

Slovak University of Agriculture in Nitra, Faculty of Engineering

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
Technická fakulta



RECENT ADVANCES IN AGRICULTURE, MECHANICAL ENGINEERING AND WASTE POLICY

**Najnovšie trendy v poľnohospodárstve, v strojárstve
a v odpadovom hospodárstve**



INTERNATIONAL STUDENTS' SCIENTIFIC CONFERENCE **Medzinárodná študentská vedecká konferencia**



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

Proceedings of Scientific Conference
Zborník prác z vedeckej konferencie

ISBN 978-80-552-2326-1

Nitra, April 22, 2021, Slovakia

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA**

**SLOVAK UNIVERSITY OF AGRICULTURE IN NITRA
FACULTY OF ENGINEERING**

**MEDZINÁRODNÁ ŠTUDENTSKÁ VEDECKÁ KONFERENCIA
INTERNATIONAL STUDENTS' SCIENTIFIC CONFERENCE**

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

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

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

Zborník prác z vedeckej konferencie
Proceedings of Scientific Conference

Nitra, 22. 4. 2021

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:

Ing. Michal Angelovič, PhD., Ing. Marek Barát, PhD., Ing. Matúš Bilčík, PhD.,
doc. Ing. Vladimír Cviklovič, PhD., Mgr. Peter Hlaváč, PhD., prof. Ing. Dušan Hrubý, PhD.,
doc. Ing. Martin Kotus, PhD., doc. RNDr. Ľubomír Kubík, PhD., Ing. Jozef Nosian, PhD.,
doc. Ing. Ondrej Lukáč, PhD., Ing. Pavel Polák, PhD., Ing. Juraj Tulík, PhD.,
Ing. Oľga Urbanovičová, PhD., doc. Ing. Miroslav Žitňák, PhD.

Organizačný výbor - Organizing Committee:

doc. Ing. Ján Kosiba, PhD.,
Ing. Katarína Kollárová, PhD.,
Ing. Alena Jančušková,
Ing. František Adamovský, PhD.,
Ing. Martin Baráth,
Ing. Dušan Marko.

Schválila rektorka Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre dňa 9. 4. 2021 ako online zborník prác z vedeckej konferencie.

Approved by Rector of Slovak University of Agriculture in Nitra as online criticize Proceedings of scientific conference, April 9, 2021.

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 978-80-552-2326-1

DOI: <https://doi.org/10.15414/2021.9788055223261>

OBSAH / CONTENT

BALKO R. - KUBÍK L.: HODNOTENIE KVALITY TEXTÚRNYCH A ŠTRUKTÚRNYCH PRVKOV (<i>EVALUATION OF THE QUALITY OF TEXTURAL AND STRUCTURAL ELEMENTS</i>)	1
BÁTORA J. - CVIKLOVIČ V.: AUTOMATIZÁCIA DOMÁCEHO CHOVU HYDINY (<i>AUTOMATION OF DOMESTIC POULTRY BREEDING</i>)	12
BÖRÖCZKY A. - DEÁKVÁRI J. - KISS P.: EXAMINATION OF SOIL WATER CONTENT AND CONCEPTUAL DESIGN OF AN ON-THE-GO SOIL MOISTURE SENSOR.....	25
BROCKA B. – RATAJ V.: VARIABILNÁ LIKVIDÁCIA NEŽIADÚCEJ VEGETÁCIE NA PLOCHE BEZ KULTÚRNEJ PLODINY (<i>VARIABLE WEED REGULATION ON SOIL WITHOUT MAIN CROPS</i>).....	32
BRUNCLÍK M. – CVIKLOVIČ V.: NÁVRH A REALIZÁCIA ZARIADENIA NA MONITOROVANIE A ANALÝZU SPOTREBY ELEKTRICKEJ ENERGIE (<i>DESIGN AND IMPLEMENTATION OF EQUIPMENT FOR MONITORING AND ANALYSIS OF ELECTRICITY CONSUMPTION</i>)	43
CIGÁŇ L. – VITÁZEK I.: POSÚDENIE ČINNOSTI VYBRANÝCH PRVKOV VÝBAVY AUTOMOBILOV (<i>EVALUATION OF FUNCTION OF CHOSEN CAR EQUIPMENT ELEMENTS</i>).....	55
ČERŇANSKÝ P. – TÓTH L.: ZDROJE NAPÄŤOVEJ REFERENCIE A KVANTIFIKÁCIA ICH NAPÄŤOVEJ ODCHÝLKY V ZÁVISLOSTI OD VONKAJŠÍCH VPLYVOV (<i>SOURCES OF VOLTAGE REFERENCE AND QUANTIFICATION OF THEIR VOLTAGE DEVIATION DUE TO EXTERNAL IMPACTS</i>).....	64
ČUDAI A. F. – JOBBÁGY J.: UPLATNENIE VYBRANÉHO TRAKTORA PRI POĽNOHOSPODÁRSKÝCH PRÁČACH (<i>THE APPLICATION OF THE SELECTED TRACTOR IN AGRICULTURAL WORK</i>).....	74
GEMER D. - TÓTH L.: DETEKCIA OBJEKTOV V PRIESTORE POMOCOU HLĎBKOVÉHO SENZORA (<i>DETECTION OF OBJECTS IN THE AREA USING DEPTH CAMERA</i>).....	80
HALOMI R. - TÓTH L.: TVORBA KOREKČNEJ KRIVKY DIGITÁLNEHO VOLTMETRA S POUŽITÍM LABVIEW (<i>CREATING A DIGITAL VOLTMETER CORRECTION CURVE USING LABVIEW</i>).....	90
HORSKÝ M. - KORENKO M.: HODNOTENIE VPLYVU ZNEČISTENIA OLEJOVEJ NÁPLNE PRI MONTÁŽI TLMIČOV VIBRÁCIÍ (<i>EVALUATION OF THE EFFECT OF OIL FILL POLLUTION WHEN INSTALLING VIBRATION SHOCK ABSORBERS</i>)	99
JANKOVICS Š. - BERNÁT R. - ZÁLEŽÁK Z. - ŽARNOVSKÝ J. - KECSKÉS N. ANALÝZA POŠKODENIA TURBA A MOŽNOSTI JEHO KONROLY (<i>ANALYSIS OF TURBO DAMAGING AND POSSIBILITIES OF ITS CHECKING</i>)	106

JESENSKÝ A. – KUBÍK Ľ.: HODNOTENIE ŠTRUKTÚRY CHLEBOVEJ STRIEDKY POČÍTAČOVÝM SPRACOVANÍM OBRAZU (<i>EVALUATION OF THE STRUCTURE OF BREAD CRUMBS BY COMPUTER IMAGE PROCESSING</i>).....	113
KISS BOTOND L. - KISS P. - DEÁKVÁRI J.: CONE PENETROMETER TEST OF SOILS.....	123
KLOKNER M. - TÓTH L.: MINIATÚRNY SYSTÉM S DYNAMICKOU STABILIZÁCIOU NA BÁZE FPGA MYRIO (<i>MINIATURE SYSTEM WITH DYNAMIC STABILIZATION BASED ON FPGA MYRIO</i>).....	130
KOVÁČ P. – LUKÁČ O. – HARNIČÁROVÁ M.: TRIEDENIE MATERIÁLU NA ZÁKLADE FARBY (<i>SORTING MATERIAL BASED ON ITS COLOR</i>)	138
MACSÁNSZKY D. - TULÍK J.: NÁVRH A KONŠTRUKCIA STIRLINGOVHO MOTORA (<i>DESIGN AND CONSTRUCTION OF A STIRLING ENGINE</i>).....	145
MEDOVIČ M. – ABRAHÁM R.: POROVNANIE DVOCH METÓD VÝPOČTU STATICKÉHO UHLA PRIEČNEJ STABILITY TRAKTORA (<i>COMPARISON OF TWO CALCULATION METHODS FOR STATIC OVERTURNING ANGLE OF TRACTOR LATERAL STABILITY</i>).....	157
MLYNARČÍK F. – MALÝ V.: MIKROKLIMATICKÉ PRACOVNÉ PODMIENKY A ICH VPLYV NA PRACOVNÚ POHODU PRACOVNÍKA (<i>MICROCLIMATE WORKING CONDITIONS AND THEIR IMPACT ON LABOR WELFARE WORKER</i>).....	168
PAPÁNKOVÁ K. – HLAVÁČ P.: POROVNANIE NIEKTORÝCH REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ PRE VYBRANÉ DRUHY HYDRAULICKÝCH KVAPALÍN (<i>COMPARISON OF SOME RHEOLOGICAL PROPERTIES FOR CHOSEN TYPES OF HYDRAULIC FLUIDS</i>).....	179
SZASZKO T. - CSILLAG J.: VYTVORENIE APLIKÁCIE NA VYHODNOTENIE MERANIA VISKOZITY NA VISKOZIMETRI DV2T (<i>CREATION OF AN APPLICATION FOR EVALUATION OF VISCOSITY MEASUREMENTS ON VISCOMETER DV2T</i>).....	190
ŠINKORA M. - ŽITŇÁK M.: HODNOTENIE VPLYVU HRÚBKY STENY OPTICKÝCH ŠOŠOVIEK NA KVALITU PROCESU ICH VÝROBY (<i>EVALUATION OF EFFECTS OF WALL THICKNESS ON QUALITY OF PRODUCTION OF OPTICAL LENSES</i>).....	202
VÁNIK M. – ČURGALIOVÁ G. – KOSIBA J.: RIADIACI OBVOD DOPRAVNÍKOVÉHO SYSTÉMU (<i>CONVEYOR SYSTEM CONTROL CIRCUIT</i>).....	214
ŽITNÝ V. – PRÍSTAVKA M.: NÁSTROJE RIADENIA KVALITY VO VÝROBNEJ ORGANIZÁCII (<i>MANAGEMENT TOOLS FOR QUALITY CONTROL IN A PRODUCTION ORGANIZATION</i>).....	221

HODNOTENIE KVALITY TEXTÚRNYCH A ŠTRUKTÚRNYCH PRVKOV EVALUATION OF THE QUALITY OF TEXTURAL AND STRUCTURAL ELEMENTS

ROMAN BALKO - ĽUBOMÍR KUBÍK

Abstract

This paper deals with computer analysis of the image processing of the straw pyrolyzed coal. The method of computer image processing includes the preprocessing, processing and analysis of the image. Straw pyrolyzed coal samples are processed in computer by software ImageJ ver. 1.52a. The method of the computer image processing gives values of area, perimeter, feret diameter, circularity, roundness, aspect ratio and solidity from straw pyrolyzed coal. These values are statistically evaluated. Determine values of minimum, maximum, modus, median, average, standard deviation, coefficient of variation and correlation. Obtained values can be applied on the next evaluation of the quality of straw pyrolyzed coal.

Key words: pyrolysis, coal, texture, structure, image digitalization, image processing, image analysis

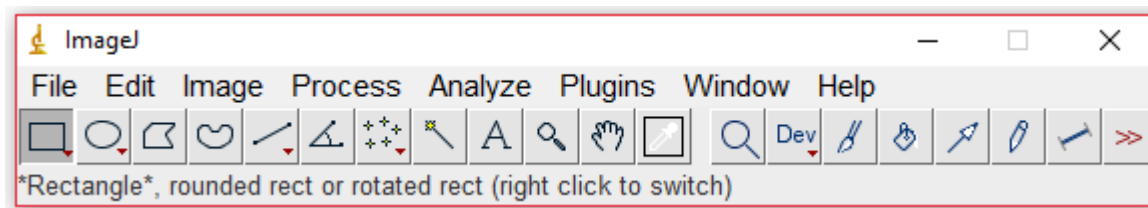
1 Úvod

Obraz je pre počítač dvojrozmerný. Na spracovanie obrazu pomocou počítača sa musí obraz chápať ako dvojrozmerná funkcia, ktorá sa vzorkuje, kvantifikuje a potom spracuje. Preto je proces digitalizácie obrazu nevyhnutným procesom, ktorý počítač dokáže rozoznať. Všeobecne možno tento proces zhrnúť ako: skenovanie, vzorkovanie a kvantifikácia (Zhang, 2019). Rastúci význam určovania vzťahov medzi štruktúrou a funkciou urobili zo spracovania obrazu čoraz dôležitejšiu disciplínu. Prítomnosť digitálnej technológie je všade okolo nás, od banálnych digitálnych fotoaparátov, až po vysoko špecializované mikro-CT skenery, ktoré robia obrazy pre viaceré výskumné oblasti, od nanotechnológie až po astronómiu (Abramoff, 2004). ImageJ je voľne dostupný multiplatformový (Windows, Mac, Linux) program na spracovanie a analýzu obrazu vyvinutý spoločnosťou NIH. Okrem toho, že je ImageJ voľne dostupný, podporuje ho široká škála neustále sa vyvíjajúcich funkcií vytvorených používateľmi na riešenie pozoruhodného rozsahu aplikácií, ktoré dopĺňajú komerčný softvér, ktorý sa zvyčajne dodáva so zobrazovacími nástrojmi, ako sú digitálne zobrazovacie systémy alebo mikroskopické pracovné stanice. Nové makrá na spracovanie a analýzu obrazu sa bežne pridávajú a často sa potvrdzujú prostredníctvom publikácií. S pokračujúcim zlepšovaním a rastom aplikácií je ImageJ v laboratóriu naďalej samozrejmosťou. ImageJ má k dispozícii rozsiahle podporné materiály online, jeho základný kód je pravidelne aktualizovaný a prieskum Medline naznačuje, že je to jeden z najpoužívanejších programov analýzy obrazu, ktorý je dnes k dispozícii (Gallagher, 2014). Prahovanie (angl. thresholding), je najjednoduchšou metódou segmentácie obrazu, založená na hodnotení jasú každého pixelu. Princípom prahovania je určenie hodnoty (prahu) v histograme, pre ktorý bude platiť, že všetky hodnoty jasú nižšie ako prah zodpovedajú pozadiu, zatiaľ čo všetky hodnoty vyššie

ako prah zodpovedajú poprediu. Ak sa rozloženie jas pixelov v popredí aj v pozadí výrazne prekrýva, použitie prahovania je prakticky nemožné (Russ, 2007). Cieľom práce bude hodnotenie textúrnych a štruktúrnych parametrov vzoriek slameného pyrolyzovaného uhlia.

2 Materiál a metódy

V tejto práci budú použité metódy počítačového spracovania obrazu a analýzy obrazu. Meraným materiálom bude vzorka slameného uhlia, ktoré vzniklo technológiou pyrolýzy. Pyrolýza je termo-chemická premena, inak nazývaná aj odplynenie. Pôvod slova pyrolýza je z gréckeho pyros – oheň a lysis – uvoľňovať. Pyrolýza predstavuje postup, pri ktorom je organický materiál tepelne spracovaný s vylúčením prístupu kyslíka, vzduchu, či iných splyňovacích látok (Molek, 2017). Použitá vzorka je z pšeničnej slamy, z ktorej po vykonaní pyrolýzy vzniklo uhlie s 80 % obsahom uhlíka. Pyrolýza bola vykonaná v splyňovacej jednotke Unipyr - SPU 1, pri 350 °C, zadržaní na 10 minút, takmer bez prístupu vzduchu. Príprava vzorky bude spočívať v rovnomernom rozložení častíc uhlia bez toho, aby sa jednotlivé čiastočky dotýkali. Digitalizácia vzoriek bude vykonaná pomocou mobilného telefónu Samsung Galaxy S10, v ktorom sa nachádza fotoaparát SAMSUNG SM-G973F. Technické parametre tohto fotoaparátu sú uvedené v tabuľke 1. Pomocou portu USB budú prenesené fotografie z mobilného telefónu do počítača. Vzorky sme pred spracovaním upravili na rozlíšenie 640x480 pixelov. Vzorky budú spracované v počítačovom programe ImageJ verzie 1.52a(obr. 1). Tento program nám umožňuje obraz spracovávať a analyzovať (Rasband, 2015).



Obr. 1 Ovládací panel programu ImageJ 1.52a

Fig. 1 Program control panel ImageJ 1.52a

Program ImageJ 1.52a obsahuje rôzne nástroje, pomocou ktorých budeme spracovávať a analyzovať obraz. Hlavné nástroje, ktoré budeme používať sa nachádzajú v záložkách „Image“, „Process“ a „Analyze“. Pomocou nástrojov v týchto záložkách budeme môcť vytvoriť 8-bitový obraz, nastaviť mierku, vykonať prahovanie a samotnú analýzu obrazu pre zvolené parametre: plocha, obvod, kruhovitosť, Feretov priemer, pomer strán, guľatost, pevnosť. Sledovanými štatistickými parametrami budú: minimum, maximum, medián, modus, aritmetický priemer, smerodajná odchýlka, variačný koeficient, korelácia. Štatistické parametre budú spracované v programe Microsoft Office Excel verzie 2016, v ktorom vytvoríme aj histogramy.

Tab. 1 Technické parametre použitého fotoaparátu Samsung SM-G973F
 Tab. 1 Technical parameters of the used camera Samsung SM-G973F

Parameter	Hodnota
Rozlíšenie	4032x2268
Clona	F2,4
Expozičný čas	1/100 s
Ohnisková vzdialenosť	4,32 mm
Citlivosť	ISO 64
Zväčšenie	5x

Textúrne parametre:

Plocha je veličina v geometrii, ktorá vyjadruje veľkosť ohraničenej plochy. Základnou jednotkou je m².

Obvod v geometrii je to dĺžka čiary, ktorá ohraničuje uzavretú časť plochy. Základnou jednotkou je m.

Feretov priemer je vzdialenosť dvoch rovnobežných dotyčníc k obrysu častice.

Kruhovitost' pri hodnote 1 naznačuje dokonalý kruh. Keď sa hodnota blíži k 0 naznačuje to čoraz podlhovastejší tvar.

$$4\pi \times \frac{Plocha}{Obvod^2} \quad (1)$$

Pomer strán je pomerom strán prispôsobenej časti elipsy.

$$\frac{Hlavná os}{Vedľajšia os} \quad (2)$$

Gul'atost' je inverzný pomer strán.

$$4 \times \frac{Plocha}{\pi \times Hlavná os^2} \quad (3)$$

Pevnosť predstavuje výber danej konvexnej oblasti.

$$\frac{Plocha}{Konvexná plocha} \quad (4)$$

Štatistické parametre:

Minimum je minimálna hodnota v súbore.

