvodom prúdi nový hydraulický olej MOL Biohyd 46. Výrobca o ňom uvádza, že sa jedná o environmentálne prijateľný hydraulický olej skladajúci sa z rastlinných olejov. Hlavné charakteristiky sú rýchla biologická rozložiteľnosť, vynikajúce protierodové a protikorozyne vlastnosti. Odporúčaný teplotný rozsah: -20 do 45°C.

Ako základné aditíva sú v tomto oleji použité prvky fosfor a síra.

Výrobca garantuje, že olej spĺňa viskozitnú triedu ISO VG 46, má viskozitný index 208, kinematickú viskozitu pri 40°C 45,1 mm·s⁻¹.

Akýkoľvek olej prúdiaci v hydraulickom systéme sa nespráva ako ideálna kvapalina a preto vznikajú straty pri jej prenose. Rovnako vznikajú straty nedokonalosťami a netesnosťami celého systému.

Podľa Petranský et.al. Skutočný generátor nie je dokonale tesný, a preto časť prúdu uniká týmito netesnosťami.

Prietoková účinnosť je veličina, pomocou ktorej je možné vyhodnotiť, či hydrogenerátor spĺňa požiadavky, teda, či je dostatočne tesný a efektívny (napríklad aj v kombinácii s konkrétnym hydraulickým olejom.) Prietokovú účinnosť vieme vypočítať ako:

$$\eta_{pr} = \frac{Q_G}{V_G \cdot n} [-] \quad (1)$$

Kde:

Q_g – prietok hydrogenerátora skutočný, real flow rate [m³·s⁻¹]

V_g – geometrický objem gydrogenerátora, geometric volume of hydrogenerator [m³]

n – otáčky hydrogenerátora, revolutions per second [s⁻¹]

Where:

Q_g – real flow rate [m³·s⁻¹]

V_g – geometric volume of hydrogenerator [m³]

n – revolutions per second [s⁻¹]

Experiment je rozdelený na dve základné fázy, zaťažovaciu, a meráciu. Pri zaťažovacej časti sa vyvíja na hydrogenerátor tlak po dobu 50 hodín, podľa normy VICKERS, aby sme simulovali jeho prevádzku. V meracej časti sa hydrogenerátor ponechá v činnosti nezaťažený, respektíve zaťažený minimálnym tlakom 1,5 MPa a neskôr sa zaťaží maximálnym prevádzkovým tlakom 20 MPa a pri oboch módoch sa zmerajú jeho charakteristiky.

Postup zaťažovania je nasledovný: Stroj sa uvedie do chodu so všetkými podpornými zložkami ako ventilátory zabezpečujúce chladenie a frekvenčný menič, obstarávajúci konštantné otáčky. Do chodu sa uvedie aj počítačový program LabView určený na riadenie elektronických procesov počas merania.

V programe sa nastaví požadované otáčky pre zaťažovanie (v našom prípade 1800 min⁻¹), zadá sa mu v excelovej forme súbor s tlakmi, v našom prípade 20 MPa a určia sa hranice teploty oleja a časový horizont merania vzhľadom na čas cyklov, ktorý je tiež možné nastaviť.

Stroj bude pod zaťažením 50 hodín. Merania charakteristík hydrogenerátora (tlak a prietok) sa vykonajú každých 12,5 hodiny.

Aby sme vyvodili zaťaženie podľa normy VICKERS, budeme udržiavať teplotu hydraulikej kvapaliny na úrovni 65 °C.

Testovacie zariadenie by malo byť pred meraním v móde zahrievania kvapaliny (pokiaľ tá už nebola zohriata predchádzajúcou zaťažovacou fázou) a teda trojcestný ventil preposiela hydraulický olej cez vetvu so škrtiacim ventilom do nádrže, čím sa kvapalina zohreje.

Po dosiahnutí požadovanej teploty sa stroj odstaví, trojcestný ventil sa prepne tak, aby hydraulický olej prúdil cez elektrohydraulický proporcionálny tlakový ventil a tento sa cez počítač nastaví na tlak pri ktorom chceme merať, 0 MPa a 20 MPa

Trojcestný ventil pred meracím zariadením HYDAC otvoríme tak, aby hydraulická kvapalina prúdila práve cez toto zariadenie. Stroj sa uvedie do chodu pri otáčkach 1500 min⁻¹ a nasleduje meranie trvajúce 60 sekúnd. Od uvedenia stroju do chodu je možné sledovať vývoj

veličín prostredníctvom zobrazovacej jednotky HYDAC HMG 4000, alebo prostredníctvom počítača.

Takýmto spôsobom získame presné údaje o tlaku, respektíve jeho výkyvoch, prietoku a teplote počas každej meracej fázy.

Dôležité je urobiť merania aj pri nezaťaženom obvode, kde pôsobí iba minimálny prevádzkový tlak, aj pri zaťaženom obvode, kde bude nastavený tlak 20 MPa.

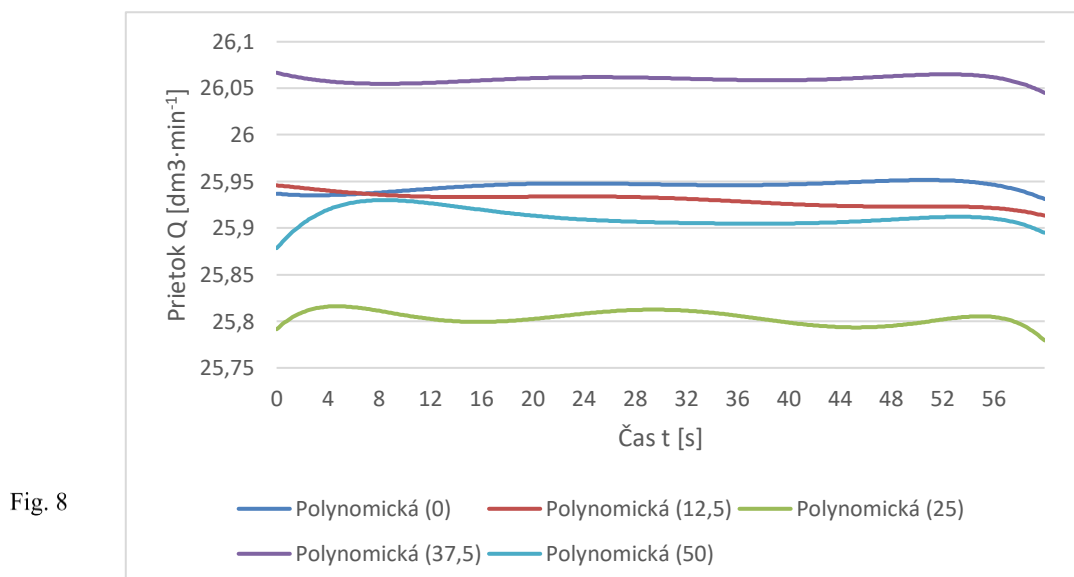
Z dát aj grafov je jasne vidieť, či a ako bol hydrogenerátor opotrebovaný, môžeme pozorovať pokles v jeho charakteristických veličinách a stanoviť, aký vplyv mal nový hydraulický olej na jeho parametre.

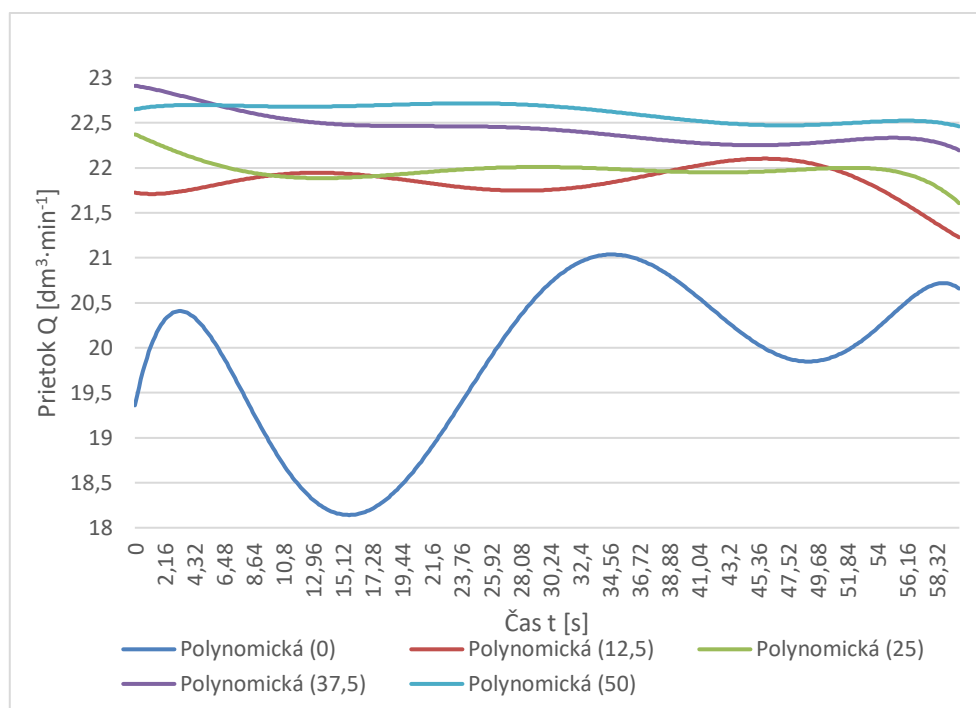
3 Výsledky a diskusia

Prietoky zaznamenané prietokomerami počas jednotlivých 60 sekundových meraní v 12,5 hodinových intervaloch sme zaviedli do grafu, kde sme ich vyhladili pomocou trendovej spojnice 6teho rádu. Prvé dve merania vykazovali oveľa menšie pulzácie hodnôt ako merania po dlhšej dobe v záťaži.

V grafe na obrázku 8, pozorujeme najskôr pokles hodnôt prietoku, avšak pri 37,5 hodine nastáva nárast. V grafe na obrázku 9, pod záťažou 20 MPa sa vývoj prietokov správa pri začiatku skúšky nevyspytateľne, pri ostatných meraniach pomaly narastá. Prvé meranie bolo teda pravdepodobne chybné, je možné, že stroj bol zavzdušnený.

Kým zmeny v grafe na obrázku 8, môžeme považovať za štatisticky bezvýznamné, mierny nárast prietoku pri 20 MPa je zjavný.



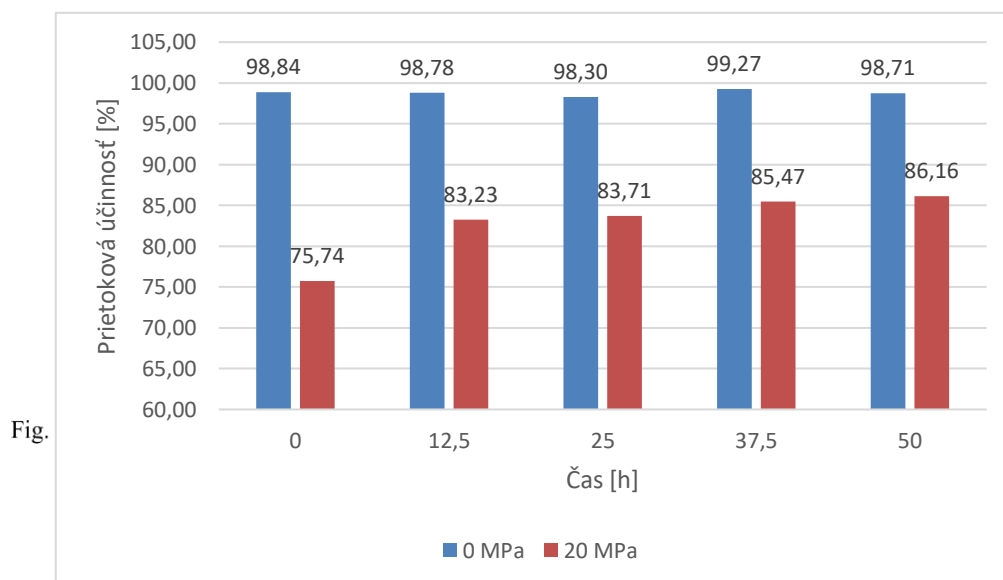


Obr. 9 Graf závislosti prietokov v čase pri 20 MPa, trendová spojnica 6 rádu.
Graph of flow in time at 20 MPa, trendline is polynomial function of order 6.

Fig. 9

Výpočtom sme získali aj prietokové účinnosti hydrogenerátora v oboch prípadoch a pozorovali sme vývoj vlastností v čase.

Je zjavné, že pri nezaťaženom obvode pozorujeme iba minimálny pokles prietokovej účinnosti (zjavné aj z grafu na obrázku 8.), ktorá sa stále pohybuje blízko hodnoty 98%. Dôležitejšie je správanie sa systému pod tlakom, kde sa pri 20 MPa vyskytol nárast zaznamenaného prietoku a teda aj prietokovej účinnosti až na hodnotu 86,16%. Tento jav vieme vysvetliť tak, že nový hydraulický olej spolu s hydrogenerátorom boli stále v zábehu a preto sa prietokové vlastnosti zlepšili.



Obr. 10 Graf závislosti prietokovej účinnosti od času merania pre 0 a 20 MPa.
Graph of flow efficiency in time for 0 and 20 MPa pressure.

4 Záver

Nárast prietokovej účinnosti po vykonaní 50 hodinovej skúšky znamená, že hydraulický olej spolu s hydrogenerátorom boli v zábehu a ich vlastnosti sa prispôbovali prevádzke. Niektoré z jeho zložiek, aditíva, sa mohli aktivovať až pod mechanickým a tepelným zaťažením a preto sa zlepšenie vlastností ukázalo až po vykonaní zábehu.

Nakoľko bol hydraulický olej bez poklesu vlastností aj po extrémnom namáhaní a pri prekročení maximálnej prevádzkovej teploty, ktorú udáva výrobca, môžeme zhodnotiť, že tento olej je vhodnou ekologickou alternatívou k bežným ropným olejom.

5 Literatúra

DRABANT, Štefan – Zdenko TKÁČ – Ivan PETRANSKÝ – Vladimír KROČKO – Marek BOLLA – Juraj JABLONICKÝ a Peter KLEINEDLER. *Meranie a skúšanie hydrostatických prvkov a systémov*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2008. ISBN 978-80-552-0008-8.

HUJO, Ľubomír. – JABLONICKÝ, Juraj. – TKÁČ, Zdenko. – TULÍK, Juraj. Design of Test Equipment for Hydrostatic Transducers and Hydraulic Fluids. *Appl. Sci.* 2022, 12, 7777. <https://doi.org/10.3390/app12157777>

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

HYDAC electronic flow rate transmitter EVS 3100/3110 – Haupstrasse 27 D-66128 Saarbrücken, dostupné z www.hydac.com,

PETRANSKÝ, Ivan – Štefan DRABANT – Zdenko TKÁČ – Anton ŽIKLA – Marek BOLLA – Peter KLEINEDLER. *Skúšobné stavy pre životnostné skúšky hydrostatických prevodníkov*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2004. ISBN: 80-8069-343-9

SPU v Nitre. 2015. *Súbežné testovacie zariadenie na meranie prietokových charakteristík a technickej životnosti hydrostatických prevodníkov*. Zdenko, TKÁČ, Ľubomír, HUJO, Juraj, JABLONICKÝ. Slovenská republika. Y1. U7421. 24.4.2015.

Technicko-informačný list MOL Biohyd dostupné z: <https://slovnaft.sk/sk/maziva/priemysel/produkty/priemyselne-maziva/hydraulicke-oleje/mol-biohyd-46/>

Súhrn

Cieľom výskumu bolo otestovať zubový hydrogenerátor v súčinnosti s novou hydraulickou kvapalinou pomocou 50 hodinovej normalizovanej skúšky. Na to sme využili univerzitné Súbežné testovacie zariadenie na meranie prietokových charakteristík a technickej životnosti hydrostatických prevodníkov a modern meracie jednotky HYDAC.

Pre získanie informácií o opotrebení hydrogenerátora sme zmerali jeho prietokové charakteristiky – prietok a tlak – pred, po a počas 50 hodinovej skúšky podľa normy VICKERS.

Využili sme meracie zariadenia HYDAC, ktoré nám poskytli vysokú meraciu presnosť a pomohli nám získať použiteľné výsledky.

Rozdiel medzi hodnotami pred a po teste VICKERS nám ukázali, že efektivita hydrogeneátora sa nie len, že neznížila, ale vzrástla. Z toho sme usúdili, že olej aj hydrogenerátor boli stále v zábehu a aditíva postupne začínali plniť svoje funkcie.

Nakoľko bol pri experimente použitý nový hydraulický olej, naša práca prispela ku testovaniu nových, environmentálne priaznivejších hydraulických kvapalín.

Kľúčové slová: hydrogenerátor, tlak, prietok, hydraulická kvapalina, HYDAC, VICKERS

Podakovanie:

Moje podakovanie patrí obzvlášť profesorovi Zdenkovi Tkáčovi, ktorý celý experiment zastrešil, docentovi Jánovi Kosibovi, ktorý bol počas experimentu vždy nápomocný a riešil množstvo technických problémov, a všetkým študentom, s ktorými sme spolupracovali počas výkonu merania.

VYUŽITIE MODELU ERPN NA OBJEKTIVIZÁCIU KRITÉRIÍ HODNOTENIA PFMEA USING THE ERPN MODEL TO OBJECTIFY PFMEA EVALUATION CRITERIA

MIROSLAV SMUTNÝ¹ – MARIÁN BUJNA²

Abstract

This paper analyses the application of the extended ERPN model to objectify the evaluation criteria for failure mode and effects analysis (PFMEA) in manufacturing. The main objective of the paper is to develop an effective failure mode management system within the injection moulded parts process through the implementation of PFMEA and the subsequent use of the extended ERPN model. During the research, a different perspective approach to change prioritisation in failure mode management is analysed in detail, specifically in comparison with the use of RPN in PFMEA and the extended ERPN model. The paper also discusses the impact of the ERPN model on the accuracy of risk assessment and its potential limitations and inappropriateness for use in the context of specific manufacturing processes. The solution of the extended ERPN model involved knowledge of internal and external costs. The use of ERPN, by including costs as direct consequences of the failure mode, is one form of objectification of the PFMEA criteria. In this way, the paper provides beneficial insights into the complex world of risk assessment and management in manufacturing environments.

Key words: PFMEA. RPN. ERPN. Automotive. Internal and External Costs.

1 Úvod

FMEA predstavuje systematickú metódu, ktorá slúži na identifikáciu a predchádzanie možným problémom v systémoch, výrobkoch a procesoch ešte pred ich výskytom (Sharma, Srivastava, 2018; Anjalee, Rutter, Samranayake, 2021). Lo a Liou (2018) uvádzajú, že FMEA, Analýza spôsobov a následkov porúch, je technika riadenia rizík, ktorá sa používa v rôznych priemyselných odvetviach na podporu spoľahlivosti a bezpečnosti výrobkov, procesov, štruktúr, systémov a služieb.

Ako uvádzajú Liu a kol. (2018) konvenčná metóda FMEA bola kritizovaná pre vnútorné nedostatky, ktoré obmedzujú účinnosť a aplikácie. Na prekonanie obmedzení FMEA sa využívajú rôzne metódy a nástroje (Bujna a kol., 2023).

Technika preferencie poradia podľa podobnosti s ideálnym riešením (TOPSIS) je jednou z najpopulárnejších a najefektívnejších metód riešenia problémov rozhodovania podľa viacerých kritérií/atribútov (MCDM/MADM) (Sun, Guan, Zhou, 2018). Jej cieľom je vybrať alternatívu, ktorá má „najmenšiu vzdialenosť“ od pozitívneho ideálneho riešenia (PIS) a „najväčšiu vzdialenosť“ od negatívneho ideálneho riešenia (NIS). (Huang, Jiang, 2018).

Laboratórium na skúšanie a hodnotenie rozhodovania (DEMATEL) zaviedli Gabus a Fontela (1973, In: Abdullah a kol., 2019) na riešenie problémov viackriteriálneho rozhodovania (MCDM). Metóda DEMATEL komplexne konštruuje a analyzuje štruktúrny

¹Bc. Miroslav Smutný, SPU TF, Ústav konštruovania strojárskych technológií.
xsmutny@uniag.sk

²doc. Ing. Marián Bujna, Phd., SPU TF, Ústav konštruovania strojárskych technológií.
marian.bujna@uniag.sk

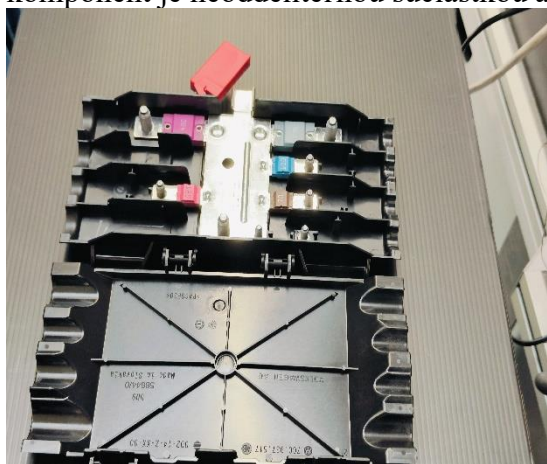
model pomocou usmernených grafov alebo digrafov, ktoré vizuálne rozdeľujú viaceré kritériá do skupín príčin a následkov, ktoré umožňujú zachytiť kauzálne vzťahy medzi kritériami. (Nyimbili, Erden, Mwanaumo, 2023). Zaoberá sa hodnotením vzájomne závislých vzťahov medzi faktormi a hľadaním kritických faktorov prostredníctvom vizuálneho štruktúrneho modelu (Si a kol., 2018). Výskumníci túto metódu aplikovali na rôzne témy, ako je rozhodovanie v oblasti medicíny (napr. Chuang a kol., 2021; Liu a kol., 2021), hodnotenie zdravotných sestier (napr. Cheng a kol., 2021), vzdelávanie (napr. Zhang a kol., 2021; Weng, a kol., 2020), hodnotenie dizajnu (napr. Chen a kol., 2020) a plánovanie otvoreného priestoru (napr. Li a kol. 2021)

Na prekonanie obmedzení FMEA týkajúcej sa prioritného čísla rizika (RPN) sa vytvorila schéma označovaná ako „rozšírené číslo priority rizika“ a je identifikovaná ako ERPN (Nguyen, Shu, Hsu, 2016; Bujna a kol., 2023). Kvalitatívne náklady je možnosť rozdeliť do štyroch hlavných skupín: preventívne náklady, hodnotiace náklady, náklady na interné reklamácie a náklady na externé reklamácie.

Cieľom článku je riadenie režimov zlyhania výrobného procesu vstrekovania polymérnych materiálov, ktorý prebieha na výrobnom zariadení vstrekovacieho lisu Zhafir plastic machinery Venus Series. Vybranou metódou bude metóda procesnej FMEA. Stanoví sa prioritné číslo a určí prioritizácia režimov zlyhania pre návrh opatrení. Následne sa využije rozšírená nadstavba procesnej FMEA, model ERPN. ERPN, ako rozšírené rizikové číslo, zahrnie do procesu stanovenia kritérií aj náklady vznikajúce ako dôsledok režimov zlyhania. Očakáva sa, že sa objektivizujú jednotlivé kritéria hodnotenia PFMEA. Následne predbehne analýza nového stavu.

2 Materiál a metódy

Sledovanou súčiastkou je poistkový box automobilu (obr.1), vyrábaný z polymérneho materiálu PA6. Poistkový box automobilu plní bezpečnostnú funkciu vozidla. Je to bezpečnostný prvok v elektrickom obvode, ktorý slúži na ochranu elektrických prvkov pred preťažením alebo skratom. V poistkovom boxe sa nachádzajú poistky, ktoré zabezpečujú, že v prípade prekročenia určitej hranice elektrického prúdu, poistky prerušia elektrický obvod, čím chránia prvky pred deštrukciou, požiarom alebo inými vážnymi následkami. Tento komponent je neoddeliteľnou súčiastkou automobilu a jeho bezpečnej prevádzky.



Obr. 1 Poistkový box

Fig.1 Fuse box



Obr.2 Stroj Zhafir Plastic

Machinery Venus Series

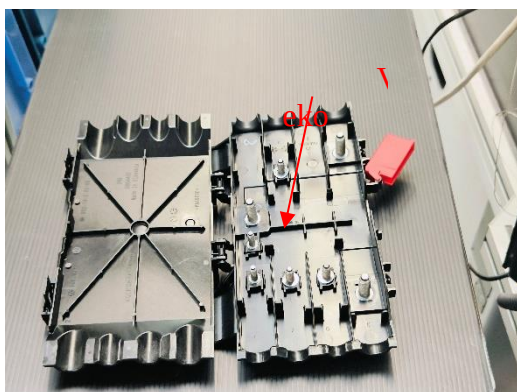
Fig.2 Zhafir Plastic Machinery Venus Series machine

Z hľadiska procesu výroby sme sa v článku sústredili na vstrekovanie dielov.

Surovina a skrutky vstupujú zo skladu do prvého procesu vstrekovania. V tomto procese sa používa surovina na výrobu vstrekovaných dielov a to veka a tela (obr.2). Tieto súčiastky sa vyrábajú na stroji „Zhafir plastic machinery Venus Series“ (obr.3). Tento stroj slúži na výrobu plastových dielov a na lisovanie, napríklad skrutiek do plastového výroku. Do stroja sa vloží forma (obr.7), ktorá je potrebná na vstreknutie daného dielu.

Postup výroby:

- A) Poverený zamestnanec vloží do stroja potrebnú formu a zoradia ju
- B) Operátor vloží do formy skrutky podľa vyznačenej pozície
- C) Operátor spustí operáciu vstrekovanie
- D) Operátor diel vyberie, skontroluje a vloží do prepravky medzi hotové výrobky (obr. 4)
- E) Prepravka s hotovými kusmi sa presunie do skladu polotovarov.



Obr.3 Vyrobené diely vstrekovaním



Obr.4 Prepravka s hotovými výrobkami

Fig.3 Manufactured parts by injection moulding

Fig.4 Crate with finished products

Následne sa tieto diely zabalia a uložia do skladu polotovarov na prípravu ďalšej operácie.

Vytvorenie konvenčnej PFMEA

Na správne vyhotovenie PFMEA sa musíme držať týchto krokov:

- Prehľad návrhu . stanoenie prejavu režimu zlyhania, následku, príčin a kontroly.
 - Priradenie hodnotenia závažnosti následku od 1 do 10 (S) podľa platnej dokumentácie pre FMEA.
 - Priradenie hodnotenia výskytu príčin od 1 do 10 (O) podľa platnej dokumentácie pre FMEA.
 - Priradenie hodnotenia detekcie kontroly od 1 do 10 (D) podľa platnej dokumentácie pre FMEA.
 - Vypočítanie RPN podľa vzorca 1.
- $$RPN = S \cdot O \cdot D \quad (1)$$
- Stanovenie kritických hodnôt pre RPN ($RPN \geq 150$).
 - Vypracovať nápravné opatrenia.
 - Vypracovať optimalizovanú PFMEA (Carlson, 2012)

Stanovenie ERP

Okrem toho, je možné previesť Interné náklady na zlyhanie (IFC) a Externé náklady na zlyhanie (EFC) na Interné riziko (SI) a Externé riziko (SE) nasledujúcim spôsobom. (Nguyen, Shu, Hsu 2016):

1. Výber a definície systému vybrané na základe štúdie FMEA.
2. Nadviažeme na vypočítané RPN.

- Hodnotiaci tím bude rovnaký ako pri FMEA.
- Identifikujeme interné náklady (IFC), ktoré zahŕňajú náklady na šrot, prepracovanie, opätovné testovanie, analýzu porúch, prestoje a stratu výnosov a podobne.
- Určíme externé náklady (EFC), ktoré zahŕňajú náklady bez zlyhania systému, konkrétne časť označenú ako WoC (náklady pri zlyhaní systému) a CC (náklady na vybavenie reklamácií od zákazníkov)..
- Vytvoríme prvú tabuľku (*tabuľka 1*).

Tab. 1 Prípravná tabuľka pre výpočet ERPN (Nguyen, Shu, Hsu 2016)

Tab. 1 Preparatory table for ERPN calculation

FM - Režim zlyhania	Kl	IFC	WoC	CC
---------------------	----	-----	-----	----

- Výpočet pravdepodobnosti výskytu režimu zlyhania – PO (2).

$$PO = \frac{O}{10} \quad (2)$$

- Výpočet pravdepodobnosti detekcie režimu zlyhania – PD (3).

$$PD = \frac{(10-D)}{9} \quad (3)$$

- SI - stupeň závažnosti sa počíta z ekonomického hľadiska pri internom riešení režimu; teda úzko súvisí s takzvanými „nákladmi na interné zlyhanie“ (vzorec 4).

$$SI = \frac{IFC}{FCmin} \quad (4)$$

Kde: FCmin - minimálne náklady podľa všetkých porúch a príčin.

- SE - stupeň závažnosti sa počíta z ekonomického hľadiska pri externom riešení režimu (vzorec 5).

$$SE = \frac{WoC}{FCmin} \quad (5)$$

- Výpočet SC - úroveň závažnosti nákladov na externé zlyhanie. Tento bod používame pri postupu iba vtedy, ak zohľadňujeme náklady pri zlyhaní systému – CC (6).

$$SC = \frac{CC}{FCmin} \quad (6)$$

- Určujeme poc - pravdepodobnosť spôsobeného zlyhania systému. poc môže byť 0 pri nákladoch WoC a 1 pri nákladoch CC, z dôvodu výskytu poruchy na stroji a prerušení procesu.

- ERPN pre rozšírenú FMEA sa vypočíta podľa vzťahu 7:

$$ERPN = PO.ST.[PD.SI + (1 - PD).(poc.SC + (1 - poc).SE)] \quad (7)$$

- Vytvorenie *tabuľky 2*.

- Porovnanie RPN vypočítanú pre konvenčnú PFMEA s vypočítanou ERPN.

Tab. 2 Rozšírená FMEA – stanovenie ERPN (Nguyen, Shu, Hsu, 2016)

Tab. 2 Extended FMEA - Determination of ERPN

FM Režim zlyhania	Konvenčná PFMEA - RPN						Rozšírená FMEA - ERPN							
	Kl.	S(ST)	O	D	RPN	Cl.	PO	PD	SI	SE	SC	poc	ERPN	Kl.

Vytvorenie hodnotiaceho tímu

Tím sa bude skladať z vedúcich pracovníkov technologického vývoja, skladu materiálu, vstrekovni, lisovni, montáže, expedície a autorov príspevku.

3 Výsledky a diskusia

Identifikovali sme režimy zlyhania v procese vstrekovania lisov a spracovali to do formuláru FMEA (tab. 3). V tab. 3 sú uvedené niektoré z identifikovaných režimov zlyhania.

Tab. 3 FMEA Vstrekovanie dielov
Tab. 3 FMEA Injection moulding of parts

Prejav	Dôsledok	S	Príčina	O	Preventívne opatrenia	Opatrenia detekcie	D	RPN
Nedodržaný rozmer - reklamácia podľa výkresu záliskami, VEKO (FM4)	Nedodržané rozmery podľa výkresu (E4.1)	8	Zoradenie vstrekovacieho lisu zoraďovačom (C4.1.1)	3	Stav opatrenia - : 13.2.2024 Zaškolenie a inštruktáž zoraďovača a pracovníkov Nastavenie lisu podľa Technologického postupu	Kontrola zoradenia premeraním prvého kusu Priebežná kontrola definovaných rozmerov	7	168
			Opotrebovaná forma (C4.1.2)	2	Preventívna údržba nástroja podľa plánu údržby nástroja			112
Skrutka vypadne nosiča Telo záliskami (FM5)	Nezalisované z skrutky podľa výkresu (E5.1)	8	Zoradenie vstrekovacieho lisu zoraďovačom (C5.1.1)	3	Stav opatrenia - : 13.2.2024 Zaškolenie a inštruktáž zoraďovača a pracovníkov Nastavenie lisu podľa Technologického postupu	Kontrola zoradenia kontrolou prvého kusu. Priebežná kontrola dielov	7	168
			Opotrebovaná forma (C5.1.2)	2	Preventívna údržba nástroja podľa plánu údržby nástroja			112
Na skrutku nejde namontovať matica - reklamácia Telo záliskami (FM6)	Zamenená skrutka (E6.1)	7	Zoradenie vstrekovacieho lisu zoraďovačom (C6.1.1)	3	Stav opatrenia - : 13.2.2024 Zaškolenie a inštruktáž zoraďovača a pracovníkov Nastavenie lisu podľa Technologického postupu	Kontrola zoradenia kontrolou prvého kusu Priebežná kontrola dielov	7	147
			Pracovník osadil zľú skrutku do lôžka na forme (C6.1.2)		Zaškolenie pracovníkov	Kontrola zoradenia kontrolou prvého kusu Vizuálna kontrola		147
Výlisok má vizuálne vady Telo záliskami, VEKO (FM7)	Vizuálna vada / spáleniny - diesel effect (E7.5)	4	Zoradenie lisu zoraďovačom (vlhký granulát) (C7.5.1)	3	Zaškolenie a inštruktáž zoraďovača a pracovníkov Nastavenie lisu podľa Technologického postupu	Priebežná vizuálna kontrola výroby Automatické sledovanie parametrov stroja	7	84
			Zoradenie lisu zoraďovačom (nerovnomerný tok taveniny v kavite a uzatváranie vzduchu na koncoch) (C7.5.2)					
			Zoradenie lisu zoraďovačom (zlé odvzdušnenie a príliš rýchle plnenie formy) (C7.5.3)					

Legenda: S – významnosť, O – výskyt, D – odhaliteľnosť, RPN – prioritné číslo rizika, FM – režim zlyhania, E – následok. C – príčina.

Pri vstrekaní sme vyhodnotili 2 kritické chyby (C4.1.1, C5.1.1) a 2 (C6.1.1, C6.1.2) chyby, ktoré sa blížia ku kritickým chybám. Pre kritické chyby sme vypracovali nápravné

opatrenia, avšak netreba ignorovať chyby s hodnotou 147 pri režime zlyhania (FM). Bolo by vhodné vypracovať v budúcnosti nápravné opatrenia aj pre tieto chyby, aj keď nepresahujú limit, keďže nám tak isto môžu spôsobiť kritické problémy v procese (tab. 3). V tomto článku sme sa zamerali na chyby prekračujúce kritické hodnoty.

V tabuľke 4 môžeme vidieť ako „aplikácia zapisovania parametrov“ (FM4) a „doplnenie automatizácie“ (FM5) nám výrazným spôsobom pomohla k zníženiu výskytu a k lepšej odhaliteľnosti chýb. Zavedením týchto nápravných opatrení zároveň dokážeme znížiť hodnotu RPN.

Tab. 4 Nápravné opatrenia pre FM4 a FM5
Tab. 4 Corrective actions for FM4 and FM5

Prejav	Dôsledok	Príčina	Doporučené opatrenia	Zodpovednosť a plánovaný termín	Splnené opatrenia	Dátum ukončenia	S	O	D	RPN
FM4	E4.1	Zoradenie vstrekovacieho lisu zoraďovačom	Zapisovanie aktuálnych parametrov z lisu do tlačiva technologického predpisu	Juraj Sórad / 19.2.2024	Protokol o zápise parametrov	1.3.2024	8	2	3	40
FM5	E5.1	Zoradenie vstrekovacieho lisu zoraďovačom	Doplnenie automatizácie k procesu vstrekovania - robot bude nakladať skrutky do správnej pozície, tým sa zamedzí zámena a chýbajúca skrutka	Juraj Sórad / 26.2.2024	Vyhodnocovanie výsledkov pomocou kamery	11.3.2024	8	1	2	16

Rozšírená FMEA prináša odlišný pohľad v porovnaní s tradičnou PFMEA. Ako súčasť snahy o objektivizáciu kritérií na určenie priority rizika, zaoberá sa aj nákladmi spojenými s rôznymi režimami zlyhania. Výsledkom tejto analýzy je tzv. rozšírené prioritné číslo rizika (angl. Extended Risk Priority Number – ERPN).

Model ERPN predstavuje nový prístup k hodnoteniu, najmä pokiaľ ide o náklady, ktoré vyjadrujú finančné straty. Tieto náklady sú kategorizované do stupňov závažnosti ako interné (SI) a externé (SE) na základe ich finančných dôsledkov. Stupeň závažnosti týkajúci sa nákladov na fatálne zlyhanie (SC) nebol zaznamenaný, pretože takéto náklady neboli sledované počas monitorovania celého procesu.

Ako bolo detailne popísané už v metodike, interné náklady (IFC) zahŕňali náklady spojené so šrotom, prepracovaním, opakovaným testovaním, analýzou porúch, prestojmi a stratami na výnosoch a podobne. Externé náklady (EFC) sa skladali z nasledujúcich prvkov: (1) náklady bez zlyhania systému (WoC) vrátane terénneho servisu, riešenia sťažností, vrátenia tovaru, zárukou a iných nepriamych nákladov; a (2) náklady pri zlyhaní systému (CC) týkajúce sa kompenzácie akýchkoľvek možných strát pre zákazníkov v dôsledku chyby v položke. Náklady CC sme neidentifikovali.

V tabuľke 5 a 6 sú stanovené náklady potrebné pre stanovenie ERPN (tab. 7).

Tab. 5 Stanovenie interných a externých nákladov
Tab. 5 Determination of internal and external costs

Vstrekovanie dielov	FM4	E4.1	Telo 0,42€ + Operátor 0,04€ + strojná hodina 25€ (1ks/min) 1ks = 1,076€	Z.: AF = 400€ + triedenie 20€/hod (200ks/hod 5000ks = 500€) S.: dovoz 180€ + pretriedenie 15€/hod (200ks/hod 5000ks = 375€) + Výroba nového kusu 4,45€ + Výroba zmätkového kusu 3,71€ + odoslanie 180€ 1ks = 1 643,16€ 1dodávka = 42 435€
	FM5	E5.1	Nosič 0,42€ + skrutky 0,28€ + Operátor 0,04€ + strojná hodina 25€ 1ks = 1,156€	Z.: AF = 400€ + triedenie 20€/hod (200ks/hod 5000ks = 500€) S.: dovoz 180€ + pretriedenie 15€/hod (200ks/hod 5000ks = 375€) + Výroba nového kusu 4,45€ + Výroba zmätkového kusu 3,71€ + odoslanie 180€ 1ks = 1 643,16€ 1dodávka = 42 435€
	FM6	E6.1	Skrutky 0,28€ + operátorské práce 0,04€ + strojná hodina 25€ + Nosič 0,42€ + Veko 0,23€ 1ks = 1,386€	Z.: AF = 400€ + triedenie 20€/hod (200ks/hod 5000ks = 500€) S.: dovoz 180€ + pretriedenie 15€/hod (200ks/hod 5000ks = 375€) + Výroba nového kusu 4,45€ + Výroba zmätkového kusu 3,71€ + odoslanie 180€ 1ks = 1 643,16€ 1dodávka = 42 435€
	FM7	E7.1 – E7.3	Nosič 0,42€ + skrutky 0,28€ + Operátor 0,04€ + strojná hodina 25€ + Veko 0,23€ 1ks = 1,386€	Z.: AF = 400€ + triedenie 20€/hod (200ks/hod 5000ks = 500€) S.: dovoz 180€ + pretriedenie 15€/hod (200ks/hod 5000ks = 375€) + Výroba nového kusu 4,45€ + Výroba zmätkového kusu 3,71€ + odoslanie 180€ 1ks = 1 643,16€ 1dodávka = 42 435€

Tab. 6 Prípravná tabuľka pre výpočet ERP
Tab. 6 Preparatory table for the calculation of the ERP

Režimy zlyhania	Dôsledok	IFC [€]	WoC [€]	FCmin [€]
FM4	E4.1	1,076	1 643,16	1,076
FM5	E5.1	1,156	1 643,16	
FM6	E6.1	1,386	1 643,16	
FM7	E7.1-7.3	1,386	1 643,16	

Tab. 7 Zobrazenie PFMEA s modelom ERP
Table 7 Representation of PFMEA with the ERP model

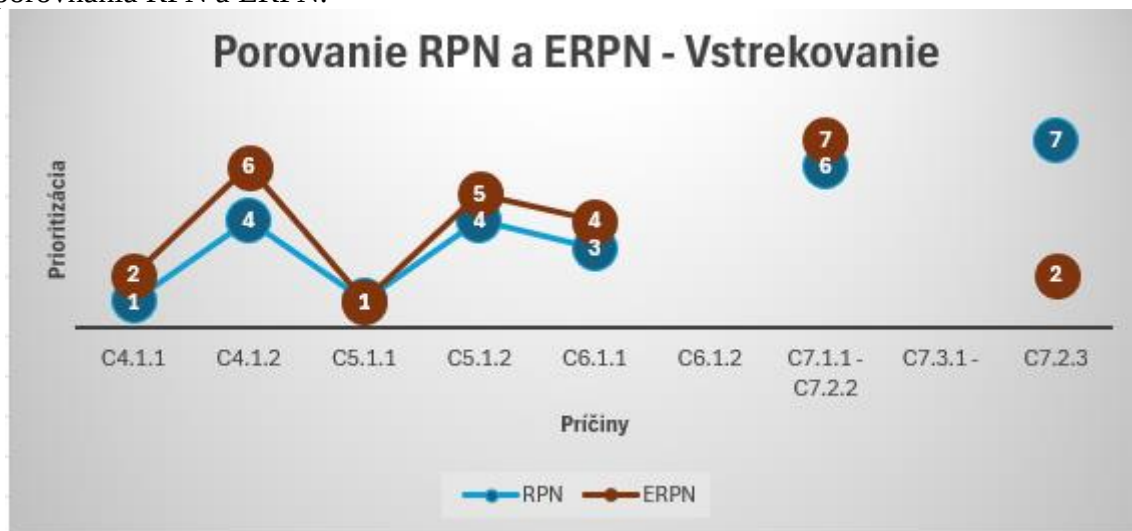
RZ	D	P	Konvenčná PFMEA s RPN				PFMEA s modelom ERP						
			S(ST)	O	D	RPN	KI	PO	PD	SI	SE	poc ERP	KI
FM4	E4.1	C4.1.1	8	3	7	168	1 - 2	0,3	0,333	1,00	1527,1	0	2444,16
		C4.1.2	8	2	7	112	4 – 5	0,2	0,333	1,00	1527,1	0	1629,44
FM5	E5.1	C5.1.1	8	3	7	168	1 – 2	0,3	0,333	1,07	1527,1	0	2444,22
		C5.1.2	8	2	7	112	4 – 5	0,2	0,333	1,07	1527,1	0	1629,48
FM6	E6.1	C6.1.1	7	3	7	147	3	0,3	0,333	1,29	1527,1	0	2138,84
		C6.1.2											
FM7	E7.1	C7.1.1											
	E7.2	C7.2.2	4	3	7	84	6	0,3	0,333	1,29	1527,1	0	1222,70
	E7.3	C7.3.1											
	E7.2	C7.2.3	4	2	7	56	7	0,3	0,333	1	1527,1	0	2444,16

Ako môžeme vidieť aj v *tabuľke 7*, pomocou výpočtu ERP sa nám zmenilo poradie prioritizácie. Napríklad pri procese vstrekovania môžeme vidieť, že pri príčine C7.2.3 (pre FM7) pri výpočte samotného RPN nám vyšlo poradie číslo 7, čo je najmenšia priorita, ale po

vypočítaní ERPN nám vyšlo poradie medzi 2 až 3. Je dôležité podotknúť, že v rámci výskumu sme vyhodnocovali viacero procesov a tieto závery sa budú o to opierať. Pomocou využitia nákladov pre stanovenie ERPN môžeme presnejšie určiť prioritizáciu, alebo je nám umožnené uvažovať o danej problematike z iného uhla, ako sme zamýšľali na začiatku riešenia.

Je potrebné poznamenať, že vzhľadom na krátkosť času, nebolo možné aplikovať nápravné opatrenia podľa ERPN a na základe nich urobiť optimalizáciu a sledovať počet zmätkových výrobkov.

Na lepšiu reprezentáciu zmien sme vytvorili graf (obr. 5), kde môžeme vidieť rozdiely a porovnania RPN a ERPN.



Obr. 2 Porovnanie RPN a ERPN pre vstrekovanie
Comparison of RPN and ERP for injection moulding

Fig. 5

V mojej bakalárskej práci som tvrdil „Pri riešení bakalárskej práce som sa dosť často stretával, že pri eliminácii chyby vznikajú spoločnosti náklady menších rozmerov, ale v niektorých prípadoch aj väčších.“ (Smutný, 2022). Taktiež som tvrdil, že „Taktiež je veľmi dobré spomenúť, že chyba väčšinou nie je spôsobená iba jednou príčinou, ale je to súhrn viacerých príčin, ktoré môžu vyústiť do fatálnej chyby.“ (Smutný, 2022).

V príspevku sa potvrdilo to, čo už som tvrdil v mojej bakalárskej práci a to, že v prvom rade žiadny režim zlyhania nie je spôsobený iba jednou príčinou, ale je to sled činností, respektíve mnohých ďalších faktorov a minimálnych chýb, ktoré sa postupne nabaľujú a z nepatrnej chyby, ktorej nedávame žiadnu pozornosť, nám môže spôsobiť fatálnu chybu a fatálne náklady, ktoré môžu mať likvidačné následky pre organizáciu. V mojej diplomovej práci taktiež môžete vidieť, že jeden režim zlyhania má niekoľko príčin a zároveň aj niekoľko dôsledkov a nie je pravidlo, že na každý režim zlyhania pripadá iba jedna príčina a iba jeden dôsledok. Ako príklad môžem uviesť režim zlyhania FM7 (tab.13 a 14), kde môžeme vidieť až osem rôznych príčin a k nim identifikovaných 24 dôsledkov, ktoré môžu režim zlyhania spôsobiť a pri spojení viacerých dôsledkov môže vzniknúť fatálna chyba. Taktiež si môžeme pri tomto režime zlyhania uviesť príklad vývoja finančnej škody, ktoré môžeme zanedbávať ako napríklad nedostatočný dôraz na kvalifikáciu a riadne školenie zamestnancov, ktoré môže spôsobiť vysoké finančné straty. Pri počítaní nákladov sme zistili, že ak zákazník zistí chybu a vytvorí reklamáciu, iba počiatočné náklady sú 1 643,16 EUR, pričom tieto náklady sa môžu vyšplhať až na úroveň 42 453 EUR za jednu dodávku (tab.22). Takejto chybe sa dá zabrániť riadnym a pravidelným školením zamestnancov. V druhom rade sa mi taktiež potvrdilo to, že organizácií vznikajú náklady či už menších rozmerov tak aj väčších. Toto vyjadrenie by som rozšíril aj o poznatky z mojej diplomovej práci a to, že aj keď máme nesmierne vysoké

náklady pri určitých režimoch zlyhania, stále to neznamená, že je to najväčšia priorita. Túto problematiku nám pomohlo vyriešiť napríklad spomínaný ERPN model. Takéto porovnanie môžeme vidieť aj v riešenej problematike v článku, kde si môžeme uviesť príklad pri režimu zlyhania FM7, kde vidíme, že interné náklady sú minimálne a to na úrovni 1,386 EUR, ale externé až 1 643,16 EUR iba pri jednom nájdenom dielu zákazníkom. V režime zlyhania FM7 pri procese vstrekovania je to najväčšia úroveň nákladov a aj napriek tomu, podľa výpočtov ERPN je to najmenej podstatná chyba, pričom najpodstatnejšou chybou je režim zlyhania FM5, pri ktorej sú interné náklady na úrovni 1,156 EUR.

Stále ale musíme myslieť na to, že FMEA má svoje obmedzenia a limity, tak isto aj ERPN alebo iné metódy.

4 Záver

V príspevku sme riešili objektivizáciu kritérií hodnotenia PFMEA pomocou rozšíreného modelu ERPN. Práca bola vypracovaná pre súčiastku automobilového priemyslu.

Rozšírený model ERPN nám dopomohol k objektívnejšej analýze a prioritizácii režimov zlyhania a hodnotiacich kritérií, pretože zahrnutím nákladov vyčíslením následkov režimov zlyhania sme získali inú prioritizáciu pre návrh opatrení. V diskusii sme sa venovali prečo je zahrnutie nákladov ako následkov režimov dôležité. Efektívny návrh opatrení predpokladá úsporu materiálu, energií a celkovo nákladov.

Táto práca pomohla organizácii vidieť daný problém a dané režimy zlyhania z iného uhľu ako ponúka FMEA či PFMEA. Vypracovaná práca je pre organizáciu prínosná, pretože organizácii otvorila nové možnosti zlepšovania

5 Literatúra

ABDULLAH, L., ZULKIFLI, N., LIAO, H., HERRERA-VIEDMA, E., AL-BARAKATI, A. 2019. "An interval-valued intuitionistic fuzzy DEMATEL method combined with Choquet integral for sustainable solid waste management." In. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 82, 207-215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.04.005>

ANJALEE, J., RUTTER, V., SAMARANAYAKE, N. 2021. *Application of failure mode and effects analysis (FMEA) to improve medication safety in the dispensing process – a study at a teaching hospital*, Sri Lanka. BMC Public Health, 21. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12889-021-11369-5>

BUJNA, M., LEE, CK, KADNÁR, M., KORENKO M., BALÁŽI J. 2023. "New Possibilities of Using DEMATEL and ERPN in the New PFMEA Hybrid Model." In. *Proceedings of Design and Engineering Technologies and Faculty of Industrial Management.* DOI: <https://doi.org/10.3390/app13063627>.

CHEN TL, CHEN CC, CHUANG YC, LIOU JJH. 2020. "A hybrid MADM model for product design evaluation and improvement." In. *Sustainability*, 12:6743. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12176743>.

CHENG F, JIN Y, CHIEN CW, XIONG L, CHUANG YC. 2021. "A hybrid MADM model for newly graduated nurse's competence evaluation and improvement." In. *Journal of Healthcare Engineering*, 2021:1–15. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/6658538>

CHUANG YC, TUNG TH, CHEN JY, CHIEN CW, SHEN KY. 2021. "Exploration of the relationship among key risk factors of acute kidney injury for elderly patients considering

Covid-19." In. *Frontiers in Medicine*, 8:639250. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.639250>.

HUANG, Y., JIANG, W. 2018. "Extension of TOPSIS Method and its Application in Investment." In. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43, 693-705. DOI: <https://doi.org/10.1007/S13369-017-2736-3>.

LI SJ, LUO Y, LIU ZC, XIONG L, ZHU B. 2021. "Exploring strategies for improving green open spaces in old downtown residential communities from the perspective of public health to enhance the health and well-being of the aged." In. *Journal of Healthcare Engineering*, 2021:1–20. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/5547749>.

LIU, H., WANG, L., LI, Z., HU, Y. 2019. "Improving Risk Evaluation in FMEA With Cloud Model and Hierarchical TOPSIS Method." In. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 27, 84-95. DOI: <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2018.2861719>.

LIU WY, TUNG TH, CHUANG YC, CHIEN CW, CHEN CH. 2021. "Using DEMATEL technique to identify the key success factors of shared decision-making based on influential network relationship perspective." In. *Journal of Healthcare Engineering*, 2021:1–10. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/6618818>.

LO, H., LIOU, J. 2018. A novel multiple-criteria decision-making-based FMEA model for risk assessment. *Applied Soft Computing*, 73, 684-696. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.09.020>.

NGUYEN, Thanh Lam - SHU, Ming Hung - HSU, Bi Min. 2016. "Extended FMEA for sustainable manufacturing: An empirical study in the non-woven fabrics industry." In. *Sustainability (Switzerland)*, MDPI AG, 8(9). DOI: <https://doi.org/10.3390/su8090939>

NYIMBILI, P. H., ERDEN, T., MWANAUMO, E. M. 2023. "A DEMATEL-based approach of multi-criteria evaluation for urban fire and emergency facilities." In. *Frontiers in Environmental Economics*, 2 (Economics of Climate Change). DOI: <https://doi.org/10.3389/frevc.2023.1198541>.

SHARMA, K. D., SRIVASTVA, S. 2018. "Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Implementation: A Literature Review." ResearchGate. Dostupné na: https://www.researchgate.net/publication/333209894_Failure_Mode_and_Effect_Analysis_FMEA_Implementation_A_Literature_Review.

SMUTNÝ, M. 2022. *Riadenie rizík vo vybranej organizácii*. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre TF UKST (TF). Slovensko

SUN, G., GUAN, X., YI, X., ZHOU, Z. 2018. "An innovative TOPSIS approach based on hesitant fuzzy correlation coefficient and its applications." In. *Applied Soft Computing*, 68, 249-267. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.04.004>

WENG SS, LIU Y, DAI J, CHUANG YC. 2020. "Novel improvement strategy of competency for education for sustainable development (ESD) of University teachers based on data mining ." In. *Sustainability*, 12:2679. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12072679>

ZHANG MC, ZHU B, HUANG CM, TZENG GH. 2021. "Systematic evaluation model for developing sustainable world-class universities: an East Asian perspective." In. *Mathematics*, 9:20. DOI: <https://doi.org/10.3390/math9080837>

Súhrn

Tento článok analyzuje použitie rozšíreného modelu ERPN na objektivizáciu hodnotiacich kritérií pre analýzu spôsobov a následkov porúch (PFMEA) vo výrobe. Hlavným cieľom príspevku je vytvoriť účinný systém riadenia spôsobov porúch v rámci procesu výroby vstrekovaných dielov prostredníctvom implementácie PFMEA a následného využitia rozšíreného modelu ERPN. Počas výskumu sa podrobne analyzuje iný perspektívny prístup k stanoveniu priorít zmien v riadení poruchových režimov, konkrétne v porovnaní s použitím RPN v PFMEA a rozšíreného modelu ERPN. V článku sa tiež rozoberá vplyv modelu ERPN na presnosť posúdenia rizík a jeho potenciálne obmedzenia a nevhodnosť použitia v kontexte konkrétnych výrobných procesov. Riešenie rozšíreného modelu ERPN zahŕňalo znalosť interných a externých nákladov. Použitie modelu ERPN tým, že zahŕňa náklady ako priame dôsledky spôsobu poruchy, je jednou z foriem objektivizácie kritérií PFMEA. Príspevok tak poskytuje prínosné poznatky o zložitom svete posudzovania a riadenia rizík vo výrobnom prostredí.

Kľúčové slová: PFMEA, RPN, ERPN, automobilový priemysel, interné a externé náklady.

Článok bol napísaný v rámci projektu VEGA 1/0691/23 - Hodnotenie a simulácia opotrebenia prostredníctvom 3D technológií.

NÁVRH SOFTVÉROVEJ APLIKÁCIE RIADENIA MALÉHO MOBILNÉHO ROBOTA

DESIGN OF A SOFTWARE APPLICATION FOR CONTROLLING A SMALL MOBILE ROBOT.

KRZYSZTOF STACHLEWSKI¹ – LUKÁŠ VACHO²

Abstract

The article describes the design and implementation for controlling a mobile robot in laboratory conditions using a mobile device on the Android platform. The proposed control algorithm is implemented in the JAVA language, in which I have created my software solution in the form of a graphical user interface for basic robot control elements. Communication between the mobile device and the mobile robot was carried out through the Bluetooth interface. The robot control solution is capable of controlling the mobile robot using the proposed application. The proposed solution was experimentally tested on a model of a small mobile robot in laboratory conditions. Robot control is currently considered an important part of automated processes in industries and agriculture when utilizing mobile robotics.

Key words: Android Studio, Mobile robot, Visual Studio, Intel NUC, Java, C#, Bluetooth, Mobile device, Android, Remote control

1 Úvod

V tejto dobe sa mobilné roboty začínajú stávať dôležitou a neoddeliteľnou časťou priemyslu. Vzhľadom na to že technológia sa neustále posúva v pred je nutné aby riadenie týchto robotov bolo efektívne a presné. Z tohto dôvodu je dôležité vyvinúť sofistikované softvérové riešenie. Exponenciálny rast na trhu s mobilnými zariadeniami v posledných niekoľkých rokoch zmenil tieto zariadenia na malé osobné počítače. Tieto možnosti vytvorili nový ekosystém a výrobcovia rôznych mobilných robotov využívajú mobilné zariadenia ako diaľkové ovládanie. [1] V súčasnosti existuje množstvo rôznych kategórií mobilných robotov, ktoré získavajú čoraz väčšiu popularitu v rôznych odvetviach. Tieto roboty sú navrhnuté s cieľom autonómne sa pohybovať a vykonávať úlohy vo viacerých prostrediach. Medzi najčastejšie typy mobilných robotov patria pásové, kolesové a štvornohé kráčajúce mobilné roboty. Vývoj a využitie pokračujú s cieľom posilniť a zlepšiť autonómne schopnosti a prispieť k rozvoju robotiky a automatizácie v rôznych odvetviach. Pomaly, ale isto sa roboti a robotické mechanizmy dostávajú do inžinierstva, výroby automobilov, medicíny, armády atď. Rozvoj robotiky a informačných technológií automatizuje ľudskú prácu a zjednodušuje rôzne úlohy, čo nakoniec chráni ľudí pred nebezpečnými pracovnými prostrediami. [2].

Kľúčovým aspektom každého mobilného robota je jeho riadenie či už na pohyb alebo na vykonávanie úloh. Pri riadení mobilných robotov existuje mnoho spôsobov ako ich vieme ovládať ktoré sa líšia podľa ich zložitosti, stupňa automatizácie a interakcie s prostredím.

¹Krzysztof Stachlewski, SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky.
xstachlewski@uniag.sk

²Ing. Lukáš Vacho, Phd., SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky.
lukas.vacho@uniag.sk

Jedným z najzákladnejších spôsobov riadenia je ovládanie robota na diaľku pomocou ovládača, tento spôsob ovládania umožňuje človeku ovládať mobilný robot manuálne. Tento spôsob riadenia je výhodný pre jednoduché úlohy a vyžaduje priamu interakciu človeka s robotom. Najčastejšie sa používajú v komerčnej sfére ovládače od herných konzolí ako Playstation 5 [3], Xbox Series X [4], Playstation 4 [5] alebo tiež od výrobcov periférií pre PC ako Razer [6], Logitech[7], Steelseries [8], atď.



Obr. 1 Ovládače Playstation/Xbox/Razer
PlayStation/Xbox/Razer controllers.

Fig. 1

Druhou možnosťou riadenia je autonómne riadenie mobilného robota ktoré je jedným z najpokročilejších spôsobov, kde robot dokáže samostatne plánovať a vykonávať úlohy. Využíva pokročilé algoritmy, senzory a hlavne umelú inteligenciu na vnímanie a mapovanie prostredia okolo neho. Tento spôsob riadenia umožňuje robotom operovať bez ľudskej interakcie, čo je výhodné v nebezpečných prostrediach, pri dlhodobo komplexných úlohách alebo vo výrobe pre zvýšenie efektivity výroby.

Ďalšou možnosťou ako riadiť robota je predprogramovaním cesty, kde sa robotovi predom zadefinuje trasa, ktorú má nasledovať. Tento prístup je najefektívnejší pri opakovaných úlohách a automatizácii procesov, čím sa zvyšuje presnosť a opakovateľnosť pohybu robota

Mobilné roboty je tiež možné riadiť pomocou neurónovej siete a obrazu. Pri tomto type riadenia sa využívajú kamery a obrazové spracovanie na rozpoznanie objektov, detekciu prekážok alebo sledovanie liniek.

2 Materiál a metódy

Navrhnutá aplikácia bola testovaná v laboratórnych podmienkach s využitím mobilného zariadenia Samsung Galaxy A70. Testovanie zahŕňalo overenie spoľahlivosti komunikácie medzi mobilným zariadením a robotom prostredníctvom Bluetooth rozhrania. Mobilné zariadenie Samsung Galaxy A70 bolo použité ako prostriedok na ovládanie robota, pretože bolo vybavené Bluetooth technológiou a operačným systémom Android, ktorý bol kompatibilný s navrhnutou aplikáciou. Toto zariadenie poskytovalo primeraný výkon a moderné funkcie, ktoré boli dôležité pre efektívne riadenie mobilného robota.

Laboratórne testovanie zahŕňalo nasledujúce kroky:

1. Párovanie mobilného zariadenia Samsung Galaxy A70 s robotom prostredníctvom Bluetooth.
2. Overenie spoľahlivosti pripojenia medzi mobilným zariadením a robotom.

3. Testovanie funkcií ovládania robota prostredníctvom navrhnutého softvéru na mobilnom zariadení.

Na testovanie bol využitý model malého mobilného robota Dagu Wild Thumper 6WD, ktorý bol kompatibilný s navrhnutou aplikáciou. Laboratórne podmienky umožnili opakované a kontrolované testovanie v rôznych scenároch, aby sa overila spoľahlivosť a funkčnosť aplikácie.

Príklad riadiaceho reťazca:

B;PWMM1:052;PWMM2:098;REVM1:3600;REVM2:3750;SETM1:6000;SETM2:6000;DIFM1:600;DIFM2:400 [10]

Tab. 1 Špecifikácie Dagu Wild Thumper 6WD
Tab. 1 Specifications of the Dagu Wild Thumper 6WD

Redukčný pomer prevodovky	75:1
Menovité napájacie napätie	6 V
Maximálne napájacie napätie	7.5 V
Prúd bez záťaže	0.35 A
Maximálny prúd pri zaťažení	5.5 A
Maximálne otáčky motora	10 000 ± 5% min-1
Krútiaci moment motora	0.04 kg.m-1 (0.3923Nm)
Maximálna nosnosť	5 kg

Intel NUC

Intel NUC (Next Unit of Computing) je produktová séria malých osobných počítačov vyvíjaná a vyrábaná spoločnosťou Intel. Tieto počítače sú navrhnuté tak, aby poskytovali vysoký výkon v kompaktnom balení. Intel NUC je obvykle vo formáte mini počítača alebo mini PC a je vybavený procesorom Intel, pamäťou RAM, úložiskom a ďalšími typickými funkciami osobných počítačov. Sú určené pre rôzne použitia, vrátane domáceho zábavného centra, kancelárskej práce, mediálneho servera a ďalších aplikácií, kde je potrebný výkonný a kompaktný počítačový systém.

Tab. 2 Špecifikácie Intel NUC
Tab. 2 Specifications of the Intel NUC

Procesor	
Model procesora	Intel Celeron N4505 Jasper Lake
Frekvencia procesora	2 GHz (2 000 MHz)
Počet jadier procesora	2 ×
Core Boost Frekvencia	2,9 GHz (2 900 MHz)
GPU značka/model	
Značka grafickej karty	Intel
Model grafickej karty	UHD Graphics

Android Studio

Android Studio pozostáva z grafického prostredia. Aby sa čo najlepšie využilo obmedzené prostredie obrazovky a aby obrazovka nebola zahltená, Android Studio zobrazuje

len niektoré z dostupných okien v danom okamihu. Niektoré z týchto okien sú kontextové a objavujú sa len vtedy, keď je kontext vhodný, zatiaľ čo iné okná zostávajú skryté, pokiaľ sa nerozhodneme ich zobraziť alebo naopak, zostanú viditeľné pokiaľ ich neskrýjeme. Pre využívanie Android Studio naplno, musíme pochopiť funkčnosť týchto okien, tiež ako a kedy ich zobraziť [10].

Visual Studio 2022

Visual Studio 2022 je integrované vývojové prostredie (IDE) vyvinuté spoločnosťou Microsoft. Je určené pre vývoj softvéru a podporuje rôzne programovacie jazyky, vrátane C#, C++, Python, a mnohé ďalšie. Verzia 2022 prináša množstvo nových funkcií a vylepšení, vrátane lepšieho výkonu, nových nástrojov pre cloudový vývoj a zlepšenú podporu pre moderné technológie ako napríklad .NET 6 a Windows 11.