Maximum je maximálna hodnota v súbore.

Medián alebo stredná hodnota je hodnota, ktorá rozdeľuje postupnosť podľa veľkosti usporiadaných výsledkov na dve rovnako početné polovice. V štatistike patrí medzi stredné hodnoty. Platí, že najmenej 50 % hodnôt je nižších alebo sa rovná a najmenej 50 % hodnôt je vyšších alebo sa rovná mediánu.

Modus alebo modálna hodnota alebo najpravdepodobnejšia hodnota je tá hodnota kvantitatívneho znaku štatistického súboru, ktorá má najvyššiu relatívnu frekvenciu, teda sa vyskytuje najčastejšie.

Aritmetický priemer je stredná hodnota počítaná zo všetkých hodnôt. Aritmetický priemer je súčet všetkých hodnôt, delený počtom všetkých hodnôt.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (5)$$

Kde: x_i – jednotlivé hodnoty,
 n – celkový počet hodnôt,

Smerodajná odchýlka definuje variabilitu súboru.

$$SO = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (6)$$

Kde: n – počet meraní,
 x_i – meraná hodnota,
 $\bar{x}$ – aritmetický priemer,

Variačný koeficient je charakteristikou variability rozdelenia pravdepodobnosti náhodnej veličiny. Variačný koeficient je definovaný ako podiel smerodajnej odchýlky a aritmetického priemeru.

$$Vk = \frac{SO}{\bar{x}} \times 100, \% \quad (7)$$

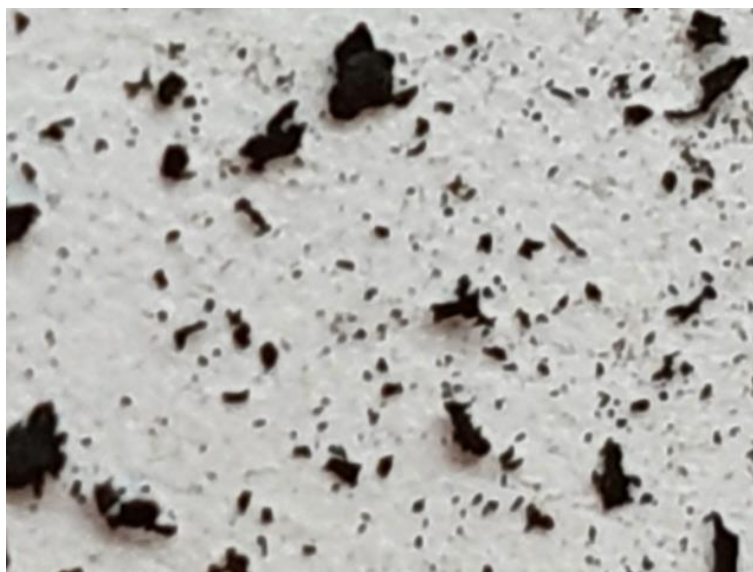
Korelácia je väzba medzi dvoma alebo viacerými znakmi v štatistickom súbore alebo medzi dvoma alebo viacerými náhodnými veličinami v teórii pravdepodobnosti. Intenzita tejto väzby sa vyjadruje najmä korelačným koeficientom. Korelačný koeficient r je určitou mierou závislosti.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (8)$$

Matematicky sa dá dokázať, že korelačný koeficient nadobúda hodnoty z intervalu $<-1,1>$. Čím je jeho absolútna hodnota väčšia, tým väčšia je závislosť medzi sledovanými znakmi. Znamienko udáva ako spolu hodnoty premenných súvisia, pri kladne (záporne) korelovaných premenných – zväčšovanie hodnôt jednej z nich znamená rast (pokles) hodnôt druhej premennej.

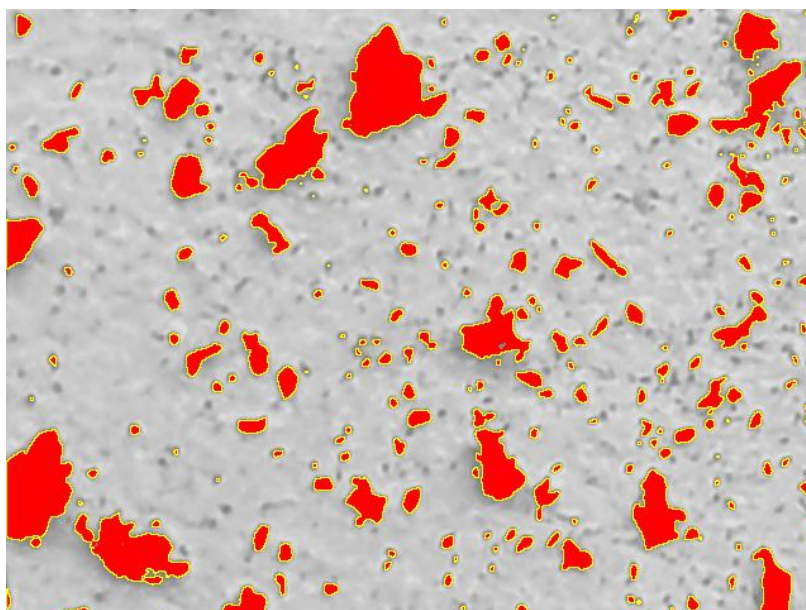
3 Výsledky a diskusia

Aby sme vedeli zistiť presné veľkosti častíc, ako prvú sme museli stanoviť mierku. Použili sme pravítko, pomocou ktorého sme v programe ImageJ 1.52a určili mierku podľa počtu pixelov medzi dielikmi. V našom prípade predstavuje 1 mm 75 pixelov. Na *obrázku 2* môžeme vidieť vzorku slameného pyrolyzovaného uhlia. Celkovo sme analyzovali 10 vzoriek, v tomto článku si uvedieme príklad na jednej vzorke spracovanej v programe ImageJ 1.52a.



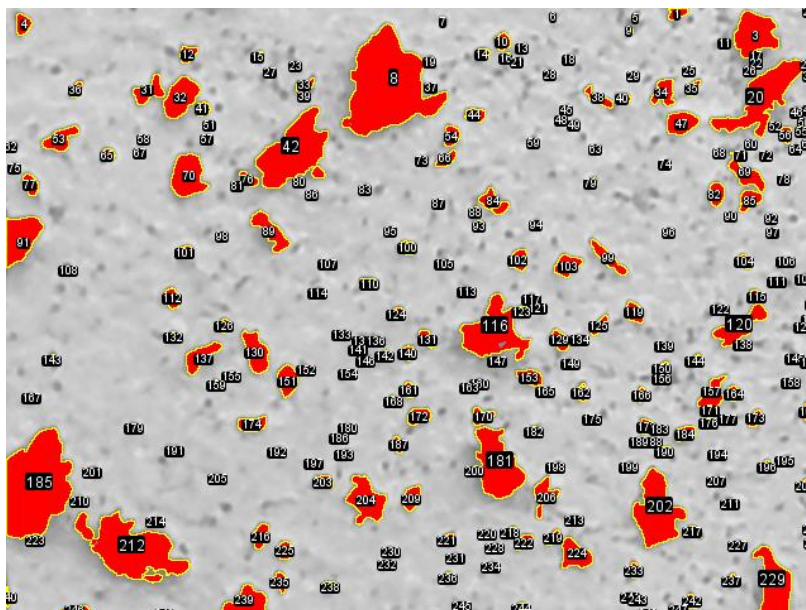
Obr. 2 Vzorka slameného pyrolyzovaného uhlia
 Fig. 2 Straw pyrolyzed coal sample

Nasledovala transformácia vzorky do 8-bitového formátu. Pri tejto funkcii sa farebný obraz zmení na obraz s 256 odtieňmi šedej farby. V našom prípade máme čierne častice na bielom podklade. Preto je 8-bitový formát obrázka totožný s *obrázkom 2*. Transformácia vzorky do 8-bitového formátu je podmienkou pre vykonanie prahovania. Vzorku po prahovaní môžeme vidieť na *obrázku 3*.



Obr. 3 Vzorka slameného pyrolyzovaného uhlia po prahovaní
 Fig. 3 Straw pyrolyzed coal sample after tresholding

Po vykonaní prahovania máme k dispozícii aj výsledok analýzy častíc, ktorý môžeme vidieť na *obrázku 4*.



Obr. 4 Výsledné zobrazenie častíc po analýze

Fig. 4 Resulting particle display after analysis

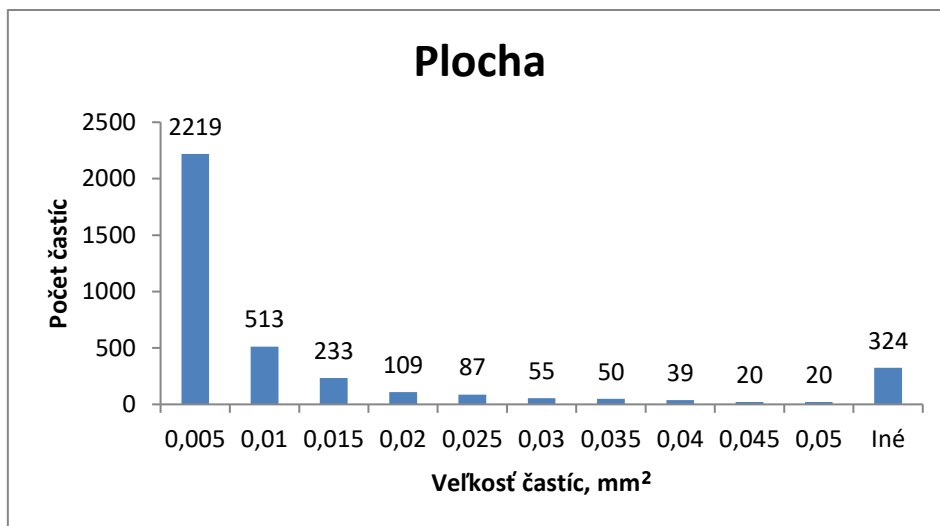
Po analyzovaní desiatich vzoriek slameného pyrolyzovaného uhlia sme vzorky štatisticky vyhodnotili v programe Microsoft Office Excel verzii 2016. Vyhodnotené častice z desiatich vzoriek sú uvedené v tabuľke 2. Celkový počet častíc bol 3669.

Tab. 2 Vyhodnotenie častíc vzoriek slameného pyrolyzovaného uhlia

Tab. 2 Evaluation of straw pyrolyzed coal particles

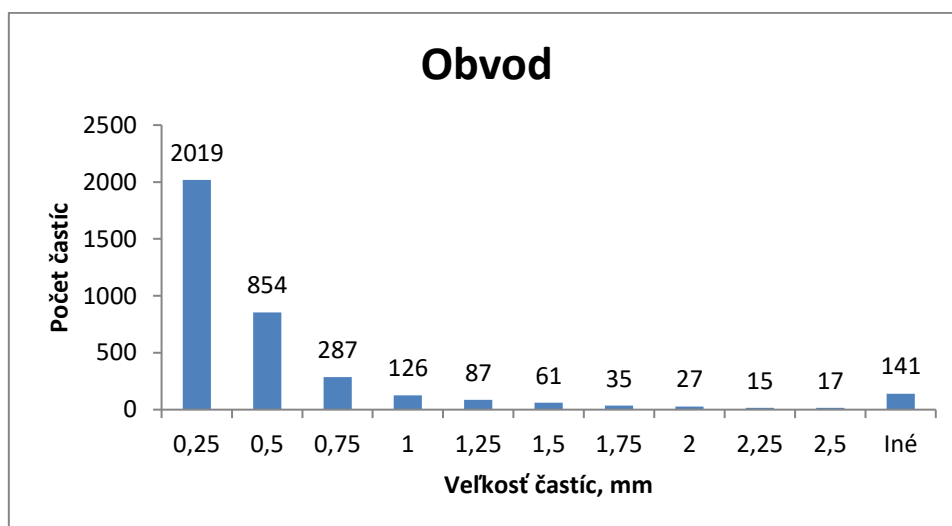
	Min.	Max.	Medián	Modus	$\bar{x}$	SO	Vk, %
Plocha, mm ²	$1,78 \cdot 10^{-4}$	2,631	0,004	0,002	0,030	0,002	7,210
Obvod, mm	0,038	22,310	0,231	0,075	0,522	0,019	3,629
Kruhovitost', -	0,056	1,000	0,916	1,000	0,821	0,004	0,445
Feret., mm	0,019	3,614	0,096	0,048	0,179	0,005	2,546
Pomer strán, -	1,000	9,000	1,553	1,000	1,761	0,012	0,660
Guľatost', -	0,111	1,000	0,644	1,000	0,636	0,003	0,498
Pevnosť, -	0,418	1,000	0,875	1,000	0,861	0,002	0,191

Na nasledujúcich obrázkoch môžeme vidieť histogramy pre plochu (obr. 5), obvod (obr. 6), kruhovitost' (obr. 7), Feretov priemer (obr. 8), pomer strán (obr. 9), guľatost' (obr. 10) a pevnosť (obr. 11).