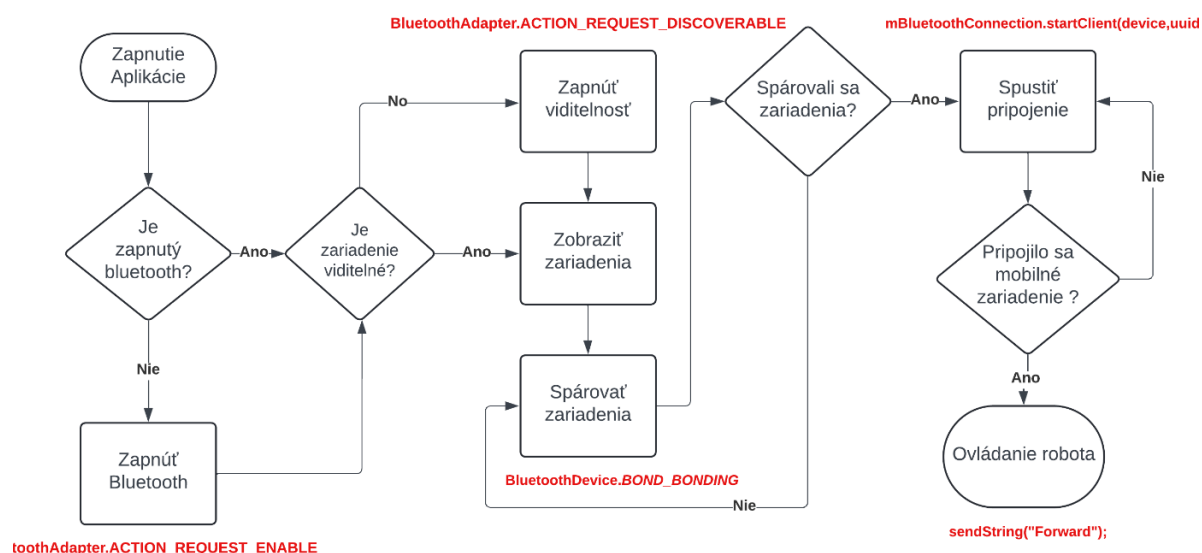
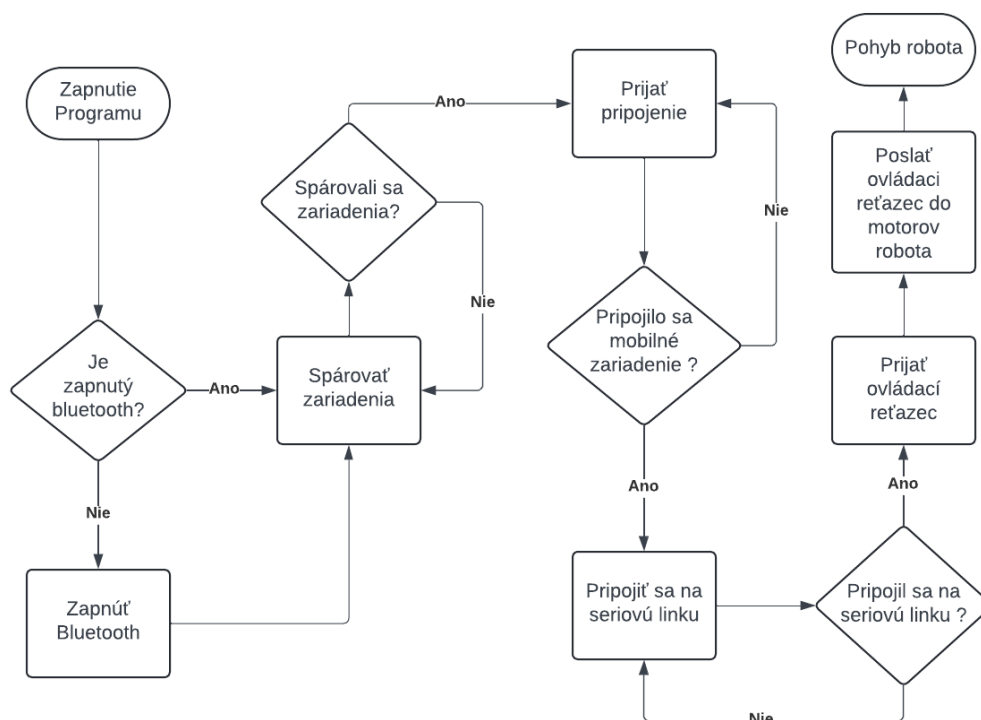


Fig. 2

Obr. 2 Vývojový diagram pre mobilnú aplikáciu
Development diagram for a mobile application.



Obr. 3 Vývojový diagram pre Intel NUC program
Development diagram for the Intel NUC program.

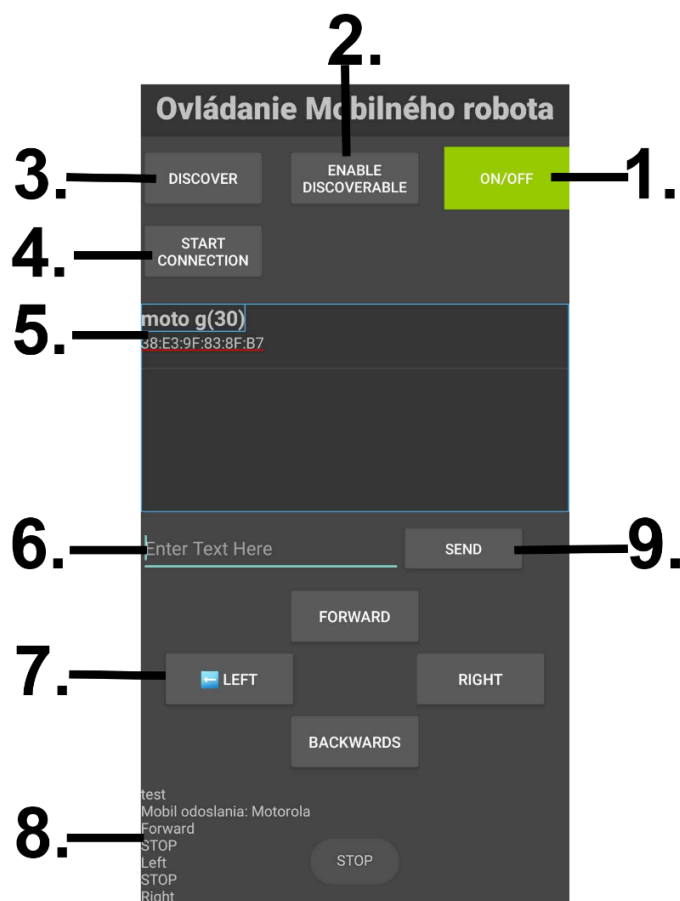
Fig. 3

3 Výsledky a diskusia

Mobilná aplikácia pre ovládanie robota

Mobilná aplikácia slúžiaca na ovládanie robota je navrhnutá s dôrazom na jednoduchosť a efektívnosť použitia. Pomocou funkcionality Bluetooth párovanie zariadení je umožnená spoľahlivá komunikácia medzi mobilným zariadením a robotom. Aplikácia ďalej umožňuje vytvorenie textovej komunikácie medzi pripojenými zariadeniami prostredníctvom Text Editoru, čím sa zabezpečuje plynulý tok informácií. Okrem toho je možné odosielať a prijímať správy cez aplikáciu, čo umožňuje rýchlu a bezproblémovú interakciu s robotom. Riadenie robota je ďalej zjednodušené prostredníctvom posielania riadiacich reťazcov z mobilného zariadenia. Aplikácia tiež zobrazuje prijaté správy na obrazovke, čo umožňuje užívateľovi sledovať a analyzovať informácie bezprostredne. Tento komplexný a intuitívny prístup k ovládaniu robota robí túto aplikáciu ideálnym nástrojom pre efektívne a presné riadenie robotických systémov.

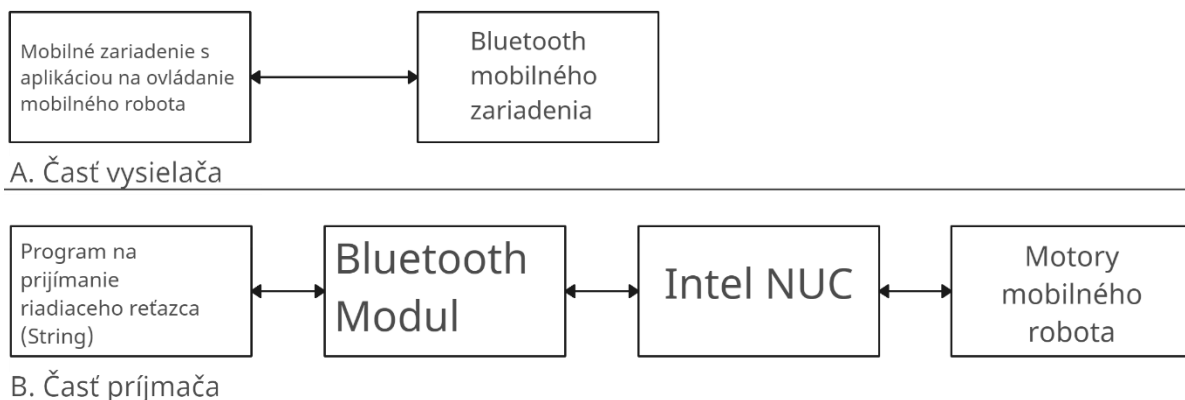
1. **ON/OFF:** Zapnúť/Vypnúť Bluetooth
2. **Enable Discoverable:** Viditeľnosť 300s
3. **Discover:** Zobrazí zariadenia na blízku
4. **Start Connection:** Prepojiť zariadenia
5. **Zariadenia na blízku**
6. **Text Editor:** Pre testovanie komunikácie
7. **Ovládanie robota**
8. **Prijaté správy**
9. **Send:** Odoslanie testovacej správy



Obr. 4 Mobilná aplikácia na ovládanie robota
Mobile application for controlling a robot.

Fig. 4

V blokovej schéme časti vysielča je mobilné zariadenie vybavené Bluetooth modulom ktorý umožňuje bezdrôtovú komunikáciu so zariadením v časti prijímača. Aplikácia na mobilnom zariadení slúži na ovládanie pohybu robota prostredníctvom užívateľského rozhrania. Používateľ cez aplikáciu vysiela riadiace reťazce, ktoré sú následne odosielané cez Bluetooth modul do časti prijímača.



Obr. 5 Bloková schéma navrhnutého systému
Block diagram of the proposed system.

V blokovej schéme časti prijímača je program spustený na zariadení Intel NUC na ktorom sa využíva Bluetooth modul. Bluetooth modul prijíma riadiace reťazce od

mobilného zariadenia v časti vysielача a prenáša ich do Intel NUC. Po prijatí riadiaceho reťazca program na Intel NUC pošle cez sériovú linku potrebné signály na riadenie motorov mobilného robota, čím sa vykonávajú požadované pohyby robota.

4 Záver

V tomto článku sme sa zamerali na návrh a implementáciu aplikácie na ovládanie mobilného robota v laboratórnych podmienkach prostredníctvom mobilného zariadenia s platformou Android. Na základe navrhnutého algoritmu sme vytvorili softvérové riešenie v jazyku JAVA vo forme grafického užívateľského rozhrania, umožňujúce základné ovládacie prvky robota. Komunikácia medzi mobilným zariadením a robotom prebiehala cez rozhranie Bluetooth. Naša navrhnutá aplikácia bola úspešne testovaná experimentálne na modeli malého mobilného robota v laboratórnych podmienkach. Napriek úspešnému dosiahnutiu stanoveného cieľa vytvorenia aplikácie na ovládanie mobilného robota, existuje priestor pre ďalší vývoj a zdokonaľovanie. Ďalšie experimenty a testovanie v rôznych prostrediach by mohli poskytnúť ďalšie poznatky a prispieť k rozvoju tejto technológie. Celkovo možno považovať prácu za úspešný krok v oblasti riadenia mobilných robotov pomocou mobilných zariadení, pričom sme potvrdili možnosť efektívneho využitia technológie Bluetooth a platformy Android na dosiahnutie žiadanej funkcionality.

5 Literatúra

J. Nádvorník, P. Smutný. 2014. Remote control robot using Android mobile device [online]. CarpathianCC, DOI:10.1109/CarpathianCC.2014.6843630 [cit. 15.03.2024].

GERBER, A. – CRAIG, C. 2015. *Learn Android Studio*. Vyd. USA: Apress Media, 2015. 484 s. ISBN 978-1-4302-6602-0

P. Papcun, I. Zolotova, K. Tafsi. 2016. Control and Teleoperation of Robot Khepera via Android Mobile Device through Bluetooth and WiFi [online]. ScienceDirect, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.12.032>

PLAYSTATION. 2024. *Playstation 5 ovládač* [online]. Dostupné na internete: < www.playstation.com >

BOX. 2024. *Xbox One X ovládač* [online]. Dostupné na internete: < www.xbox.com >

PLAYSTATION. 2024. *Playstation 4 ovládač* [online]. Dostupné na internete: < www.playstation.com >

RAZER. 2024. *Razer Wolverine V2* [online]. Dostupné na internete: < www.razer.com >

LOGITECH. *Logitech F710* [online]. Dostupné na internete: < www.logitech.com >

STEELSERIES. 2024. *Steelseries Nimbus+* [online]. Dostupné na internete: < steelseries.com >

TOTH, L. – HRUBY, D. – CVIKLOVIČ, V. – OLEJÁR, M. 2017. *Algorithms of autonomous mobile robots* Vyd. Slovak University of Agriculture in Nitra, 2017. 62 s. ISBN 978-80-552-1681-2

Súhrn

Článok popisuje návrh a implementáciu pre ovládanie mobilného robota v laboratórnych podmienkach pomocou mobilného zariadenia na platforme Android. Navrhnutý algoritmus riadenia je realizovaný v jazyku JAVA, v ktorom bolo vytvorené softvérové riešenie v podobe grafického užívateľského rozhrania pre základné prvky riadenia robota. Komunikácia medzi mobilným zariadením a mobilným robotom bola realizovaná prostredníctvom rozhrania Bluetooth. Riešenie je schopné ovládať mobilného robota pomocou navrhutej aplikácie. Navrhnuté riešenie bolo experimentálne otestované na modeli malého mobilného robota v laboratórnych podmienkach. Riadenie robotov v súčasnosti patrí k dôležitým časťami automatizovaných procesov v priemysle a poľnohospodárstve pri využívaní mobilnej robotiky.

Kľúčové slová:

Android Studio, Mobilný robot, Visual Studio, Intel NUC, Java, C#, Bluetooth, Mobilné zariadenie, Android, Diaľkové ovládanie

Pod'akovanie: Táto publikácia bola podporená Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR v rámci projektu KEGA 020SPU-4/2023: Implementácia virtualizácie fyzikálnych laboratórií pomocou riadiacich a automatizačných systémov v odbore Strojárstvo.

AUTOMATIZÁCIA REGULÁCIE TEPLoty VODY PRE CHOV ZVIERAT POMOCOU MIKROKONTROLÉRA AUTOMATION OF WATER TEMPERATURE REGULATION FOR ANIMAL BREEDING USING A MICROCONTROLLER

ĽUBOŠ SVORAD¹ – VLADIMÍR CVIKLOVIČ²

Abstract

The bachelor's thesis is focused on the design and implementation of automatic water temperature regulation for animal husbandry. The design of the device is divided into suitable elements of sensors and electronic components, hardware connection and software selection. The control element of the system is an Arduino UNO development board with an SMD processor and a CH340 converter. The development board uses the Atmega328 microprocessor for communication and control. The system uses a sensor to monitor the water temperature, which it automatically switches on with the help of a switching circuit that provides a group of transistors with a current to the spiral, which ensures the heating of the water.

Power is provided by a photovoltaic solar panel with a power of 70W, which is sufficient to power the entire system. Automatic regulation will be taken care of by a program that will be loaded into Atmega328 microprocessors. The algorithm of this controller will be written in the C programming language.

Keywords: Arduino UNO, Atmega 328, microcontroller, microprocessor

1 Úvod

V dnešnej dobe sa na Slovensku rozširuje pasienkový chov hovädzieho dobytku na pasienkoch a to aj počas zimy. Čo farmárom komplikuje starostlivosť o zvieratá sú mrazy, ktoré pôsobia počas zimy na napájadlá, v ktorých voda zamrzá, čo zdržuje farmárov pri výmene vody. Zvieratá nemajú počas dňa prístup k vode z toho dôvodu, lebo je zamrznutá. Taktiež by dané zariadenie mohlo nájsť využitie či už v maštaliach, ktoré nie sú vykurované, alebo aj v domácnosti pre domácich maznáčikov, ako sú psy alebo hospodárske zvieratá. Z hľadiska toho, že na pasienkoch nie je k dispozícii elektrický prúd sme zabezpečili napájanie elektrickej špirály prostredníctvom fotovoltackých panelov, ktoré nám vyrobí dostatočné množstvo energie.

Úlohou tejto práce je vytvoriť taký model regulácie, ktorý zabezpečí teplotu vody nad bodom mrazu nezávisle od vonkajších faktorov. V súčasnej dobe patrí medzi najpoužívanejšie formy regulácie PID regulácia. My sme sa zamerali na regulovanie pomocou mikropočítača, ktorý zabezpečuje meranie teploty pomocou tepelného senzora a na základe nameraných hodnôt ovláda prúd tečúci do špirály a čím reguluje teplotu vody.

Regulačný obvod pozostáva z jednej veličiny, ktorú budeme meniť pomocou aktívneho člena. Teplotu budeme zvyšovať za pomoci odporového drôtu navinutého do špirály, ktorá zabezpečí ohrievanie vody. Odporový drôt sme zvolili pre jeho nízku hmotnosť a kompaktné rozmery, keďže prototyp našej regulácie bude skúšaný na psej miske na vodu.

¹Ľuboš Svorad, SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky.
xsvorad@uniag.sk

²doc. Ing. Vladimír Cviklovič, Ph.D., SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky.
vladimir.cviklovic@uniag.sk

Oddelenie odporového drôtu od misky bude zabezpečené pomocou teplo vodivej podložky, ktorá elektricky oddelí vodivý odporový drôt od misky, aby bola miska izolovaná od napätia a zároveň tepelne vodivá podložka nám prevedie teplo na spodok misky kvôli žiadúcemu ohrevu vody. Z tohto dôvodu sme potrebovali nájsť čo najkompaktnejšie zariadenie, ktoré by spĺňalo naše požiadavky. Úroveň výkonu ohrevu vody bude regulovaná PWM výstupom z mikropočítača a o spínanie prúdu bude riešené cez tranzistory, ktoré pri poklese teploty zopnú prúd na odporový drôt. Pre lepšiu účinnosť ohrevu bude zariadenie zaizolované dostatočnou vrstvou vhodného izolantu, aby sme dosiahli čo najmenšie tepelné straty.

2 Materiál a metódy

Pri návrhu regulácie teploty vody pre chov zvierat bolo potrebné naštudovanie problematiky a faktorov ovplyvňujúcich ohrev vody. Návrh ohrievania vody, možno rozdeliť do dvoch častí. V prvej časti sme sa venovali samotnému návrhu a vybrania vhodných komponentov, ako sú snímače teploty vody, veľkosť odporového drôtu, ktorý nám zabezpečí ohrev vody. Ďalej je to výber vhodných tranzistorov, ktoré sú schopné spínať požadované elektrické prúdy. Nakoniec výber vhodného solárneho panela, ktorý nám zabezpečí napájanie celej sústavy a ostatných komponentov na realizáciu daného systému.

V druhom kroku bolo možné navrhnuť software na ovládanie regulácie teploty vody a následné naprogramovanie mikrokontroléra v programovacom prostredí Arduino IDE.

Mikrokontrolér

Ako riadiaca jednotka systému je použitý mikrokontrolér Arduino UNO R3. Arduino UNO R3 je vývojová doska s mikrokontrolérom typu ATmega328. Vývojová doska obsahuje 14 digitálnych vstupných alebo výstupných vývodov, z toho môže byť 6 použitých ako výstup PWM a 6 analógových vstupov. Disponuje 16 MHz kryštálový oscilátor, pripojenie cez USB konektor, pomocou ktorého je možné dosku programovať, a ktorý tiež slúži na sériovú komunikáciu medzi Arduino a PC. ATmega328 obsahuje 32 kB flash pamäť (0,5 kB použité pre bootloader). Flash pamäť slúži na ukladanie programu. SRAM pamäť o veľkosti 2 kB a EEPROM pamäť o veľkosti 1 kB. Obsahuje taktiež napájací konektor, ICSP rozhranie a nulovacie tlačidlo.

Túto dosku budeme programovať v prostredí Arduino IDE. Na programovanie EEPROM pamäte mikrokontroléra je dostupná knižnica "EEPROM.h". Do EEPROM pamäte budeme ukladať nastavenia systému pomocou tejto knižnice. EEPROM má však životnosť približne 100 000 mazaní/zápisov. Preto budeme na zápis údajov na adresy používať len príkaz "EEPROM.update". Tento príkaz prepíše hodnotu na adrese len v tom prípade, ak sa zapisovaná hodnota líši od hodnoty uloženej na tejto adrese.

Senzor teploty vody

Ako senzor merania teploty sme použili teplotný snímač DS18B20. Snímač poskytuje 9-bit a 12-bit merania teploty v stupňoch Celzia a má zabudovanú funkciu alarmu s trvalou používateľsky programovateľnou hystereziou. Snímač komunikuje cez 1-Wire zbernicu, ktorá vyžaduje iba jednu dátovú linku a uzemnenie pre komunikáciu s mikroprocesorom. Okrem toho môže DS18B20 odvoditť napájanie priamo z dátovej linky, kedy eliminuje potrebu externého napájania. Každý DS18B20 má jedinečný 64-bitový sériový kód, ktorý umožňuje viacerým DS18B20 fungovať 1-wire rozhraním. Preto je jednoduché použiť jeden mikroprocesor na komunikáciu s viacerými snímačmi typu DS18B20 rozmiestnenými v priestore. Aplikácie, ktoré môžu využívať túto funkciu zahŕňajú kontrolu prostredia, monitorovanie teploty systémov vo vnútri budov, zariadení alebo strojov a systémy monitorovania a kontroly procesov.

Technické parametre senzora:

- Pracovné napätie: 3,0 V – 5,5 V
- Rozsah merania: -55 °C až 125 °C
- Chyba merania $\pm 0,5$ °C alebo ± 2 °C
- Teplotný sklz: $\pm 0,2$ °C

Snímač meria najpresnejšie v rozmedzí od -10 °C až do 85 °C

Využitie:

- Termostatické ovládanie.
- Priemyselné systémy.
- Spotrebné produkty.
- Teplomery.
- Tepelne citlivé systémy.

Špirála

Pri návrhu špirály sme vychádzali z výpočtov podľa, ktorých sme určili veľkosť množstva tepla, ktoré je potrebné na zohriatie vody a následne z toho sme vypočítali vhodnú veľkosť odporového drôtu čo nám vyšlo 3,9 Ω . Zvolili sme volfrámový odporový drôt s dĺžkou 1 m a odporom 3,93 Ω .

Parametre:

Odpor na dĺžku 1m = 3,93 Ω

Max. pracovná teplota 1200 °C

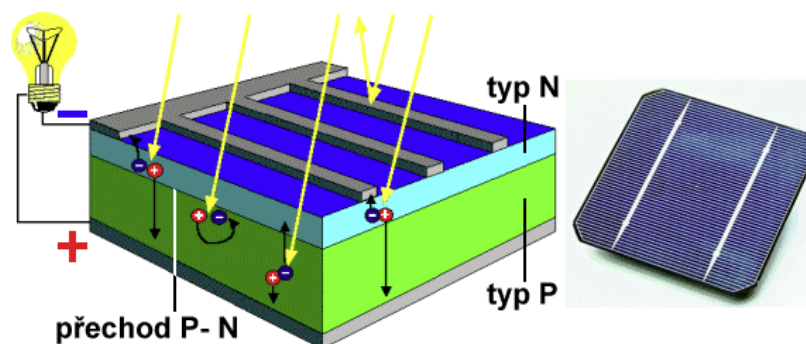
Solárne fotovoltaické panely

V porovnaní s inými zdrojmi elektrickej energie má prevádzka fotovoltaického zariadenia celú radu ekologických aj prevádzkových výhod. V našich klimatických podmienkach je však potreba počítať i s nevýhodami, ktoré môžu obmedziť alebo celkom znemožniť efektívne využitie fotovoltaického zariadenia.

Výhody:

- používa sa prakticky nevyčerpatelný zdroj energie,
- pri prevádzke nevznikajú žiadne emisie alebo iné škodlivé látky,
- prevádzka zariadenia prakticky nevyžaduje obsluhu, jednoduchá elektronická regulácia,
- zariadenia majú vysokú prevádzkovú spoľahlivosť.

Fotovoltaický článok je v podstate polovodičová dióda. Jeho základom je tenká kremíková dosička s vodivosťou typu P. Na ňu sa pri výrobe vytvára tenká vrstva polovodiča typu N, obe vrstvy sú oddelené tzv. prechodom P – N. Osvetlením článku vznikne v polovodiči vnútorný fotoelektrický jav a v polovodiči sa z kryštálovej mriežky začnú uvoľňovať záporné elektróny. Na prechode P – N sa vytvorí elektrické napätie, ktoré dosahuje u kremíkových článkov veľkosti zhruba 0,5 V (obr. 1). Energia dopadajúceho svetla sa v článku mení na elektrickú energiu. Ak pripojíme k článku pomocí vodičov spotrebič, začnú sa kladné a záporné náboje vyrovnávať a obvodom začne pretekať elektrický prúd. Ak je treba väčšie napätie alebo prúd, zapájajú sa jednotlivé články sériovo či paralelne a skladajú sa z nich fotovoltaické panely.



Obr. 1: Princíp fungovania fotovoltaiického panelu

Fig.1: The principle of operation of the photovoltaic panel

My sme zvolili po výpočtoch 70 W monokryštalický solárny panel o rozmeroch 900x540x30 mm. Monokryštalický solárny článok sa skladá z niekoľkých článkov naraz, z ktorých je každý tvorený štruktúrou jedného kryštálu. Vyrába sa zvaraním niekoľkých vrstiev kremíka. Články majú čiernu farbu a sú jasne rozlíšiteľné. Z troch typov článkov sú monokryštalické tie ktoré dokážu premieňať slnečnú energiu na elektrickú z najväčšou účinnosťou jeho životnosť je približne 30 rokov.

Technické parametre:

- odolná štruktúra,
- oloxovaný hliníkový rám,
- maximálny výkon: 70 W.
- Napätie (V_{mp}): 17,6 V.
- Ampacita: 4,01 V.
- Napätie naprázdno: 21,6 V.
- Skratový prúd (ISC): 10,2 A.

Teplovodivá podložka

Na zaistenie dobrej tepelnej vodivosti, ale zároveň potreby elektricky odizolovať špirálu od misky sme zvolili ako vhodnú súčasť tepelne vodivú podložku, ktorá zabezpečí prechod tepla, ale zároveň nám elektricky odizoluje odporový drôt od misky.

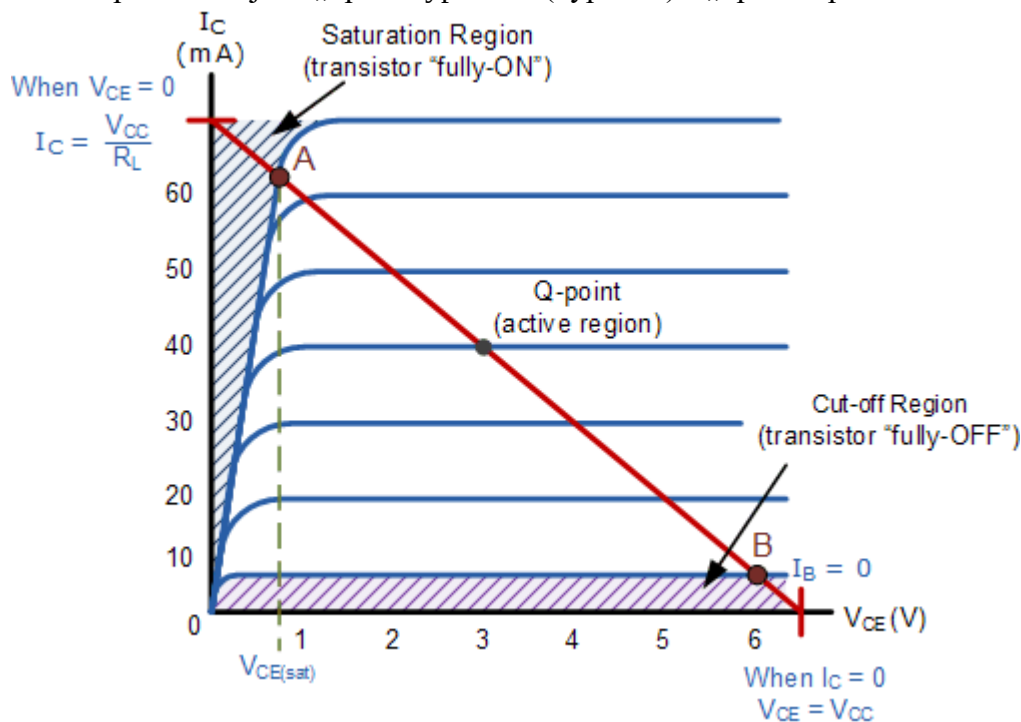
Tepelná podložka spočíva v tom, že vyplní vzduchovú medzeru medzi ohrievaným respektíve chladeným materiálom a tepelne vodivým materiálom, čím sa odstráni vzduchová medzera a zároveň pôsobí ako tepelný most medzi povrchom komponentu a povrchom chladiča. Podložky sú skonštruované z inovatívnej a pokrokovej silikónovej gumy s vysokou tepelnou vodivosťou a výnimočnou elektrickou pevnosťou. Vyrábajú sa v hrúbkach 0,5 až 12 mm. Tento univerzálne využiteľný materiál sa dá nasadiť v nespočetnom množstve aplikácií tepelného manažmentu (odvod tepla). Teplo-vodivé podložky ponúkajú dobré možnosti prispôbenia, jednoduchú montáž a možnosť vysekať potrebný tvar. Sú dostupné ako suché podložky, tiež s lepiacou páskou.

Technické parametre:

- Tepelná vodivosť: 3,2 W/mK
- Minimálna prevádzková teplota: -40 °C
- Maximálna prevádzková teplota: 260 °C
- Vysoký elektrický prieraz až do 6,5 kV/mm

Tranzistorový spínač

Tranzistory typu NPN a PNP môžu fungovať ako polovodičový spínač typu ON/OFF predpätím základnej svorky tranzistorov (obr. 2). Polovodičové spínače sú jednou z hlavných aplikácií pre použitie tranzistora na spínanie jednosmerného výstupu „ON“ alebo „OFF“. Niektoré výstupné zariadenia, ako sú LED diódy, vyžadujú iba niekoľko miliampérov na logickej úrovni jednosmerného napätia, a preto môžu byť riadené priamo výstupom logickej brány. Zariadenia s vysokým výkonom, ako sú motory, solenoidy alebo lampy, však často vyžadujú viac energie, než je energia dodávaná bežným logickým hradlom, takže sa používajú tranzistorové spínače. Oblasti činnosti tranzistorového spínača sú známe ako oblasť nasýtenia a oblasť cut-off. To znamená, že môžeme ignorovať prevádzkové predpätie bodu Q a obvody napät'ového deliča potrebné na zosilnenie a použiť tranzistor ako spínač tak, že ho budeme posúvať tam a späť medzi jeho „úplné vypnutie“ (vypnutie) a „úplné zapnutie“.



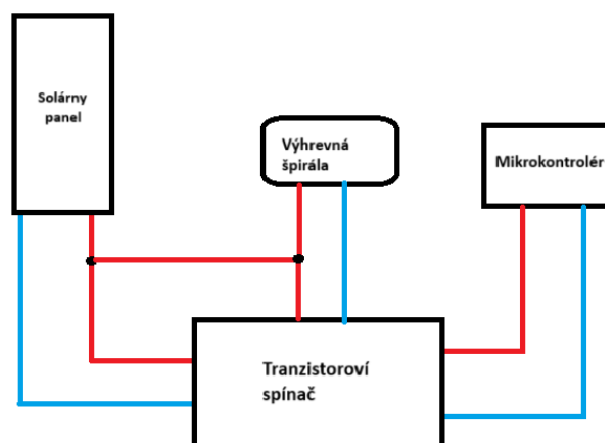
Obr. 2: Graf pracovného bodu

Fig.2: Working point graph

3 Výsledky a diskusia

Návrh automatickej regulácie teploty (obr. 3) vody pre chov zvierat sme začali s navrhovaním vhodnej veľkosti špirály, ktorá zabezpečuje ohrev vody. Ďalej sme zistili, aké veľké množstvo tepla treba dodať vode, aby sa zohriala a taktiež sme si z toho odvodili výkon špirály, aby sme dokázali vode odovzdať potrebné množstvo tepla. Napájanie je riešené pomocou solárneho panela, vďaka ktorému vieme znížiť prevádzkové náklady na minimum. Riadenie zabezpečuje mikropočítač Arduino IDE, ktoré zabezpečuje reguláciu teploty vody. O poskytovanie údajov pre mikropočítač sa stará tepelný senzor DS18B20 pomocou, ktorého vieme regulovať a udržiavať teplotu v určitej úrovni. Zabezpečenie spínania prúdu je riadené za pomoci tranzistorov BC547 a IFR640, ktoré nám umožnia spínanie väčších prúdov.

Bloková schéma návrhu zariadenia:



Obr. 3: Bloková schéma zariadenia

Fig.3: Device blok diagram

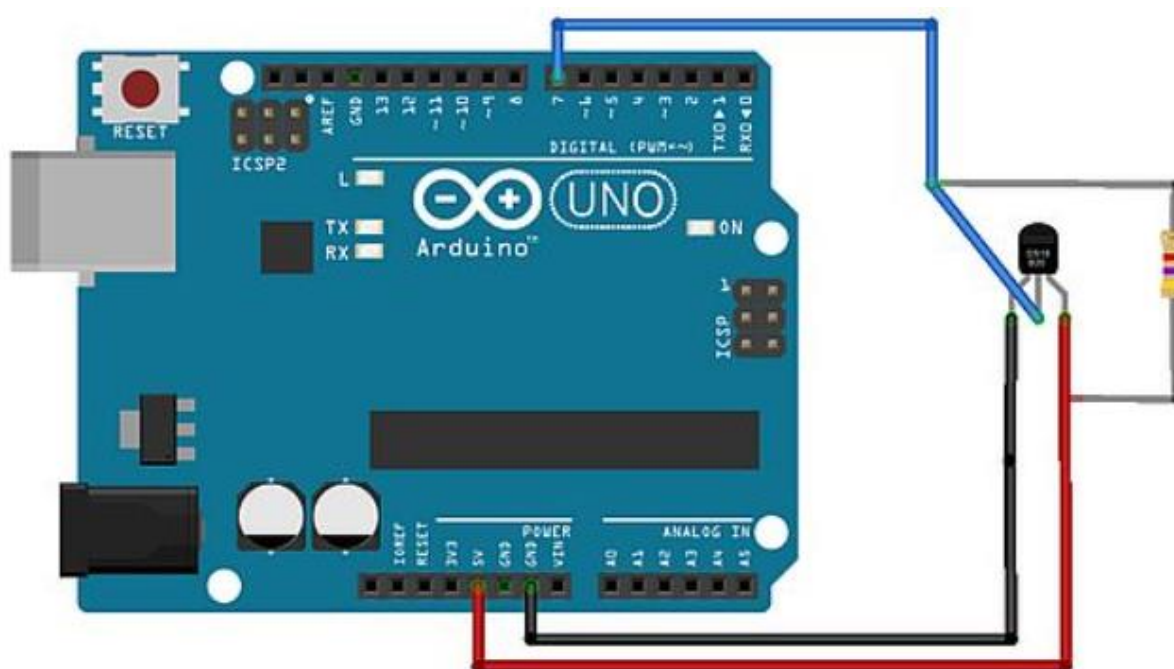
Riadenie zariadenia

Riadenie zabezpečuje mikropočítač Arduino UNO, ktoré je napájané solárnym panelom s výkonom 70 W a preto musí napätie prechádzať cez tranzistorový spínač (Obr. 5), ktorý pozostáva z odporov a tranzistora BC547 a tranzistora IRF64. Obvod zabezpečí spínanie prúdu na špirálu. Správna regulácia teploty je daná snímačom DS18B20, ktorý poskytuje mikropočítaču informáciu o teplote vody, a na základe týchto údajov je regulovaný prúd špirály.

Zapojenie snímača teploty

Senzor je napájaný jednosmerným napätím vystupujúcim s mikropočítača 3,5 V – 5,5 V. Senzor je napájaný na Arduino UNO (obr. 4) dvomi napäťovými vodičmi a jedným dátovým vodičom pomocou, ktorého odovzdáva signál do mikropočítača a následne mikropočítač reaguje na zmenu teploty cez spínač, ktorý zabezpečí zopnutie prúdu na špirálu.

Pri zapojení tepelného senzora sme museli použiť medzi dátový a napájací vodič 10 kΩ odpor. Pri nepoužití daného odporu neprebíha komunikácia so snímačom korektne.



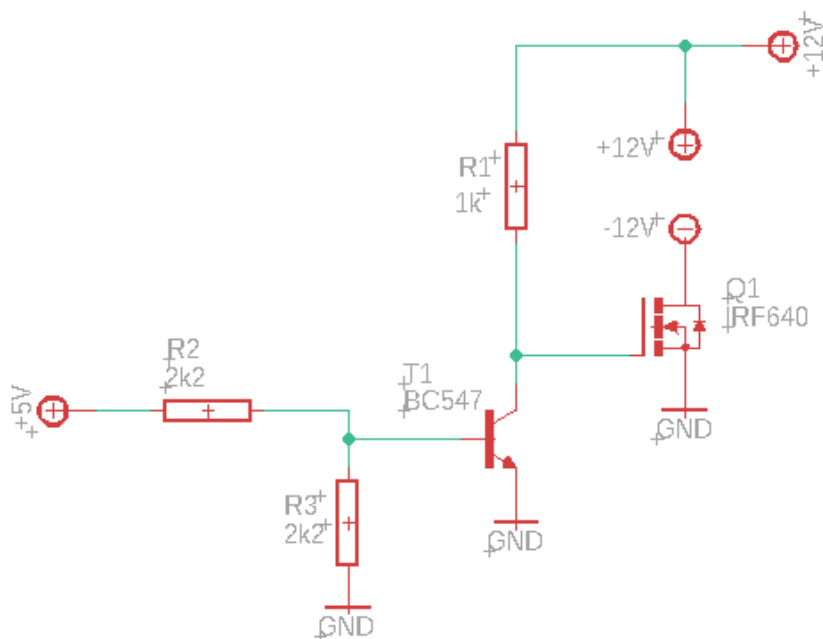
Obr. 4: Schéma zapojenia tepelného senzora

Fig.4: Circuit diagram of the thermal sensor

Zapojenie tranzistorového spínača

Spínanie prúdu na špirálu sme riešili pomocou tranzistorového spínača (obr. 5), kde sme zvolili tranzistor BC547 a tranzistor IRF640 ktoré sú schopné spínať väčšie elektrické prúdy.

Schéma tranzistorového spínača:

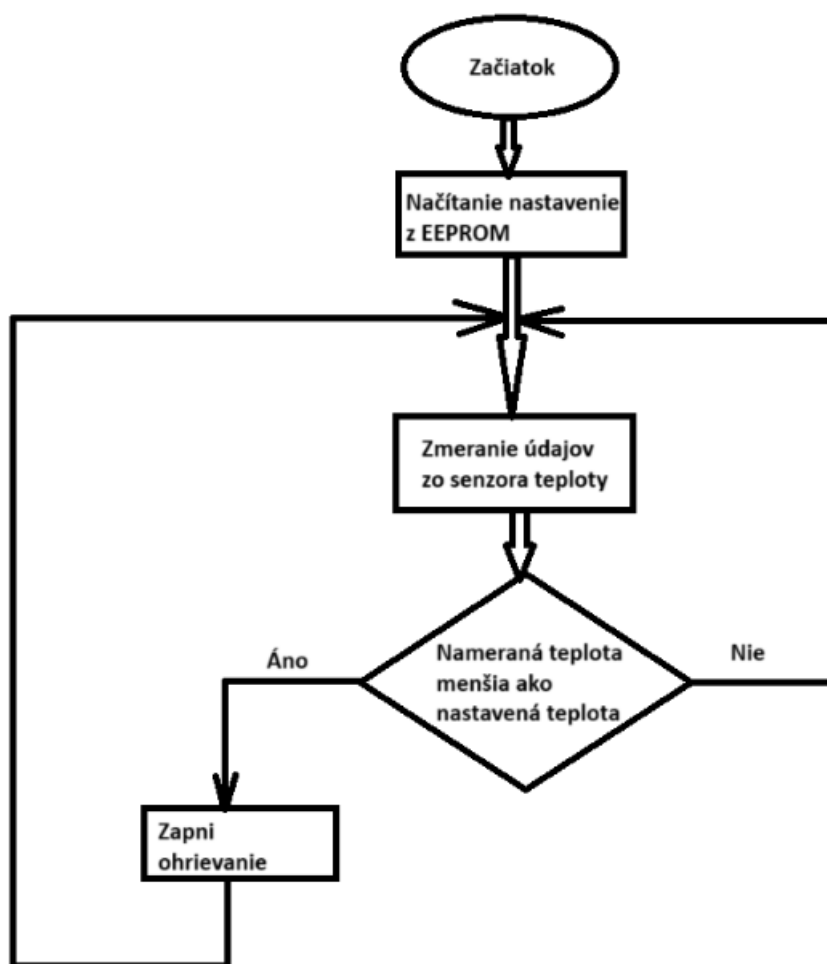


Obr. 5: Schéma zapojenia tranzistorového spínača

Fig.5: Circuit diagram of the transistor switch

Programová časť zariadenia

Zariadenie je naprogramované tak, aby bolo plne samostatné bez potreby zasahovania ľudského faktora. Pomocou programu sme zabezpečili meranie teploty a následne reguláciu. Automatická regulácia funguje na princípe sledovania teploty vody a za pomoci senzora DS18B20 sa automaticky pri kladných hodnotách teploty vypne napájanie špirály a zas naopak pri teplotách blízkyh 0 °C zas program zapne napájanie na špirálu a zohreje vodu nad bod mrazu. Zariadenie sme naprogramovali za pomoci vývojového prostredia Arduino IDE, ktoré nám umožnilo jednoducho zautomatizovať ohrievanie vody.



Obr.4: Vývojový diagram automatizácie

Fig.4: Automation flowchart

4 Záver

V práci sme navrhli a skonštruovali automatizované ohrievanie vody pre chov zvierat. Ako riadiaca jednotka daného systému je vývojová doska Arduino UNO. Navrhnutý a zostrojený systém dokáže automaticky merať teplotu vody a na základe získaných údajov riešiť vzniknutú situáciu, a to možným riešením buď zopnutia výhrevnej špirály alebo nechania výhrevnej špirály v pokojovom stave. Zariadenie je navrhnuté tak, aby bolo energeticky nezávislé, čo zabezpečuje solárny fotovoltaický panel, pomocou ktorého je napájaný celý systém. Dané zariadenie nájde uplatnenie či už pri domácich zvieratách, ale taktiež aj v chove

hospodárskeho dobytku so zachovaním princípu len s nutnosťou zväčšenia výkonu a množstva ohriatej vody. Pri ohrevoch väčších objemov vody treba zabezpečiť výkonnejšie fotovoltaičné panely a taktiež nadimenzovať výkonnejšiu vyhrievaciu špirálu.

5 Literatúra

ElectronicsTutorials [online]. [cit. 2024-18 - 03]. Dostupné na: < https://www.electronicstutorials.ws/transistor/trans_4.html >

P. Augusta a i. 2001. Veľká kniha o energii. Praha. [cit. 2024-18 - 3]. 125 s. **ISBN** 80-238-6578-1

Datasheet Arduino UNO R3 [online]. [cit. 2024-18-03]. Dostupné na: < <https://octopart.com/datasheet/arduino+uno+rev3-arduino-27999717> >.

Datasheet DALLAS DS18B20 [online]. [cit. 2024-18-03]. Dostupné na: < <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/58557/DALLAS/DS18B20.html> >.

Datasheet Odporový drôt [online]. [cit. 2024-18-03]. Dostupné na: < <https://media.distrelec.com/Web/Downloads/03/03/06080303.pdf> >.

Datasheet Ampul teplovodivá podložka [online]. [cit. 2024-18-03]. Dostupné na: < https://www.ampul.eu/sk/teplovodive-pasty/4606-2037-teplovodiva-podlozka-32w-mk-100x100mm?SubmitCurrency=1&id_currency=2&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwn7mwBhCiARIsAGoxjaKRZf2BWKpe8U52OZl7J2Z0yFmVcwURzqluDh67AMNuzSFOJg013jUaApUXEALw_wcB#/503-hrubka-40mm >.

Súhrn

Práca je zameraná na návrh automatického ohrievania vody pre chov zvierat a jej následnú realizáciu. Návrh je rozdelený do výberu kompatibilných komponentov, senzora, vhodných súčiastok, zapojenie hardvéru a zhotovenie softvérového vybavenia zariadenia. Riadiacou časťou zariadenia je vývojová doska Arduino UNO s mikrokontrolérom ATmega328. Zariadenie využíva na automatickú prevádzku senzor teploty vody, vďaka ktorému zistí, kedy má zopnúť výhrevnú špirálu a tým zabezpečí stále optimálnu teplotu vody.

Kľúčové slová: Mikrokontrolér, automatické ohrievanie vody, senzor teploty

Pod'akovanie: Táto publikácia bola podporená Kultúrnou a edukačnou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR v rámci projektu KEGA 020SPU-4/2023: Implementácia virtualizácie fyzikálnych laboratórií pomocou riadiacich a automatizačných systémov v odbore Strojárstvo.

VPLYV KOLESOVÉHO A PÁSOVÉHO TYPU PODVOZKU TRAKTORA CLAAS XERION NA UTLAČENIE PÔDY EFFECT OF THE WHEEL AND TRACK TYPE OF CLAAS XERION TRACTOR CHASSIS ON SOIL COMPACTION

IVAN TOMČÍK¹ — MICHAL URDA² – BENJAMÍN ZVARA³ - JANA GALAMBOŠOVÁ⁴

Abstract

Soil compaction is one of the most critical problems of today's crop production. The aim of the work was to compare the effect of different types of chassis of the Claas Xerion tractor on soil compaction. Measurements were conducted in field conditions with 3 assessed variants: wheel tractor, wheel tractor using „CRAB“ mode, track tractor. For each variant, measurements were conducted before and after the first machine pass. Following the variants were trafficked with wheel and track tractor as second pass. Based on the obtained results we can conclude that the lowest compaction was achieved by wheel tractor using the „CRAB“ mode. Second pass of machine increased the compaction with favourable results for track tractor.

Key words: crab steering, soil compaction, track type, tractor chassis, wheel type

1 Úvod

Využívanie poľnohospodárskej techniky s vysokou hmotnosťou spôsobilo, že odhadom 68 miliónov ha ornej pôdy je zhutnenej (Hamza a Anderson, 2005). Prognózy ukazujú, že problém zhutnenej pôdy v orebných systémoch pretrváva napriek stratégiám na predchádzanie zhutňovania, ako je pôdoochranné obrábanie pôdy a poľnohospodárstvo s riadeným pohybom strojov po poli. (Batey, 2009 ; Hamza a Anderson, 2005).

Zhutnenie pôdy sa prejavuje deformáciou pôdnej štruktúry a znížením štruktúrnej stability pôdných agregátov. Neustále zhutňovanie pôdy má nepriaznivé následky, ako sú obmedzená infiltrácia vody do pôdy, prísun živín z pôdy pre rastliny, či zhoršenie podmienok pre koreňový systém rastlín (Janák, 2020). Postihuje všetky druhy pôd, avšak najnáchylnejšie na druhotné zhutnenie sú ťažšie a stredne zrnité pôdy (piesočnato-hlinité a hlinité). U ťažších pôd dochádza ku kombinácii primárneho (genetického) zhutnenia pôdy zapríčineného vlastnou hmotnosťou pôdných vrstiev a sekundárneho zhutnenia, ktoré je spôsobené operáciami na pôde (Ďuďák, 2015).

Zhutnenie pôdy je priamo ovplyvnené hmotnosťou strojovej techniky, a veľkosťou a hustením pneumatík. Nižšie zaťaženie náprav spôsobuje zhutnenie sústredené bližšie k povrchu pôdy, pričom vysoké zaťaženie sa sústreďuje hlbšie a je náročné ho odstrániť. Rovnaké zaťaženie strojovej techniky a veľkosť pneumatiky spôsobuje pri vlhkých podmienkach zhutnenie sústredené v oveľa väčšej hĺbke v porovnaní so suchými podmienkami. Keďže hlboké zhutnenie presahuje rámec zvyčajnej hĺbky obrábania pôdy, tento druh zhutnenia bude

Bc. Ivan Tomčík, Bc. Michal Urda, Bc. Benjamín Zvara, doc. Ing. Jana Galambošová, PhD. – Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, Technická fakulta, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, ivo.tomcikk@gmail.com, michalurda1@gmail.com, benjaminzvara@gmail.com, jana.galambosova@uniag.sk

pretrvávajú na rozdiel od plytkého zhutnenia, ktoré sa môže odstrániť obrábaním pôdy (Ďudák, 2015).

Existujú rôzne stratégie na zníženie zhutňovania pôdy spôsobeného poľnohospodárskymi strojmi. Traktory a prívesy môžu byť vybavené tzv. dvojmontážou, pneumatikami typu terra alebo pásovým podvozkom (gumené pásy) (Gysi, 2020). Výhody pásových podvozkov publikovali napr. (Ansorge – Godwin, 2007).

Všetky súčasti traktorov vrátane pneumatík prechádzajú neustálym vývojom. Výrobcovia pneumatík vyvíjajú stále nové konštrukčné riešenia s cieľom dosiahnuť čo najlepšie výsledky. Ide najmä o snahu o zníženie tlaku hustenia pneumatík, predovšetkým kvôli pozitívnemu vplyvu na výkonové vlastnosti traktora a na jeho hospodárnosť. Ďalším dôležitým aspektom, kvôli ktorému dochádza k neustálemu vývoju, je zníženie tlaku pneumatiky, ktorým pôsobí na pôdu (Janák, 2020).

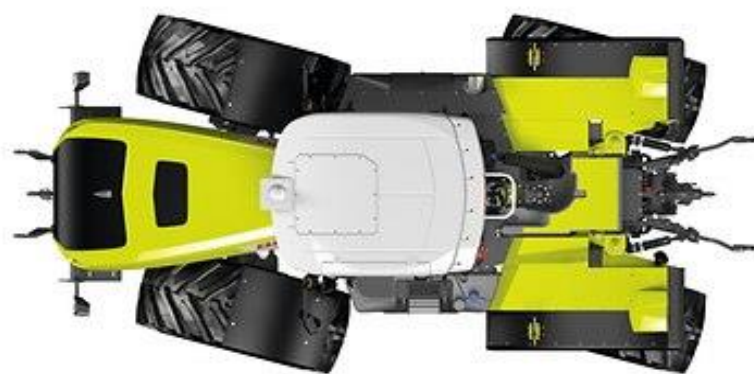
Tzv. dvojmontáž pozostáva z dvoch kolies namontovaných na rovnakej náprave. Prídavné koleso je pripojené ku klasickému kolesu namontovanom na náprave. Vďaka zväčšenej kontaktnej ploche dvojmontáž výrazne znižuje tlak na pôdu.

Podvozok traktora môže byť vybavený gumenými pásmi. Kvôli veľkej kontaktnej ploche stopy pásu je tlak na pôdu nízky. Gumové pásy sa ale pri používaní na cestných komunikáciách opotrebovávajú rýchlejšie. Gumové pásy majú vyššiu obstarávaciu cenu, preto sú užitočné predovšetkým v prípade, keď je vzdialenosť medzi parcelami a podnikom menšia. (Gysi, 2020)

Princíp smerového riadenia pásových traktorov sa zásadne odlišuje od riadenia kolesových traktorov, čo je spôsobené samotnou konštrukciou pásového podvozku. Smerové riadenie kolesových traktorov sa spravidla uskutočňuje vytočením predných riadiacich kolies do požadovaného smeru jazdy. Niekedy pri otáčaní traktorovej súpravy na úvratiach sa za účelom zmenšenia polomeru otáčania súčasne s vytočením predných riadiacich kolies pribrzdzuje aj jedno zadné koleso traktora. Výnimku v tomto smere tvoria kolesové traktory s kĺbovým zalamovacím rámom. Princíp smerového riadenia klasických pásových traktorov spočíva v znížení rýchlosti jedného pásu, prípadne v jeho úplnom zastavení. (Kosiba, Žikla, 2020).

V súčasnosti máme možnosť redukovat' zhutnenie pôdy i tým, že využijeme riadenie náprav v tzv. *krabom chode*. (Obr. 1 Obr. 1) Dochádza tu k vyoseniu ťažného prostriedku buď do ľavej alebo pravej strany v smere jazdy, kde každá pneumatika vytvára samostatnú stopu, a tým sa redukuje zhutnenie pôdy. Tento typ riadenia je možné kombinovať i s nízkotlakovými pneumatikami s možnosťou nastavenia tlaku priamo na poli. (CLAAS, 2023) .

Cieľom predkladanej práce bolo porovnanie vplyvu rôznych typov podvozkov traktora CLAAS Xerion na utlačenie pôdy. Porovnávaný bol kolesový traktor, kolesový traktor v režime „krabí chod“ a pásový traktor.



Obr. 1 Režim „krabí chod“ traktora Claas Xerion 5000 Trac
Crab steering mode of Claas Xerion 5000 Trac tractor

2 Materiál a metódy

Fig. 1

Experimentálne merania boli realizované na parcele Štrkovňa (lat. 48,225520, long. 17,525630) pri obci Pusté Úľany, keďže na nej v danom období nebol založený porast. Zároveň bolo prihliadané na fakt, že na danej parcele nikdy nebola realizovaná intenzívna výroba (pestovanie zeleniny) a je predpoklad, že štruktúra pôdy nebude tak heterogénna ako pri parcelách, kde sa zelenina na podniku pestuje. V prvom kroku bola zhodnotená variabilita parcely na základe *satelitných snímok* (Obr. 2) a bolo vytýčené miesto, kde predpokladáme na základe satelitných snímok homogénne pôdne podmienky.

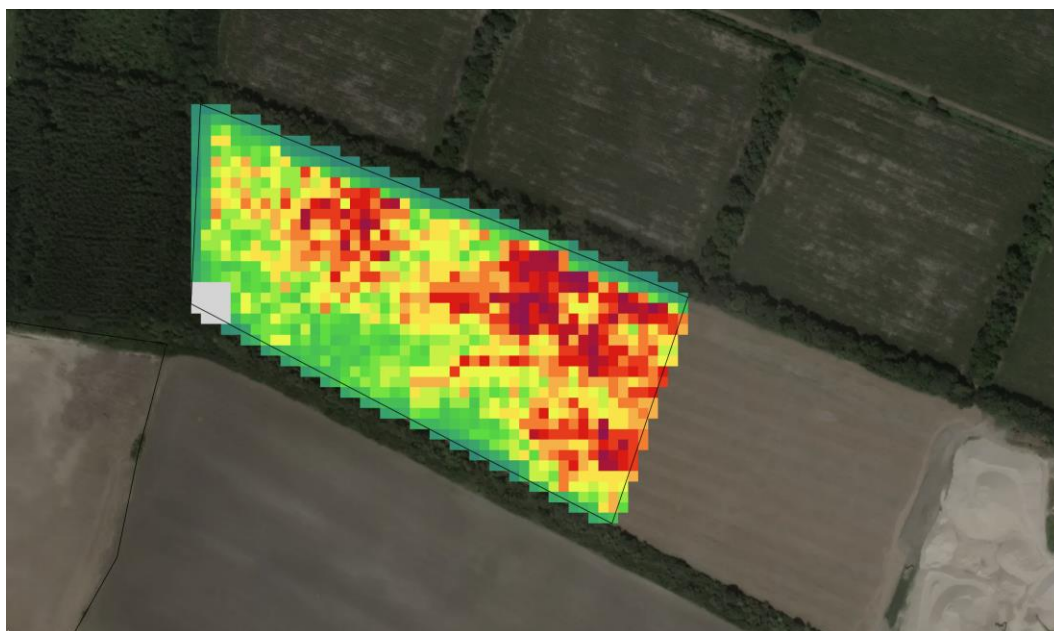


Fig. 2

Obr. 2 Náhľad na parcelu prostredníctvom NDVI indexu (Zdroj: Onesoil.ai)
Experimental field with the indication of NDVI index variability (Source: Onesoil)

Cieľom práce je porovnať vplyv rôznych typov podvozkov traktora Claas (model Xerion) na utlačenie pôdy. Technické parametre *použitých traktorov sú uvedené v (Tab. 1) a ()*. Vzhľadom na ich rozdielnu hmotnosť bolo potrebné traktory doťažiť.

Tab. 1 Technické parametre traktora s kolesovým podvozkom
 Tab. 1 (Technical parameters of a tractor with a wheeled chassis)

Claas Xerion 5000 Trac	
Výkon motora Kw / hp	390/ 530
Celkový objem motora / počet valcov	12,8/ 6
Max. pojazďová rýchlosť, km	40
Rázvor, mm	3 600
Celková dĺžka , mm	7 163
Celková výška , mm	3 791
Celková šírka, mm	3 200
Nahustenie pneumatík, bar	1,1
Najmenší polomer otáčania, m	15
Rozmer pneumatík	900/60 R42
Celková hmotnosť, kg	24 000kg

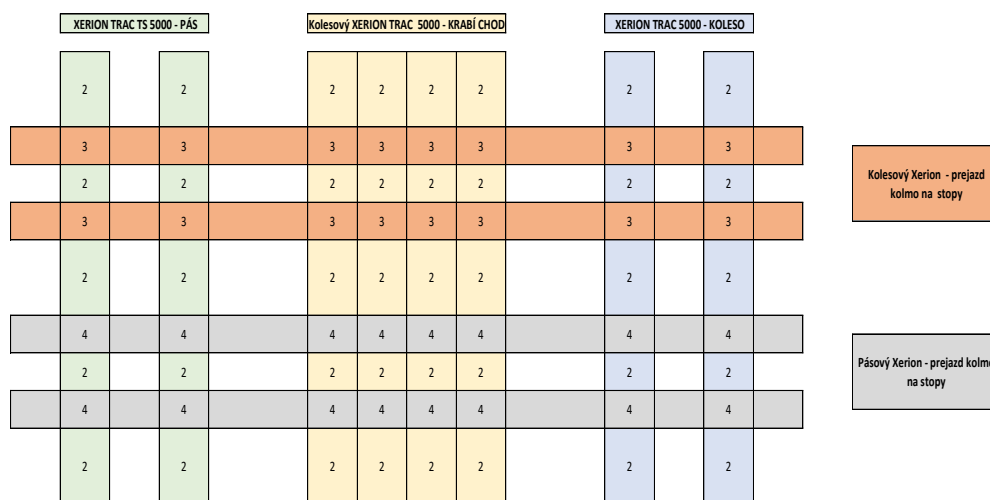
Tab. 2 Technické parametre traktora s pásovým podvozkom
 Tab. 2 Technical parameters of the tractor with tracked chassis

Claas Xerion 5000 Trac TS	
Výkon motora Kw / hp	390/ 530
Celkový objem motora / počet valcov	12,8/ 6
Max. pojazďová rýchlosť, km	40
Rázvor, mm	3 600
Celková dĺžka , mm	7 163
Celková výška , mm	3 791
Celková šírka, mm	3
Najmenší polomer otáčania , m	15
Rozmer pásu, cm	75
Celková hmotnosť, kg	24 000kg

Ako indikátor utlačenia pôdy bol zvolený parameter penetrometrického odporu pôdy. Na meranie bol použitý penetrológ Eikelkamp P1.52 s 10-timi opakovaniami a meranie penetrometrického odporu bolo *realizované podľa schémy na (Obr. 3) nasledovne:*

- Meranie 1 – Pred prejazdom techniky
- Meranie 2 – Po 1. prejazde techniky (zvlášť pre každý typ podvozku)
- Meranie 3 – Po 2. prejazde techniky – kolesovým traktorom (na ploche prekrytia prvej a druhej jazdy),
- Meranie 4 – Po 2. prejazde techniky - pásovým traktorom (druhý prejazd realizovaný pásovým podvozkom)

Druhý prejazd sa realizoval len traktorom s kolesovým a pásovým podvozkom, keďže režim kolesového podvozku „krabí chod“ nemá v následných operáciách opodstatnenie.



Obr. 3 Spôsob postupu prejazdov (1 – meranie pred prejazdom, 2 – po 1. prejazde techniky, 3 – po 2. prejazde kolesovým traktorom, 4 – po 2. prejazde pásovým traktorom)

Layout of the experimental measurements (1 – before tractor pass, 2 – after 1st tractor pass, 3 – after 2nd tractor pass by wheel tractor, 4 – after 3rd tractor pass by track tractor)

Fig. 3

Postup merania:

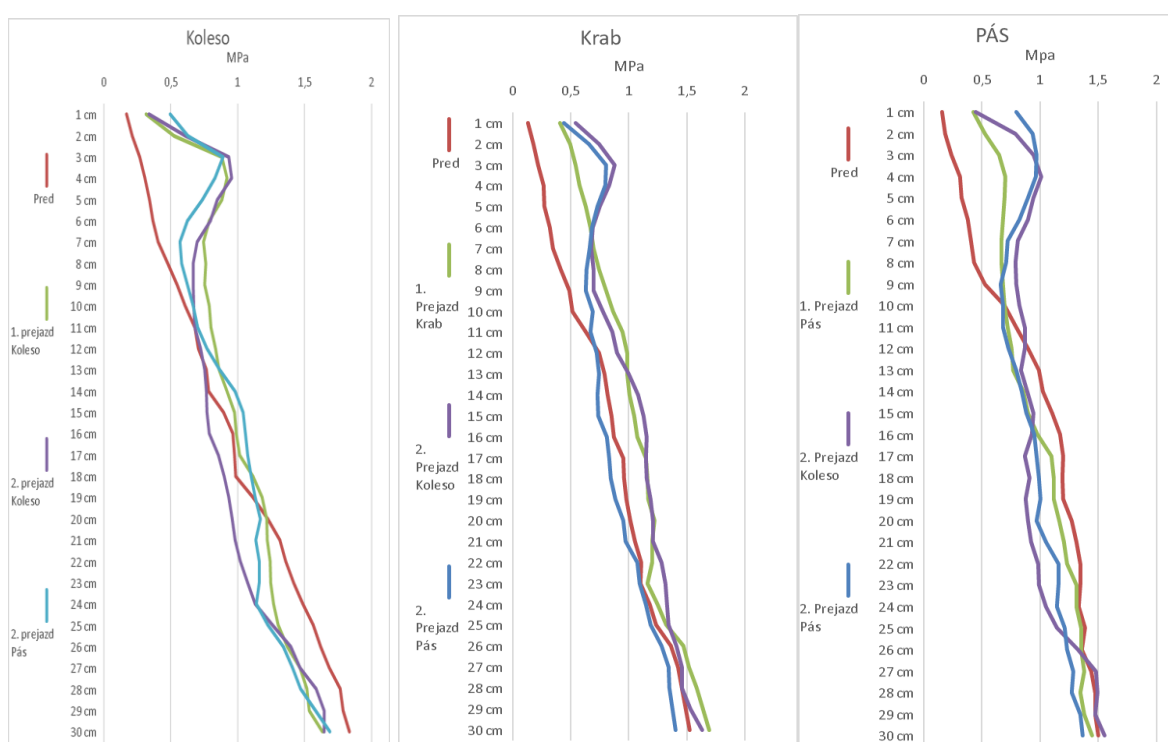
1. Pred meraním boli odobraté vzorky pôdy na stanovenie vlhkosti pôdy z hĺbok 20 cm, 40 cm, 60 cm, 80 cm. Vlhkosť bola následne stanovená gravimetrickou metódou podľa platných noriem.
2. Meranie penetrometrického odporu bolo realizované podľa platnej normy ASABE S313.3 .
3. Výsledky boli spracované v prostredí MS Excel a softvéri Statistica.

3 Výsledky a diskusia

Meranie sa uskutočnilo dňa 21.4 2023. Náhľad na spôsoby jazdy traktorov znázorňuje (Obr. 4). Priemerné namerané hodnoty penetrometrického odporu (prezentované ako priemer 10 meraní) pre jednotlivé merania a hĺbky znázorňuje (Obr. 5).



Obr. 4 Pohľad zhora (dron) na jednotlivé prejazdy a typy podvozkov
Aerial view at the tractor passes during the experiment



Obr. 5 Namerané hodnoty penetrometrického odporu pre jednotlivé typy podvozkov
a – koleso, b – krab , c - pás

Penetrometric resistance for assessed tractor chassis,
a – wheel tractor, b -wheel tractor in „crab“ steering mode, c – track tractor

Vzhľadom na rovnakú hmotnosť traktorov, bolo zaznamenané utlačenie pôdy pre všetky varianty do porovnateľnej hĺbky a v porovnateľných intenzitách. Penetrometrický odpor v hĺbke 30 cm dosahoval hodnoty do 1,5 MPa. Ako vyplýva zo štatistického vyhodnotenia nameraných údajov, typ podvozku výrazne vplýva na veľkosť utlačenia pôdy

($p < 0,05$) do hĺbky 10 cm. V hlbších horizontoch typ podvozku štatisticky signifikantne neovplyvnil výšku penetrometrického odporu.

Pri hodnotení intenzity nárastu utlačenia prejazdom traktorov, všetky hodnotené typy podvozkov štatisticky významne zvýšili utlačenie pôdy ($p < 0,05$) prvým prejazdom (v porovnaní s hodnotami nameranými pred prejazdom techniky). Ďalší prejazd techniky (traktorom s kolesovým alebo pásovým podvozkom) zvýšil toto utlačenie, avšak nárast nebol štatisticky preukazný ($p < 0,05$). Tieto výsledky sú v súlade s publikovanou literatúrou (Shaheb, 2021 a iní). Utlačenie pôdy po prvom prejazde techniky sme porovnali *pre všetky sledované varianty* (Tab. 3).