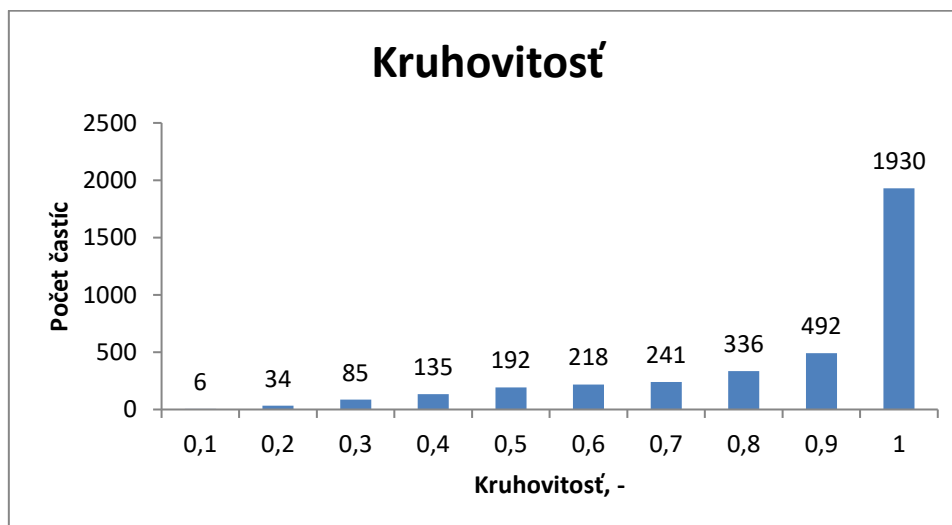
Obr. 5 Histogram pre plochu

Fig. 5 Histogram of area



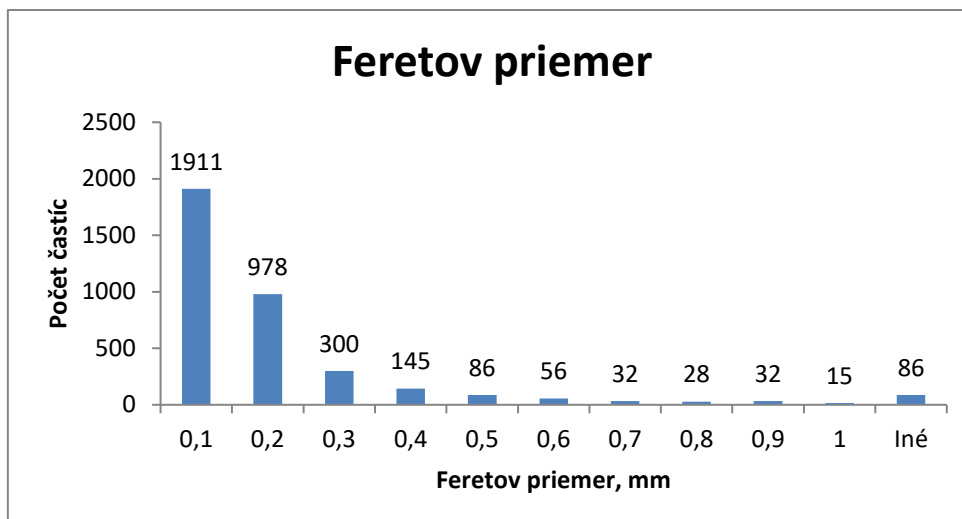
Obr. 6 Histogram pre obvod

Fig. 6 Histogram of perimeter

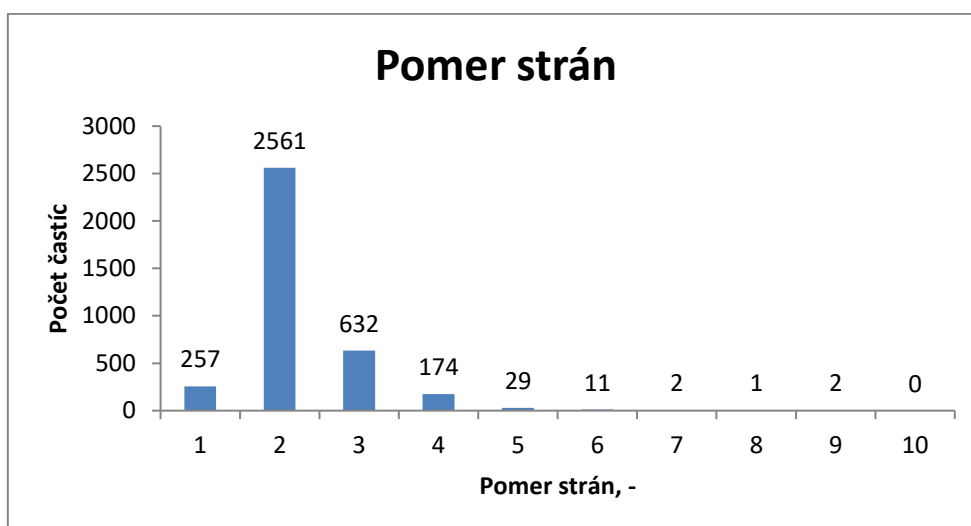


Obr. 7 Histogram pre kruhovitosť

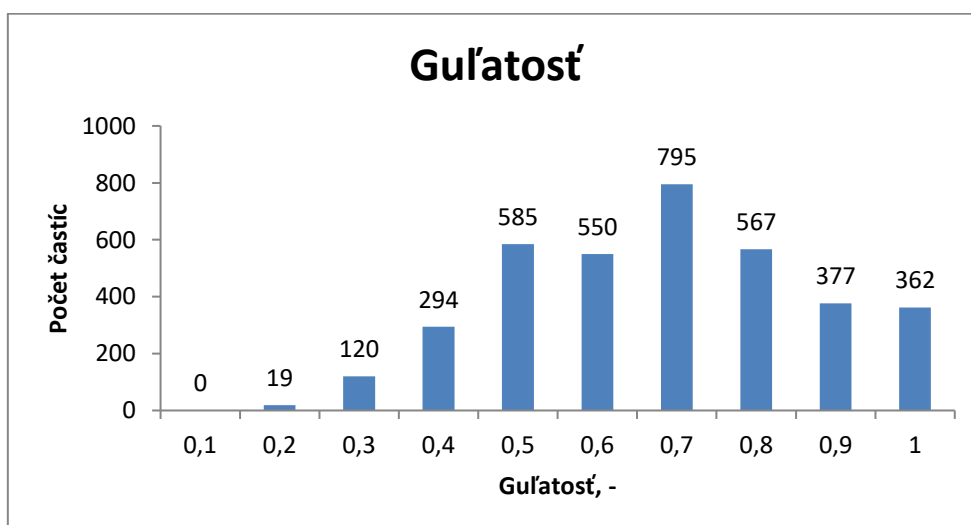
Fig. 7 Histogram of circularity



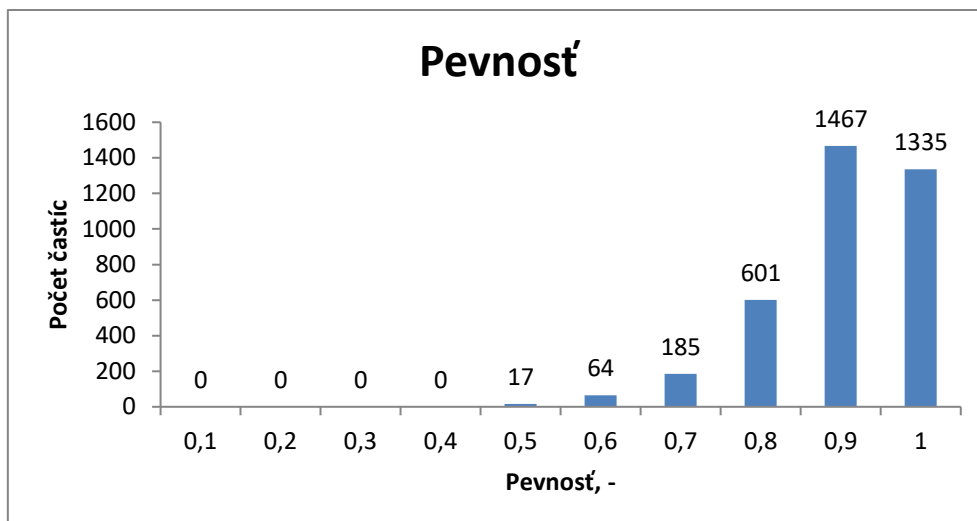
Obr. 8 Histogram pre Feretov priemer
 Fig. 8 Histogram of Feret diameter



Obr. 9 Histogram pre pomer strán
 Fig. 9 Histogram of aspect ratio



Obr. 10 Histogram pre guľatosť
 Fig. 10 Histogram of roundness



Obr. 11 Histogram pre pevnosť
 Fig. 11 Histogram of solidity

V histogramoch sú uvedené distribúcie častíc podľa jednotlivých geometrických parametrov. Najviac bolo malých častíc s plochou menej ako $0,005 \text{ mm}^2$ (obr. 5), s obvodom do $0,25 \text{ mm}$ (obr. 6) a s Feretovým priemerom do $0,1 \text{ mm}$ (obr. 8). Najviac častíc (skoro polovica) malo kruhovitý tvar (obr. 7), čo potvrdzuje aj parameter guľatost' a pevnosť (obr. 10 a 11). Z obrázku 9 vyplýva, že väčšina častíc mala dvojnásobnú dĺžku voči šírke. V tabuľke 3 môžeme vidieť hodnoty korelačných indexov pre vzorky slameného pyrolyzovaného uhlia.

Tab. 3 Korelácia parametrov vzoriek slameného pyrolyzovaného uhlia
 Tab. 3 Correlation of parameters of straw pyrolyzed coal particles

	Plocha a	Obvo d	Kruhovitost' ť	Feretov priemer	Pomer strán	Guľatos ť	Pevnos ť
Plocha	1,000						
Obvod	0,946	1,000					
Kruhovitost'	-	-	1,000				
Feretov priemer	0,899	0,954	-0,708	1,000			
Pomer strán	0,064	0,138	-0,590	0,233	1,000		
Guľatosť	-	-	0,571	-0,246	-0,886	1,000	
Pevnosť	-	-	0,797	-0,536	-0,370	0,412	1,000

Z tabuľky 3 vyplýva, že najvyšší korelačný index je medzi obvodom a Feretovým priemerom, plochou a obvodom, plochou a Feretovým priemerom. Najnižší korelačný index je medzi plochou a pomerom strán, plochou a guľatost'ou, obvodom a pomerom strán.

Diskusia

Výsledky merania môže ovplyvniť hlavne faktor prípravy vzoriek pred jej digitalizovaním. Pri príprave vzoriek sme museli dbať na správne rozloženie častíc na podložke. Oddelenie častíc by sa dalo realizovať morfológickou metódou erózie alebo otvorenia obrazu pre predspracovaní obrazu. Častice sa nesmeli navzájom dotýkať, pretože by

to skreslilo analyzované výsledky textúrnych parametrov a dané hodnoty by neboli správne. V budúcnosti by bolo zaujímavé porovnať tieto výsledky s pyrolyzovaným uhlím z iného materiálu. Pomocou analýzy obrazu by sme mohli porovnávať textúru, alebo skúmať aký vplyv majú textúrne parametre na mechanické vlastnosti pyrolyzovaného uhlia. Určovanie textúrnych parametrov by mohlo zohrávať úlohu aj pri certifikácii uhlia.

4 Záver

Naším cieľom bolo stanovenie textúrnych parametrov pre vzorky slameného pyrolyzovaného uhlia. Použité vzorky boli z pšeničnej slamy, z ktorej po vykonaní pyrolýzy vzniklo uhlie s 80 % obsahom uhlíka. Pyrolýza bola vykonaná v splyňovacej jednotke Unipyr - SPU 1, pri 350 °C, zadržaní na 10 minút, takmer bez prístupu vzduchu. Príprava vzoriek spočívala v rovnomernom rozložení častíc bez toho, aby sa navzájom dotýkali. Po vykonaní digitalizácie fotoaparátom sme obrázky vzoriek upravili na rozlíšenie 640x480 pixelov. Vzorky sme spracovali v počítačovom programe ImageJ verzie 1.52a. V tomto programe sme určili plochu, obvod, kruhovitosť, Feretov priemer, pomer strán, guľatosť a pevnosť vzoriek. Následne sme tieto hodnoty zanalyzovali v programe Microsoft Office Excel verzie 2016, kde sme určili minimum, maximum, medián, modus, aritmetický priemer, smerodajnú odchýlku, variačný koeficient a koreláciu. Pre textúrne parametre boli zostrojené histogramy. Celkový počet častíc bol 3669. Po vykonaní korelácie sme zistili, že najvyšší korelačný index je medzi obvodom a Feretovým priemerom, plochou a obvodom, plochou a Feretovým priemerom. Najnižší korelačný index je medzi plochou a pomerom strán, plochou a guľatosťou, obvodom a pomerom strán.

5 Literatúra

ABRAMOFF, Michael. 2004. BIOPHOTONICS INTERNATIONAL. Imagej.nih.gov.[online].© 2004 [cit.2021-03-23]. Dostupné na: <https://imagej.nih.gov/ij/docs/pdfs/Image_Processing_with_ImageJ.pdf>.

GALLAGHER, Sean. 2014. Digital Image Processing and Analysis with ImageJ. In Current Protocols Essential Laboratory Techniques [online], vol. 9. ISSN 1948-3430 [cit.2021-03-24]. Dostupné na: <<https://doi.org/10.1002/9780470089941.eta03cs9>>.

MOLEK, Tomáš. 2017. Pyrolýza – princíp, historie a současnost [online], [cit.2021-03-24]. Dostupné na: <<https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/pyrolyza-princip-historie-a-soucasnost>>.

RASBAND, WS. 2015. ImageJ. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA. [online], [cit.2021-03-25]. Dostupné na: <<http://imagej.nih.gov/ij>>.

RUSS, John C. 2007. The image processing. 5. vyd. Boca Raton: CRC Press. 817 s. ISBN 0-8493-7254-2.

ZHANG, Xin. 2019. Application of artificial intelligence algorithms in image processing. In Journal of Visual Communication and Image Representation [online], vol. 61, pp. 42-49. ISSN 1047-3203 [cit.2021-03-22]. Dostupné na: <<https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2019.03.004>>.

Súhrn

Tento článok sa zaoberá počítačovou analýzou spracovania obrazu slameného pyrolyzovaného uhlia. Metóda počítačového spracovania obrazu zahŕňa predspracovanie, spracovanie a analýzu obrazu. Vzorky slameného pyrolyzovaného uhlia sú spracované pomocou programu ImageJ ver. 1.52a. Metóda počítačového spracovania obrazu udáva hodnoty pre plochu, obvod, Feretov priemer, kruhovitosť, guľatosť, pomer strán a pevnosť slameného pyrolyzovaného uhlia. Tieto hodnoty sú štatisticky vyhodnotené. Vyhodnocované parametre sú minimum, maximum, modus, medián, aritmetický priemer, smerodajná odchýlka, variačný koeficient a korelácia. Získané hodnoty môžu byť použité pre ďalšie hodnotenie kvality slameného pyrolyzovaného uhlia.

Kľúčové slová: pyrolýza, uhlie, textúra, štruktúra, digitalizácia obrazu, spracovanie obrazu, analýza obrazu

Chcem sa poďakovať môjmu školiteľovi pánovi doc. RNDr. Ľubomírovi Kubíkovi, PhD. za poskytnuté informácie, cenné rady, pripomienky a zabezpečenie vzoriek, čím prispel k vypracovaniu práce.

AUTOMATIZÁCIA DOMÁCEHO CHOVU HYDINY AUTOMATION OF DOMESTIC POULTRY BREEDING

JAKUB BÁTORA– VLADIMÍR CVIKLOVIČ

Abstract

The thesis is focused on the design and implementation of a feed conveyor for poultry farming and its automation. The design consists of the selection of suitable components for the conveyor, such as electric motor, gearbox, screw and material selection for the construction of the conveyor frame, design and connection of hardware to control the operation and creating a software interface for user interaction. The control unit consists of a C8051F410 microcontroller. For the correct operation of the conveyor, the system uses the real time circuit smaRTClock, which ensures the start of the conveyor at set times and for the required time. The start-up options, such as start-up time and delivered quantity per cycle, can be controlled using the designed application in the Visual Studio Community 2017 development environment, which enables communication with the microcontroller via the USB port.

Key words: Conveyor, Microcontroler, Automatic control, C8051F410

1 Úvod

Závitovkový dopravník využíva na prepravu materiálu rotačný pohyb závitovky v žľabe. Druhy prepravovaných materiálov sú: materiály tekuté, polotekuté, sypké materiály alebo zmesi. V priemyselných odvetviach sa v súčasnosti závitovkové dopravníky používajú hlavne na prepravu ale aj na miešanie a separáciu. Funkcia závitovkového dopravníka je použiteľná v mnohých odvetviach priemyslu.

Závitovkové dopravníky patria do skupiny hrnúcich dopravníkov. Základnou podmienkou k preprave materiálu je, že trenie medzi materiálom a žľabom dopravníka musí byť väčšie ako je trenie medzi materiálom a závitovkou. Pri splnení tejto podmienky sa daný materiál prepravuje v pokoji a vykonáva priamočiary pohyb v smere osi rotujúcej závitovky. V opačnom prípade by dochádzalo k premiešaniu materiálu a k jeho opätovnému spadaniu na dno žľabu pôsobením tiaže materiálu. Následkom čoho by dochádzalo k vzniku nežiaducich vibrácií, ktoré by sa prejavovali zväčšeným účinkom dynamického zaťaženia samotného žľabu, uložení závitovky a celej nosnej konštrukcie dopravníka.

Cieľom práce je navrhnúť a skonštruovať dopravník pre domáci chov hydiny a následne obvod, ktorý bude zabezpečovať automatický chod dopravníka na prísun krmiva pre hydinu. Dopravník bude riadený pomocou mikrokontroléra, pričom jednotlivé parametre systému, ako množstvo prepraveného krmiva a čas spúšťania je možné nastavovať.

2 Materiál a metódy

Pri návrhu dopravníka bolo prvým krokom zoznámenie sa s problematikou konštrukcie dopravníkových systémov. Návrh dopravníka je možné rozdeliť do viacerých častí. Prvá časť

pozostáva z návrhu pohonnej jednotky dopravníka, pozostávajúcej z elektromotora a prevodovky. Následne návrh typu a priemeru závitovky a návrh žľabu dopravníka. Návrh komponentov závisí od prepravovaného množstva, typu prepravovaného materiálu a sklonu dopravníka.

Elektromotor

Ako pohonnú jednotku sme zvolili trojfázový elektromotor značky MEZ 4 BP 71 – 4 S.

Technické parametre elektromotora MEZ:

- Výkon: 250 W.
- Výstupné napätie: Hviezda/trojuholník: 380/220 V.
- Prúdový odber na fázu: 0,81/1,4 A.
- Výstupné otáčky: $n_1 = 1380 \text{ min}^{-1} = 23 \text{ s}^{-1}$.
- Fázový posun: $\cos \varphi = 0,78$.
- Stupeň ochrany: IP 54.

Prevodovka

V dopravníku sme použili závitovú prevodovku značky Bonfiglioli typu VF44/N.

Technické parametre prevodovky Bonfiglioli VF44/N:

- Prevodový pomer $i = 70$.
- Výstupné otáčky $n_2 = 19,71 \text{ min}^{-1} = 0,329 \text{ s}^{-1}$.
- Výkon: $HP = 0,16 = 118 \text{ W}$.
- Krútiaci moment $Mk_2 = 75 \text{ N.m}$.

Závitovka

Na dopravovanie krmiva sme použili ľahkú bezosú špirálu od firmy RATAJ s.r.o. SL 95 TYP SL - oceľová (podľa normy EN - S235, S355).

Rozmery ľahkej bezosej špirály SL 95:

- Priemer špirály vonkajší: 95 mm.
- Priemer špirály vnútorný: 66 mm.
- Stúpanie závitú: 66 mm.
- Hrúbka špirály: 5 mm.
- Materiál špirály: Oceľ (EN - S235, S355).

Žľab

Na výrobu dopravníka bol zvolený rúrkový žľab, na ktorý bola použitá rúra s hrdlom SN4, DN 110/2000 mm, z materiálu nemäkčený polyvinylchlorid (PVC-U). vyrábané v súlade s platnými európskymi normami EN 1401-1 a STN EN 13 476 – 2.

Technické údaje rúry DN 110/2000 mm:

- Dĺžka: 2000 mm.
- Menovitý rozmer (DN): 110 mm.
- Hĺbka hrdla (t): 66 mm.
- Najväčší vonkajší priemer (D): 127 mm.
- Sila steny rúrky (s): 3,2 mm.
- Bod mäknutia: 79 ° C.

Použitie rúry z PVC zabezpečuje, že žľab je odolný proti abrázii, chemicky odolný, húževnatý a schopný odolávať vonkajším aj vnútorným tlakom.

Násypník

Na výrobu násypníka sme zvolili ako základný materiál plech žiarovo zinkovaný, valcovaný za studena podľa EN 10131.

Technické údaje :

- Hrúbka: 0,6 mm.
- Typ ocele: DX51D+Z275NA 1.0226 podľa EN10346/10144 .

Nosná časť (Rám)

Na výrobu rámu dopravníka sme zvolili nasledovné materiály.

Profil rovnoramenný L z konštrukčnej ocele valcovanej za tepla 20x20x3, vyrobený podľa normy EN 10056.

Technické údaje profilu:

- Šírka ramena: 20mm.
- Hrúbka ramena: 3mm.
- Polomer vnútorného zaoblenia: 3,5mm.
- Typ ocele: S235JR (1.0038) podľa EN 10025-2.
- Materiál: 11 375.

Tyč oceľová plochá valcovaná za tepla 40x5, vyrobená podľa normy EN 10058.

Technické údaje profilu:

- Šírka: 20mm.
- Hrúbka: 3mm.
- Značka ocele: S235JR (1.0038) podľa EN 10025-2.
- Materiál: 11 375.

Pre automatizovanú činnosť dopravníka bolo nutné navrhnuť hardvér na ovládanie a nastavovanie jeho činnosti. Ďalej bolo nevyhnutné naprogramovať riadiaci firmvér. Na tento účel sme vybrali priemyselný mikrokontrolér C8051F410 od spoločnosti Silicon Labs aj kvôli internej RAM a RTC obvodu zálohovaného batériou. Firmvér bol programovaný v prostredí Keil uVision5 s programovacím jazykom C. Pre používateľskú komunikáciu bol vytvorený program v prostredí Visual Studio Community 2017 v objektovo-orientovanom jazyku C#.

Mikrokontrolér

Ako hlavný ovládaci prvok zariadenia bude slúžiť mikrokontrolér C8051F410 od firmy Silicon Laboratories. Na odladenie programu zariadenia sme použili vývojovú dosku C8051F410DK (obrázok 3). Mikrokontrolér je 8-bitový s 32 kB Flash pamäťou a 2304 B pamäťou SRAM. Ďalej disponuje 24 vstupmi a výstupmi, zbernicou SMBus, sériovým rozhraním SPI, a zariadením na asynchrónnu sériovú komunikáciu UART. Obsahuje interný oscilátor s frekvenciou 24,5 MHz, a zdroj reálneho času smaRTClock s oscilátorom 32,768 kHz.