Tab. 3 Hodnoty penetrometrického odporu pre 1. prejazd všetkých typov podvozkov, uvádzané ako priemer z 10 meraní v horizonte do 10 cm hĺbky

Tab. 3 Penetrometric resistance values for the 1st pass of all chassis types, given as an average of 10 measurements in the horizon up to 10 cm deep

Hĺbka, cm	Penetrometrický odpor, MPa (priemerné hodnoty, n=10)		
	Koleso	Krab	Pás
1	0,316	0,409	0,429
2	0,526	0,495	0,525
3	0,884	0,546	0,649
4	0,92	0,574	0,699
5	0,881	0,633	0,696
6	0,787	0,674	0,683
7	0,747	0,698	0,668
8	0,762	0,748	0,671
9	0,755	0,805	0,685
10	0,789	0,867	0,696

Na základe analýzy nameraných hodnôt pri prvom prejazde je možné konštatovať, že pri prejazde kolesovým podvozkom v klasickom režime je možné sledovať typický priebeh s prudkým nárastom utlačenia do hodnoty penetrometrického odporu 0,9 MPa v hĺbke zodpovedajúcej 5 cm. Ako príklad uvádzame porovnanie hodnôt nameraných v hĺbke 5 cm, kde s využitím kolesového podvozku v režime „krabí chod“ klesol penetrometrický odpor o 38% a s využitím pásového podvozku o 21%. V ďalšej práci navrhujeme zhodnotiť režim „krabí chod“ v rôznych pôdnych podmienkach. Kolesový typ podvozku spôsobil v horizonte cca 5 cm najvyššie utlačenie pôdy, čo je jednoznačne spôsobené prenosom tlaku v pneumatikách.

4 Záver

Cieľom práce bolo porovnanie rôznych typov podvozkov traktora CLAAS Xerion na utlačenie pôdy. Experimentálne bol zisťovaný penetrometrický odpor pred prejazdom traktora, po prvom prejazde a následne po realizovaní druhého prejazdu buď kolesovým alebo pásovým traktorom. Štatisticky významne zvýšil utlačenie pôdy prvý prejazd techniky. Ďalšie prejazdy síce spôsobili zvýšenie utlačenia pôdy, ale nárast nebol štatisticky významný. Pri prvom prejazde traktora, ktorý spôsobuje najväčší nárast utlačenia pôdy, dosahoval najlepšie výsledky kolesový podvozok v režime „krabí chod“, následne pásový a kolesový podvozok.

5 Literatúra

ANSORGE, D. - GODWIN, R.J 2007. The effect of tyres and a rubber track at high axle loads on soil compaction, Part 1: Single axle-studies, *Biosystems Engineering*, Volume 98, Issue 1, 2007, Pages 115-126, ISSN 1537-5110, <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.06.005>.06.024.

BATEY, T., 2009. Soil compaction and soil management – a review. *Soil Use Manag.* [online] 25, p.p. 335–345. [cit. 2024-01-02]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2009.00236.x>.

CLAAS, 2023. autor <https://www.claasofamerica.com/product/tractors/xerion/engine-drivetrain> [cit. 2024-01-02].

ĎUĐÁK J., 2015, Zhutňovanie pôdy pri prejazdoch techniky, [online] [cit. 2024-03-02]. Dostupné na: <https://www.agroporadenstvo.sk/index.php?pl=58&article=628>

GODWIN, R.- MISIEWICZ, P.- WHITE, D._ SMITH, E., - CHAMEN, T. - GALAMBOŠOVA, J. – STOBA, R. 2015. *Acta Technologica Agriculturae* 3

Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae, 2015, pp. 57–63. DOI: 10.1515/ata-2015-0013

GYSI, M. 2020. Soil Compaction due to Heavy Agricultural Wheel Traffic. A dissertation submitted to the SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZÜRICH for the degree of DOCTOR OF NATURAL SCIENCES, 2020. pp. 35-74.

HAMZA, M.A., - ANDERSON, W.K., 2005. Soil compaction in cropping systems. *Soil Tillage*

CHAMEN, T. 2015. Controlled Traffic Farming – from Worldwide Research to Adoption in Europe and its Future Prospects. *Acta Technologica Agriculturae* 3 Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae, 2015, pp. 64–73. DOI: 10.1515/ata-2015-0014

JANÁK, J. 2020. Súčasný stav v konštrukcii traktorových pneumatík. Zvládnu vysoké zaťaženie aj prevádzku pri zníženom tlaku. [online] [cit. 2024-01-02]. Dostupné na: <https://www.agroportal24h.cz/clanky/soucasny-stav-v-konstrukci-traktorovych-pneumatik-zvladnou-vysoke-zatizeni-i-provoz-pri-snizenem-tlaku>

KOSIBA, J. – ŽIKLA, A. 2020. Smerové mechanizmy pásových traktorov 1 časť. [online] [cit. 2024-03-02]. Dostupné na: <https://www.agroporadenstvo.sk/stroje-rozne?article=2026>

SOEHNE, W. 1958. Fundamentals of pressure distribution and soil compaction under tractor tires. In *Agricultural Engineering*, vol. 39, pp. 276–281, 290.

Shaheb, M.R. – Venkatesh, R. – Shearer, S.A., 2021. A review on the effect of Soil compaction and its Management for Sustainable Crop Production. *Journal of Biosystems Engineering* (2021), 46:417 – 439.

Súhrn

Utlačenie pôdy predstavuje v súčasnosti jeden z najdiskutovanejších problémov v rastlinnej výrobe. Cieľom práce bolo porovnať vplyv rôznych typov podvozku traktora Claas Xerion na utlačenie pôdy. Merania boli realizované v poľných podmienkach, pričom hodnotené boli 3 varianty: kolesový podvozok, kolesový podvozok v režime „krabí chod“ a pásový podvozok. Meranie utlačenia pôdy bolo pre každý variant realizované pred prejazdom a po prvom prejazde techniky. Následne boli všetky 3 varianty prejdené naprieč kolesovým podvozkom a pásovým podvozkom. Z výsledkov vyplýva, že pri prvom prejazde pôdu najmenej utlačil kolesový podvozok v režime „krabí chod“. Druhý prejazd spôsobil zvýšenie utlačenia pôdy, pričom lepší výsledok dosiahol pásový podvozok.

Kľúčové slová: kolesový podvozok, krabí chod, pásový podvozok, traktorový podvozok, utlačenie pôdy

PodĎakovanie : PodĎakovanie patrí spoločnosti Agromáčaj a.s. pri realizácii experimentálneho merania a zapožičania techniky.

MERANIE PRIETOKOVÝCH VLASTNOSTÍ OLEJOVÝCH FILTROV

MEASUREMENT OF FLOW PROPERTIES OF OIL FILTERS

DENIS TURANSKÝ¹ – JÁN KOSIBA²

Abstract

By simulating operating conditions, it is possible to verify and evaluate the technical properties of oil filters for motor vehicles and the functionality of the designed equipment. Contaminated engine oil from operation was used with the MANN W950/26 oil filter. Through this measurement, it is possible to monitor the impact of contaminated oil on filtration materials and their ability to separate impurities. Additionally, operational parameters such as RPM can be influenced using a frequency converter.

Key words: oil filters, preasure, flow

1 Úvod

Olejové filtre v dopravných prostriedkoch slúžia na zabezpečovanie plynulého chodu motora bez nebezpečia poškodenia pri dodávke oleja, ktorého funkciou je zabezpečenie mazania pohyblivých častí bez nežiadúcich nečistôt. Cieľom mojej práce je popísanie a charakterizovanie filtrov využívaných v dopravných prostriedkoch. Vysvetliť ich hlavné funkcie, hlavný význam a dôležitosť pri prevádzke dopravného prostriedku. Výskumná časť je zameraná na testovanie prietokových vlastností filtračných materiálov olejových filtrov.

2 Materiál a metódy

Pre meranie prietokových vlastností filtračných materiálov olejových filtrov sme použili merací prístroj na porovnávanie prietokových vlastností olejových filtračných materiálov v mazacích okruhoch spaľovacích motorov. Toto zariadenie pozostáva z dvoch obvodov a to z referenčného meracieho obvodu A a tesniaceho meracieho obvodu B a záznamového a vyhodnocovacieho obvodu C. Referenčný merací obvod A je zložený z elektromotora 6 spojeného s frekvenčným meničom 5 na nastavenie a udržanie požadovaných otáčok prvej sekcie 2 tandemového hydrogenerátora v rozsahu od minimálnych po maximálne. Prvá sekcia 2 tandemového hydrogenerátora je prepojená s elektromotorom 6 prostredníctvom prvej spojky 3. Medzi elektromotorom 6 a prvou sekciou 2 tandemového hydrogenerátora je umiestnený snímač otáčok 4 a na výstupe prvej sekcie 2 tandemového hydrogenerátora je pripojený prvý poistný ventil 8. V dolnej časti referenčného meracieho obvodu A je umiestnená prvá nádrž 7 na pracovnú kvapalinu, ktorá je spojená s prvým ohrievačom 1 a s prvou sekciou 2 tandemového hydrogenerátora na nasávanie pracovnej kvapaliny do prvého trojcestného ventilu 13. Medzi prvou sekciou 2 tandemového hydrogenerátora a prvým snímačom tlaku je umiestnený prvý výpusť 9 na odber vzoriek.

¹Denis Turanský, SPU TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, xturansky@uniag.sk

²doc. Ing. Ján Kosiba, PhD., SPU TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, jan.kosiba@uniag.sk

Medzi prvým ohrievačom 1 a prvým trojcestným ventilom 13 je umiestnený prvý snímač 10 tlaku, prvý snímač 11 prietoku a prvý snímač 12 teploty, pričom prvý trojcestný ventil 13 je spojený s prvým originálnym filtrom 14 a s prvým testovaným filtrom 16, a prvý originálny filter 14 a prvý testovaný filter 16 sú na výstupe spojené s druhým trojcestným ventilom 15. Medzi druhým trojcestným ventilom 15 a druhým snímačom tlaku 19 je umiestnený druhý výpusť 17 na odber vzoriek. Za druhým snímačom 19 tlaku, druhým snímačom 18 prietoku a druhým snímačom 21 teploty sa nachádza prvý škrtiaci ventil 20. Referenčný merací obvod A je prostredníctvom prvej sekcie 2 tandemového hydrogenerátora obojsmerne spojený s testovacím meracím obvodom B cez druhú sekciu 2 tandemového hydrogenerátora. V dolnej časti testovacieho meracieho obvodu B je umiestnená druhá nádrž 23 na pracovnú kvapalinu, ktorá je spojená s druhým ohrievačom 22 a s druhou sekciou 2 tandemového hydrogenerátora na nasávanie pracovnej kvapaliny do tretieho trojcestného ventilu 29. Výstup druhej sekcie 2 tandemového hydrogenerátora je pripojený na druhý poistný ventil 24. Medzi druhým ohrievačom 22 a tretím trojcestným ventilom 29 je umiestnený tretí výpusť 25 na odber vzoriek, snímač 26 tlaku, tretí snímač 27 prietoku, tretí snímač 28 teploty, a tretí trojcestný ventil 29 je spojený s druhým originálnym filtrom 32 a druhým testovaným filtrom 30. Na výstupe sú druhý originálny filter 32 a druhý testovaný filter 30 spojené so štvrtým trojcestným ventilom 31. Medzi štvrtým trojcestným ventilom 31 a štvrtým snímačom 35 tlaku je umiestnený štvrtý výpusť 33 na odber vzoriek. Za snímačom 35 tlaku je umiestnený, štvrtý snímač 34 prietoku, štvrtý snímač 37 teploty a druhý škrtiaci ventil 36. Všetky snímače, prvý snímač 12 teploty, druhý snímač 21 teploty, tretí snímač 28 teploty, štvrtý snímač 37 teploty, prvý snímač 11 prietoku, druhý snímač 18 prietoku, tretí snímač 27 prietoku, štvrtý snímač 34 prietoku, prvý snímač 10 tlaku, druhý snímač 19 tlaku, tretí snímač 26 tlaku, štvrtý snímač 35 tlaku a frekvenčný menič 5 sú obojsmerne elektronicky spojené s počítačom 38 v zaznamenávacom a vyhodnocovacom obvode C na prenos a spracovanie zaznamenaných dát. Následne sú získané údaje spracované počítačom 38 v tabuľkovej a v grafickej forme. Pri dodržaní metodiky merania je zaručená opakovateľnosť merania v laboratórnych podmienkach, a teda je zabezpečená možnosť sledovania vplyvu rôzneho stupňa znečistenia olejových náplní na prietokové vlastnosti filtračných materiálov a ich schopnosť separovať nečistoty. Zariadenie na súbežné testovanie prietokových vlastností filtračných materiálov umožňuje v každom obvode pri dodržaní rovnakých vstupných podmienok realizovať merania prietokových vlastností originálnych a testovaných filtračných materiálov, a sledovanie účinnosti filtrovania pri použití minerálnych, syntetických olejových náplní, ale aj olejových náplní s rôznym stupňom znečistenia a s rôznym stavom znečistenia. Pri meraniach je možné simulovať podmienky, ktoré sú dosahované v mazacom okruhu spaľovacieho motora prostredníctvom prvého ohrievača 1, druhého ohrievača 22, prvého škrtiaceho ventilu 20 a druhého škrtiaceho ventilu 36. Zariadenie umožňuje sledovať prevádzkové stavy zaznamenané snímačmi, prvým snímačom 12 teploty, druhým snímačom 21 teploty, tretím snímačom 28 teploty, štvrtým snímačom 37 teploty, prvým snímačom 11 prietoku, druhým snímačom 18 prietoku, tretím snímačom 27 prietoku, štvrtým snímačom 34 prietoku, prvým snímačom 10 tlaku, druhým snímačom 19 tlaku, tretím snímačom 26 tlaku, štvrtým snímačom 35 tlaku v závislosti na zvolených otáčkach, ktoré sú nastavené prostredníctvom frekvenčného meniča 5 a zaťaženia vyvolaného prvým škrtiacim ventilom 20 a druhým škrtiacim ventilom 36. Taktiež je možné sledovať vplyv znečistených olejových náplní na filtračné materiály a ich schopnosť separovať nečistoty.

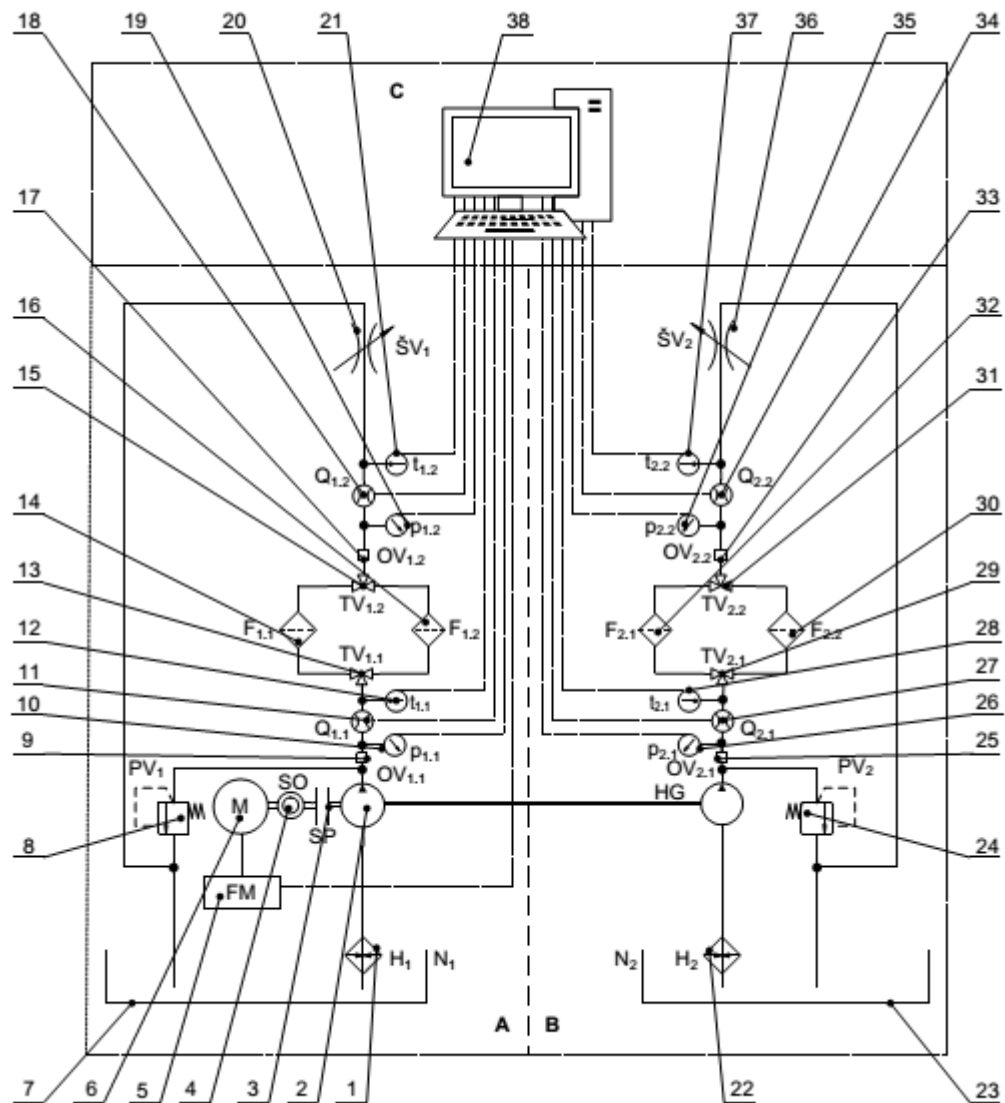


Fig. 1 Obrázok 1 Zariadenie na porovnávanie prietokových vlastností olejových filtračných materiálov v mazacích okruhoch spaľovacích motorov (Hajdák, 2018)
 Device for comparing flow properties of oil filtration materials in lubrication circuits of internal combustion engines (Hajdák, 2018)

3 Výsledky a diskusia

Meranie prietokových vlastností filtračných materiálov olejového filtra sme vykonávali za bezpečných podmienok v špeciálnom laboratóriu Technickej fakulty Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre. Prietokové vlastnosti boli merané pomocou dekontaminovaného oleja, pričom každé jedno meranie trvalo 60 sekúnd. Pri vykonávaní každého jedného merania bolo zaznamenávaných 600 hodnôt. Prvé dve merania prebiehali pri teplote 20 °C a frekvenciách 25 Hz a následne 50 Hz. Ďalšie dve merania prebiehali pri teplote 40 °C a frekvenciách 25 Hz a následne 50 Hz. Nameraných hodnoty boli následne vyhodnotené pomocou grafov. Výstupom každého merania boli dva grafy. Jeden zobrazuje prietok oleja pred a za filtrom a druhý tlak oleja pred a za filtrom. Na zaznamenávanie týchto údajov bol využitý prístroj HYDAC HMG 3310. Údaje boli zaznamenávané pomocou snímačov. Prietok bol zaznamenávaný pomocou prietokomeru typu EVS 3108 – H – 0060 – 00 a tlak pomocou tlakomera HDA 4748 – H – 044 – 000.

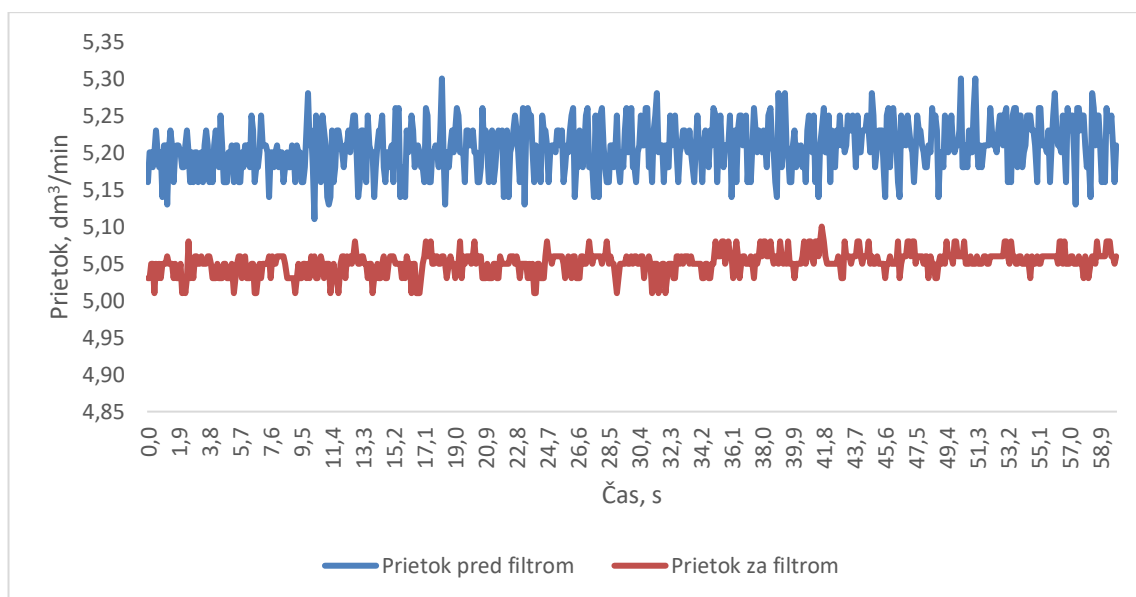
Na meranie prietokových vlastností filtračných materiálov olejových filtrov bol použitý olejový filter MANN W950/26 určený pre nákladné vozidlá a autobusy pričom pri meraní bol použitý kontaminovaný olej.

Tab. 1 Parametre olejového filtra MANN W950/26

Tab. 1 Parameters of the oil filter MANN W950/26

Parameter	Jednotka	Hodnota
Vonkajší priemer	mm	93
Vnútorňý priemer 1	mm	62
Vnútorňý priemer 2	mm	71
Výška	mm	170
Nominálny prietok	dm ³ /min	60
Prípustný prevádzkový tlak	MPa	1.4

Meranie číslo 1 bolo uskutočnené pomocou olejového filtra MANN W950/26 pričom graf 1 zobrazuje prietok oleja pred a za filtrom a graf 2 zobrazuje tlak oleja pred a za filtrom pri teplote 20 °C a frekvencii 25 Hz.



Obrázok 2 Graf prietoku kontaminovaného oleja s filtrom MANN W950/26 pri teplote 20 °C a frekvencii 25Hz

Fig. 2

Plot of flow of contaminated oil with MANN W950/26 filter at a temperature of 20°C and a frequency of 25Hz

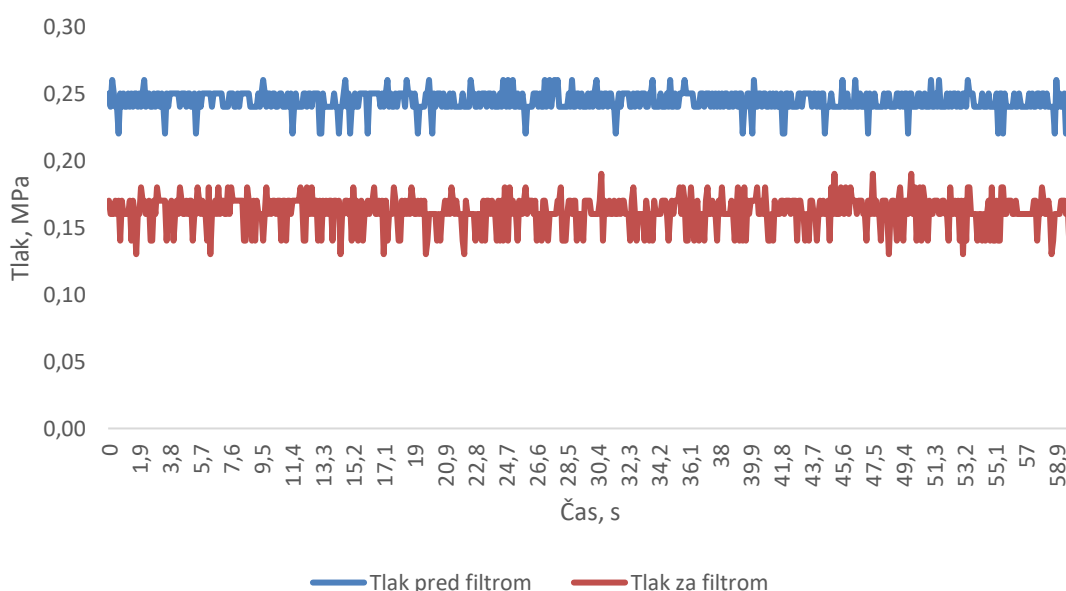
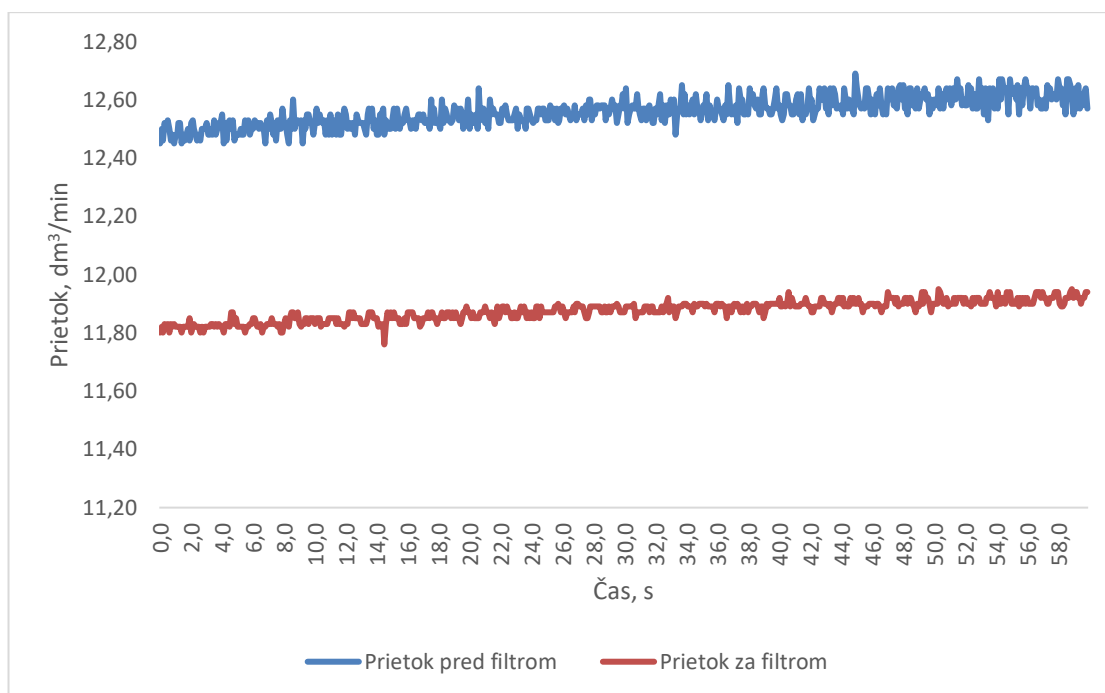


Fig. 3

Obrázok 3 Graf tlaku kontaminovaného olej s filtrom MANN W950/26 pri teplote 20 °C a frekvencii 25 Hz

Plot of pressure of contaminated oil with MANN W950/26 filter at a temperature of 20°C and a frequency of 25 Hz

Meranie číslo 2 bolo uskutočnené pomocou olejového filtra MANN W950/26 pričom graf 3 zobrazuje prietok oleja pred a za filtrom a graf 4 zobrazuje tlak oleja pred a za filtrom pri teplote 20 °C a frekvencii 50 Hz.



Obrázok 4 Graf prietoku kontaminovaného oleja s filtrom MANN W950/26 pri teplote 20 °C a frekvencii 50 Hz

Fig. 4 Plot of flow of contaminated oil with MANN W950/26 filter at a temperature of 20°C and a frequency of 50 Hz

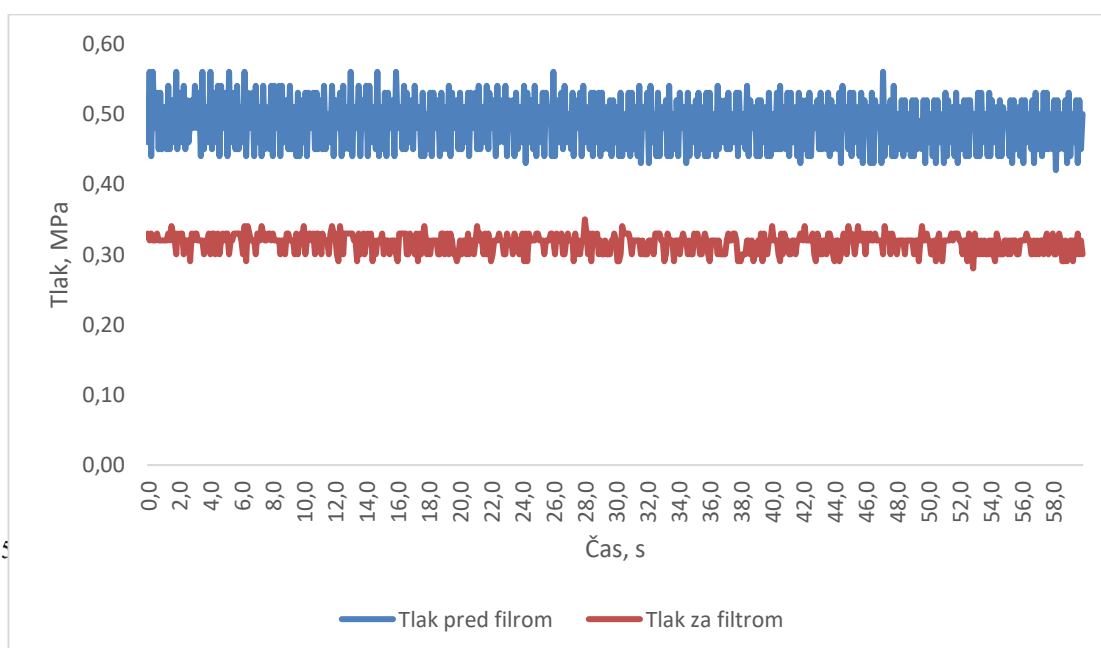
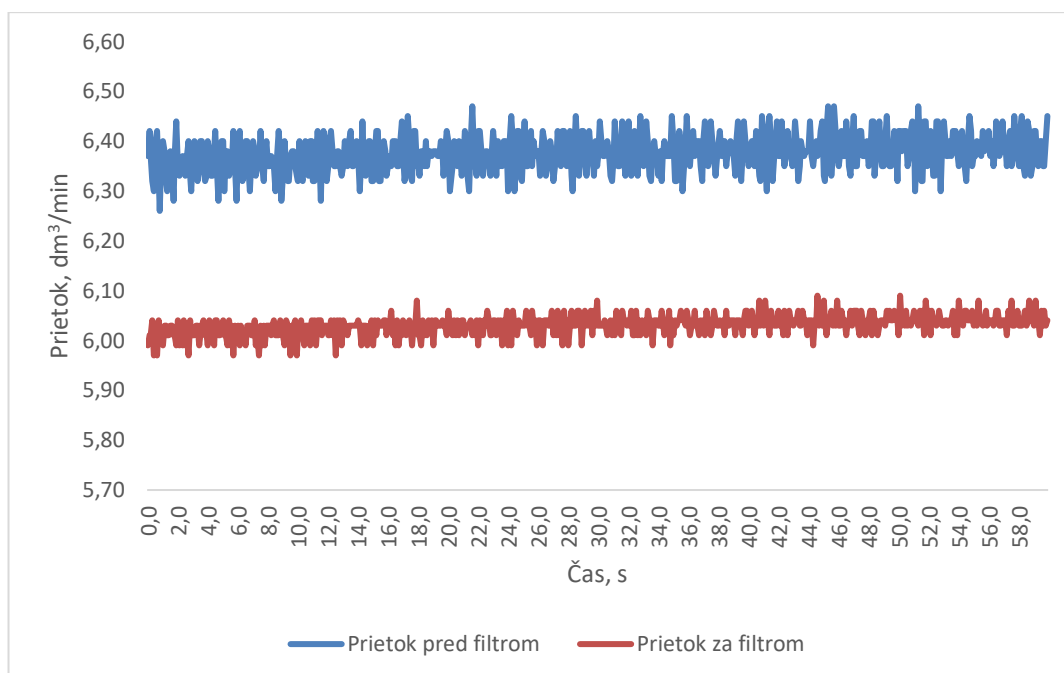


Fig. 5

Obrázok 5 Graf tlaku kontaminovaného oleja s filtrom MANN W950/26 pri teplote 20 °C a frekvencii 50Hz

Plot of pressure of contaminated oil with MANN W950/26 filter at a temperature of 20°C and a frequency of 50 Hz

Meranie číslo 5 bolo uskutočnené pomocou olejového filtra MANN W950/26 pričom graf 13 zobrazuje prietok oleja pred a za filtrom a graf 6 zobrazuje tlak oleja pred a za filtrom pri teplote 40 °C a frekvencii 25 Hz.



Obrázok 6 Graf prietoku kontaminovaného oleja s filtrom MANN W950/26 pri teplote 40 °C a frekvencii 25Hz

Fig. 6 Plot of flow of contaminated oil with MANN W950/26 filter at a temperature of 40°C and a frequency of 25 Hz

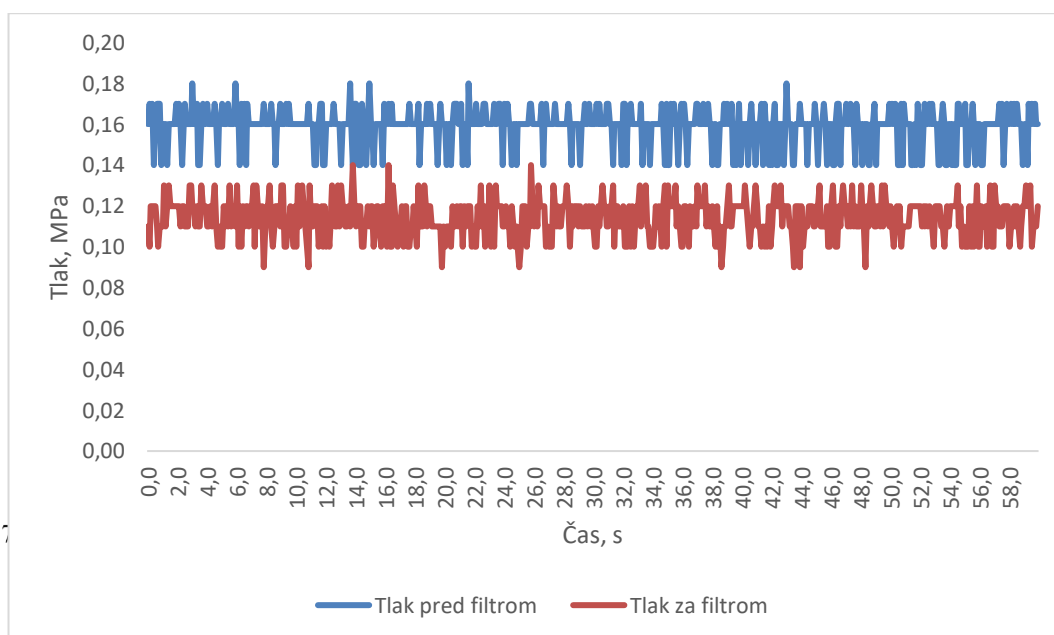
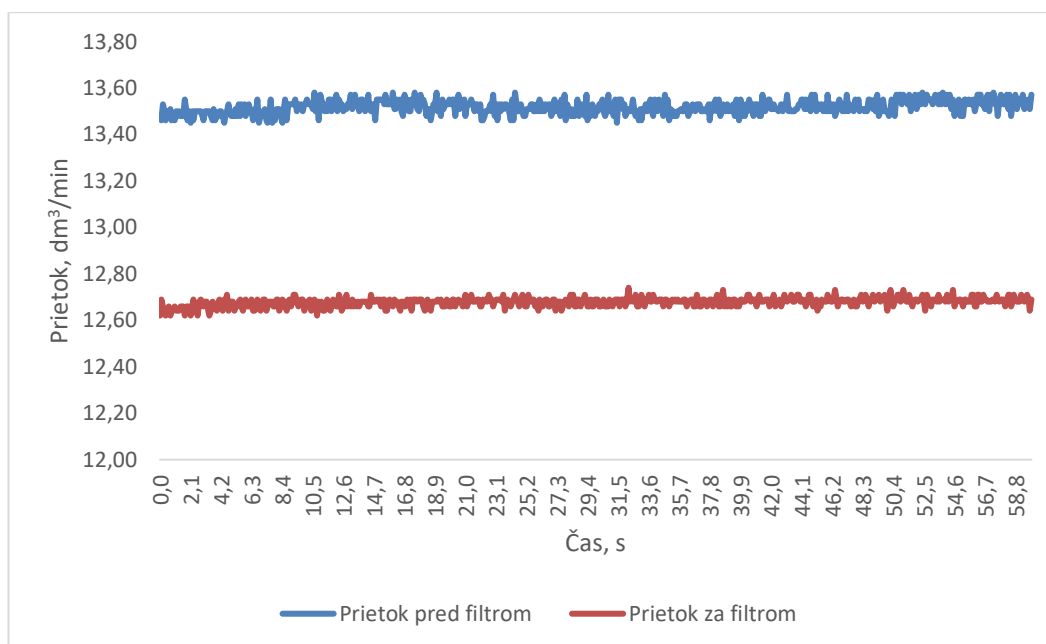


Fig. 7

Obrázok 7 Tlak kontaminovaného oleja s filtrom MANN W950/26 pri teplote 40 °C a frekvencii 25 Hz

Plot of pressure of contaminated oil with MANN W950/26 filter at a temperature of 40°C and a frequency of 25 Hz

Meranie číslo 4 bolo uskutočnené pomocou olejového filtra MANN W950/26 pričom graf 7 zobrazuje prietok oleja pred a za filtrom a graf 8 zobrazuje tlak oleja pred a za filtrom pri teplote 40 °C a frekvencii 50 Hz.



Obrázok 8 Graf prietoku kontaminovaného oleja s filtrom MANN W950/26 pri teplote 40 °C a frekvencii 50 Hz

Fig. 8

Plot of flow of contaminated oil with MANN W950/26 filter at a temperature of 40°C and a frequency of 50 Hz

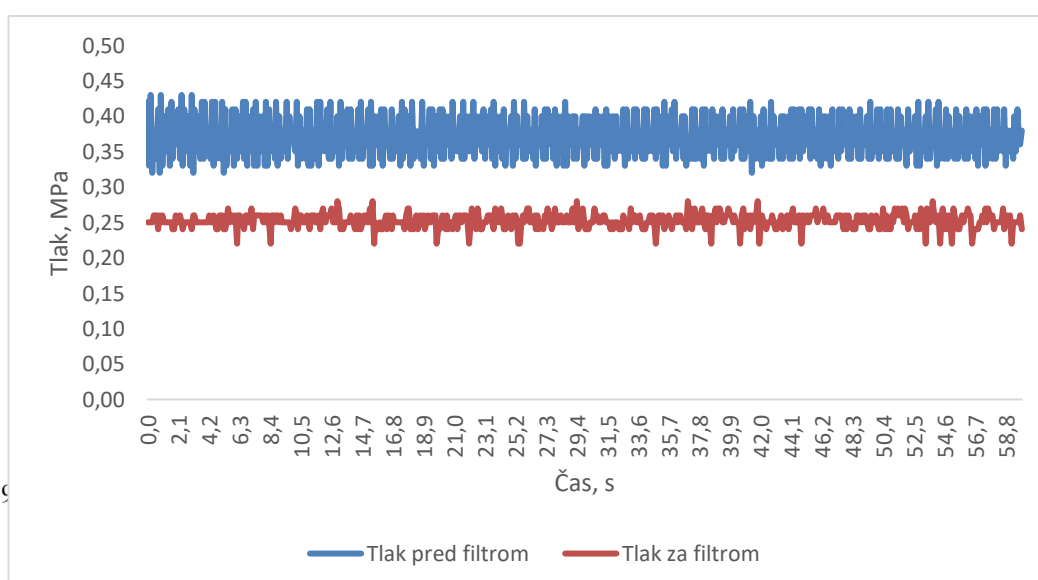


Fig. 9

Graf 9 Graf tlaku kontaminovaného oleja s filtrom MANN W950/26 pri teplote 40 °C a frekvencii 50 Hz

Plot of pressure of contaminated oil with MANN W950/26 filter at a temperature of 40°C and a frequency of 50 Hz

4 Záver

Na základe vykonaných meraní prietokových vlastností filtračných materiálov olejových filtrov môžeme na hore uvedených grafoch pozorovať prietokové vlastnosti olejového filtra MANN W950/26 pri rôznych teplotách a rôznych frekvenciách. Každé meranie obsahuje namerané údaje prietoku a tlaku kontaminovaného oleja. V každom z grafov sa nachádzajú namerané hodnoty tlaku a prietoku pred a za filtrom, podľa čoho môžeme zistiť o koľko je prietok a tlak kvôli olejovému filtru znížený. Na prietok oleja cez palivový filter má vplyv aj frekvencia. Zvýšená frekvencia znamená zvýšenie otáčok čerpadla čím dochádza k väčšiemu tlaku, ktorým je olejová náplň pretláčaná cez olejový filter, čo má za následok zvýšenie prietoku. Rovnako teplota vplýva na prietokové vlastnosti olejového filtra. Teplotou sa mení viskozita olejovej náplne. To znamená, že olejová náplň je redšia, a tým sa zvyšuje prietok olejovej náplne cez olejový filter.

5 Literatúra

HAJDÁK, Vladislav. 2018. Návrh laboratórneho zariadenia na hodnotenie filtrácie motorového oleja: Doktorandská dizertačná práca (PhD.). Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita. 138 s.

Súhrn

Simuláciou prevádzkových podmienok je možné overiť a vyhodnotiť technické vlastnosti olejových filtrov pre motorové vozidlá a funkčnosť navrhnutého zariadenia. Kontaminovaný motorový olej z prevádzky bol použitý s olejovým filtrom MANN W950/26. Pomocou tohto merania je možné monitorovať vplyv znečistených olejových náplní na filtračné materiály a ich schopnosť separovať nečistoty. Taktiež je možné ovplyvňovať prevádzkové parametre, ako sú otáčky, prostredníctvom frekvenčného meniča

Kľúčové slová: olejový filter, tlak, prietok

VYTVORENIE PROGRAMU NA ŠTATISTICKÉ VYHODNOTENIE NAMERANÝCH ÚDAJOV CREATION OF A PROGRAM FOR STATISTICAL EVALUATION OF MEASURED DATA

GABRIEL ZSILINSZKI¹ - MATÚŠ BILČÍK²

Abstract

This article deals with the statistical analysis of meteorological and physical data using specially developed software. The aim was to efficiently process and analyse data obtained from weather stations and other measuring instruments, with emphasis on visualization, regression analysis and identification of relationships between variables. The work involved the development of an application combining the C# programming language and the Microsoft Visual Studio 2022 environment, which enables complex processing of data files in CSV format and their subsequent statistical analysis. The achieved results represent an advance in the field of prediction and analysis of environmental and physical phenomena, thanks to advanced methods of data visualization and modelling. The work confirms the increasing importance of statistical software in meteorology and highlights the flexibility and user-friendliness of the developed application, thus contributing to a better understanding of the dataset.

Key words: Meteorological stations, Viscometers, Moisture analyzers, Statistical analysis, Software tool, Regression analysis, Data validation

1 Úvod

V súčasnosti sa zvyšuje význam presných meteorologických údajov v reakcii na výzvy, ako sú klimatické zmeny. Štatistická analýza týchto dát je nevyhnutná pre podrobnejšie pochopenie zložitých dátových súborov, ktoré sú esenciálne pre predpovede počasia a klimatologické štúdie.

Štatistická analýza je hĺbkové štúdium problematiky pomocou výpočtov, tabuliek a grafov s cieľom vyvodiť štatistické závery. (Kampolis, 2023)

Nástup štatistického softvéru v 21. storočí výrazne zvýšil kvalitu výskumu v rôznych disciplínach. Uznávaní výskumníci konštatovali podstatný prínos štatistického softvéru k výsledkom výskumu a tvrdili, že kvantitatívny výskum sa bez takýchto nástrojov nedá efektívne vykonávať. Štatistický softvér okrem toho uľahčuje organizáciu výskumných údajov na účely ich jednoduchej prezentácie a umožňuje odborníkom pracovať s údajmi spôsobom, ktorý podporuje tvorivosť a inováciu. (Abatan – Olayemi, 2022)

Význam a aplikácia štatistickej analýzy v meteorológii a klimatológii sa neobmedzujú len na vedecký výskum, ale majú priamy vplyv na praktické aplikácie v poľnohospodárstve, leteckej doprave, stavebníctve, energetike a mnohých ďalších odvetviach.

Bc. Gabriel Zsilinszki, SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky.
xzilinszki@uniag.sk

Ing. Matúš Bilčík, PhD., SPU TF, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky.
matus.bilcik@uniag.sk

Štatistika

V rámci štatistického spracovania údajov sa využívajú rôzne metódy, ako sú deskriptívna štatistika, inferenčná štatistika a regresná analýza.

Deskriptívna štatistika sumarizuje súbory údajov prostredníctvom meraní a grafických zobrazení, pričom sa zameriava na identifikáciu vzorcov a prezentáciu informácií na účely rozhodovania. Na druhej strane, inferenčná štatistika využíva výberové údaje na vyvodenie záverov a prognóz presahujúcich konkrétny analyzovaný súbor údajov. Medzi kľúčové inferenčné techniky patrí testovanie hypotéz, ktoré zahŕňa kvalifikované odhady vzťahov medzi premennými. (Zorić, 2021)

Štatistická analýza zahŕňa rôzne metódy na interpretáciu výsledkov, vysvetlenie odchýlok údajov alebo predpovedanie budúcich výsledkov. Medzi základné štatistické ukazovatele patria:

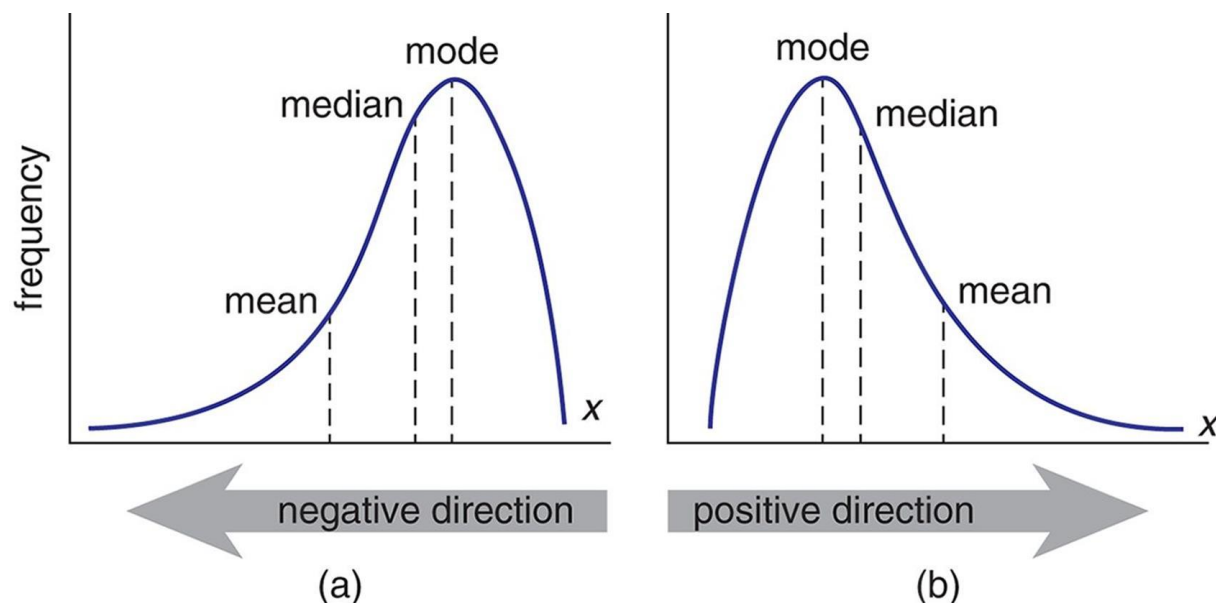
Priemerná hodnota (priemer): Priemerná hodnota: Vypočíta sa vydelením súčtu všetkých pozorovaných hodnôt počtom pozorovaní, čím sa získa centrálny bod, ktorý predstavuje celkovú tendenciu súboru údajov.

Najčastejšie sa vyskytujúca hodnota (modus): Hodnota, ktorá sa v súbore údajov vyskytuje najčastejšie, čím sa zvýrazní najbežnejšie meranie.

Štandardná odchýlka priemeru: Meranie toho, ako veľmi sa každé meranie odchyľuje od priemeru, čo naznačuje rozptyl alebo variabilitu v rámci súboru údajov.

Rozsah: Rozdiel medzi najvyššou a najnižšou hodnotou v súbore údajov, ktorý ukazuje rozsah variability.

Stredná hodnota (medián): Medián slúži ako kľúčový bod v súbore údajov a poskytuje prehľad o strednej hodnote, okolo ktorej sú rozložené ostatné hodnoty. V prípade nepárneho počtu položiek je to presný stredný bod, zatiaľ čo v prípade párneho počtu je to priemer dvoch stredných čísel. Táto miera je obzvlášť cenná na poskytnutie jasného obrazu o strednej hodnote súboru údajov, ktorú neovplyvňujú extrémne hodnoty alebo odľahlé hodnoty. (Macmillan a iní, 2024)



Obr. 1 Rozloženie štatistických ukazovateľov na distribúcii údajov (i2tutorials.com)
Distribution of statistical indicators on the data set (i2tutorials.com)

Spracovanie dát

Zber a spracovanie údajov z meteorologických staníc predstavuje komplexný proces, ktorý začína zhromažďovaním údajov z rôznych snímačov a meracích zariadení, ako sú teplomery, barometre, anemometre, vlhkomery a snímače zrážok. Tento kľúčový prvý krok vyžaduje precízne nastavenie a kalibráciu snímačov, aby boli získané údaje presné a spoľahlivé, a zabezpečuje integritu a kontinuitu údajov aj v náročných operačných a environmentálnych podmienkach. Následná kontrola kvality dát je nevyhnutná pre zabezpečenie presnosti výsledných analýz a zahŕňa validáciu rozsahu hodnôt, kontrolu konzistencie a detekciu anomálií, ako aj opravu chýbajúcich alebo nepravdepodobných údajov. Vizualizácia údajov následne umožňuje efektívnu analýzu a interpretáciu zložitých údajových súborov prostredníctvom graficky reprezentatívnych foriem, ktoré odhaľujú vzorce a trendové línie. Spracovanie výsledkov aplikuje štatistické a analytické metódy na extrakciu užitočných informácií, ako sú klimatické trendy a predpovede počasia, čo viedlo k návrhom na zlepšenie efektivity a výkonu. Záverečná validácia výsledkov zabezpečuje presnosť a dôveryhodnosť analýz a záverov prostredníctvom porovnania s historickými údajmi a iteratívneho testovania, minimalizujúc tak riziko chybných interpretácií.

2 Materiál a metódy

Hlavným zameraním práce je vytvoriť program pre štatistické vyhodnocovanie údajov z rôznych prístrojov, ako sú meteostanice, viskozimetre a analyzátory vlhkosti. Program bude obsahovať štatistické ukazovatele, vizualizácie údajov v čase a teploty, výpočty a vizualizácie gradientov, ako aj histogramy distribúcie meraných veličín. Funkcie pre regresnú analýzu umožnia analyzovať vzťahy medzi dvoma premennými a poskytnú flexibilitu v modelovaní vzťahov prostredníctvom výberu stupňa polynómu pre regresnú krivku. Výsledky regresnej analýzy budú vizualizované grafom, zobrazujúcim regresnú krivku a dátové body, ako aj výslednou regresnou rovnicou pre kvantifikáciu a predpovedanie vzťahov medzi premennými.

Meracie prístroje

1 Meteostanica: Garni 3015 arcus



Obr. 1 Garni 3015 arcus (GARNI technology a.s).

Garni 3015 arcus (GARNI technology a.s).
DOI: <https://doi.org/10.19414/2024.9106035227382>

Rozsah a presnosť merania:

Tab. 1 Meteostanica Garni 3015 arcus(GARNI technology a.s)
 Tab. 1 Weather station Garni 3015 Arcus (GARNI technology a.s).

Parameter	Rozsah merania	Presnosť merania
Vnútorná a vonkajšia teplota	- 40 °C až 60 °C	0,1°C
Vnútorná a vonkajšia relatívna vlhkosť	1 % až 99 %	1 %
Barometrický tlak	540 až 1100 hPa	1 hPa
Rýchlosť vetra	0 až 50 m/s	0,1 m/s
UV index	1 až 16	Neuvedené
Intenzita osvetlenia	0 až 300 Klux	0,01 Klux
Množstvo zrážok	0,254 mm za každé preklopenie váhadla	0,1 mm

2. Viskozimeter: Brookfield DV2T



Fig.

Obr. 2 Brookfield DV2T (Brookfield Ametek, 2024)
 Brookfield DV2T (Brookfield Ametek, 2024)

Rozsah a presnosť merania:

Tab. 2 Viskozimeter Brookfield DV2T (Brookfield, 2015)
 Tab. 2 Brookfield DV2T Viscometer (Brookfield, 2015)

Parameter	Rozsah merania	Presnosť merania
Viskozita	Neuvedené	±1% z celého rozsahu merania
Moment	0 až 100 %	±0,2 z celého rozsahu merania
Teplota	-100 °C až 300 °C	± 1°C (-100 °C až 149 °C) ± 2°C (150 °C až 300 °C)

3. Analyzátor vlhkosti: Radwag MAC 210 WH



Obr. 3 Radwag MAC 210 WH (Radwag, 2024)
Radwag MAC 210 WH (Radwag, 2024)

Fig. 3

Rozsah a presnosť merania:

Tab. 3 Analyzátor vlhkosti Radwag MAC 210 WH (Radwag, 2024)

Tab. 3 Radwag MAC 210 WH Moisture Analyzer (Radwag, 2024)

Parameter	Rozsah merania	Presnosť merania
Hmotnosť vzorky	Do 210 g	1 mg
Odčítanie obsahu vlhkosti	0,001 % až 100 %	$\pm 0,05$ % (hmotnosť vzorky ~ 2 g) $\pm 0,02$ % (hmotnosť vzorky ~ 10 g)
Teplotný rozsah sušenia	Do 250 °C	Neuvedené

Softvérové nástroje

V rámci vývoja programu na štatistickú analýzu dát bola zvolená kombinácia programovacieho jazyka C# a vývojového prostredia Microsoft Visual Studio 2022, vďaka ich schopnosti efektívne pracovať s dátami, vysokej úrovni abstrakcie a integrácie s .NET platformou. C# ponúka rozsiahle knižnice pre analýzu a vizualizáciu dát, zatiaľ čo Visual Studio poskytuje nástroje pre návrh, kódovanie a ladenie aplikácií. Implementačná fáza projektu je zameraná na prácu s dátami uloženými vo formáte CSV, kde sa využívajú funkcie C# pre ich čítanie, predspracovanie, odstránenie nekonzistencií a transformáciu pre ďalšiu analýzu. Následne sa aplikujú štatistické metódy na identifikáciu trendov a vzorcov v dátach, čo umožňuje lepšie porozumenie dynamiky počasia a klimatických zmien, v prípade meteostanice. Výsledky analýzy sú potom vizualizované pomocou rozsiahlych možností .NET grafických komponentov, ktoré podporujú efektívnu prezentáciu dát a ich interpretáciu.

3 Výsledky a diskusia

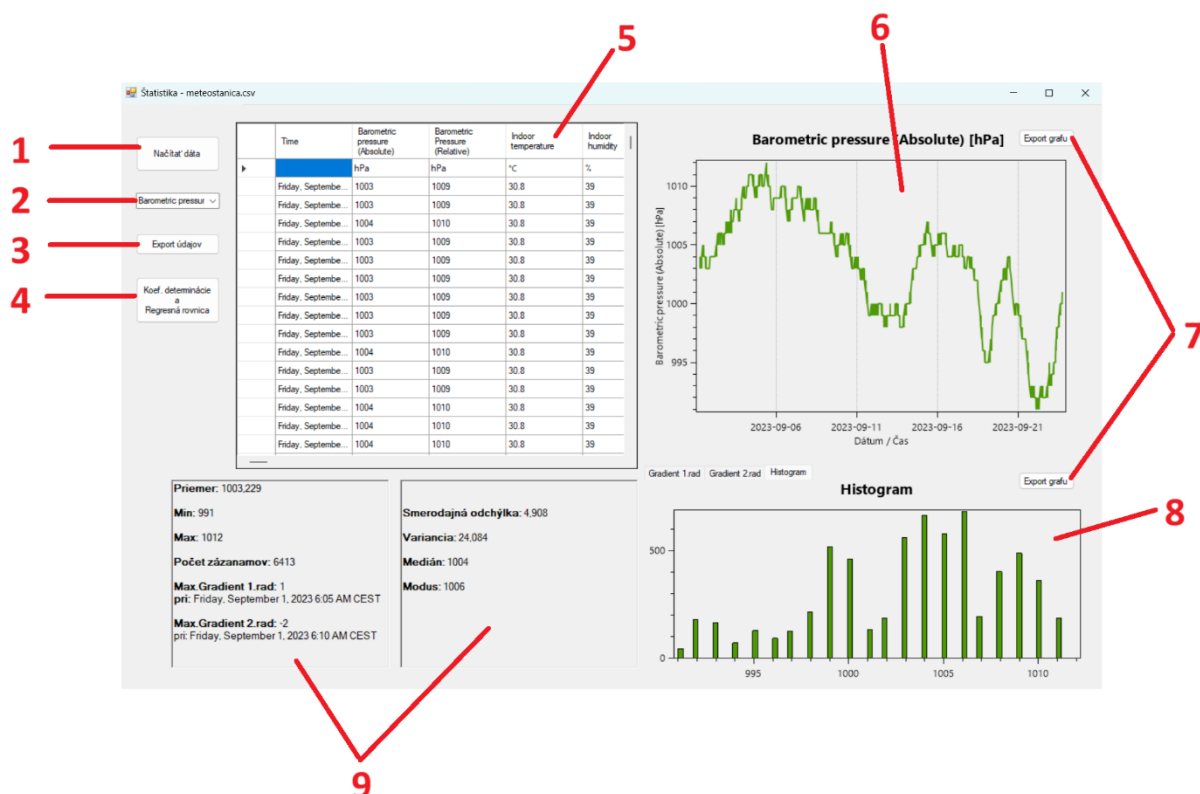
Program je navrhnutý na analýzu a vizualizáciu dát z meracích prístrojov, zdôrazňujúci užívateľskú priateľnosť a flexibilitu. Zahrňuje import, predspracovanie, štatistickú a regresnú analýzu dát, ich grafickú vizualizáciu a export výsledkov. Jeho komponenty transformujú surové dáta z CSV súborov na užitočné informácie, od formátovania cez analýzu až po interpretáciu a export výsledkov.

Architektúra programu

Program je štruktúrovaný okolo modulárneho dizajnu použitím rôznych metód pre dané funkcionality programu. Medzi hlavné metódy možno zaradiť:

- Metóda pre import dát zodpovedný za načítanie dátových súborov vo formáte CSV a DAT v závislosti od zdroja údajov, prípadne doplnenie chýbajúcich názvov záhlaví a jednotiek veličín.
- Metódy na výpočet a zobrazenie štatistických ukazovateľov vykonávajú základnú štatistickú analýzu vybraných dát, ako napríklad gradient, priemer, modus, smerodajná odchýlka, medián a ďalšie.
- Metódy na vizualizáciu nezahŕňajú len proces vykresľovania dát do grafu, ale tiež zahŕňajú nevyhnutné predspracovanie dát pre rôzne formáty údajov. Tento proces zabezpečuje, aby graf mohol správne interpretovať a zobrazovať nielen číselné hodnoty, ale aj dátumy a časy.
- Metóda exportu dát poskytuje možnosť ukladať tabuľky obsahujúce primárne údaje alebo hodnoty gradientov do tabuliek formátu Excel, ako aj možnosť ukladania vygenerovaných grafov vo formáte obrázkov.

Dizajn programu

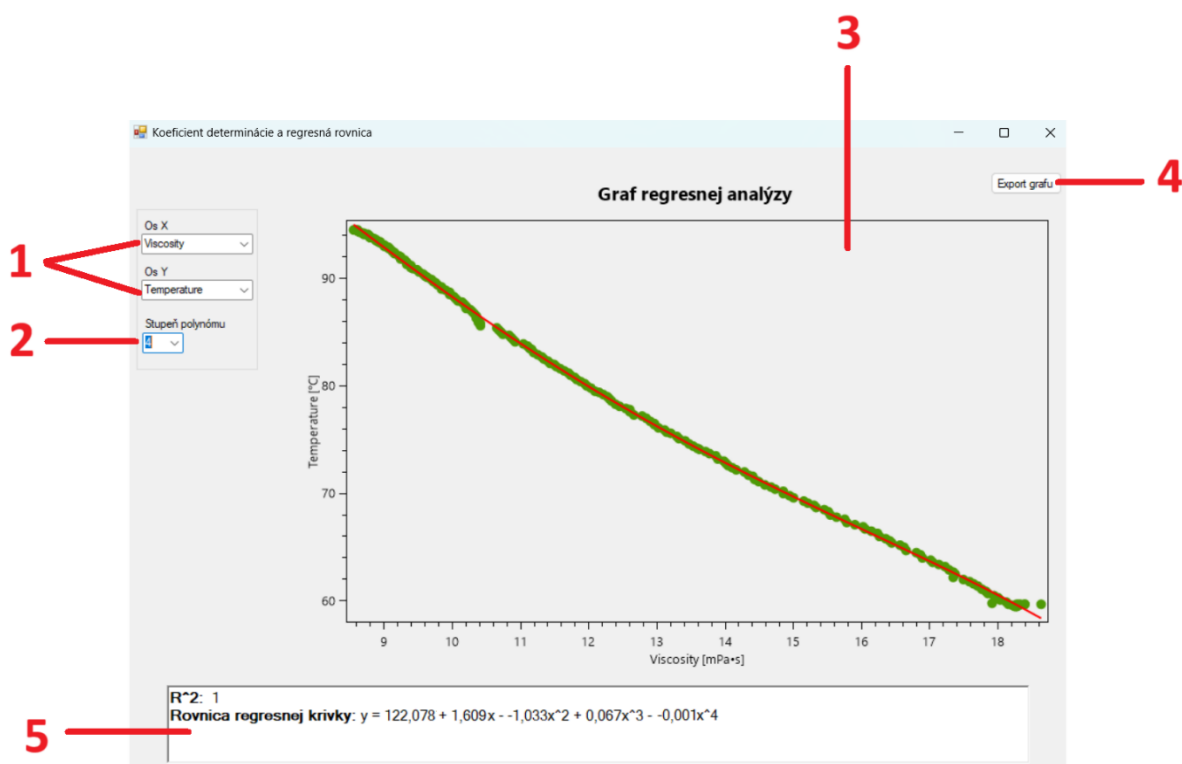


Obr. 2 Hlavné okno programu
Main window of the program

Prvky na hlavnom okne programu podľa obrázka 5 možno rozlíšiť ako:

1. Tlačidlo na načítanie dát
2. Výber stĺpca z ponuky pre analýzu
3. Export tabuľky údajov
4. Tlačidlo na otvorenie okna pre výpočet koeficientu determinácie a regresnej rovnice
5. Tabuľka načítaných údajov
6. Plocha hlavného grafu
7. Tlačidlá na exportovanie grafov do obrázkov
8. Vedľajší graf, kde je možné prepínať medzi gradientmi 1. a 2. Stupňa a histogramom
9. Označiteľné a kopiovateľné textové polia výsledkov štatistik

Stlačením tlačidla “Koeficient determinácie a regresná rovnica” sa otvorí nové okno:



Obr. 3 Okno pre výpočet regresnej krivky a koeficientu determinácie
Window for computing the regression curve and coefficient of determination

Na obrázku 6 je zobrazené užívateľské rozhranie programu na regresnú analýzu, ktoré zahŕňa komponenty ako:

1. Výber nezávislej a závislej premennej
2. Výber stupňa polynómu
3. Plocha grafu s bodovými údajmi a regresnou krivkou
4. Tlačidlo na exportovanie grafu do obrázkov
5. Označiteľné a kopiovateľné textové pole s výsledkami analýzy

Po zapnutí aplikácie dochádza k výberu súboru formátu CSV alebo DAT, v závislosti od typu prístroja, z ktorého bol súbor generovaný. Po načítaní údajov do tabuľkovej formy, má užívateľ možnosť vybrať konkrétny stĺpec z dátového súboru. Na základe tejto voľby sa následne prezentujú štatistické výstupy a sú zobrazené dva typy grafických reprezentácií – hlavný graf a vedľajší graf. Pri vedľajšom grafe má užívateľ možnosť voliť medzi prvým a

druhým stupňom gradientu a histogramom. Kompletná vizualizácia - grafy, tabuľka a tabuľkové hodnoty gradientov vybraného stĺpca - je možné uložiť pre ďalšie použitie.

Aplikácia tiež umožňuje vykonávať regresnú analýzu. Užívateľom je poskytnutá možnosť výberu nezávislej premennej, závislej premennej a stupňa polynómu. Na základe týchto vstupov je generovaná výsledná rovnica a regresná krivka, ktorá najlepšie odpovedá pôvodným dátam. Efektívnosť regresného modelu je možné overiť pomocou koeficientu determinácie, čo umožňuje hodnotiť presnosť a vhodnosť zvoleného modelu pre danú dátovú súpravu.

4 Záver

Článok bol zameraný na štatistickú analýzu meteorologických a iných fyzikálnych údajov za použitia vlastne vyvinutého softvéru. Dosiahol sa významný pokrok v efektívnom spracovaní a analýze dát z meteostaníc a iných meracích zariadení. Použité metódy umožnili podrobnú vizualizáciu a regresnú analýzu, čo viedlo k novým poznatkom o vzťahoch medzi meteorologickými, a lebo inými premennými a ich dynamike.