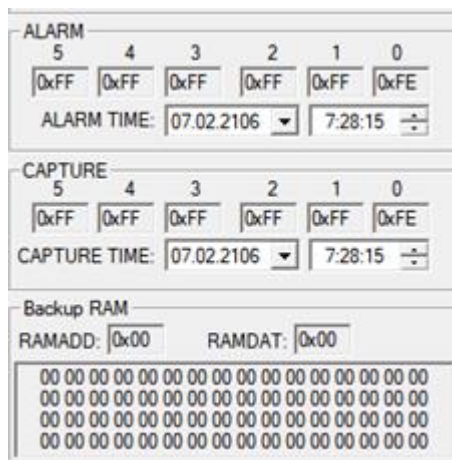


Obr. 1 Vývojová doska C8051F410DK
Fig. 1 C8051F410 Development Kit

Zdroj reálneho času

Na správne spúšťanie dopravníka je nutné poznať hodnotu aktuálneho času. Aby bol čas zariadenia totožný s reálnym časom budeme používať vstavaný obvod smaRTClock mikrokontroléra C8051F410. smaRTClock má v sebe zabudovaný 32,768 kHz oscilátor, ktorý je schopný pracovať s alebo bez kryštálu. Rozhranie je zložené z troch registrov: RTC0KEY, RTC0ADR a RTC0DAT. K vnútorným registrom nie je možné pristupovať priamo, pristupovať je možno len cez registre RTC0ADR a RTC0DAT.

V našom prípade budeme používať 32,768 kHz kryštál, smaRTClock umožňuje maximálne 137-ročné nezávislé udržiavanie času, maximálna hodnota času je zobrazená v dolnej časti obrázka 4.



Obr. 2 smaRTClock rozhranie v programe Keil uVision 5
Fig. 2 smaRTClock interface in Keil uVision 5

Použité programy

Pri návrhu dopravníka sme použili viacero softvérov. Keil uVision V5.27.1 bol použitý na vytvorenie firmvéru pre mikrokontrolér, v programovacom jazyku C. Keil uVision ponúka možnosť simulácie čipu, avšak v režime simulácie nefungujú všetky rozhrania korektne. Na úplné odladenie programu sme program napalovali priamo do čipu vývojovej dosky.

Na napalovanie programu do čipu, sme používali FLASH Programming Utilities 4.30 od spoločnosti Silicon Laboratories. Program Terminal v1.9b bol použitý na komunikáciu s mikrokontrolérom pri vytváraní programu na riadenie dopravníka.

Pre konštrukčný návrh dopravníka bol použitý softvér SolidWorks 2020, v ktorom bol navrhnutý rám dopravníka a ďalšie komponenty. Schéma a doska plošných spojov pre riadiacu časť bola navrhnutá v programe EAGLE 9.6.2 od firmy Autodesk. Na používateľskú komunikáciu s mikročipom bol vytvorený program vo Visual Studio Community 2017 v programovacom jazyku C#.

3 Výsledky a diskusia

Pri návrhu dopravníka sme začali návrhom pohonu. Prvým krokom bolo stanovenie potrebného výkonu elektromotora. Pri dopravníkoch, ktoré plnia funkciu prepravy materiálu sa výkon elektromotora určuje pomocou vzťahu:

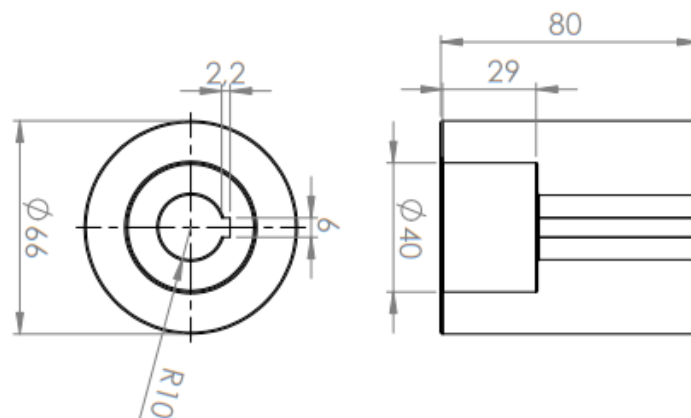
$$P = \frac{Q_v \cdot \gamma \cdot g}{3600} \cdot l_v \cdot w \pm h \quad [W] \quad (1)$$

Kde	Q_v	je dopravovaný výkon $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$,
	γ	je objemová hmotnosť dopravovaného materiálu $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$,
	l_v	je vodorovná dopravná vzdialenosť m,
	w	je celkový súčiniteľ odporu,
	h	je dopravná výška m,
	g	je gravitačné zrýchlenie $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

V našom prípade je však použitie vzťahu zbytočné, pretože dopravník plní skôr funkciu dávkovača, preto veličina dopravovaný výkon nie je podstatná. Výkon motora sme preto volili experimentálne. Najlepšie výsledky dosiahol 3 fázový motor od firmy MEZ 4 BP 71 – 4 S, s výkonom 250W a s otáčkami $n_1 = 1380 \text{ min}^{-1}$. Volili sme vyšší výkon nakoľko motor bude musieť prekonať odpor krmiva ktoré bude zostávať v žľabe dopravníka po ukončení dosýpania krmiva. Motor má od výrobcu pripojený rozbehový kondenzátor, ktorý umožňuje jeho chod po zapojení do 1-fázovej sústavy, čo významne rozšíri použiteľnosť systému.

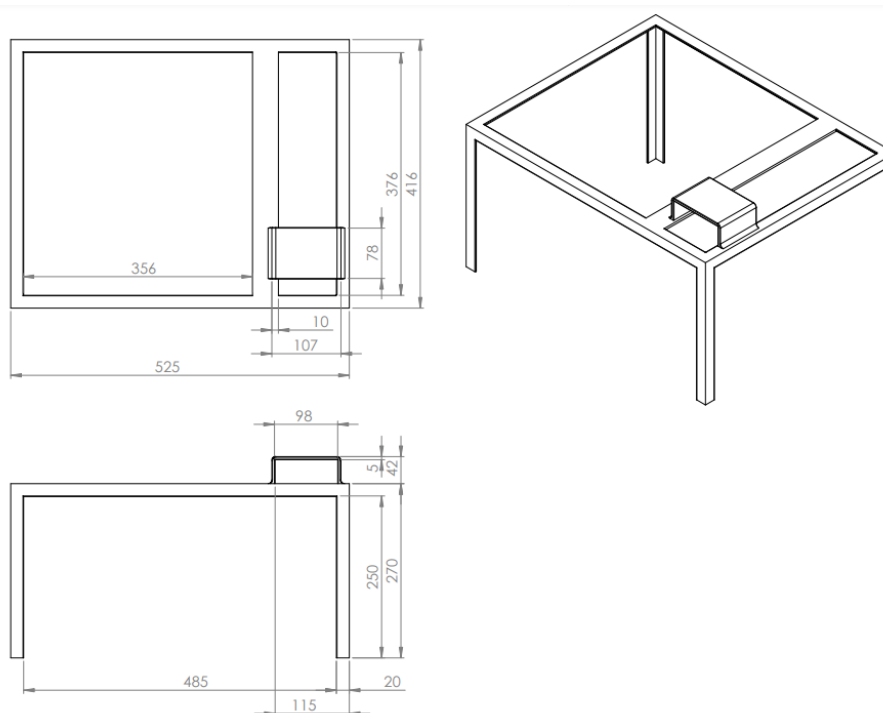
Výkon prevodovky sme zvolili experimentálne. Bola použitá prevodovka značky Bonfiglioli typu VF44/N. Jedná sa o závitovú prevodovku s prevodovým pomerom $i = 70$. Pri použití s elektromotorom MEZ budú výstupné otáčky na hriadeľ prevodovky $n_2 = 19,71 \text{ min}^{-1} = 0,329 \text{ s}^{-1}$. Otáčky majú nižšiu hodnotu ako bežná hodnota otáčok pri dopravovaní zrna ($2 - 4 \text{ s}^{-1}$), avšak nižšie výstupné otáčky sústavy spôsobujú menšie namáhanie zariadenia, hlavne pri rozbehu elektromotora pri zaplnenom žľabe.

Na spojenie výstupného hriadeľa prevodovky a špirály na dopravovanie krmiva sme navrhli hriadeľ, ktorý bude prenášať krútiaci moment z prevodovky na špirálu. Návrh hriadeľa je uvedený na obrázku 3. Pre zaistenie hriadeľa sme použili hriadeľovú maticu M20x1 z ocele DIN 981, materiál Oceľ 1.0503.



Obr. 3 Návrh hriadeľa pre prenos krútiaceho momentu z prevodovky na špirálu
 Fig. 3 Shaft design for torque transmission from gearbox to helical

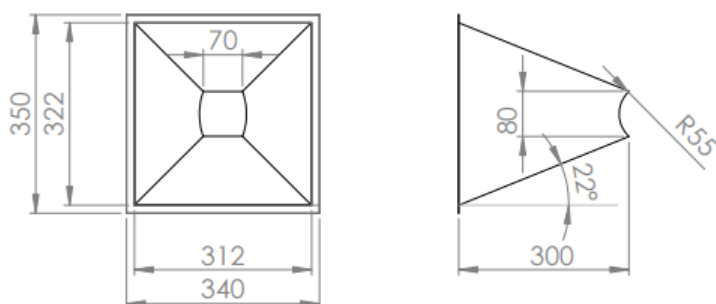
Pri návrhu rámu sme použili program Solidworks 2020, v ktorom sme zostavili priestorový model rámu (obrázok 4) Pri návrhu sme dbali na celkovú stabilitu zariadenia a fakt, že výstupný hriadeľ elektromotora a vstupný hriadeľ prevodovky majú rozličnú osovú výšku. Problém sme vyriešili vytvorením vyvýšeného miesta na uchytanie prevodovky, nachádzajúceho sa v ľavej časti rámu.



Obr. 4 Návrh rámu dopravníka v programe Solidworks 2020
 Fig. 4 Conveyor frame design in Solidworks 2020

Pri konštruovaní rámu sme použili rovnoramenný profil L 20x20x3 a oceľovú plochú tyč valcovanú za tepla 40x5. Materiál sme narezali uhlovou brúskou na požadované rozmery a následne pozvárali zväračkou MIG 160.

Násypník ktorý bude plniť aj funkciu zásobníka pre dopravník, sme navrhli rovnako ako rám v programe Solidworks 2020, kde sme vytvorili zjednodušený 3D model. Výrobný plán pre násypník je zobrazený na obrázku 5.



Obr. 5 Násypník dopravníka
 Fig. 5 Conveyor hopper

Konštrukciu násypníka nakoniec tvorili 4 časti vyrobené z pozinkovaného plechu. Na dve proti stojné časti boli pridané lemy, ktorými docielime lepšiu stabilitu násypníka na žľabe. Jednotlivé časti sú spojené nitovým spojom, trhacími nitmi 4x5 DIN 7337 Al/St. Násypník je uchytený o rameno z rovnoramenného profilu L 20x20x3 pomocou dvoch skrutkových spojov M6, ktoré sú zvarovým spojom spojené s rámom.

Na plnenie žľabu bola použitá rúra s hrdlom SN4, DN 110/2000 mm, z materiálu nemäkčený polyvinylchlorid (PVC-U), do ktorej bol vyrezaný otvor podľa rozmerov spodnej časti násypníka. V spodnej časti žľabu boli vyvŕtané diery pre odvod krmiva. Uchytenie žľabu o rám bolo riešené pomocou kovových objímok s priemerom 100 mm. Pri montáži bol kladený dôraz na to aby bol žľab a rám v rovnobežnej polohe. Dokončený dopravník je zobrazený na obrázku 6.



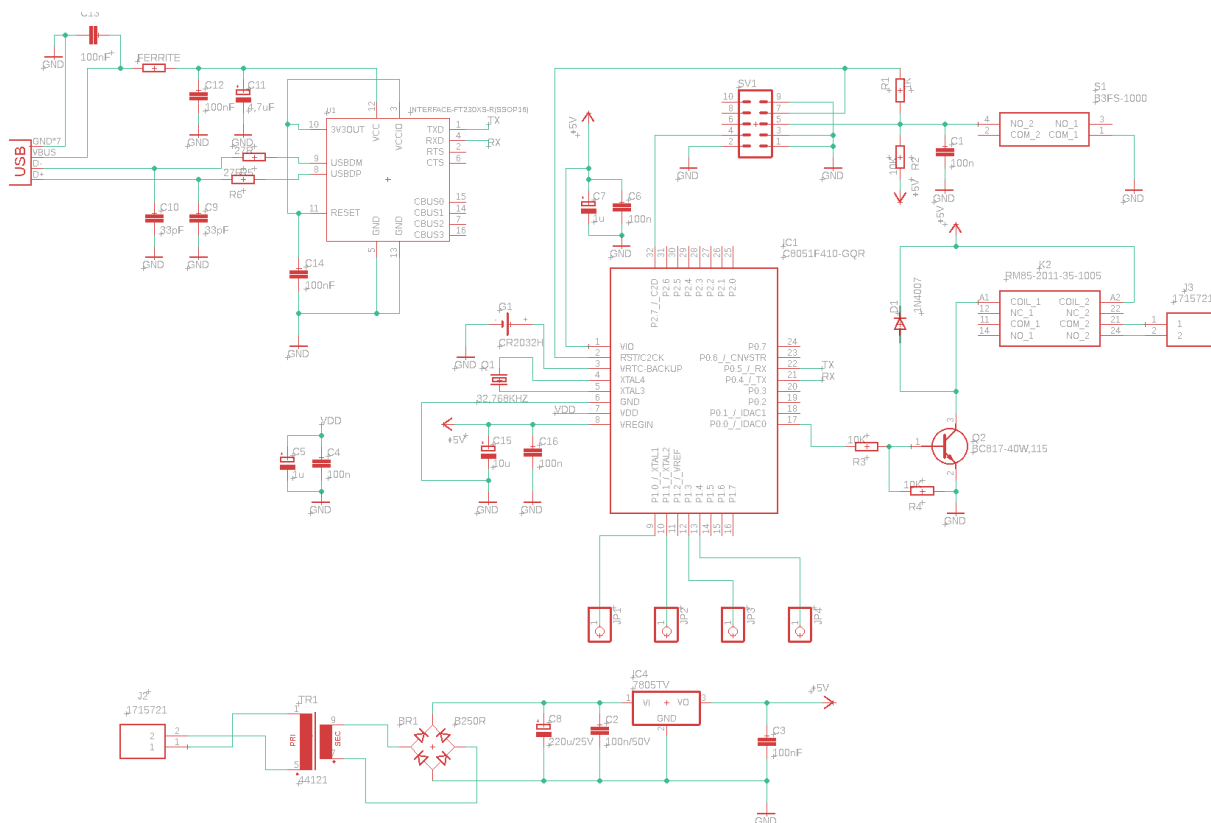
Obr. 6 Dopravník pre domáci chov hydiny
 Fig. 6 Conveyor for domestic poultry farming

Elektronika

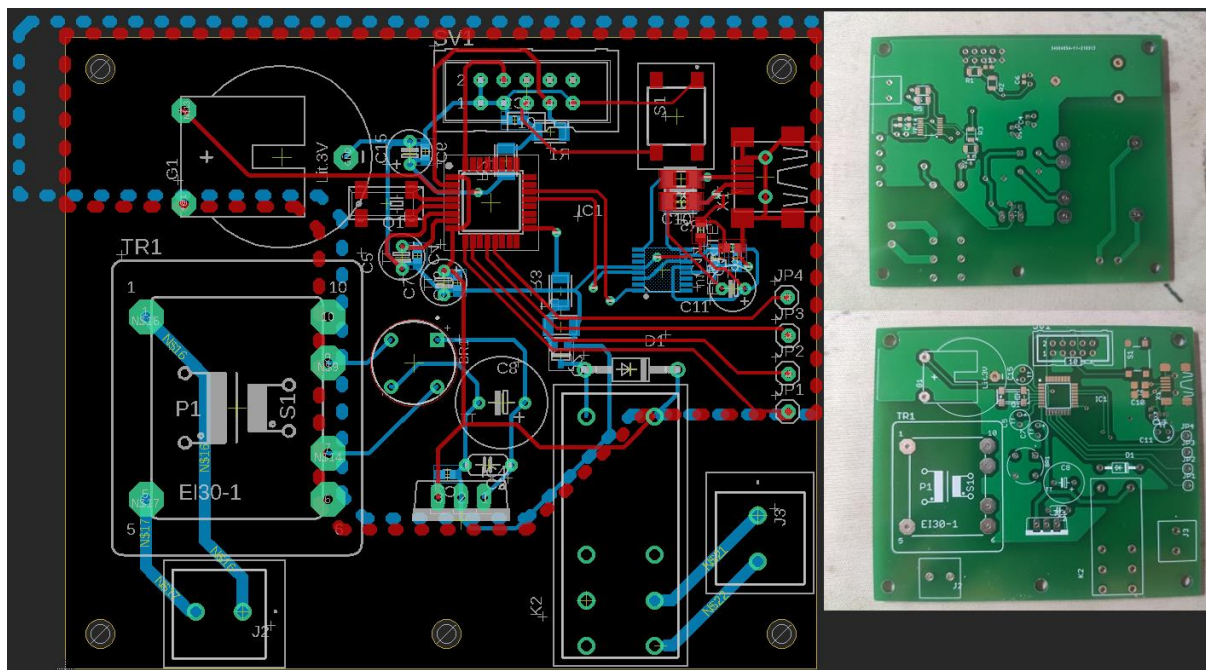
Hlavnú časť riadiaceho obvodu tvorí mikrokontrolér C8051F410, ktorého ovládaný výstup je pripojený na bázu tranzistora BC817, tranzistor spína obvod pre cievku relé RM85-

2011-35-1005, ktorým je spúšťaný chod elektromotora. Výhodou použitého relé je prítomnosť 5 V cievky na spínanie kontaktov a schopnosť spínať prúdy do 16 A.