Výsledky sa zhodujú s trendom zvyšovania významu a efektívnosti štatistického softvéru v meteorológii a iných špecializáciách, ako to bolo pozorované inými autormi. Navyše, vyvinutá aplikácia poskytuje užívateľsky prívetivé rozhranie a flexibilitu v analýze, čo prispieva k lepšiemu porozumeniu a spracovaniu dát.

Diskusia poukazuje na ďalšie výzvy a otvára priestor pre budúci výskum, najmä v rozvoji algoritmov a rozširovaní analytických možností softvéru. Ciele boli úspešne splnené, čo potvrdzuje vytvorenie efektívneho nástroja pre štatistickú analýzu a lepšie pochopenie meteorologických dát. Zistenia nadobudnuté v tejto práci majú význam nielen pre akademický výskum, ale aj pre aplikácie v praxi, čo zdôrazňuje univerzálny prínos a význam tejto práce.

5 Literatúra

B. ZORIČ, A., 2021 *Applied Statistics: Basic Principles and Application* [online] [cit. 2024-02-15] Dostupné na internete: <https://www.researchgate.net/publication/353884658_Applied_Statistics_Basic_Principles_and_Application>

BROOKFIELD AMETEK, 2024 *DV2T Touch Screen Viscometer* [online] [cit. 2024-03-23] Dostupné na internete: <<https://www.brookfieldengineering.com/products/viscometers/laboratory-viscometers/dv2t-touch-screen-viscometer>>

BROOKFIELD, 2015 *BROOKFIELD DV2T* [online] [cit. 2024-03-23] Dostupné na internete: <<https://device.report/m/71f4a6e0e5d6894080f01d4b1ad48f780458706f0bb97afc27065c3532c2e2fe.pdf>>

GARNI technology a.s., 2023 *Wi-Fi meteorologická stanice - GARNI 3015 Arcus* [online] [cit. 2024-03-23] Dostupné na internete: <<https://device.report/m/cae4710c6a19c03035b02c811c265eeb363544221b1270114c7f71f9607e095e.pdf>>

I2TUTORIALS, 2019 *What are the differences between Mean, Median, Mode? How these are helpful to deal with the missing values in the given dataset?* [online] [cit. 2024-03-26]

Dostupné na internete: < <https://www.i2tutorials.com/what-are-the-differences-between-mean-median-mode-how-these-are-helpful-to-deal-with-the-missing-values-in-the-given-dataset/>>

KAMPOLIS, D., 2023 *Statistical Analysis for Long-Term Weather Forecast* [online] [cit. 2024-03-22] Dostupné na internete: <https://www.researchgate.net/publication/373373316_Statistical_Analysis_for_Long-Term_Weather_Forecast>

M. ABATAN, S., S OLAYEMI, M., 2022 *The Role of Statistical Software in Data Analysis* [cit. 2024-03-22] Dostupné na internete: <https://www.researchgate.net/publication/360335782_The_Role_of_Statistical_Software_in_Data_Analysis>

MACMILLAN, A., PRESTON, D., WOLFE, J., YU, S., 2024 *Basic statistics- mean, median, average, standard deviation, z-scores, and p-value* [online] [cit. 2024-02-15] Dostupné na internete: <[https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Industrial_and_Systems_Engineering/Chemical_Process_Dynamics_and_Controls_\(Woolf\)/13%3A_Statistics_and_Probability_Background/13.01%3A_Basic_statistics-_mean_median_average_standard_deviation_z-scores_and_p-value](https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Industrial_and_Systems_Engineering/Chemical_Process_Dynamics_and_Controls_(Woolf)/13%3A_Statistics_and_Probability_Background/13.01%3A_Basic_statistics-_mean_median_average_standard_deviation_z-scores_and_p-value)>

RADWAG, 2024 *MA 210.R.WH Moisture Analyzer* [online] [cit. 2024-03-23] Dostupné na internete: <https://radwag.com/apiproduct/api_data_sheet.php?code=F4N&lang=en&option=s>

Súhrn

Táto diplomová práca sa zaoberá štatistickou analýzou meteorologických a fyzikálnych údajov pomocou špeciálne vyvinutého softvéru. Cieľom bolo efektívne spracovať a analyzovať dáta získané z meteostaníc a ďalších meracích prístrojov, s dôrazom na vizualizáciu, regresnú analýzu a identifikáciu vzťahov medzi premennými. V rámci práce bola vytvorená aplikácia kombinujúca programovací jazyk C# a prostredie Microsoft Visual Studio 2022, ktorá umožňuje komplexné spracovanie dátových súborov vo formáte CSV a ich následnú štatistickú analýzu. Dosiahnuté výsledky predstavujú pokrok v oblasti predpovedí a analýz environmentálnych a fyzikálnych javov, vďaka pokročilým metódam vizualizácie a modelovania dát. Práca potvrdzuje zvyšujúci sa význam štatistického softvéru v meteorológii a poukazuje na flexibilitu a užívateľskú prívetivosť vyvinutej aplikácie, čím prispieva k lepšiemu porozumeniu súboru dát.

Kľúčové slová: Meteorologické stanice, Viskozimetre, Analyzátory vlhkosti, Štatistická analýza, Softvérový nástroj, Regresná analýza, Validácia údajov

Podakovanie

V tejto časti by som rád vyjadril svoju vďaku vedúcemu mojej diplomovej práce, Ing. Matúšovi Bilčíkovi, PhD., za jeho neoceniteľnú pomoc, odborné usmernenie, cenné návrhy a konštruktívne pripomienky počas procesu prípravy mojej diplomovej práce.

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci projektu 03-GASPU-2021, Inovatívne riešenia využitia fotovoltaiiky k znižovaniu energetickej náročnosti prevádzkovania poľnohospodárskych objektov, Grantová agentúra SPU v Nitre.

POROVNANIE EFEKTÍVNOSTI VARIABILNEJ A UNIFORMNEJ APLIKÁCIE CHEMICKÝCH LÁTKO COMPARISON OF EFFICIENCY OF VARIABLE AND UNIFORM CHEMICAL APPLICATION

BENJAMÍN ZVARA¹ - MIROSLAV MACÁK²

Abstract

The presented work deals with the issue of weed regulation after the harvest of the pre-crop, and comparing the variable application of a chemical substance by an offline system with a uniform application, as well as a mechanical method of regulation. Using Remote Sensing tools, we identified the occurrence of weeds on the experimental plot with the help of an unmanned aircraft equipped with an optical RGB camera. The area of the experimental part of the plot was divided into zones in which the percentage rate of weeds was determined. More than 80% weeding rate was determined in all zones. The occurrence of weeds after the experiment was less than 7% in each zone. The achieved savings of chemical substances were 1.11% and 1.16%. In the case of individually controlled spray nozzles, the saving would 17.5%. Due to the high weeding rate of the experimental areas and the section control of the sprayer nozzles, the economic effect in terms of saved material costs for chemical substances was not manifested in the conditions of the 2023 season at the given location.

Key words: remote sensing, RGB image, variable rate application, uniform application, unmanned aircraft, weeding rate

1 Úvod

Variabilita je premenlivosť alebo rozdielnosť vlastností pôdy alebo porastov v rámci jednej parcely. Variabilitu je potrebné detekovať, zistiť jej príčinu, identifikovať či ide o náhodný alebo dlhodobý jav a navrhnúť zásahy, ktoré ju budú rešpektovať. Analýzou je možné určiť, či ide o viacročnú variabilitu, alebo variabilitu spôsobenú náhodným faktorom. Priestorová variabilita hovorí o premenlivosti v priestore v rámci plochy, časová variabilita hovorí o premenlivosti počas horizontu viacerých rokov. Použitím snímačov je možné získať informácie o variabilite pôdy a porastu, ktoré sú potrebné pre priestorovo diferenciované zásahy. Ide najmä o variabilnú aplikáciu hnojív, chemických látok, variabilné spracovanie pôdy alebo variabilnú sejbu. Nároky na tieto aplikácie sa rýchlo menia v čase, preto je pri nich potrebný včasný zásah, s dostatočnou presnosťou a s využitím získaných údajov. (Rataj et. al., 2014)

Podľa umiestnenia snímačov a spôsobu snímania (zo zemského povrchu alebo letecky) je možné ich rozdeliť (podľa Gebbers, 2014) na nasledujúce kategórie:

- Proximálne snímání – pozemná pohyblivá platforma (on the go a stop and go metódy),
- Proximálne snímání (in situ) – pozemná stacionárna platforma (trvalo umiestnené snímače v pôde a na poraste),

¹Bc. Benjamín Zvara, SPU TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, xzvara@uniag.sk

²doc. Ing. Miroslav Macák, PhD., SPU TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, miroslav.macak@uniag.sk

- Diaľkový prieskum Zeme (DPZ), často pod pojmom Remote Sensing – satelitná platforma, letecká platforma, UAV platforma – bezpilotné lietadlá.

Pod pojmom Diaľkový prieskum Zeme (DPZ) rozumieme pozorovanie a meranie objektov alebo javov na zemskom povrchu, vo vrstvách nad a pod povrchom Zeme, pričom nedochádza k priamemu fyzickému kontaktu s nimi. Výsledkom takéhoto diaľkového snímania (alebo fotografovania) je snímka, alebo digitálny záznam reflexie povrchu, ktoré sa využívajú v rôznych sférach. (Tátošová, 2017)

Podľa definície EASA (European Union Aviation Safety Agency) patrí dron do kategórie bezpilotných lietadiel, spoločne označovaných pojmom UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Bepilotné lietadlo je akékoľvek lietadlo určené na autonómnou prevádzku alebo na diaľkové riadenie bez pilota (operátora/ obsluhy) na palube tohto lietadla. Táto definícia zahŕňa všetky typy lietadiel bez pilota na palube vrátane diaľkovo riadených lietajúcich modelov (typu pevné krídlo, vrtuľníky, vetrone), bez ohľadu na to, či sú vybavené palubným snímačom alebo nie. (EASA, 2024).

Hlavným cieľom práce bolo overiť možnosť využitia bezpilotného lietadla (dronu) s optickou RGB kamerou pri identifikácii výskytu burín a výdrolu po zbere obilniny (green on brown) v konkrétnych výrobných podmienkach. Následne zhodnotiť efektívnosť variabilnej aplikácie na základe informácií z drona v porovnaní s uniformnou aplikáciou a v porovnaní s mechanickou reguláciou výdrolu a vzídených burín.

2 Materiál a metódy

Experimentálne overenie využitia dronu pri identifikáciu plošného výskytu burín (výdrolu) bolo realizované na podniku Agro Semeg S3, Horné Semerovce (lat 48.129, long 18.876). Sledované územie patrí z dlhodobého hľadiska do teplého, veľmi suchého klimatického regiónu. Klimatické podmienky sezóny 2023 boli v čase vykonávania experimentálnej úlohy (16.8 – 21.8.2023) nasledovné:

- rozsah priemernej teploty vzduchu cca 24 – 28 °C (celomesačne 12 – 32 °C),
- rozsah úhrnu zrážok cca 8 mm (celomesačne cca 60 mm),
- vysoká oblačnosť (viac ako 70% počas 3 dní).

Informácie o vybranom stanovišti – experimentálna parcela a layout experimentu

- Názov parcely: Nad Kaplnkou,
- Kód dielu: 443129301/1,
- Celková výmera: 32,95 ha,
- Experimentálna plocha 1 (variabilná aplikácia): 2,17 ha,
- Experimentálna plocha 2 (uniformná aplikácia): 1,39 ha,
- Experimentálna plocha 3 (mechanické kyprenie pôdy): 3,71 ha,
- Kontrolný pás (bez zásahu): 0,11 ha,
- Pôdny typ a druh: hnedozeme, ťažké pôdy, ílovito-hlinité,
- Heterogenita / homogenita parcely: hlboké, ťažké pôdy, ílovito-hlinité hnedozeme, bez skeletu; BPEJ: 0151003; BPEJ: 0151203,
- Predplodina: pšenica ozimná,
- Termín sejby predplodiny: október 2022 (prvá dekáda),
- Plodina po aplikácii: žiadna.

Na základe vizuálnej identifikácie plošného výskytu výdrolu a vzídených burín bol zvolený nasledovný layout (*Obr. 1Obr. 1*).



Obr. 1 Zvolený layout experimentálnych plôch danej parcely, 1 – variabilná aplikácia, 2 – uniformná aplikácia, 3 – mechanické odstránenie výdrolu a burín.
Chosen layout of experimental plots of the given plot, 1 - variable application, 2 - uniform application, 3 - mechanical removal of residue and weeds.

Fig. 1

Rámcový postup experimentu:

1. Výber stanovišťa – pozemku,
2. Rozdelenie pozemku na experimentálne plochy s cieľom porovnať variabilnú a uniformnú aplikáciu,
3. Identifikácia variability – rozsahu potrebnej aplikácie na danej ploche,
4. Približné percentuálne vyjadrenie výskytu výdrolu na všetkých plochách (pomocou softvérov „IrfanView“, „Gimp“ a „PhotoScape X“),
5. Tvorba aplikačnej mapy (pomocou softvérov „GeoPhoto“ a „Telus Agronomy“),
6. Import aplikačnej mapy do systému postrekovača (vzdialený prístup pomocou portálu MyJohnDeere.com) a jeho otestovania na mechanizačnom stredisku,
7. Zásahy pre likvidáciu výdrolu a burín:
 - Plocha 1: Variabilná aplikácia na experimentálnej parcele,
 - Plocha 2: Uniformná aplikácia na experimentálnej parcele,
 - Plocha 3: Mechanické odstránenie výdrolu na experimentálnej parcele, ako klasický postup likvidácie výdrolu.
8. Verifikácia účinnosti likvidácie výdrolu.

Použité technické zariadenia

Na identifikáciu plošného výskytu výdrolu a burín po zbere predplodiny a verifikáciu účinnosti CHOL po experimente bolo využité bezpilotné lietadlo DJI Mini 2 (Obr. 2 vľavo) vybavené optickou RGB kamerou. Podrobné snímání povrchu parcely a vytváranie snímok potrebných pre tvorbu aplikačnej mapy sme realizovali bezpilotným lietadlom DJI Mavic 2 Zoom (Obr. 2 vpravo) vybaveným optickou RGB kamerou. Bližšie technické parametre bezpilotných lietadiel uvádza (Tab. 1).



Obr. 2 Používané bezpilotné lietadlá – DJI Mini 2 (vľavo), DJI Mavic 2 Zoom (vpravo).
Utilized unmanned aerial vehicles - DJI Mini 2 (left), DJI Mavic 2 Zoom (right).

Tab. 1 Technické parametre použitých bezpilotných lietadiel.

Tab. 1 Technical parameters of the utilized unmanned aerial vehicles.

Fig. 2	Bezpilotné lietadlo	DJI Mini 2	DJI Mavic 2 Zoom
	Rozmery (dĺžka x šírka x výška), (mm)	245 x 289 x 56	322 x 242 x 84
	Celková vzletová hmotnosť, (g)	249	905
	Maximálny letový čas na 1 batériu (bezvetrie), (min)	31	33
	Optická (RGB) kamera	FOV: 83°, Ekvivalent 35mm: 24 mm, Clona: f/2.8,	FOV: cca 83° (24 mm); cca 48° (48 mm), Ekvivalent 35 mm: 24 – 48 mm, Clona: f/2,8 (24 mm) – f/3,8 (48 mm)
	Rozlíšenie optickej kamery	12 mpx	12 mpx

Analýza údajov a použitý softvér

Pomocou voľne dostupných softvérov pre prácu s fotografickými snímkami sme využili softvéry „IrfanView“ a „PhotoScape X“. Postupovali sme nasledovne:

- Orezanie snímky podľa hraníc pozemku,
- Transformácia šikmého pohľadu na kolmý pohľad zhora (nástroj „Perspective Crop“),
- Výber experimentálnych zón (Obr. 3),
- Selekcia odtieňov zelenej farby (vzídený výdrol kultúrnej plodiny a semien burín),
- Transformácia zelených odtieňov na bielu farbu a zvyšných odtieňov na čiernu farbu,
- Exportovanie snímky v čierno-bielom rozlíšení (1 bitová mapa),
- Prekrytie snímok (originál „Perspective Crop“ a čierno-biela snímka z „IrfanView“) – prekreslenie hraníc experimentálnych plôch,
- Orezanie jednotlivých experimentálnych plôch a export snímok (1 snímka = 1 plocha).



Obr. 3 RGB snímka experimentálnych plôch po transformácii pohľadu
RGB image of experimental plots after viewpoint transformation.

Fig. 3
Pri približnom percentuálnom určení miery zaburinenia sme pracovali s voľne dostupným softvérom „Gimp“. Pracovali sme s každou orezanou snímkou individuálne. Postupovali sme nasledovne:

- Otvorenie snímok v „Editore“,
- Zobrazenie „Histogramu“ cez „Dokovateľné okná“,
- Výber bielej farby zo snímky,
- Funkcia „Vyhladzovanie hrán aktívna“, hodnota „Prah = 0,0“,
- Zistenie počtu pixelov bielej farby danej snímky pomocou „Histogramu“.

Pri výpočte približnej percentuálnej miery zaburinenia P, pri každej experimentálnej ploche individuálne, sme vychádzali zo vzorca:

$$P = \frac{\text{počet pixelov konkrétnej farby (biela)}}{\text{počet všetkých pixelov}} * 100 \%$$

Technické parametre použitej strojovej techniky

Pre uniformnú a variabilnú aplikáciu CHOL na vybranej parcele bol použitý návesný postrekovač John Deere R740i PowrSpray. Technické parametre:

- Pracovný záber (šírka ramien): 24 m,
- Počet sekcií: 6,
- Počet postrekovacích trysiek: 48,
- Vzdialenosť postrekovacích trysiek: 0,5 m,
- Individuálne ovládanie postrekovacích sekcií (Section Control): áno,
- Objem postrekovacej nádrže: 4000 l,
- Maximálna rýchlosť plnenia nádrže: 600 l/ min,
- Konektivita ISOBUS: áno.
- Priemerná pracovná rýchlosť súpravy traktor + postrekovač: 14 km/h,
- Dávka CHOL (zmes v nádrži – Tank Mix): 130 l/ha,
- Dávka totálneho herbicidu: 2 l/ha (účinná látka glyfosát),
- Dávka zmáčadla (Shaman): 0,2 l/ha (účinná látka alkylfenolalkoxylát)
- Pracovný tlak: 1,4 bar,

- Výška ramien postrekovača (od povrchu poľa po rám) pri aplikácii: cca 80 cm (automatické vyrovňovanie ramien),
- Zvolené nastavenie: Aktuálna dávka – pri variabilnej aplikácii, Riadenie sekcií - pri uniformnej aplikácii.

Mechanické odstránenie výdrolu na vybranej parcele (prvá podmietka po zbere predplodiny) sme realizovali dňa 17.8.2023 tanierovým podmietačom Bednar Swifter Disc XE 12 400. Technické parametre:

- Pracovný záber: 12,4 m,
- Počet tanierov: 96 ks,
- Rozmer tanierov: 520 x 5 mm,
- Tvar tanierov: zrezaný kužeľ,
- Hĺbka spracovania pôdy: 2 – 12 cm.

3 Výsledky a diskusia

Mapovanie výskytu burín a výdrolu

Klimatická sezóna 2023 sa prejavila v danom regióne vysokým ročným úhrnom zrážok, približne 740 mm (dlhoročný priemer 550 – 600 mm). Vysoký úhrn zrážok mal za následok vyšší plošný výskyt vzídeného výdrolu kultúrnej plodiny a semien burín.

Plošný výskyt burín a výdrolu bol zisťovaný 16.8.2023 (cca 21 dní po zbere predplodiny) bezpilotným lietadlom DJI Mini 2 vybaveným optickou RGB kamerou, v letovej výške 120 m. Na základe získaných informácií z RGB snímok (JPG formát, rozlíšenie 4000 x 2250 px) bola určená približná percentuálna miera zaburinenia experimentálnych plôch, čo znázorňuje (Tab. 2).

Tab. 2 Miera zaburinenia plôch pred a po realizácii experimentu
Tab. 2 Degree of weed infestation before and after experiment implementation.

	Experimentálna plocha 1	Experimentálna plocha 2	Experimentálna plocha 3	Kontrolný pás
Výmera, (ha)	2,17	1,39	3,71	0,11
Miera zaburinenia (pred zásahom), (%)	82,50	97,77	93,01	92,15
Miera zaburinenia (po zásahu), (%)	3,77	6,89	1,22	92,15

Variabilný a uniformný zásah

Snímanie povrchu experimentálnej parcely sme uskutočnili bezpilotným lietadlom DJI Mavic 2 Zoom vybaveným optickou RGB kamerou, v letovej výške 20 - 22 m. Na základe získaných informácií z RGB snímok (JPG formát, rozlíšenie 4000 x 3000 px) bola vytvorená aplikačná mapa pre variabilnú aplikáciu (Obr. 4) pomocou softvérov „GeoPhoto“ a „Telus Agronomy“. Algoritmus pre jej tvorbu bol založený na princípe vynechania dávky totálneho herbicídu na plochy, ktoré boli bez výskytu burín alebo výdrolu.



Obr. 4 Aplikačná mapa vytvorená v softvéri „Telus Agronomy“
Application map created in the 'Telus Agronomy' software.

Na 17,5% plochy by nebol použitý totálny herbicíd. Rozlíšenie mapy však bolo limitované technickými možnosťami postrekovača, ktorý disponoval iba vypínaním / zapínaním postrekovacích sekcií.

Tento fakt zásadne ovplyvnil proces tvorby aplikačnej mapy a vzhľadom na priestor eliminoval nepostriekané plochy z 17,5 % na 1,11 %. V tomto prípade bola úspora použitých CHOL pri variabilnej aplikácii voči uniformnej na ploche č.1 0,048 l/ha totálneho herbicídu (1,11 %) a 0,005 l/ha zmáčadla (1,16 %), čo je však spôsobené technikou, ktorá limitovala rozlíšenie aplikačnej mapy. Z hľadiska vysokej miery zaburinenia pozemku, využitia sekčného riadenia trysiek na postrekovači, ako aj dostupného rozlíšenia RGB snímok možno konštatovať, že nedošlo k výraznej redukcii materiálových nákladov na variabilnú aplikáciu CHOL.

V prípade individuálne riadených postrekovacích trysiek (pulzné riadenie) by bol možný výber väčšieho počtu variabilne ošetrených zón, a bolo by možné rešpektovať všetky plochy, ktoré neboli zaburinené, pričom úspora by predstavovala 17,5%.

Cena jedného balenia totálneho herbicídu predstavovala 358 EUR (20 l), v prepočte 17,90 EUR (1 l). Pri modelovaní na priemernú plochu parciel podniku (50 ha), rešpektovaní stanovenej dávky (2 l / ha) a celej plochy bez ošetrenia totálnym herbicídom (17,5 %) by úspora predstavovala 17,5 l totálneho herbicídu (v prepočte 313,25 EUR).

Cena jedného balenia zmáčadla predstavovala 18 EUR (5 l), v prepočte 3,60 EUR (1 l). Pri modelovaní na priemernú plochu parciel podniku (50 ha), rešpektovaní stanovenej dávky (0,2 l / ha) a celej plochy bez ošetrenia zmáčadlom (17,5 %) by úspora predstavovala 1,75 l zmáčadla (v prepočte 6,30 EUR).

Vzhľadom na veľmi mokré poľnohospodársku sezónu 2023 a nadmerný úhrn zrážok počas zberových prác a pozberových prác by sme dokázali ušetriť 17,5% experimentálnej plochy 1. V prípade priaznivejších klimatických podmienok a suchšieho roka by úspora CHOL predstavovala vyššie percentá.

Účinnosť regulácie burín variabilnou aplikáciou bola porovnateľná s uniformnou vykonanou prostredníctvom aplikácie CHOL aj celoplošným mechanickým kyprením povrchovej vrstvy pôdy. Percentuálna miera zaburinenia po zásahoch bola nasledovná:

- experimentálna plocha 1 (variabilná aplikácia): 3,77 %,
- experimentálna plocha 2 (uniformná aplikácia): 6,89 %,
- experimentálna plocha 3 (mechanický zásah): 1,22 %,
- kontrolný pás (bez zásahu): 92,15 %.

Kontrolu účinnosti regulácie burín (pohľad zhora) znázorňuje (Obr. 5).



Obr. 5 Kontrola účinnosti regulácie burín – pohľad pred (hore) a po vykonaní aplikácie (dole)
 Fig. 5 Weed control effectiveness assessment - view before (top) and after application (bottom).

Autor Brocka (2021), ktorý vykonával experimentálne variabilné aplikácie v podniku Agromačaj zistil, že priemerná dosiahnutá úspora CHOL predstavovala 38 - 51 % v závislosti od typu aplikácie. Pri vykonávaní experimentu autor pracoval s variabilnými aplikáciami na ploche bez kultúrnej plodiny, ako aj v poraste kultúrnej plodiny a zonálnymi aplikáciami. Experiment bol realizovaný pomocou samohybného postrekovača Agrifac pomocou technológií Trimble VRX a Agrifac DDP (elektronická – pulzná regulácia každej trysky postrekovača samostatne). Zber dát a tvorba aplikačnej mapy boli realizované externým dodávateľom, ktorý pomocou bezpilotného lietadla a vlastných softvérov vykonal skenovanie povrchu pozemkov v rôznych spektrách (RGB, NIR, NDVI) s vysokým rozlíšením (1 pixel na 5 cm) a vytvoril aplikačnú mapu pre variabilnú aplikáciu CHOL.

4 Záver

Hlavným cieľom predkladanej práce bolo na základe experimentálnej úlohy overiť vo vybranom podniku využitie dronu so snímačom (optická RGB kamera) pri identifikácii plošného výskytu burín (výdrolu po zbere obilniny), vytvorenie aplikačnej mapy a realizáciu variabilnej aplikácie CHOL (systém „green on brown“).

Z hľadiska technického vybavenia sme dokázali pomocou nízko-nákladových bezpilotných lietadiel s optickými RGB kamerami určiť približnú mieru zaburinenia experimentálnych plôch a snímať povrch experimentálnych plôch pre potrebu tvorby aplikačnej mapy. V prípade použitia multispektrálnej kamery (s vyššou obstarávacou cenou) je potenciál presnosti nadobudnutých údajov ešte vyšší.

Ekonomická efektívnosť variabilnej aplikácie bola limitovaná rozlíšením aplikačnej mapy v zmysle rešpektovania veľkosti nezaburinených plôch, a následné technické možnosti aplikačnej techniky. Vo veľmi mokrej poľnohospodárskej sezóne 2023 bol stanovený potenciál úspory 17,5 % pre experimentálnu plochu 1.

Z hľadiska porovnania účinnosti variabilnej aplikácie (voči uniformnému zásahu) možno považovať uvedenú metódu variabilnej aplikácie CHOL za vhodný nástroj na reguláciu burín v systéme „green on brown“ s vysokým potenciálom na zníženie materiálových vstupov. Avšak vzhľadom k vysokej miere zaburinenia experimentálnych plôch (nad 80 %) a technickým obmedzeniam pri realizácii zásahu sa ekonomický efekt z hľadiska ušetrených materiálových nákladov na CHOL v podmienkach poľnohospodárskej sezóny 2023 na danej lokalite neprejavil.

Z tohto dôvodu v rámci ďalších experimentálnych úloh odporúčame stanoviť limitnú hranicu zaburinenia pozemku, pri ktorej je ešte variabilná aplikácia CHOL ekonomicky rentabilná, a to s využitím klasickej pozemnej platformy aplikácie (sekčné riadenie, pulzné riadenie trysiek), ako i s využitím leteckej aplikácie pomocou UAV.

5 Literatúra

BROCKA, Benjamín. 2021. Variabilná aplikácia ochranných látok v systéme presného poľnohospodárstva [online]. © 2021 [cit. 2024-03-28]. Dostupné na: <<https://opac.crzp.sk/?fn=detailBiblioFormChildI3GUE7&sid=4BD9478A3A7038F60C253FAC8853&seo=CRZP-detail-kniha>>.

GEBBERS, R. 2014. Current Crop and Soil Sensors for Precision Agriculture [online]. © 2014 [cit. 2024-03-28]. Dostupné na: <https://www.researchgate.net/publication/272016538_Current_Crop_and_Soil_Sensors_for_Precision_Agriculture>.

GNU. 2023. Gimp [softvér]. Version 2.10.34. [prístup 28.3.2024]. Dostupné na: <<https://www.gimp.org/>>.

MOOII Tech. 2022. PhotoScape X [softvér]. Version 4.2.1. [prístup 28.3.2024]. Dostupné na: <<http://x.photoscape.org/>>.

PARTL, Timo. 2023. GeoPhoto [softvér]. Version 1.0. [prístup 16.8.2023]. Dostupné na: <<https://apps.microsoft.com/detail/9wzdncrfj0f2?hl=sk-SK&gl=NO>>.

RATAJ, Vladimír et al. 2014. Presné poľnohospodárstvo. Praha : Profi Press s.r.o. 160 s. ISBN 978-80-86726-64-9.

SKILJAN, Irfan. 2024. IrfanView [softvér]. Version 4.66 [prístup 28.3.2024]. Dostupné na: <<https://www.irfanview.com/>>.

TÁTOŠOVÁ, Lucia. 2017. Diaľkový prieskum Zeme. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. 114 s. ISBN 978-80-552-1755-0.

Telus Agronomy. 2023. GeoPhoto [softvér]. Version 3.36.7 [prístup 16.8.2023]. Dostupné na: <<https://www.agrian.com/home/login/>>.

Types of drone the Regulation refers to. 2024. In EASA – The Agency. © 2024 [cit. 2024-03-28]. Dostupné na: <<https://www.easa.europa.eu/en/faq/116448>>.

Súhrn

V predkladanej práci sa riešila problematika regulácie výskytu burín po zbere predplodiny, a porovnania variabilnej aplikácie chemickej ochrannéj látky systémom offline s uniformnou aplikáciou, ako aj mechanickým spôsobom regulácie. Využitím nástrojov Diaľkového prieskumu Zeme sme pomocou bezpilotného lietadla vybaveného optickou RGB kamerou identifikovali výskyt burín na experimentálnej parcele. Plocha experimentálnej časti parcely bola rozdelená na menšie plochy, v ktorých bola určená približná percentuálna miera zaburinenia. Na všetkých plochách bola dosiahnutá viac ako 80 % miera zaburinenia. Výskyt burín po realizácii experimentu bol menej ako 7 % na jednotlivých plochách. Dosiahnutá úspora chemických ochranných látok predstavovala 1,11 % a 1,16 %. V prípade individuálne riadených postrekovacích trysiek (pulzné riadenie) by bol možný výber väčšieho počtu variabilne ošetrovaných plôch, a bolo by možné rešpektovať všetky plochy, ktoré neboli zaburinené, pričom úspora by predstavovala 17,5 %. Vzhľadom k vysokej miere zaburinenia experimentálnych plôch a sekčnému riadeniu postrekovacích trysiek postrekovača sa ekonomický efekt z hľadiska ušetrovaných materiálových nákladov na chemické ochranné látky v podmienkach sezóny 2023 na danej lokalite neprejavil.

Kľúčové slová: bezpilotné lietadlo, Diaľkový prieskum Zeme, miera zaburinenia, RGB snímka, uniformná aplikácia, variabilná aplikácia

Ďakujeme podniku Agro Semeg S3 za možnosť realizovať experimentálnu úlohu na vybranej parcele a za technické vybavenie, ktoré nám bolo poskytnuté.

POROVNANIE SPOTREBY PALIVA TRAKTORA 4K4 PRI JAZDE NA TROCH RÔZNYCH POJAZDOVÝCH KOLESÁCH COMPARISON OF FUEL CONSUMPTION OF 4K4 TRACTOR WHEN DRIVING ON THREE DIFFERENT DRIVE WHEELS

TIMOTEJ ŽILKA¹ – RUDOLF ABRAHÁM²

Abstract

The work is devoted to the comparison of fuel consumption and power transmission efficiency of the tractor Tomo Vinkovič 731 4K4 in the version of three different versions of the drive wheels on the front drive axle on grass at an average volumetric soil moisture of 30.64 % and a volumetric weight of 1.44 g.cm⁻³. The measuring chain for measuring the tractor's fuel consumption and traction force consists of a digital flow meter, a strain gauge, a Hydac 3010 recording unit, a Maha tachometer, two 12V power accumulators and an electrical fuel consumption recording system. The output is a comparison of the specific pull and hourly fuel consumption of standard radial tires, active 16 stud tires and inactive 16 stud tires on the front axle, with standard radial tires on the rear axle. Hourly and specific fuel consumption measurements in all three constant load stages are lowest for active tires, followed by inactive and very similar, but with the highest fuel consumption recorded in all measurements for standard radial tires.