Obvod je napájaný zo siete, pomocou transformátora od značky Myrra typu 44121, so sekundárnym napätím 6 V a výkonom 2 VA, usmerňovacím mostíkom 2 A / 600 V od firmy Diodec a stabilizátorom napätia L7805CV, ktorý napájacie napätie obvodu stabilizuje na hodnotu 5 V. Komunikáciu s mikrokontrolérom cez USB rozhranie nám zabezpečuje integrovaný obvod FT230XS-R od firmy FTDI. Návrh schémy a dosky plošných spojov prebiehal v programe Eagle 9.6.2. Navrhnutá schéma je zobrazená na obrázku 7. Návrh dosky plošných spojov je vyobrazený na obrázku 8, spolu s hotovou doskou.



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



Obr. 8 Návrh dosky plošných spojov a doska plošných spojov vyrobená podľa návrhu
 Fig. 8 Printed circuit board design and printed circuit board made according to the design

Riadiaci program pre dopravník pracuje na logike čítania reálneho času z obvodu smaRTClock a následného porovnávania času, s časom spustenia dopravníka nastaveným používateľom. Je možné nastaviť požadovanú dávku krmiva na jedno spustenie a dva ľubovoľné časy spustenia za deň. Program je nastavený tak, aby bolo možné tieto hodnoty kedykoľvek zmeniť za chodu programu. Túto možnosť v programe zabezpečuje modul UART v režime prerušenia.

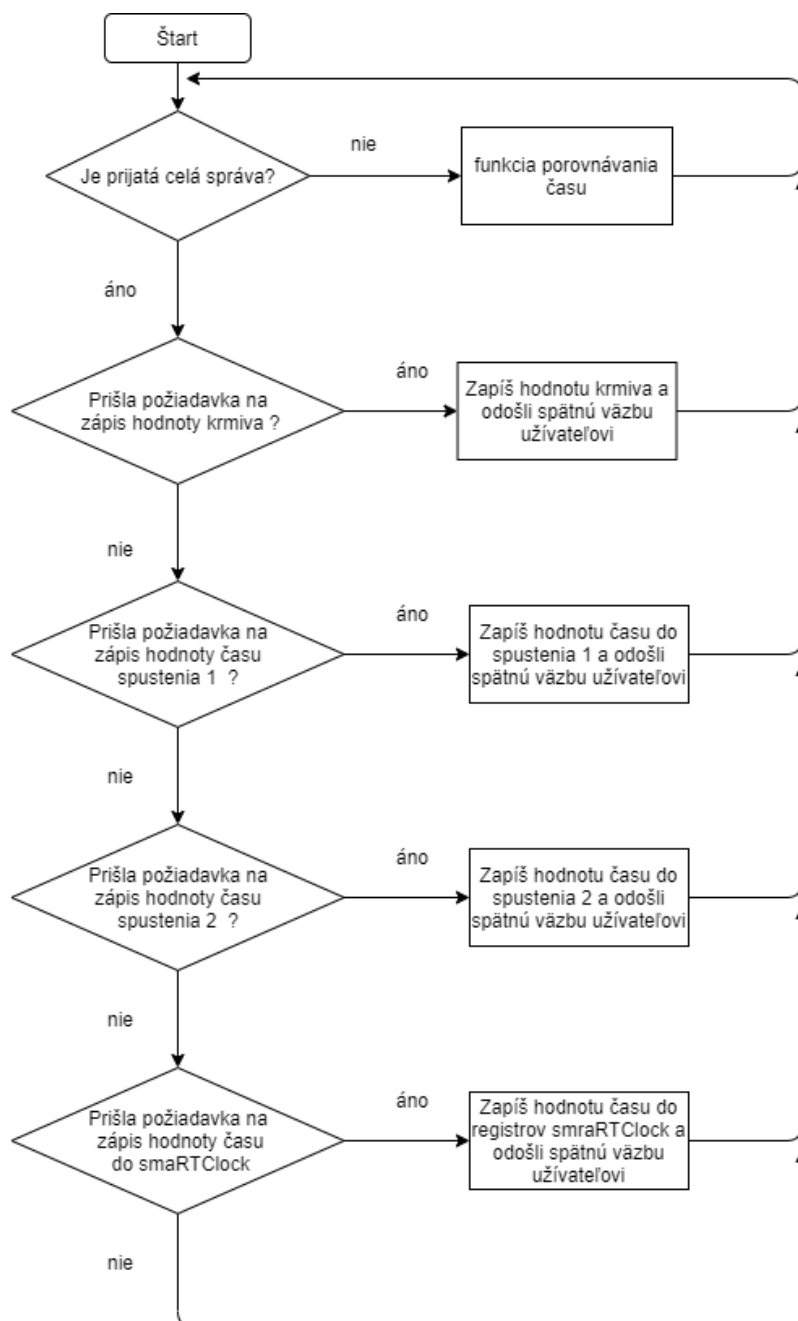
```
void UART_INT (void) interrupt 4
{
    if (TI0)                //Po odoslani Bajtu
    {
        TI0 = 0;
        if (P_ii < P_v)
            SBUF0 = Vystup[P_ii++];
        else
            busy = 0;
    }

    if (RI0)                //Po prijati Bajtu
    {
        RI0 = 0;
        zapis = SBUF0;
        if (P_i < 100) Pole[P_i++] = zapis;
        if (zapis == 0x0A) riadok++;
    }
}
```

Obr. 9 Funkcia prerušenia pre modul UART
 Fig. 9 Interrupt function for UART module

Bez použitia funkcie prerušenia, v dôsledku neustáleho porovnávania časov z obvodu smaRTClock a nastavených časov sa prijaté a odoslané údaje často strácali. Funkcia

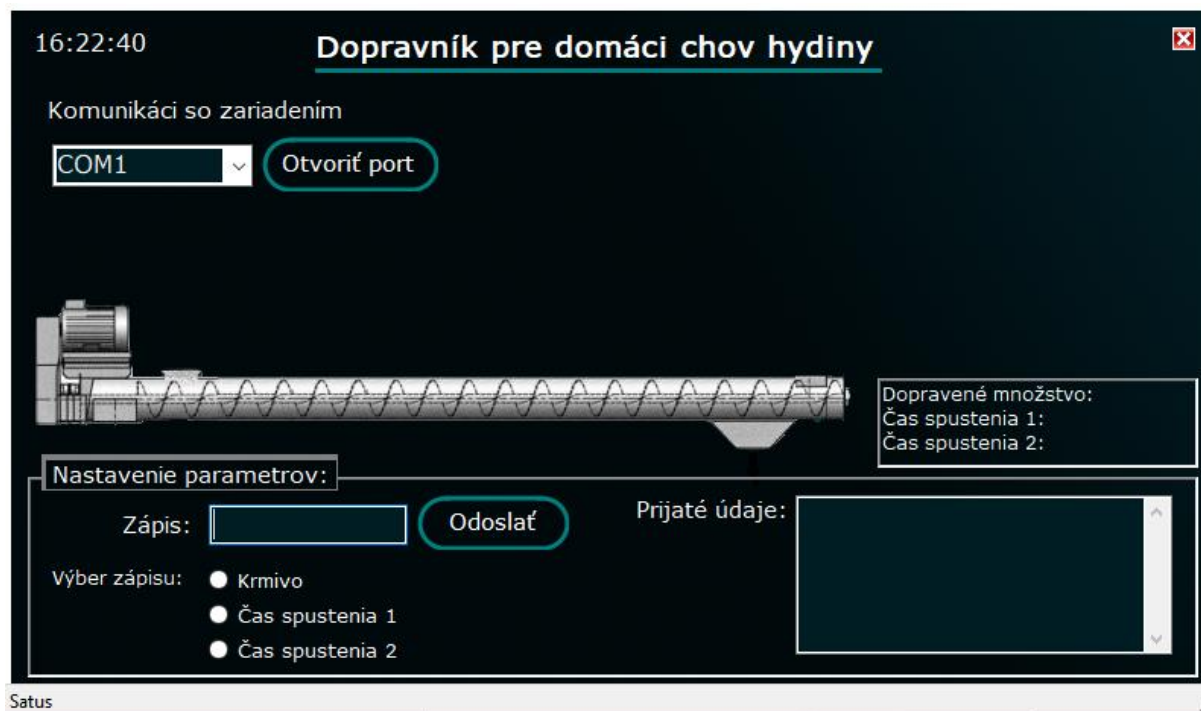
prerušenia (obrázok 9) zabezpečuje, že informácia sa neodosiela priamo, ale je najskôr zapísaná do polí (Pole, Výstup). Následne je pole po bajtoch zapisované do *SBUF0* (Register sériového rozhrania 0). Na prácu s poliami používame funkcie *sscanf()* a *sprintf()*, ktoré obsahuje knižnica *stdio.h*. Princíp nastavovania dávky krmiva a časov spustení je zobrazený na obrázku 10.



Obr. 10 Vývojový diagram nastavovania parametrov riadiaceho programu dopravníka
 Fig. 10 Flow chart for setting the parameters of the conveyor control program

Pri programovaní aplikácie na komunikáciu, ktorej konečnú verziu môžeme vidieť na obrázku 11, sme dbali na to, aby odosielané údaje mali rovnaký formát z dôvodu kompatibility s programom v mikrokontroléri. Tým sme zabránili nesprávnemu zápisu hodnôt a nutnosti reštartovania zariadenia. Aplikácia obsahuje objekt *TextBox_Zapis*, do ktorého

používateľ zapisuje požadované hodnoty. Pre správnosť odoslaných údajov boli vytvorené funkcie, ktoré umožňujú aby nebolo možné do *TextBox_Zapis* písať iné znaky ako číslce a dvojbodku pri výbere zápisu: čas spustenia 1 a 2. Pri výbere zápisu krmivo je možné zapísať len číslce. Aby bol vždy odoslaný správny formát času bol vytvorený textový reťazec nazývaný Regulárny výraz (RegEX), ktorý program porovnáva so zapísaným textom. Ak text nemá požadovaný formát, zobrazí sa výstražné okno, informácia sa neodošle a zapísaný text sa vymaže.



Obr. 11 Aplikácia na komunikovanie s riadiacou jednotkou dopravníka
 Fig. 11 Application for communication with the conveyor control unit

4 Záver

Práca obsahovala návrh a skonštruovanie automatizovaného dopravníka na chov hydiny. Dopravník je navrhnutý tak aby pre svoju funkciu nepotreboval žiadne vonkajšie zásahy, okrem doplnenia krmiva do zásobníka. Je vhodný pre domáci chov a malochov, s prípadným predĺžením dopravnej dĺžky aj do väčších chovov hydiny. Riadiaci obvod je napájaný zo siete spolu s elektromotorom dopravníka. Pre prípad výpadku prúdu sa v obvode nachádza batéria CR2032, ktorá zabezpečí správny chod RTC obvodu aj po výpadku prúdu.

Dobu spúšťania dopravníka a dopravené množstvo krmiva na jedno spustenie môžeme nastavovať pomocou vytvorenej aplikácie bez nutnosti reštartovania zariadenia. Je možné použiť ľubovoľný počítač s operačným systémom Windows, ktorý disponuje USB rozhraním. Riadiaci obvod má vyvedené výstupy z mikrokontroléra pre prípadné rozširovanie funkcií dopravníka, ako napríklad sledovanie hmotnosti krmiva v krmítkach pomocou pripojenia tlakových senzorov a jeho následného doplnenia v prípade nedostatku krmiva.

5 Literatúra

CVIKLOVIČ, V. 2017. *Aplikovaná elektronika a komunikačné štandardy*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. 132s. ISBN 978-80-552-1647-8.

DRAŽAN, František; JEŘÁBEK, Karel. 1979. *Manipulace s materiálem*. Praha: NTL/ALFA. 456 s. ISBN 04-220-79

GAJDŮŠEK, Jaroslav; ŠKOPÁN, Miroslav. 1988. *Teorie dopravních a manipulačních zařízení*. Brno: rektorát Vysokého učení technického v Brne. 277 s.

HRUBÝ, Dušan. – CVIKLOVIČ, Vladimír. 2017. *Jazyk C a mikrokontroléry Silabs*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. 167 s. ISBN 978-80-552-1458-0

KRÁL, Metod; KNAJBEL, Patrik. 2001. *Teória dopravných a manipulačných zariadení a základy logistiky*. Katedra koľajových vozidiel motorov a zdvíhadiel. 194s.

KURMAS a kol. 2014 *Základy konštruovania mechanických zariadení na prenos výkonu*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. 499 s. ISBN 978-80-552-1151-07.

PAULOVICH, S. – BRACHTYR, B – CVIKLOVIC, V. 2016. *Základy elektrotechniky*. 2016. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. 174s. ISBN 978-80-552-1463-4.

RUSNÁK, Juraj. a kol. 2017. *Konštrukčné prvky strojov*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. 148 s. ISBN 978-80-552-1674-4

Datasheet C8051F410 [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné na: <<https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/C8051F41x.pdf>>

Datasheet FT230X USB TO BASIC UART IC [online]. [cit. 17.3.2021]. Dostupné na: <https://ftdichip.com/wp-content/uploads/2020/08/DS_FT230X.pdf>

Datasheet Positive voltage regulator ICs [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné na: <<https://www.st.com/resource/en/datasheet/178.pdf>>

Datasheet PRODUCT LINES MYRRA [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné na: <https://download.datasheets.com/pdfs/2015/12/7/15/52/36/921/mrra_/manual/uk_z11-myrro_productcatalog_ds1.pdf>

FERONA, 2017. *Profil rovnoramenný L z konstrukční oceli válcované za tepla, EN 10056 // L 20x20x3* [Online]. [cit 2021-03-17]. Dostupné na: <<https://online.ferona.cz/detail/18372/profil-rovnoramenny-l-z-konstrukcni-oceli-valcovane-za-tepla-en-10056-l-20x20x3>>

FERONA, 2017. *Tyč ocelová plochá válcovaná za tepla, EN 10058 // rozměr 40x4* [Online]. [cit 2021-03-17]. Dostupné na: <<https://online.ferona.cz/detail/27777/tyc-ocelova-plocha-valcovana-za-tepla-en-10058-rozmer-40x5>>

Súhrn

Práca je zameraná na návrh a realizáciu dopravníka krmiva pre chov hydiny a jeho automatizáciu. Návrh pozostáva z výberu vhodných komponentov pre dopravník, ako elektromotor, prevodovka, závitovka a výber materiálu na skonštruovanie rámu dopravníka,

návrh a zapojenie hardvéru na riadenie činnosti a vytvorenie softvérového rozhrania na interakciu s používateľom. Riadiacu jednotku tvorí mikrokontrolér C8051F410. Pre správnu činnosť dopravníka systém využíva obvod reálneho času smaRTClock, ktorý zabezpečuje spustenie dopravníka v nastavených časoch a na požadovanú dobu. Možnosti spúšťania, ako čas spustenia a dopravené množstvo na jeden cyklus je možné riadiť pomocou navrhutej aplikácie vo vývojovom prostredí Visual Studio Community 2017, ktorá umožňuje komunikáciu s mikrokontrolérom pomocou USB portu.

Kľúčové slová: Dopravník, Mikrokontrolér, Automatické riadenie, C8051F410

EXAMINATION OF SOIL WATER CONTENT AND CONCEPTUAL DESIGN OF AN ON-THE-GO SOIL MOISTURE SENSOR

BÖRÖCZKY ANDRÁS - DEÁKVÁRI JÓZSEF - KISS PÉTER

Abstract

Nowadays, with the gradual spread of precision agriculture, the collection of data from their areas has come to the fore for farmers. While the necessary tools for precision farming are available in terms of machines, measurement technology is still lagging, so there are many development opportunities in this area.

The aim of this paper is to present the need for an on-the-go soil moisture sensor and a possible design. In case of multiple measurements, it is possible to deduce the water management properties of the soil, and to produce soil moisture maps that help precision agriculture. Related to this, I performed a series of measurements in which I examined the soil moisture content using three different measurement methods. I considered the confounding factors experienced during the measurements and then classified them into 3 large groups.

Key words: soil moisture, capacitive sensor, on-the-go measurement

1 Introduction

Soil water management has a wide-ranging impact on agricultural production. It affects heat and air balance, biological life in the soil, as well as erosion and various soil technological properties. Water is one of the essential conditions of life that the soil can provide for our plants in the long run. This is called water storage capacity, which depends on many physical and biological properties of the soil. Ideally, this ability allows plants to access water continuously during the growing season. In the droughty periods of recent years, the role of soil in agriculture has increased in value, drawing farmers' attention to the fact that soil is the largest natural reservoir. (1) The efficiency of irrigation and drainage is also determined by the water storage capacity of the soil.

The water balance of an area contrasts the amount of water entering and leaving the area. Water can enter the area naturally in the form of precipitation, run-off, and seepage, and artificially by irrigation. Due to different types of evaporations and seepage into the soil, the water content of the area decreases. By knowing these factors, we could form a picture of soil moisture turnover that determines its water balance, however, these data are not available to us. We try to approximate these factors with static measurements however, the effectiveness of this method is low.

Soil moisture is defined as the amount of water in the soil. Its current value can be expressed in several ways, the two most common modes being gravimetric and volumetric moisture content. In the case of gravimetric moisture content, the ratio of water mass in the soil to the solid phases is investigated. By volumetric moisture content is meant the ratio of

Böröczky András Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, *Institute of Technology, MSc Mech. Eng*; Deákvári József Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, *Institute of Technology*; Kiss Péter Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, *Institute of Technology, Full Professor*

the volume of water in the soil to the volume of the solid phases. The volume density of the soil (ρ_t) creates a relationship between the two values.

2 Materials and methods

Currently, the moisture measuring devices used in practice allow static measurements, so this procedure does not give a representative result for the whole field. Another problem is the inaccuracy of field measurements, which in many cases do not reach the required minimum. During the study, I observed what factors influence the accuracy of the measurement so that I can make a proposal for the design of the on-the-go sensor. To verify the correctness of the results, I took soil samples and then placed them in a drying oven to obtain an accurate value of soil moisture. The measurements were performed according to the standard MSZ-08 0205-78 in Gödöllő and Pápa, in 4 different fields. For the study, I used an Eijkelkamp soil sampling kit, a TDR-300 and ML3 ThetaProbe soil moisture meter, and a Labor MIM LP 321/3 type laboratory drying oven.