Key words: comparison, tractor, fuel consumption, studded tires

1 Úvod

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

2 Materiál a metódy

¹Bc. Timotej Žilka, SPU TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, xzilka@uniag.sk

²doc. Ing. Rudolf Abrahám, PhD., SPU TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, rudolf.abraham@uniag.sk

Experimentálny traktor Tomo Vinkovič 731 (ďalej TV 731)

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



Fig.

Obr. 1 Experimentálny traktor TV 731 so špeciálnymi hnacími kolesami v aktívnej polohe hrotov na prednej náprave

Experimental tractor TV 731 with special driving wheels in the active position of the spikes on front axle

Tab. 1 Základné technické parametre experimentálneho traktora TV 731

Tab. 1 Fundamental technical parameters experimental tractor TV 731

Typ motora	4 - taktný, 2 – valcový, vznetový, vzduchom chladený motor	Rozmery traktora - dĺžka x šírka, mm	2740 x 1200
Maximálne otáčky, min ⁻¹	3000	Max. ťahová sila na asfalte bez závažia, N	9025

Menovitý výkon, kW	22,5	Max. ťahová sila na asfalte so závažím, N	10300
Pracovný objem, cm ³	1346	Rázvor, mm	1185
Max. krútiaci moment/otáčky, Nm/min ⁻¹	67,6/2000	Pohotovostná hmotnosť so závažím/bez závažia, kg	1206/1030

Brzdiaci traktor Zetor 6321

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



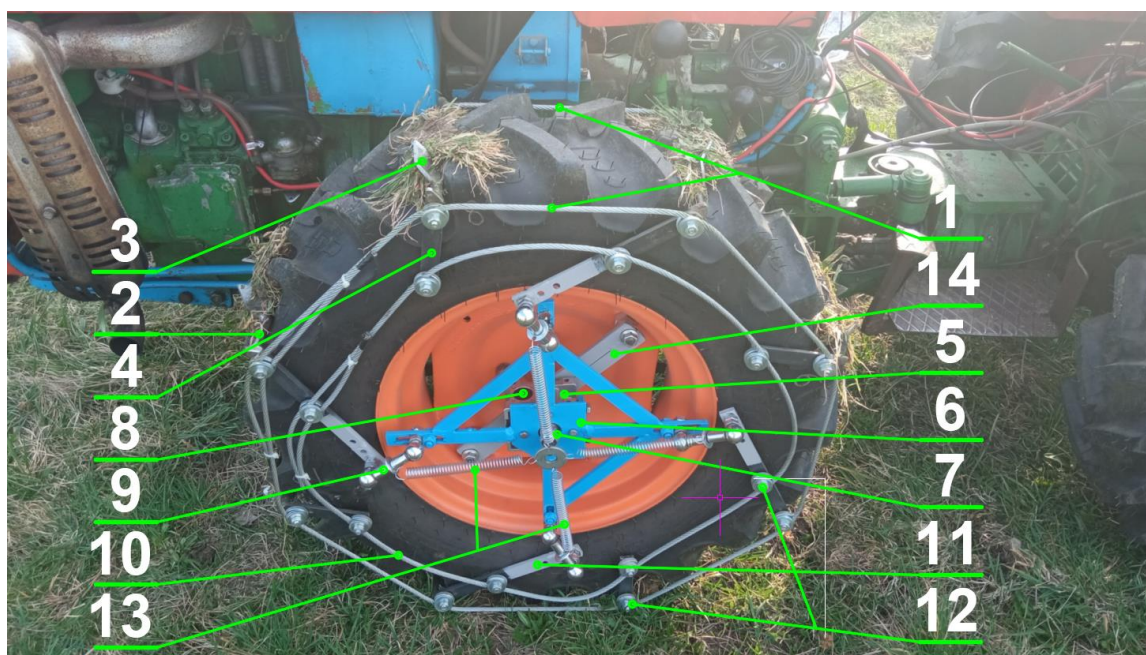
Obr. 2 Brzdiaci traktor Zetor 6321
Braking tractor Zetor 6321

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

Typ motora	4 taktný, 4 valcový, vznetový, vodou chladený motor	Rozmery traktora - dĺžka x výška, mm	3820 x 2650
Maximálne otáčky, min ⁻¹	2450	Max. hmotnosť prívesu, kg	8500
Menovitý výkon, kW	54 pri 2200 min ⁻¹	Rozsah rýchlosti, km.h ⁻¹	2,0-40

Pracovný objem motora, cm ³	3922	Rázvor, mm	2260
Max. krútiaci moment, Nm	247 pri 1500 min ⁻¹	Pohotovostná hmotnosť, kg	3200

Špeciálne hnacie kolesá



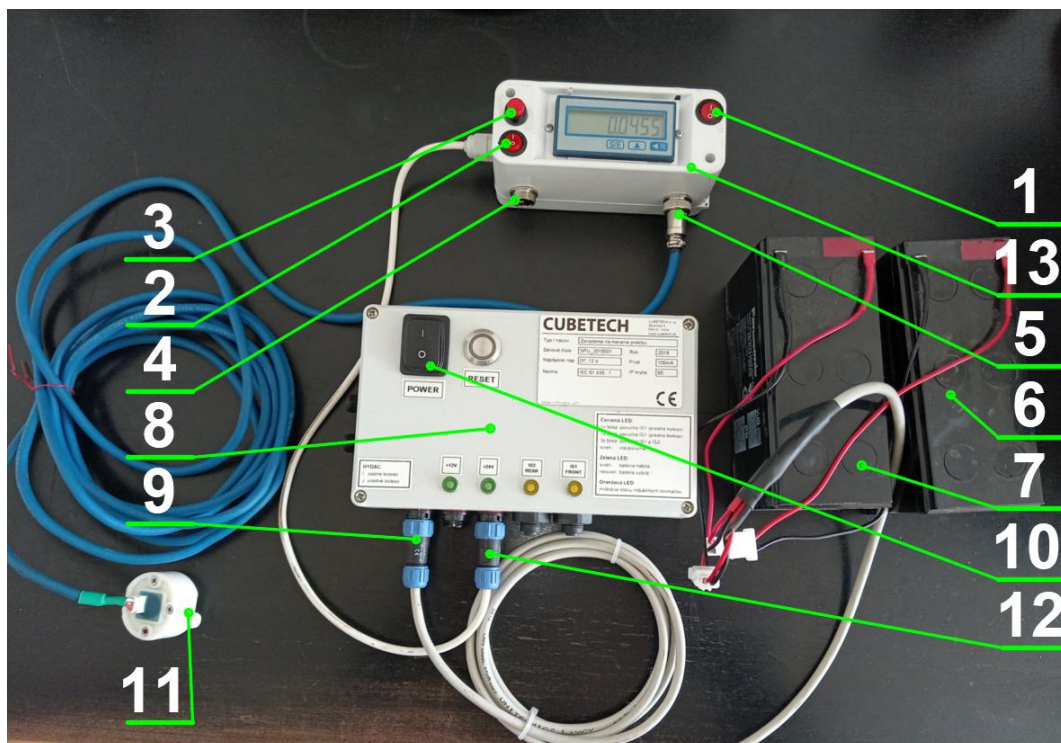
Obr. 3 Špeciálne hnacie kolesá pozostávajúce z radiálnej pneumatiky BKT 210/95 R16 a hrotového zariadenia: 1 – nosné lano, 2 – vodorovné rameno, 3 – hrot, 4 – zvislé rameno krátke, 5 - závitková samosvorná prevodovka , 6 – unášač ovládania, 7 – zaist'ovacia matica M14, 8 – ovládací hriadeľ s maticou M8, 9 – kĺbové tiahlo, 10 – ovládacie lano, 11 – zvislé rameno dlhé, 12 – otočné čapy, 13 – pomocné pružiny, 14 – nosník ovládania

Special driving wheels consist of radials tyre BKT 210/95 R16 and spikes device: 1 – carrying wire rope, 2 – cross-beam, 3 – spike, 4 - vertical arm short, 5 – worm self-locking gearbox, 6 – operating carrier, 7 – blocked screw M14, 8 – hexagonal head M8, 9 – joint coupling, 10 – control wire rope, 11 – vertical arm long, 12 – pivoted pins, 13 – auxiliary springs, 14 – control beam

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

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

Použité meracie zariadenia – elektrický systém prietoku paliva



Obr. 4 Elektrický systém merania spotreby paliva: 1- tlačidlo programovania meracieho zariadenia prietoku paliva, 2 – tlačidlo zastavenia merania prietoku paliva, 3 – nulovacie tlačidlo, 4 – konektor pre pripojenie prietokomera prepádového potrubia, 5 – konektor pre pripojenie prietokomera privodného potrubia, 6,7 – napájacie gélové 12V akumulátory Panasonic LC-R127R2P, 8 – Napájací zdroj s možnosťou pripojenia 12V a 24V napájania, 9 Fig. 4 – napájací konektor pripojenia oboch akumulátorov, 10 – hlavný vypínač napájacieho zdroja, 11 – prietokomer paliva FCH m-POM-LC, 12 – 24V napájanie prietokomera, 13 – meracie zariadenie merania prietoku paliva

FigElectrical fuel consumption measurement system: 1 – fuel flow measuring device programming button, 2 – fuel flow measurement stop button, 3 – reset button, 4 – connector for connecting the flow meter of the overflow pipe, 5 – connector for connecting the flow meter of the supply pipe, 6,7 – Panasonic LC power gel batteries R127R2P, 8 – Power supply with the possibility of connecting 12V and 24V power supply, 9 – power connector for connecting both accumulators, 10 – main switch of the power supply, 11 – fuel flow meter FCH m-POM-LC, 12 – 24V power supply of the flow meter, 13 – measuring device fuel flow measurements

Spotreba paliva

Spotrebu paliva sme merali podľa údajov z meracieho zariadenia prostredníctvom elektrického systému počítania otáčok vrtuľky prietokomera na Obr. 4. Následne sme vypočítali hodinovú spotrebu podľa nižšie uvedeného postupu:

1 - výpočet spotreby paliva v mililitroch:

$$V_{ml} = \frac{n_p}{k}, ml \quad (1)$$

Kde: n_p – počet impulzov na displeji prietokomera
 k – prepočítavací koeficient impulzov na mililitre má hodnotu 20

Where: n_p – number of impulses on display of flowmeter, $kg \cdot m^{-3}$
 k – conversion coefficient of pulses per millilitre has a value of 20

2 – výpočet spotreby paliva v gramoch:

$$m_{pal} = \frac{V_{ml} \cdot \rho}{1000}, g \quad (2)$$

Kde: V_{ml} – spotreba paliva zo vzťahu 1
 ρ – hustota nafty, $kg \cdot m^{-3}$
 1000 – prepočítavacia konštanta z kilogramov na gramy

Where: V_{ml} – fuel consumption from relation 1
 ρ – diesel density, $kg \cdot m^{-3}$
 1000 – conversion constant from kilograms to grams

3 – výpočet hodinovej spotreby paliva:

$$m_h = \frac{m_{pal}}{t}, g \cdot h^{-1} \quad (3)$$

Kde: m_{pal} – spotreba paliva, g
 t – čas prejazdu vytýčeného úseku dlhého 50 metrov, h

Where: m_{pal} – fuel consumption, g
 t – time to drive the 50-meter-long marked section, h

Pomocou hodinovej spotreby paliva sme vyjadrili mernú ťahovú spotrebu paliva nasledovným postupom:

1 – Výpočet rýchlosti prejazdu:

$$v = \frac{s}{t}, m \cdot s^{-1} \quad (4)$$

Kde: s – vytýčený úsek 50 metrov
 t – čas prejazdu vytýčeného úseku, s

Where: s – marked section of 50 meters
 t – time of crossing the designated section, s

2 – Výpočet ťahového výkonu:

$$P_t = \frac{F_t \cdot v}{1000}, kW \quad (5)$$

Kde: F_t – priemerná ťahová sily na vytýčenom úseku, N
 v – pojazďová rýchlosť na vytýčenom úseku, $m \cdot s^{-1}$

Where: F_t – average tensile forces on the marked section, N
 v – driving speed on the designated section, $m \cdot s^{-1}$

3 – Výpočet mernej ťahovej spotreby paliva:

$$m_{pe} = \frac{m_h}{P_t}, g \cdot kW^{-1} \cdot h^{-1} \quad (6)$$

Kde: m_h – hodinová spotreba paliva, $g \cdot h^{-1}$
 P_t – ťahový výkon, kW

Where: m_h – hourly fuel consumption, $g \cdot h^{-1}$
 P_t – traction power, kW

Kompletná schéma meracieho reťazca a pôdne podmienky

Merací reťazec zobrazený na Obr. 8 bol meraný na vytýčenom úseku 50x50m na trávnom povrchu v areáli Slovenského poľnohospodárskeho múzea v Nitre a namerané parametre pôdy sú zobrazené v Tab. 3.

Tab. 3 Parametre pôdy

Tab. 3 Soil parameters

	Číslo valčeka	Hmotnosť valčeka s vlhkosťou pôdy	Hmotnosť valčeka po vysušení	Hmotnosť prázdneho valčeka	Objemová hmotnosť	Hmotnostná vlhkosť	Objemová vlhkosť
jednotky		g	g	g	g.cm ⁻³	%	%
tráva1	17	246,48	216,45	110,45	1,36	28,33	30,03
tráva2	18	247,02	217,29	109,32	1,38	27,54	29,73
tráva3	19	267,07	234,94	109,02	1,58	25,52	32,13
priemer		253,52	222,89	109,60	1,44	27,04	30,63

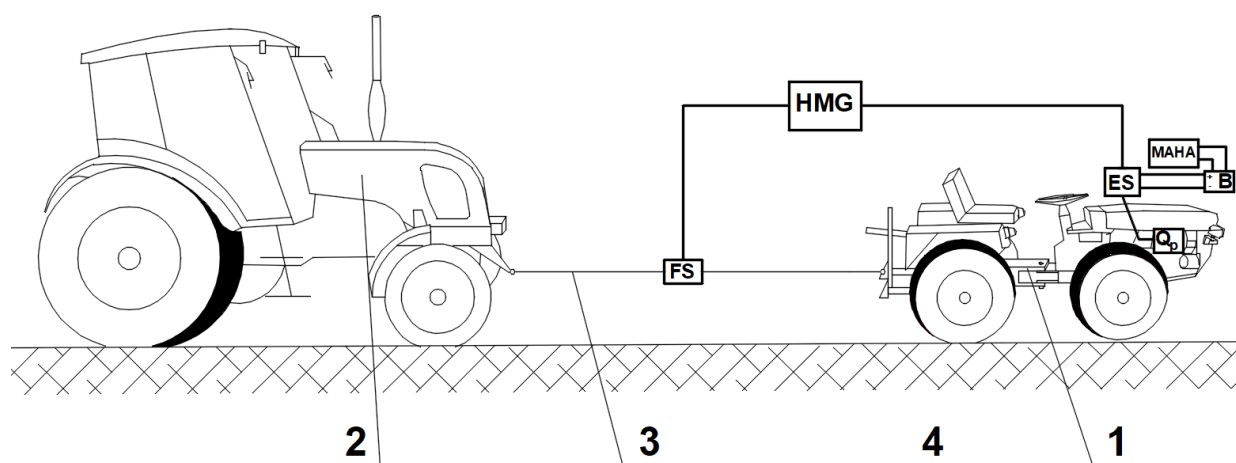


Fig. 5 Obr. 5 Schéma meracieho reťazca: 1 – experimentálny traktor TV 731, 2 – brzdiaci traktor Zetor 6321, 3 – spojovacia reťaz, 4 – piate koleso, IS1 – snímač otáčok hnacieho kolesa, IS2 – snímač otáčok piateho kolesa, FS – snímač sily, HMG – záznamová jednotka Hydac 3010, B – akumulátor, ES – elektronický systém na zobrazenie a počítanie impulzov prietokomera, MAHA – meranie otáčok motora, Q_p – prietokomer

Design measuring chain: 1 – experimental tractor TV 731, 2 – braking tractor Zetor 6321, 3 – connecting chain, 4 – fifth wheel, IS1 – drive wheel speed sensor, IS2 – fifth wheel speed sensor, FS – force sensor, HMG – recording unit Hydac 3010, B – battery, ES – electronic system for displaying and data storage fuel consumption from the flow meter, MAHA – measurement of engine speed, Q_p – flow meter

3 Výsledky a diskusia

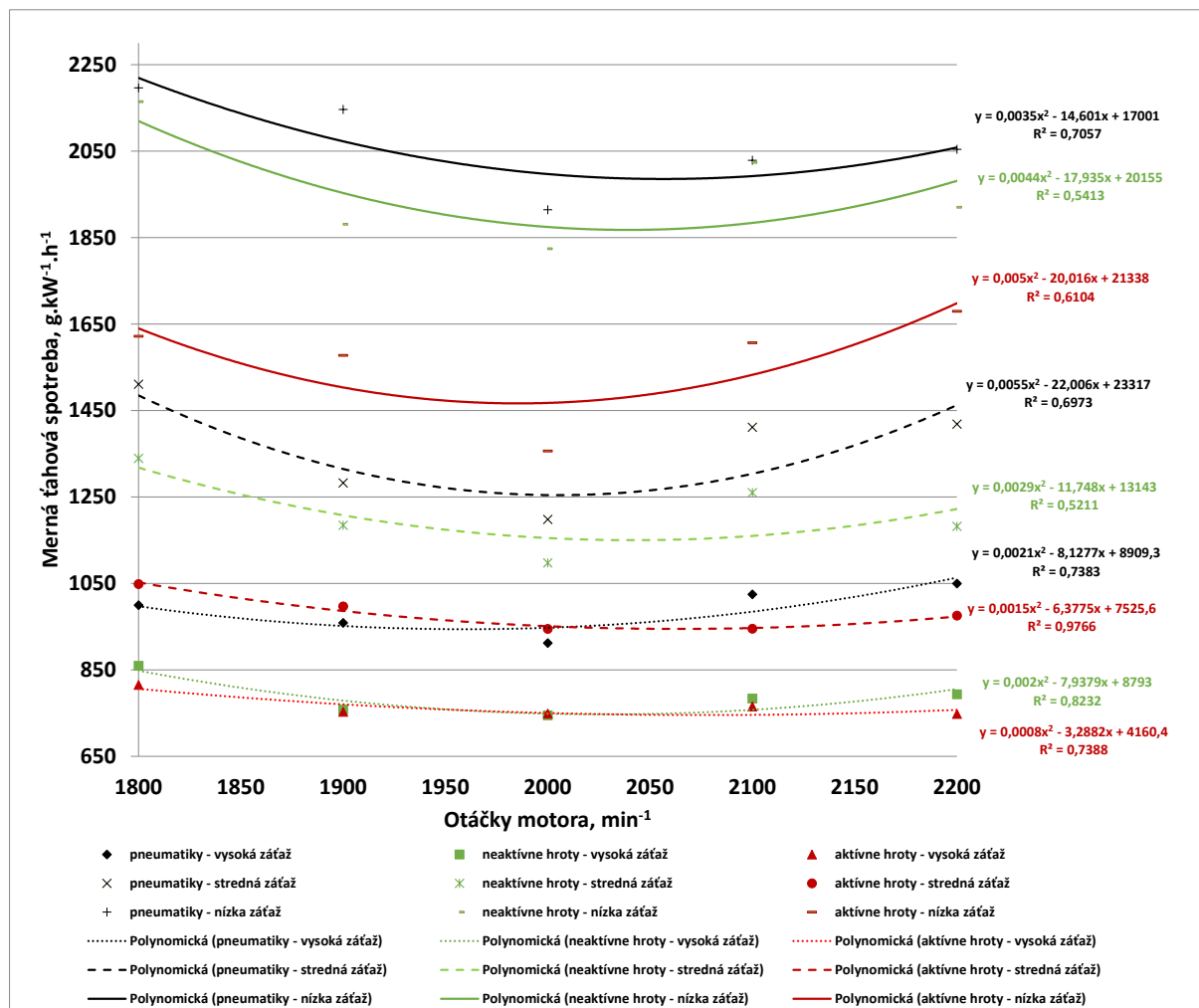
Meranie bolo uskutočnené v rôznych kombináciách otáčok motora experimentálneho traktora TV 731 a to pri 1800, 1900, 2000, 2100 a 2200 min⁻¹. Zaťažovacie stupne konštantnej záťaže tvorenej traktorom Zetor 6321 boli nastavené nasledovne. Nízka záťaž bola tvorená ťahaním traktora Z 6321 v zaradenom neutrály. Stredná záťaž bola zabezpečená ťahaním traktora Z6321 pri vypnutom motore a pri zaradenom piatom prevodovom stupni a vysoká záťaž bola vytvorená zaradením tretieho redukovaného prevodového stupňa pri otáčkach motora brzdiaceho traktora Z6321 na hodnote 1000 min⁻¹, pričom experimentálny traktor TV 731 mal pri všetkých meraniach zaradený tretí redukovaný prevodový stupeň. Každé meranie sa uskutočnilo iba raz a pri všetkých troch prevedeniach hnacích kolies. V Tab. 4 sú podkladové hodnoty pre Obr. 9, kde sú znázornené merné ťahové spotreby paliva v závislosti od otáčok motora experimentálneho traktora TV 731 pri všetkých kombináciách záťaže a typu hnacích kolies.

Tab. 4 Podkladová tabuľka spotreby paliva pre Obr. 9,10
Tab. 4 Background table of fuel consumption for Fig. 9, 10

Typ kolies prednej nápravy		Pneumatiky		Neaktívne hroty		Aktívne hroty	
Otáčky motora, min ⁻¹	Záťaž	Hodinová spotreba, g.h ⁻¹	Merná ťahová spotreba, g.kW ⁻¹ .h ⁻¹	Hodinová spotreba, g.h ⁻¹	Merná ťahová spotreba, g.kW ⁻¹ .h ⁻¹	Hodinová spotreba, g.h ⁻¹	Merná ťahová spotreba, g.kW ⁻¹ .h ⁻¹
1800	nízka	2697,26	2196,54	2541,77	2164,52	2132,75	1621,71
	stredná	2734,14	1510,79	2564,32	1339,40	2281,79	1048,33
	vysoká	2822,09	999,56	2764,54	859,39	2536,10	815,25
1900	nízka	2758,75	2146,61	2508,18	1880,71	2142,44	1577,63
	stredná	2833,12	1282,67	2523,31	1184,59	2259,59	996,70
	vysoká	2928,99	958,94	2733,54	758,31	2550,10	753,21
2000	nízka	2777,38	1914,69	2575,20	1824,51	2176,98	1356,50
	stredná	2850,16	1198,04	2621,55	1097,74	2322,37	944,68
	vysoká	2919,12	912,12	2980,88	744,80	2622,26	748,86
2100	nízka	2992,25	2028,76	2769,49	2023,82	2343,26	1606,90
	stredná	3316,68	1411,41	2856,74	1259,97	2353,93	945,37
	vysoká	3380,00	1024,86	3104,91	783,78	2729,59	765,30
2200	nízka	3153,87	2054,32	2938,42	1920,06	2354,08	1679,87
	stredná	3550,01	1418,42	3069,12	1182,02	2424,92	975,55
	vysoká	3495,75	1049,59	3292,18	793,51	2764,24	748,27

Na Obr. 9 je znázornenie hodinovej spotreby paliva podľa podkladovej Tab. 4 v závislosti od otáčok motora experimentálneho traktora TV 731 pri všetkých kombináciách záťaže a troch typoch hnacích kolies. Prvé merania sa uskutočňovali s neaktívnymi, čiže sklopenými hrotmi, nasledovalo nastavenie hrotov do vysunutej, resp. vztýčenej polohy a teda meranie s aktívnymi hrotmi. Na záver sa hrotové zariadenia z oboch predných kolies demontovali a v kolese ostal iba nosník, unášač a závitková prevodovka a merania pokračovali so štandardnými radiálnymi šípovými pneumatikami, ktoré mali každá na sebe vytvorené výrezy v počte osem kusov, ktoré však nemali výrazný vplyv na zmenu ťahovej sily oproti štandardným pneumatikám bez výrezov. Pričom výrezy sú vytvorené v kolmom smere

na pneumatiku a v pozdĺžnom smere z dezénu nechýba žiadny materiál záberových dezénov pneumatiky.



Obr. 6 Porovnanie mernej ťahovej spotreby paliva
Comparison of specific thrust fuel consumption

Dosiahnuté výsledky na Obr. 10 vo všetkých kombináciách meraní spotreby paliva pri troch stupňoch konštantnej záťaže deklarujú význam použitia hrotových zariadení na tvrdom suchom trávnom povrchu. Najlepšie výsledky dosahujú aktívne 16-hrotové pneumatiky, nasledujú neaktívne hrotové pneumatiky a vo všetkých meraniach najvyššiu spotrebu paliva sme zaznamenali pri štandardných radiálnych pneumatikách. Rozdiely sú zaznamenané pri všetkých druhoch konštantnej záťaže a boli merateľné aj pri nízkej záťaži, keď traktor TV731 ťahal brzdiaci traktor Z 6321 na neutrály. Treba však poznamenať, že podmienky pre meranie a zvýraznenie rozdielov boli najlepšie a so zvyšujúcou sa vlhkosťou pôdy sa rozdiely budú určite znižovať, z hľadiska horšej samočistiacej schopnosti obidvoch hrotových verzií pojazďových kolies. Treba však poznamenať, že ak by hrotové zariadenia boli inštalované aj na zadných kolesách traktora TV 731, tak by určite boli výsledky v prospech hrotových pneumatík ešte výraznejšie.

Merania pri prevedení na všetkých kolesách s hrotovými pneumatikami sú ešte v štádiu doriešenia a už sú v stave posledných úprav, pričom hrotové zariadenie na zadných kolesách už bude umožňovať aj použitie prídavných kolesových závaží. V takomto prípade sa bude dať

stanoviť a porovnať použitie hrotových kolies a kolies s prídavnými kolesovými závažiami, prípadne stanoviť hmotnosť prídavných kolesových závaží, ktorá bude zodpovedať nárastu ťahovej sily hrotových pneumatík.

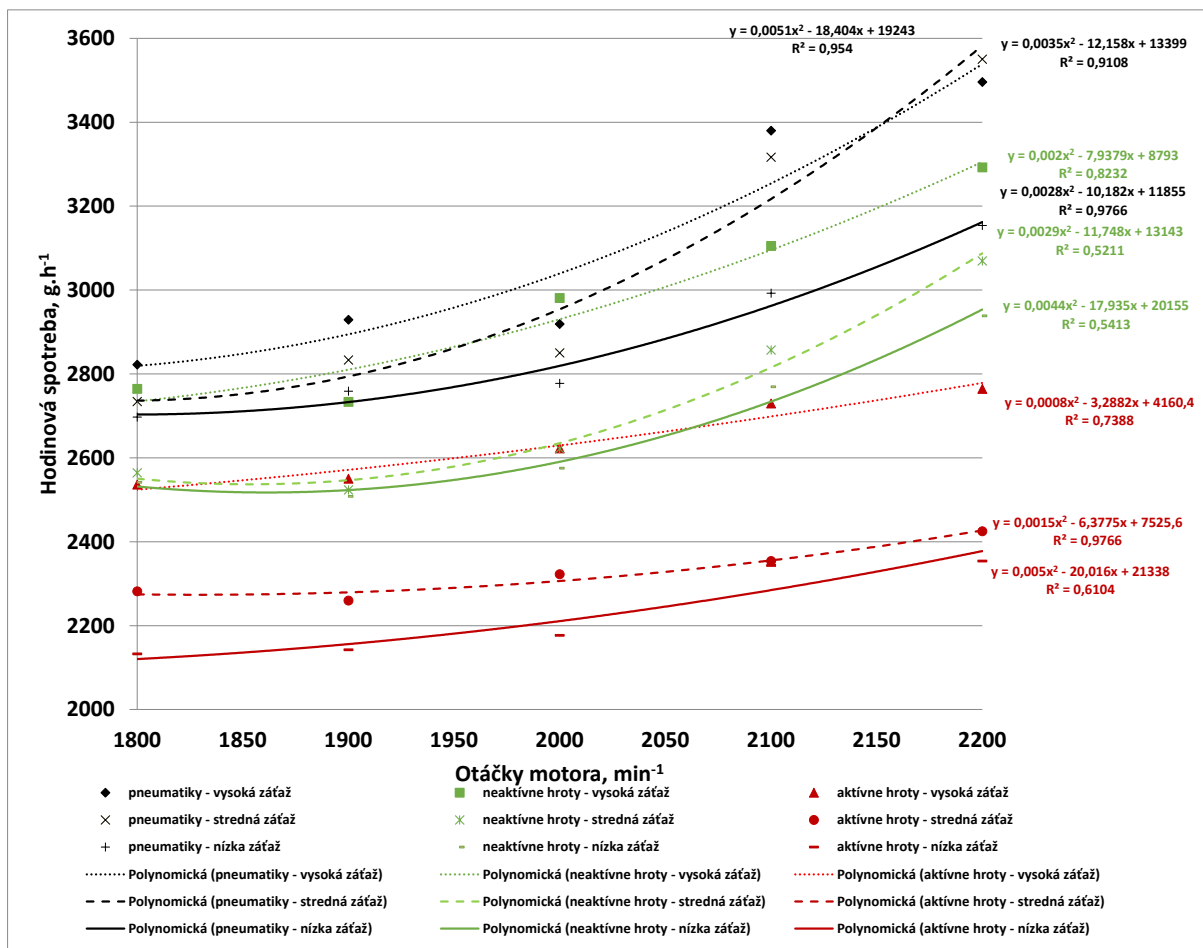


Fig. /

Obr. 7 Porovnanie hodinovej spotreby paliva
Hourly fuel consumption comparison

4 Záver

Na záver konštatujeme, že navrhnutý merací reťazec na experimentálne merania spotreby paliva bol vhodne navrhnutý a spoľahlivo pracoval. Pri meraniach spotreby paliva experimentálneho traktora bol vytýčený úsek 50m, na ktorom sa okrem merania spotreby paliva a ťahovej sily meral aj čas prejazdu pri troch rôznych stupňoch záťaže brzdiacim traktorom Zetor, pričom každé ďalšie meranie prebiehalo v nových jazdných stopách. V ďalšom napredovaní výskumu, by sme navrhovali použitie hrotových pneumatík na oboch nápravách a navzájom skonfrontovať výsledky s vyššie uvedenými pri porovnateľnej vlhkosti pôdy. Navrhnuté zariadenie je predpripravené už aj na automatizované ovládanie prostredníctvom vstavaného akumulátora a elektromotora v kolese alebo prostredníctvom centrálneho systému hustenia pneumatík.

5 Literatúra

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

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

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

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

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

Súhrn

Práca sa venuje porovnaniu spotreby paliva a efektívite prenosu výkonu traktora Tomo Vinkovič 731 4K4 vo verzii troch rôznych verzií hnacích kolies na prednej hnacej náprave na tráve pri priemernej objemovej vlhkosti pôdy 30,64 % a objemovej hmotnosti 1,44 g.cm⁻³. Merací reťazec pre meranie spotreby paliva a ťahovej sily traktora pozostáva z digitálneho prietokomera, tenzometra, záznamovej jednotky Hydac 3010, otáčkomera Maha, dvoch 12V napájacích akumulátorov a elektrického systému zaznamenania spotreby paliva. Výstupom je porovnanie mernej ťahovej a hodinovej spotreby paliva pri štandardných radiálnych pneumatikách, aktívnych 16 hrotových pneumatikách a neaktívnych 16-hrotových pneumatikách na prednej náprave, pričom na zadnej náprave sú štandardné radiálne pneumatiky. Merania hodinovej a mernej spotreby paliva vo všetkých troch stupňoch konštantnej záťaže sú najnižšie pre aktívne pneumatiky, nasledujú neaktívne a veľmi podobné, ale s najvyššou spotrebou paliva boli zaznamenané pri všetkých meraniach u štandardných radiálnych pneumatikách.

Kľúčové slová: porovnanie, traktor, spotreba paliva, hrotové pneumatiky

Vyjadrujeme poďakovanie sprístupnenia areálu Slovenského poľnohospodárskeho múzeu v Nitre pre podmienky merania a pracovníkom SPM za ochotu spolupracovať aj v budúcnosti.

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

Názov publikácie: Najnovšie trendy v poľnohospodárstve, v strojárstve a v odpadovom hospodárstve
Name of publication: Recent Advances in Agriculture, Mechanical Engineering and Waste Policy

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

Vydavateľ: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
Published by: Slovak University of Agriculture in Nitra
Vydanie: prvé
Edition: first
Form of publication: online
Rok vydania - Year: 2024

Neprešlo redakčnou úpravou vo Vydavateľstve SPU v Nitre.

Not edited at the Publishing House of SUA in Nitra.

ISBN 978-80-552-2738-2

DOI: <https://doi.org/10.15414/2024.9788055227382>