As a first step, I performed undisturbed soil sampling at 2 depths (0-5 and 5-10 cm). After soil sampling, I used TDR-300 and then the ML3 instrument to measure a total of 36 measurement points. The figure below shows the arrangement of a measuring point.

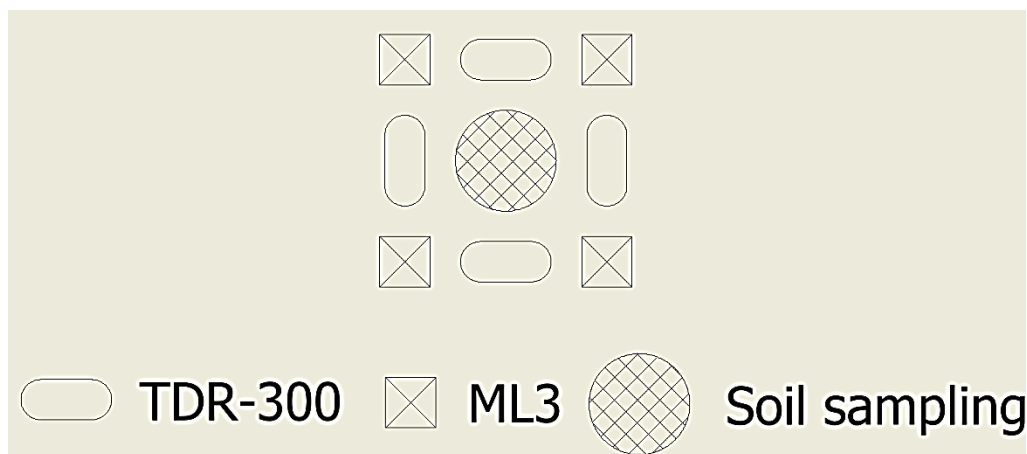


Fig. 1 The arrangement of a measuring point

As a final step, the soil samples were transported to the laboratory within 24 hours and the gravimetric moisture measurement was started. The measurement was performed according to the relevant part of the standard.

At each of the 36 measurement points, 4 data are generated by the TDR-300 and 4 data by the ML3 instrument. The two cases must be examined separately, so we get 144-144 measurement results separately. From this we want to check the accuracy reported by the manufacturer in comparison with the results of the gravimetric moisture measurement. The method of this is to average the result of the measurement points and then take the standard deviation of the samples.

The result of the standard gravimetric measurement method is accepted as the correct value, so we compare the measured values with it. Calculate the absolute and relative error of the measurement using the following formulas and then plot it on a graph:

$$H_i = X_i - X_h \quad 1)$$

where:

H_i – Absolute error of the measurement

X_i – Measured value

X_h – Actual Value

The relative error:

$$h_i[\%] = \frac{H_i}{X_h} \cdot 100 \quad 2)$$

3 Results and discussion

Figure 2 shows the results of the measurements performed in Gödöllő. Numbers 1-9 are the mean and standard deviation of the values measured on the grain stubble and 10-18 on the corn field.

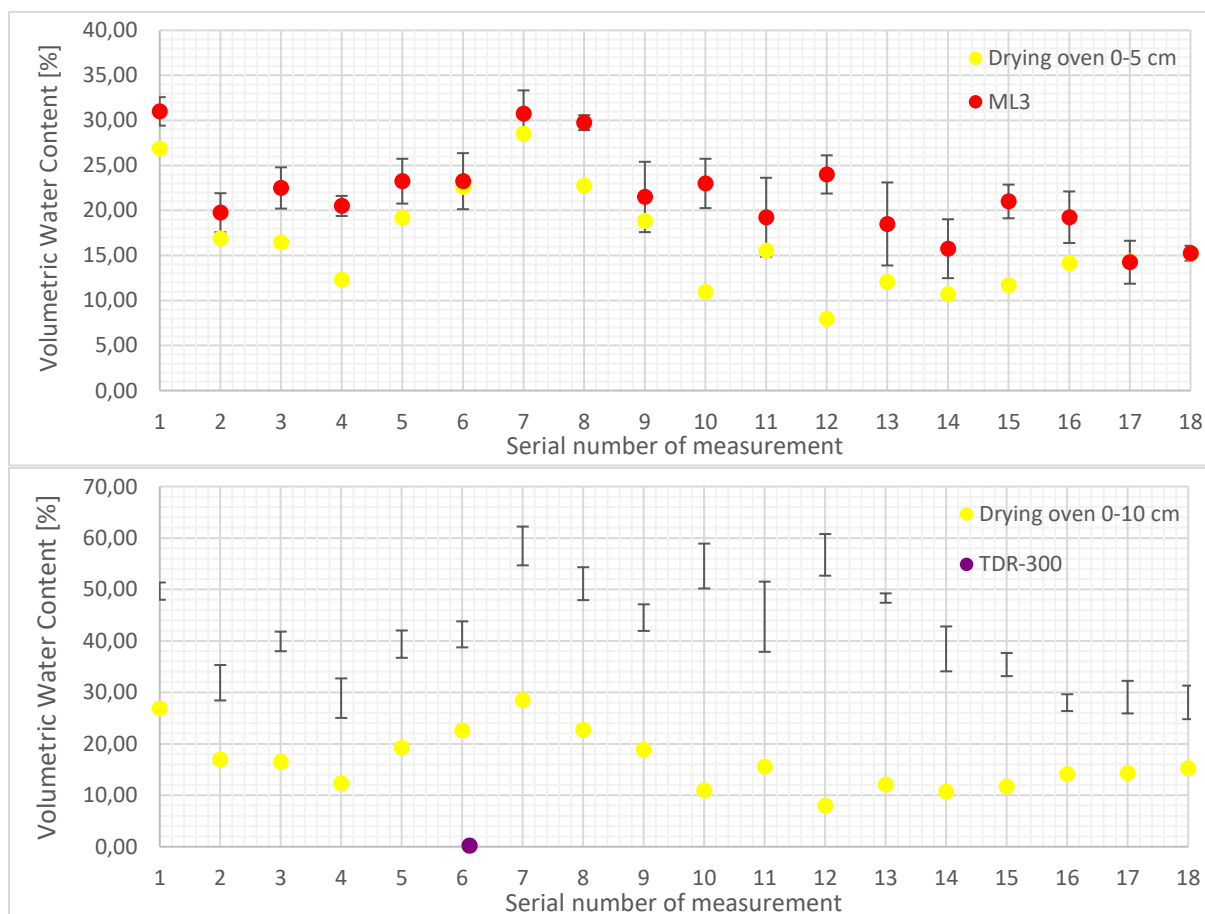


Fig. 2 Comparison of moisture content values at different measuring points (Gödöllő)

Figure 3 shows the results of measurements made in Pápa. Numbers 1-9 are the averages and standard deviations of the values measured on stripped winter barley stubble, while 10-18 are those measured on maize field

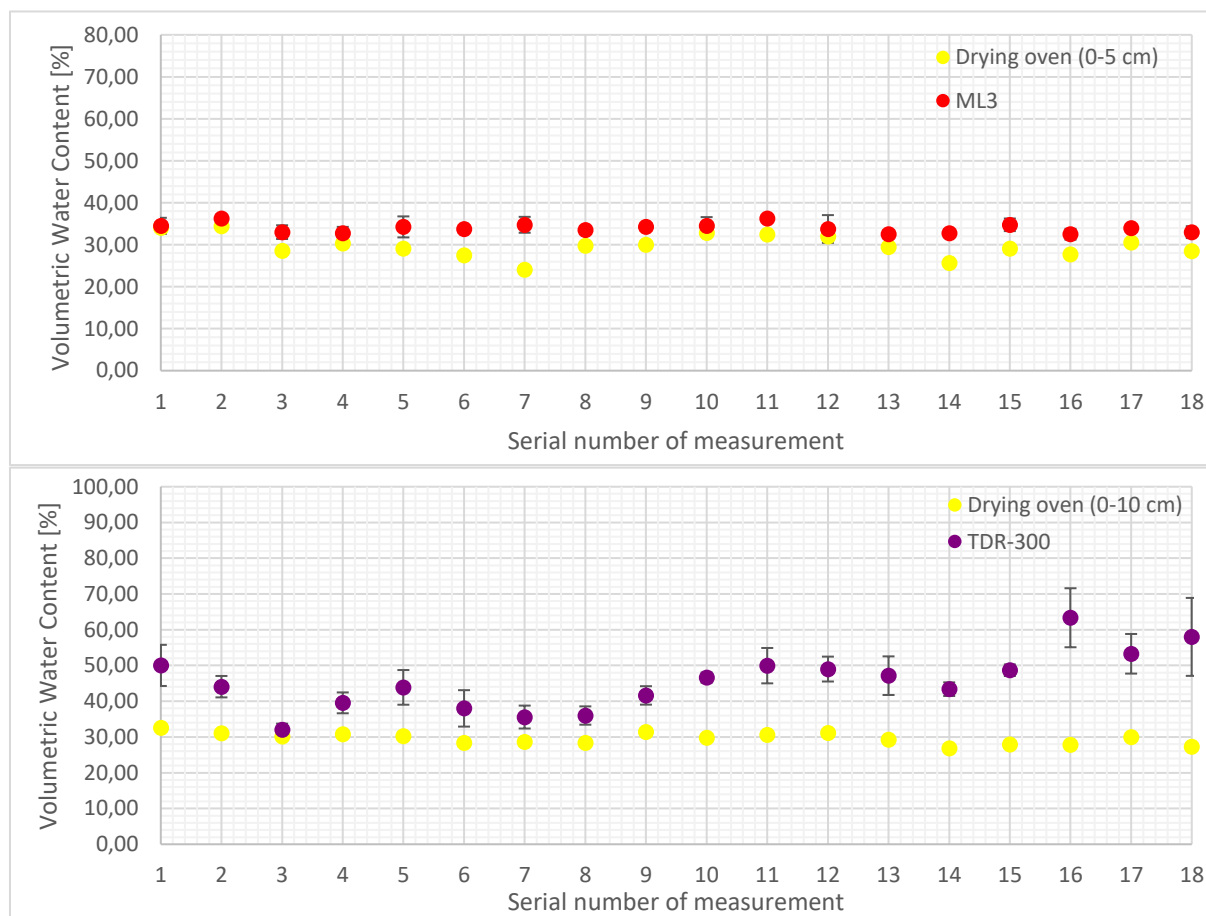


Fig. 3 Comparison of moisture content values at different measuring points (Pápa)

During the measurements, the average relative error of the TDR-300 instrument was 54.66% and that of the ML3 sensor was 14.77%.

In situ measurements are hampered by many confounding factors. The following errors explain the measurement inaccuracy during the test:

- Difference between sensing volumes. This error is due to the vertical inhomogeneity of the moisture content.
- Sampling errors. During undisturbed soil sampling, the sampling cylinder must be filled with soil. Stones and crop residues in the sample have a negative effect on the measurement accuracy. This error can only be avoided during laboratory measurements.
- Errors due to soil inhomogeneity. The results of field measurements also depend on temperature, salinity, bulk density, and soil type. Their constancy cannot be guaranteed during the measurement, so they cause a great deal of uncertainty. During the study, I measured in both tramline and watercourse areas, these areas have different physical properties than their surroundings.

Conceptional design

Static measurements are hampered by several confounding factors. If the minimization of interfering factors is kept in mind, the accuracy of the current measurements can be achieved with an on-the-go measuring device, and more measurement results would be available. (2) The following is an example of a possible design of an on-the-go soil moisture sensor.

In terms of sensor design, it consists of 3 parallel plates. The two outer metal plates provide one pole, while the middle shorter electrode provides the other pole. This arrangement is the best approximation of the ideal cylinder capacitor.

Due to the reduced energy requirement for traction of the sensor in the ground, the edges of the plates are sharp and not vertical. To reduce air gaps, the flow cross-section of the electrodes is slightly reduced in the direction of travel, thereby compacting the pre-treated soil into the sensor. The electrodes are insulated from each other with a high-wear resistant and water-repellent plastic element. The plates are fastened with 3 screws in plastic bushings.

The sensor also has a temperature sensor built into the insulation. (3) The contact with the soil is ensured by a metal plate with good thermal conductivity, which absorbs the temperature of the soil in a short time.

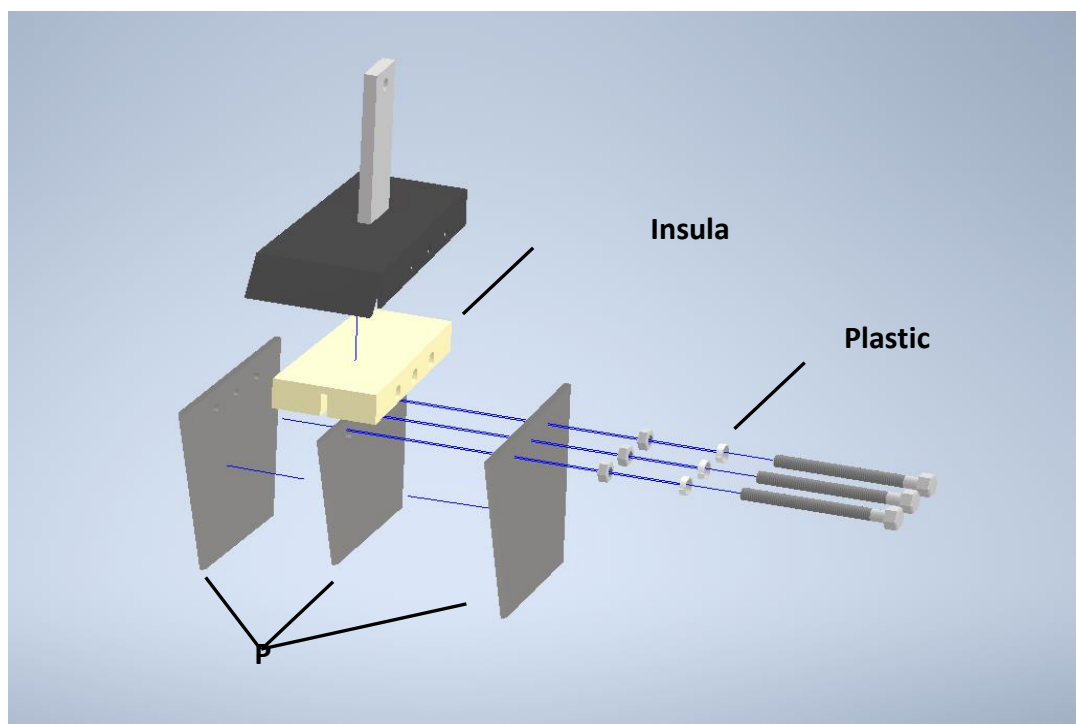


Fig. 4 Exploded figure of the soil moisture sensor

Measurement errors due to air gaps can be further reduced by pre-treating the soil. During the design, I used the hypothesis that if the soil, which has the same grain size, moisture content and physical parameters, is compacted with a specific, permanent force, then the resulting porosity can be considered constant. Based on this, I divided the device into 5 zones. Going through these, the soil is also loosened, shredded, and compacted.

Zone 1, cleaning the measuring strip. The task of the row cleaning unit, known from seed drills, is to clean the soil surface of crop residues and stones in the measuring strip.

Zone 2, loosening the soil with S-tines. Due to the vibration of the tines during operation, the shredding of larger particles begins here. The hoes are arranged in two rows to align the stones in the loosened layer sideways.

Zone 3, further shredding of the soil with a pair of x-offset discs. Due to the arrangement, no torque occurs which would deflect the soil preparation unit from the direction of travel. (4)

Zone 4, compaction of the soil with a defined, constant force. The means for this is a compaction roller with a parallelogram suspension, thus ensuring surface tracking.

Zone 5, perform moisture measurement. It is important that the sensor always travels at a predetermined depth. To ensure this, the sensor is connected to the device via a ground wheel.

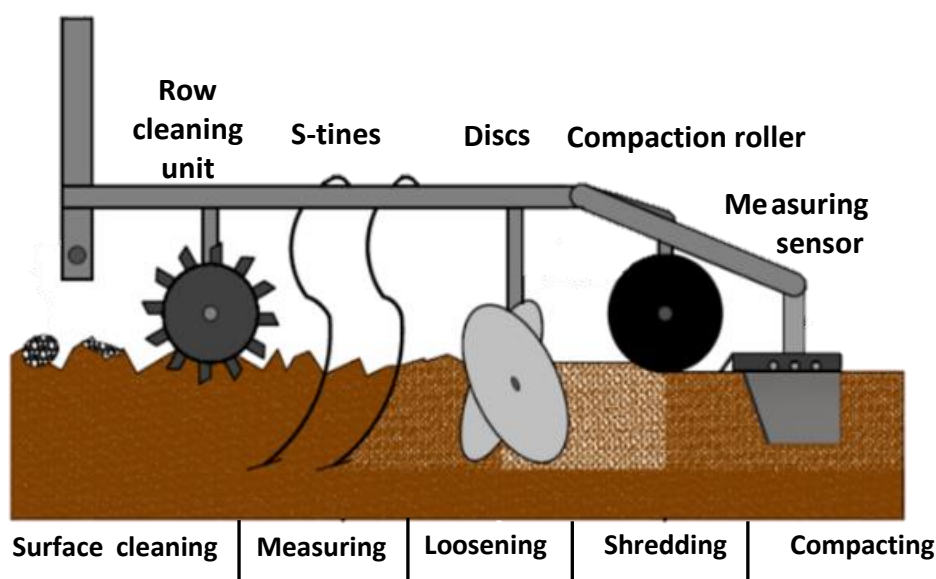


Fig. 5 Figure Structure of the measuring instrument

4 Conclusion

During the measurements, the relative error of the ML3 sensor was smaller than that of the TDR- 300, however, none of the devices were able to repeat the measurement accuracy reported by the manufacturers. By minimizing distractions, the accuracy of static measurements can also be achieved with an on-the-go measuring device. Measurement errors due to soil inhomogeneity can be avoided by preparing the soil. During the preparation, the soil must also be loosened, shredded, and compacted with s-tines, discs, and a compaction roller.

By using an on-the-go soil moisture sensor, get to know one of the most critical factors for our cultivated plants, the water content of the soil. In case of multiple measurements, it is possible to deduce the water management properties of the soil, and to produce soil moisture maps that help precision agriculture.

5 Literatúra

1. György VÁRALLYAY . 2002. A mezőgazdasági vízgazdálkodás talajtani alapjai. Budapest
2. M. NADERI-BOLDAJI, and others. 2011. *A dielectric-based combined horizontal sensor for on-the-go measurement.*, Sensors and Actuators A: Physical, pp.: 131-137.
3. Michelle SCHWARTZ, and others. 2019. *Accounting for Temperature Effects on the Performance of Soil Moisture Sensors in Sandy Soils.* Soil Science Society of America Journal, vol. 83., pp. 1319-1323.
4. Péter SZENDRŐ, and others. 2000. *Mezőgazdasági gépszerkezettan.* Budapest, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, ISBN 963 356 284 8.
5. Márta BIRKÁS, and others. 2001. *Talajművelés a fenntartható gazdálkodásban.* Gödöllő, Szent István Egyetem Mezőgazdaság és Környezettudományi Kar Növénytermesztési Intézet Földművelési Tanszék,
6. Gaylon S. CAMPBELL, and Walter H. GARDNER, 1971. *Psychrometric Measurement of Soil Water Potential: Temperature and Bulk Density Effects.* Soil Science Society of American Journal, January-February, pp.: 8-12.
7. Gaylon S. CAMPBELL, and others. Soil moisture sensors—How they work. Why some are not research-grade. *Metergroup Web Site.* [Online] [viewed date: 2020. 09 08.] <https://www.metergroup.com/environment/articles/tdr-fdr-capacitance-compared/>.
- 8., Spectrum Technologies Inc., 2009. TDR 300 Soil Moisture Meter Product Manual. Spectrum Technologies Inc.
- 9., Delta-T Devices Ltd., 2017. User Manual for the ML3 ThetaProbe. Delta-T Devices Ltd.
10. MSZ 08 0205 - 78. A talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságainak vizsgálata - MSZ 08 0205 - 78. Magyar Szabványügyi Testület, 1978.
11. Rafael MUNOZ-CARPENA. 2018. *Field Devices For Monitoring Soil Water Content.*
12. Pál STEFANOVITS, György FILEP, and György FÜLEKY. *Talajtan.* Budapest, Mezőgazda Kiadó, 1999.
13. Y. SUN, and others. 2006. *On-the-go measurement of soil water content and mechanical resistance by a combined horizontal penetrometer.*, Soil and Tillage Research , pp.: 209-217.

VARIABILNÁ LIKVIDÁCIA NEŽIADÚCEJ VEGETÁCIE NA PLOCHE BEZ KULTÚRNEJ PLODINY VARIABLE WEED REGULATION ON SOIL WITHOUT MAIN CROPS

BENJAMÍN BROCKA – VLADIMÍR RATAJ

Abstract

Development of variable rate application is one of most popular modern trend in worldwide agriculture production. In the following lines We present experimentally testing of exact application of chemicals. Authors are focuses to describe and determine rate of savings (% of chemicals) and rate of reliability of specific variable rate applications.

Key words: variable application, precision agriculture, selective weed control, drone, application of chemicals, agrifac, application maps

1 Úvod

Predkladaná práca rieši veľmi citlivú oblasť poľnohospodárskej výroby s priamym ekonomickým a environmentálnym dopadom. Experimentálne rieši problematiku aplikácie chemických ochranných látok. Autori sa zameriavajú predovšetkým na spoľahlivosť a udržateľnosť konkrétnych riešení pri variabilnej aplikácii ochranných látok. Na základe preštudovaných prameňov a dostupných informácií, neexistuje v súčasnosti o svete podnik s plne integrovaným systémom variabilnej aplikácie, pracujúci na základe dát získaných preletom dronov. Predkladaný experiment smeruje predovšetkým na spustenie procesov vedúcich k variabilnej aplikácii a overenie ich spoľahlivosti.

Autor práce pracuje popri štúdiu od roku 2018 na pozícii mechanizátora v podniku Agromačaj a.s., a v úlohe projektového manažéra vedie na podniku aplikovaný výskum. Od jeho vstupu do podniku drží záštitu nad programom presného poľnohospodárstva s cieľom zefektívnenia nákladových vstupov, zvýšenia dosahovaných výnosov, redukcie ekologickej záťaže a dosahovania lepších parametrov v programe integrovanej výroby.

Cieľom práce je experimentálne zistiť opodstatnenosť zavedenia systému variabilnej aplikácie chemických ochranných látok na likvidáciu nežiadúcej vegetácie vo výrobných podmienkach konkrétneho poľnohospodárskeho podniku. Práca bude zameraná na kvantitatívne testovanie aplikovaných látok a na určenie hranice spoľahlivosti variabilných aplikácií.

2 Materiál a metódy

Na splnenie cieľa práce bude vykonaná analýza dostupnej technológie a techniky určenej na variabilnú aplikáciu ochranných látok, vrátane nevyhnutných súbežných prípravných prác (mapovanie, spracovanie podkladov, spracovanie aplikačných máp a pod.). Výsledkom bude zdôvodnenie vybranej technológie. Podklady pre analýzu technického

zázemia experimentu budú vychádzať z overených zdrojov, ktoré deklarujú prevádzkovú funkčnosť systému.

Spôľahlivosť variabilnej aplikácie bude analyzovaná experimentálnym meraním a vyhodnotením úspory aplikovaných chemických ochranných látok v pomere k predpokladanej spotrebe pri plošnej aplikácii. Hodnotená aj bude odchýlka, resp. stupeň dodržania predikovaného množstva spotrebovaných chemických ochranných látok. Kritériom bude hodnotenie podľa spotrebovaného množstva roztoku vody a chemických ochranných látok. Výsledky budú porovnávané v absolútnych aj relatívnych hodnotách. Vyhodnotenie výsledkov bude riešené podľa vlastného algoritmu.

Testovanie bude hodnotiť možnosť aplikovania variabilného systému aplikácie ochranných látok pri operáciách spojených s likvidáciou nežiaducej vegetácie na plochách bez kultúrnych plodín.

3 Výsledky a diskusia

Vychádzajúc z variabilných vlastností pôdy/parcely/porastu a pod. usudzujeme, že takto odlišné lokality si vyžadujú diferencovaný agrotechnický prístup. Technológiu rastlinnej poľnohospodárskej výroby, ktorá rešpektuje priestorovú variabilitu vlastností a požiadaviek na pracovné operácie nazývame presné poľnohospodárstvo. Jedná sa o myšlienkový smer, ktorý vychádza z podloženého predpokladu, že variabilita pôdných vlastností existuje vo veľmi širokom meradle. Túto variabilitu je nutné presne poznať a priestorovo lokalizovať. Následne sú pracovné operácie riadené tak, aby boli vždy vykonávané optimálnym spôsobom, v správnom čase a len na potrebnej lokalite, prípadne v potrebnom rozsahu. (Rataj et al., 2014)

Ako uvádza Rataj a kolektív v knihe Presné poľnohospodárstvo z roku 2014, pri dodržaní systémového prístupu sú hlavné efekty, ktoré prináša filozofia a technológia presného poľnohospodárstva sú:

- Poznanie priestorovej variabilnosti výrobného prostredia,
- Špecifikácia výroby a evidencie všetkých operácií,
- Špecifikovanie efektívnych a neefektívnych pestovateľských plôch,
- Redukovanie spotreby osív, hnojív, chemických ochranných látok a tým pádom priama redukcia nadbytočných nákladov na materiál a mechanizačné práce,
- Redukovanie vplyvu a environmentálneho zaťaženia.

3.1 Použité stroje a technológie

Pri riešení problematiky variabilnej aplikácie chemických ochranných látok primárne prichádzajú do úvahy možnosti zberu dát dronmi a pomocou satelitov (Lukas, V. – Neudert, L., 2016).

Satelity pre využitie na riadenie variabilných operácií v poľnej výrobe poskytujú informácie založené na schopnosti rastlín odrážať svetlo z povrchu svojich listov (prípadne o svetelnej reflektancii pôdy), taktiež je možné odhalovať väčšie výpadky v porastoch kultúrnej plodiny a tým vytvárať modely predbežných úrod, prípadne kalkulovať poškodenia v porastoch. (Jarman, 2018). Bežne bývajú spracované do vegetačných indexov. Napriek relatívnej dobrej dostupnosti satelitných dát, sú s ich používaním spojené viaceré komplikácie. K problémom pri získavaní satelitných snímok dochádza aj pri nemožnosti operatívneho získavania týchto dát. Je potrebné sa prispôsobiť harmonogramu a preletom družíc nad záujmovým územím

a častokrát sa môžu vyskytnúť problémy s vysokou oblačnosťou. Snímky získané pri oblačnosti vyššej ako 20% sú vo vysokej miere nepoužiteľné a je potrebné vybrať si v databázach poskytovateľa staršie dáta.

Drony v porovnaní so satelitmi prinášajú násobne vyššie rozlíšenie, a to v rozmedzí od desiatok centimetrov až po milimetre (v praxi je možné dosiahnuť rozlíšenie 1 pixel na 2mm). Medzi ich nevýhody v priamom porovnaní so satelitmi patrí najmä časová náročnosť na mapovanie. Užívateľ síce má možnosť snímkovať parcely v násobne vyššom rozlíšení, avšak je limitovaný vlastným technickým vybavením, ako je veľkosť drona, rozlíšenie senzorov, či počet batérií, prípadne priamo časom potrebnými na zaznamenanie danej parcely. V prospech bezpilotných dronov môžeme počítať aj to, že užívateľ nie je do takej miery limitovaný zmenami počasia, keďže letová výška sa pohybuje v závislosti od požadovaného rozlíšenia a lokálnej legislatívnej úpravy (vymedzenie letových výšok pre bezpilotné lietadlá a drony) od 30m po 300m.

Pre použitie dronov v presnom poľnohospodárstve je ich nevyhnutnou súčasťou vybavenie potrebnými senzormi. Pre základné činnosti spojené s vizuálnou kontrolou, ako sú: subjektívne odhadovanie škôd škodcami, výpadky v porastoch, vyhľadávanie poškodení na závlahovej infraštruktúre a podobne postačuje základná RGB kamera s priamym živým prenosom do riadiacej jednotky operátora. Pre získavanie exaktných parametrov použiteľných na ďalšie spracovanie v obrazových analýzach sa využívajú multispektrálne kamery.

Multispektrálne kamery sú záznamové zariadenia, ktoré sú schopné snímania vo viacerých spektrách. Najčastejšie sa jedná o štandardne dostupné RGB spektrum pozostávajúce z červeného, zeleného a modrého spektra, infračervené spektrum NIR, red edge spektrum. Takéto zariadenia bývajú rovnako vybavené aj snímačom termo kamery.

Pri RGB spektre hovoríme o viditeľnom spektre, ktoré sa zakladá na báze aditívneho skladania farieb, ktoré pridávaním farieb pôsobí jasnejšie. To je dané faktom, že svetlo má bohatšie spektrálne zloženie ako je dĺžka svetla. Červená farba má vlnovú dĺžku 700nm, zelená farba má dĺžku 546,1nm a modrá má dĺžku 435,8nm. Pričom vlnové dĺžky, ktoré sú viditeľné ľudským okom sa pohybujú v rozsahu od 380 do 780nm. (Krátová, 2021 – edu.techmania)



Obr. 1 Konvertoplán Trinity F9 spolu s pilotom Skymaps (Foto autor)

Fig. 1 Drone Trinity F9 with operator of Skympas (Photo author)

Riadenie zmien vo variabilnej aplikácii sa vykonáva podľa vopred spracovaných aplikačných máp. Z toho dôvodu, sa zaužívalo pomenovanie ako map-based technology, v preklade: technológie viazané na mapy. Samotnú aplikáciu vstupov môžeme rozdeliť na tieto kroky:

- spracovanie informačnej mapy - získavanie priestorovo lokalizovaných informácií a ich následné spracovanie do priestorovej mapy,
- spracovanie aplikačnej mapy - spracovávanie informačnej mapy podľa agronomických požiadaviek. V jednoduchosti určuje: kde / koľko / ako. Spracovávanie prebieha v programovom prostredí GIS. Následne je potrebný export dát v kompatibilnom formáte, pre umožnenie čítania v riadiacej jednotke stroja, a následné importovanie do vnútornej pamäte riadiacej jednotky stroja prostredníctvom USB, pamäťovej karty, prípadne bezdrôtovo prostredníctvom internetového/cloudového prenosu. Z aplikačnej mapy možno stanoviť predikované (teoretické) množstvo roztoku, ktorý bude aplikovaný,
- variabilná aplikácia, prebieha podľa aktuálnej geografickej polohy stroja automaticky v režime „online“. Aplikovaná dávka je riadená bez prerušenia a samostatne.

Riziko offline variabilnej aplikácie vzniká a vyplýva z času nevyhnutne potrebného na prestavenie dávky počas plnej prevádzky (chodu stroja), a tým pádom vo finále predstavuje riziko nedodržania dávky. Teória vraví o nutnosti uvedomení si istých kompromisov pri zavádzaní takýchto offline technológií do technologických procesov. V rámci kompromisov môžeme usudzovať a vyberať z dvoch základných prístupov, a to: o exaktných zásahoch, alebo zásahoch aplikovaných v zónach.

V experimente bol používaný stroj Agrifac Condor CO4. Technické parametre stroja sú uvedené v tabuľke č.1.

Tab. 1 Technická špecifikácia používaného stroja (Lajda, 2021)
 Tab. 1 Technical specification of selfpropelled sprayer (Lajda, 2021)

Názov	Agrifac Condor CO4
Výrobné číslo	C045402
Výkon motora	151 kW
Objem nádrže na postrek	5000 l
Čerpadlo	Altek 500 (membránové)
Šírka postrekovej rampy	36 (24) m
Počet sekcií	144
Spôsob ovládania sekcií	Elektromagnetické ventily SSP
Rozostup trysiek	25 cm
Navádzací systém	GFX (RTK korekcia)
Výšková regulácia postrekovej rampy	SHP (strict height plus)

Zmeny v moderných technológiách presného poľnohospodárstva ako aj v technológiách spojených s variabilnou aplikáciou podliehajú veľmi rýchlemu vývoju. Nie všetky inovácie však prinášajú farmárom dostatočné ekonomické prínosy do ich výrobného portfólia, preto je potrebné tieto technológie testovať a analyzovať ich vplyv na produkciu a ekonomiku podniku. (Humburg, 2021)

V experimente používaný stroj Agrifac Condor CO4 je mimo iného vybavený 144 tryskami, ktoré sú umiestnené na postrekovej rampe v rozstupoch 25cm. Každá z trysiek je osadená vlastným elektromagnetickým ventilom, ktorý plní v systéme Strict spray plus (SSP) úlohu sekčnej kontroly (otvárania a zatvárania sekcií s frekvenciou 100 impulzov za sekundu. Toto vybavenie je významným predpokladom pre čo najlepšie využitie potenciálu stroja na presne ciele aplikáciu. Mimo štandardne osadených trysiek na postrekovej rampe je postrekovač nadštandardne doplnený 2 extra prestrekovými tryskami umiestnenými na oboch koncoch postrekovej rampy orientovaných šikmo v 45° uhle k štandardnému natočeniu trysiek. Vďaka tomuto riešeniu je rozšírená šírka postrekovej rampy približne na 37,5 m. Táto šírka postrekovej rampy je odôvodnená použitím postrekovaču v špecializovanej rastlinnej výrobe v systéme pestovania cibule, zemiakov a koreňovej zeleniny. Pri sejbe cibule je šírka sejačky nastavená na hodnotu 6,15 m, čo predstavuje rozstup postrekových koľají v šírke 36,9 m. Tento istý rozstup trás je použitý pri pestovaní koreňovej zeleniny sietej technológiou 6,15 m frézy a následnou sejbou. Pri sejbe koreňovej zeleniny v technológií dvojkombinácie je použité náradie so šírkou 3,1 m a pri 12 tich radoch, rozstup postrekových koľají sa rovná šírke 37,2 m. Rozstup postrekových trás 37,2 m je rovnako používaný pri pestovaní zemiakov.

Spoločnosť Agrifac, ktorá je výrobcom samojazdných postrekovačov má v rámci inovatívneho programu NEED Farming, pre variabilnú aplikáciu vyvinuté vlastné technologické riešenie s názvom Dynamic dose plus (DDP), v preklade: dynamická dávka.

Systém DDP aplikuje filozofiu presného poľnohospodárstva a umožňuje poľnohospodárovi zohľadňovať variabilitu pôdnych blokov. DDP umožňuje presne zacieliť aplikovanú dávku. Rovnako je schopný naplniť podmienku variability a aplikovať viaceré diametrálne dávky v závislosti od predpisových máp. V tomto prípade je jediným limitujúcim faktorom použitie správneho druhu trysky, a jej prietoková kapacita. Systém DDP ako celok pozostáva zo zobrazovacieho modulu, ktorý má integrovanú riadiacu jednotku a softvérového vybavenia. (Agrifac, 2021)



Obr. 2 Postrekovače Agrifac Condor CO4 pri variabilnej aplikácii (Foto autor)
 Fig. 2 Sprayer Agrifac Condor CO4 during variable rate application (Photo author)

Pre praktické fungovanie systému DDP je nevyhnutne potrebné vybavenie daného postrekovača hardvérovým systémom, taktiež z programu NEED Farming a to Strict spray plus (SSP), v preklade: presný postrek. SSP v riadiacej jednotke postrekovača počíta pre každú trysku postrekovača samostatne potrebné množstvo postreku, toto množstvo kalkuluje a vo finále reguluje dobou otvorenia trysky. V praxi sa jedná o elektromagnetické ventily, ktoré sú schopné až 100krát za sekundu zmeniť svoj stav, a teda priamo pôsobiť na trysky otvorením a zavretím. Túto funkciu je možné v snahe zefektívňovať prebiehajúce aplikácie nasledovnými spôsobmi. (Agrifac, 2021)

Nevyhnutnou súčasťou využitia týchto systémov vo variabilnej aplikácii je súčasné vybavenie využitých strojov prijímačom GPS (s presnosťou RTK) a riadiacou jednotkou s užívateľským prostredím pre vzájomnú komunikáciu s operátorom prostredníctvom ovládacieho monitoru. (Majid, 2011)

Ďalej je možné týmto systémom eliminovať vplyv zákrut na nerovnomerne aplikované množstvo chemických ochranných látok. Keďže pri nepretržitej aplikácii aj počas zatáčania sa v dôsledku dlhej konštrukcie ramien radikálne mení uhlová rýchlosť na konci ramien postrekovača dochádza k efektu, kedy trysky na vnútornej strane zákrut aplikujú násobne vyššie množstvo postreku ako trysky na vonkajšej strane zákruty, keďže prejdú značne kratšiu trajektóriu za ten istý čas. Vplyv tohto javu sa umocňuje väčšou vzdialenosťou od stredu postrekovača a teda na konci ramien postrekovača. Vďaka SSP postrekovač udržiava počas aplikácie nastavenú mieru rezervy v prietoku trysiek a pri prejazde zákrutami, je schopný pri tryskách na vonkajšej strane zákrut predĺžiť čas otvorenia elektromagnetických ventilov a na opačnej strane, kde je potrebné znížiť dávku, naopak zvýši frekvenciu uzatvárania elektromagnetických ventilov a tým zníži efektívny prietok trysiek.

Pri likvidácii nežiadúcej vegetácie na ploche bez kultúrnych plodín (ide najmä o likvidáciu invazívnych burín či výdrolov z predchádzajúcich kultúrnych plodín, ale taktiež napríklad o likvidáciu burinných zemiakov na nespracovanej pôde, alebo na čiastočne skultivovanej pôde) je prvý krok – teda získavanie dát relatívne najjednoduchší. Výrazne zložitejšie je získavanie dát o rozložení nežiadúcej vegetácie v porastoch kultúrnych plodín, alebo lokalít potrebných na ošetrovanie pri aplikácii morforegulátorami a pod. Keďže pôda sa na dátach z multispektrálnych senzorov javí vysoko kontrastne s akoukoľvek vegetáciou, je jednoduchá schopnosť rozlíšenia a následná tvorba aplikačnej mapy relatívne rýchla. V základe rozoznávanie takýchto ohnísk v na vysokokontrastných plochách (holá pôda) je realizovateľné aj bez náročnejších kapitálových vstupov na drahé multispektrálne snímače,

a dá sa realizovať aj bežne dostupnými užívateľskými dronmi na základe štandardných RGB snímok.

Vyššie nároky sú ďalej kladené na samotný aplikačný hardvér (postrekovač, riadiaca jednotka a prislúšenstvo). Pri takýchto aplikáciách bol najčastejšie použitý totálny herbicíd, ktorý sa aplikoval selektívne – 100% množstvom roztoku (nastavenou na postrekovači) v presne alokovaných ohniskách, alebo variabilne – v závislosti od hustoty nežiadúcej vegetácie bola volená rozdielna dávka. Napríklad dávka 0 l/ha v miestach s nulovým výskytom nežiadúcej vegetácie, 100 l/ha (50%) v slabo zamorených miestach a 200 l/ha (100%) v miestach s hustými ohniskami nežiadúcej vegetácie.



Obr. 3 Informačná mapa k aplikačnej mape na parcele 12.čerpačka (Skymaps, 2019)
 Fig. 3 Information map of application map of field „12.čerpačka“ (Skymaps, 2019)

3.2 Kvantitatívne vyhodnotenie experimentov

Pre lepšie pochopenie zdrojových dát v tabuľke nameraných údajov (Tab.č. 2) uvádzame konkrétny priebeh referenčnej aplikácie pre daný typ operácie. V prvom stĺpci tabuľky je číselné označenie poradia konkrétnej aplikácie, v druhom stĺpci je aplikácia lokalizovaná podľa parcely (podľa číselníka/menoslovu parciel Agromačaj), ďalej aplikáciu špecifikujeme formou použitej navigačnej technológie a to či sa jedná o využitie technológie Trimble VRX alebo Agrifac DDP. Pre dodržanie ochrany agronomického know-how nešpecifikujeme konkrétne použité chemické ochranné látky, ale v piatom stĺpci tabuľky uvádzame kategóriu použitých chemických ochranných látok, pre bližšie zadelenie využitia konkrétnej aplikácie.

V nasledujúcich stĺpcoch v tabuľkách sa nachádzajú predpisové zadelenia a teda: v šiestom stĺpci sa nachádza informácia o celkovej výmere vybranej parcely (prípadne jej časti, ktorá by sa štandardne plošne chemicky ošetrovala). Siedmy stĺpec vyjadruje množinu použitých rozdielnych dávok (emulzia/suspensia chemickej ochrannej látky s vodou), údaje

v tomto stĺpci nám charakterizujú aplikáciu z pohľadu variabilnosti a teda rozlišujú či sa jedná o selektívnu alebo variabilnú aplikáciu. Stĺpce 8 až 13 konkrétne špecifikujú použité dávky v litroch na hektár a k nim prislúchajúce výmery v hektároch a to vždy nasledovne: stĺpec 8 s označením D1 udáva zvolenú dávku, v stĺpci 9 je zadaná výmera prislúchajúca k dávke D1, údaje v stĺpcoch 10 až 13 sú zadelené podľa rovnakej logickej postupnosti, pre dávky D2 a D3.

V ďalšej časti sú rozdelené absolútne údaje o celkových objemoch spotrebovaných kvapalín. Stĺpec 14 s označením Vk je vyjadrením súčinu celkovej plochy S s dávkou D1 (tento údaj je referenčný pre spotrebované množstvo pri konvenčnej aplikácii). Stĺpec 15 s označením Vt je vyjadrením súčtu súčinov 1. dávky D1 s prislúchajúcou plochou S1, 2. dávky D2 s prislúchajúcou plochou S2 a 3. dávky D3 s prislúchajúcou plochou S3, toto množstvo vyjadruje teoreticky spotrebované množstvo pri variabilnej aplikácii. V stĺpci 16 s označením Vr sú reálne množstvá spotrebovaného postreku, tieto hodnoty sme namerali bezprostredne pri jednotlivých aplikáciách.

Nasledujúcu obsahová časť je tvorená percentuálnymi hodnotami vyjadrujúcimi rozdiely v konkrétnych aplikáciách v porovnaní s konvenčnými v grafickom znázornení, to slúži pre lepšiu orientáciu medzi údajmi. V tejto časti sú vyjadrené hodnoty: ošetrenej plochy, respektíve percentilu plochy, ktorá vďaka variabilným aplikáciám nebude zasiahnutá chemickými ochrannými prostriedkami, hodnoty teoreticky úspory absolútnej spotreby a reálne nameranej úspory. Stĺpec 17, a teda ošetrená plocha je vyjadrená podielom celkovej plochy ošetrovanej parcely a súčtom plôch pre jednotlivé dávky. Stĺpec 18, vyjadrujúci teoretickú úsporu vychádza z absolútnych údajov, zo stĺpcov Vk (objemu spotreby konvenčného) a Vt (objemu spotreby teoretického), a to podielom hodnôt v prislúchajúcich bunkách. Stĺpec 19 nahrádza v podiely hodnoty teoretického objemu spotreby, reálne nameranou spotrebou a tým pádom vyjadruje percentuálnu skutočnú úsporu danej aplikácie.

Posledná časť pozostáva z dvoch stĺpcov a vyjadruje hodnotenie aplikácií. V stĺpci 20 je vo forme absolútnej odchýlky percentuálne vyjadrená delta – odchýlka vyjadrená v litroch. Odchýlka vychádza z rozdielu absolútnych spotrieb – teoretickej a reálnej. V stĺpci 21 sa nachádza záverečné hodnotenie autora danej aplikácie, ktoré vychádza z objektívneho hodnotenia odchýlky absolútnych spotrieb. Hlavným kritériom pri hodnotení delty bolo neprevýšenie reálnej spotreby hodnôt teoreticky stanovenej spotreby o viac ako 10% celkového objemu postrekovej látky. Záverečné hodnotenie aplikácií okrem obsahuje aj hodnotenie celkového priebehu aplikácie. Priebeh aplikácie je hodnotený najmä z pohľadu spoľahlivosti a bezporuchového priebehu od jeho začiatku až po ukončenie.

4 Záver

Systém variabilnej aplikácie chemických ochranných látok bol otestovaný na ploche 341 ha na 9 parceliach. Celková spotreba emulzie/supenzie na postreky bola 38 740 l. Z výsledkov experimentu plynie, že použitím variabilnej aplikácie chemických ochranných látok bola dosiahnutá úspora 38 % celkového spotrebovaného množstva postrekov.

Pri hodnotení a kvantifikovaní spoľahlivosti daného systému sme dospeli k poznatku, že exitoval rozdiel medzi teoreticky vypočítanou hodnotou potrebného množstva postreku a medzi skutočne aplikovaným množstvom. Odchýlka reálnej spotreby od teoreticky určenej hodnoty bola vo výške 3,93% celkového spotrebovaného objemu postrekov. Odchýlka alokovaná váženým priemerom na plochu jedného hektára predstavovala v priebehu všetkých aplikácií relatívnu hodnotu 3,63%. Hodnotenie celkovej spoľahlivosti/nespoľahlivosti vykonania jednotlivých aplikácií bolo v pomere 7:2. Aplikácie na parcelách Pavlická čerpačka 1,2 a Abrahám hodnotíme ako sporné, keďže sa reálna spotreba postrekov líšila

o viac ako 10% od predikovanej spotreby, no najmä celý priebeh týchto aplikácií sprevádzali početné problémy pri čítaní aplikačných máp riadiacou jednotkou Agrifac DDP. Aplikácie na parcelách Spodky, 12. čerpačka a Zlaté Klasy, aj napriek odchýlkam v rozmedzí 20-27% hodnotíme ako úspešné. Nezhoda medzi predikovanou a reálnou spotrebou postrekov mala objektívne opodstatnenie a to v príľahlých oblastiach parciel, ktoré boli zakryté vegetáciou a na týchto oblastiach nebola aplikovaná chemická ochrana aj napriek ich začleneniu do aplikačných máp.

Z kvantitatívnej analýzy usudzujeme, že so zvyšujúcou sa presnosťou aplikačných máp a teda s predpokladom zvýšenia možnej úspory sa zvyšuje a riziko nespoľahlivosti konkrétnej aplikácie. Toto zníženie celkovej spoľahlivosti jednotlivých aplikácií je zapríčinené priamoúmerne zvyšujúcou sa záťažou na výpočtovú techniku a riadiacu jednotku postrekovača spôsobenou zvýšeným tokom a objemom dát.



Obr. 4 Ukážka selektívnej aplikácie (Foto autor)

Fig. 4 Preview of selective chemicals applications (Photo author)

Tab. 2 Experimentálne meranie variabilných aplikácií
 Tab. 2 Data of our variable rate applications

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
LIKVIDÁCIA NEŽIADUCEJ VEGETÁCIE NA PLOCHE BEZ KULTÚRNEJ PLODINY																					
Názov parcely	Dátum	Technológia	Chemická ochrana	S (ha)	n	D1 (l/ha)	S 1. (ha)	D2 (l/ha)	S 2. (ha)	D3 (l/ha)	S 3. (ha)	Vk (l)	Vt (l)	Vr (l)	Ošetrovaná plocha	Úspora teoretická	Úspora reálna	Δ	Hodnotenie		
1 Sládkovičovo	13.4.19	Trimble VRX	Glyfosát	16,0	1	150	10,00					2400	1500	1630	39%	38%	32%	9%	Úspešne		
2 Spodky	17.4.19	Trimble VRX	Glyfosát	9,0	1	150	2,60					1350	390	285	29%	71%	79%	27%	Úspešne		
3 12. čerpačka	23.8.19	AgriFac DDP	Glyfosát	91,6	3	180	37,50	130	30,10	90	24,00	16488	12823	9950	100%	22%	40%	22%	Úspešne		
4 Pavlická čerpačka 1, 2	16.9.19	AgriFac DDP	Glyfosát	25,0	1	200	2,99					5000	598	1700	13%	88%	66%	184%	Sporné		
5 Zlaté Kľasy	21.9.19	AgriFac DDP	Herbicid	39,2	1	180	29,40					7056	5292	4225	75%	25%	40%	20%	Úspešne		
6 Čakany	21.9.19	AgriFac DDP	Herbicid	31,5	1	180	22,65					5670	4077	4150	72%	28%	27%	2%	Úspešne		
7 Eliášovce	14.10.19	AgriFac DDP	Glyfosát	42,0	1	200	26,60					8400	5320	5400	63%	37%	36%	2%	Úspešne		
8 Veľké Uľany	14.10.19	AgriFac DDP	Glyfosát	12,0	1	200	3,48					2400	696	680	29%	71%	72%	2%	Úspešne		
9 Abraham	17.10.19	AgriFac DDP	Herbicid	75,0	1	180	53,50					13500	9630	10720	71%	29%	21%	11%	Sporné		
VYHODNOTENIE																				Odchýlka	
NETTO				341,3			242,82					62264	40326	38740		71%	35%	38%	-3,93%	Odchýlka	
																			3,63%	litrážová z váženého priemeru	litrážová z váženého priemeru

5 Literatúra

Agrifac. 2021. In Agrifac.com [online] © 2021 [cit 2021-03-20]. Dostupné na:
<https://www.agrifac.com/sustainable-farming/need-farming/>.

Humburg, D. 2021. Variable Rate Equipment – Technology for Weed Control. [on line]. [cit. 2021-03-28]. Dostupné:
<[http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/F05D57E27B039458852579E5007671F1/\\$FILE/SSMG-07.pdf](http://www.ipni.net/publication/ssmg.nsf/0/F05D57E27B039458852579E5007671F1/$FILE/SSMG-07.pdf)>.

JARMAN. 2018. In Satellites for agriculture [online]. © 2018 [cit. 2021-03-20]. Dostupné na:
< <https://sa.catapult.org.uk/markets/agriculture/>>.

KRÁLOVÁ. 2021. In Edu.techmania [online]. © 2018 [cit. 2021-03-20]. Dostupné na:
<<https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/svetlo/vnimani-barev>>.

LAJDA, Ján. 2021. Specifikácia C045402, info k SSP [elektronická pošta]. Správa pre: Benjamín BROCKA. 2021-24-03. [cit. 2021-03-28].

LUKAS, Vojtěch – NEUDERT, Lubomír. 2016. Senzorové měření porostů zemědělských plodin pro variabilní aplikaci hnojiv a pesticidů. Brno. Mendelova Univerzita v Brně. 52 s. ISBN 978-80-7509-460-5.

MAJID, Rashidi – DAVOOD, Mohammadzamani, 2011. Variable Rate Herbicide Application Using GPS and Generating a Digital Management Map. [on line]. [cit. 2021-03-28]. Dostupné:
<https://www.researchgate.net/publication/221909991_Variable_Rate_Herbicide_Application_Using_GPS_and_Generating_a_Digital_Management_Map>.

RATAJ, Vladimír et al. 2014. Presné poľnohospodárstvo. Praha. Profi Press s.r.o. 160 s. ISBN 978-80-86726-64-9.

Skymaps. 2019. Mapa postrekovanie [elektronická pošta]. Správa pre: Benjamín Brocka. 2021-23-08. [cit. 2021-03-28].

Súhrn

Medzi novodobé trendy v celosvetovej poľnohospodárskej výrobe patrí rozvoj variabilných aplikácií. Predkladaná práca experimentálne rieši problematiku exaktnej aplikácie chemických ochranných látok. Autori sa v publikácii zameriavajú na určenie miery úspory pri konkrétnych aplikáciách a hranice spoľahlivosti variabilných aplikácií.

Kľúčové slová: variabilná aplikácia, presné poľnohospodárstvo, selektívna likvidácia burín, drony, chemická aplikácia, agrifac, aplikačné mapy

NÁVRH A REALIZÁCIA ZARIADENIA NA MONITOROVANIE A ANALÝZU SPOTREBY ELEKTRICKEJ ENERGIE

MATEJ BRUNCLÍK – VLADIMÍR CVIKLOVIČ

Abstract

This thesis is focused on the design of device, which will be used for monitoring of electricity consumption, mostly in households. Monitoring of electricity consumption is carried out by scanning LED diode, which is located on electricity meter, with phototransistor. Phototransistor is connected to C8051F410 microcontroller's analog – digital converter. Electricity's meter LED diode signals the consumption of a certain amount of electricity, usually 1 Wh. After successful scanning, a timestamp is recorded from microcontroller's Real Time Clock. This timestamp is then saved to external EEPROM memory. Timestamps are read from external memory with program, which we created in Visual Studio software, using C# programming language. In this program, we can also change frequency of LED diode scanning, export values to Excel and plot graphs of electricity consumption.

Key words: Microcontroller, C8051F410, Electricity Consumption

1 Úvod

Monitorovanie spotreby elektrickej energie je v dnešnej dobe veľmi dôležité, keďže drvivá väčšina vecí, ktoré nám uľahčujú každodenný život, ju využíva. Medzi najznámejší princíp snímania spotreby elektrickej energie patrí snímanie pomocou indukčného elektromera. Tieto elektromery sú postupne vytlačované a nahradzované modernými elektronickými, alebo inteligentnými elektromermi. Tieto elektromery môžu byť ovládané na diaľku, napr. keď dodávateľ elektriny mení sadzby. Taktiež odčítanie hodnôt z nich je vykonané na diaľku. Neposkytujú však podrobnejší prehľad spotreby elektrickej energie pre jednotlivé domácnosti. Čiastočným riešením môže byť elektromer v zásuvke, ktorý síce poskytuje podrobný prehľad spotreby, no dá sa aplikovať len pre jeden spotrebič a na monitorovanie spotreby v celej domácnosti by sme ich museli zakúpiť niekoľko, čo by vyžadovalo vysokú finančnú investíciu.

Naším cieľom je teda navrhnúť zariadenie, ktoré by snímalo aktuálnu spotrebu elektrickej energie v celej domácnosti a dokázalo informovať používateľa o jeho aktuálnej spotrebe, o priebehu spotreby počas celého dňa, mesiaca alebo roka.

Využijeme pri tom dostupné elektrosúčiastky, ktorých cena je pomerne nízka, a taktiež softvéry, ktoré sú výrobcami poskytované zdarma, čím dostaneme zariadenie, ktoré sníma spotrebu elektrickej energie v domácnosti bez ilegálnych zásahov do elektrometra a s jednoduchou inštaláciou.

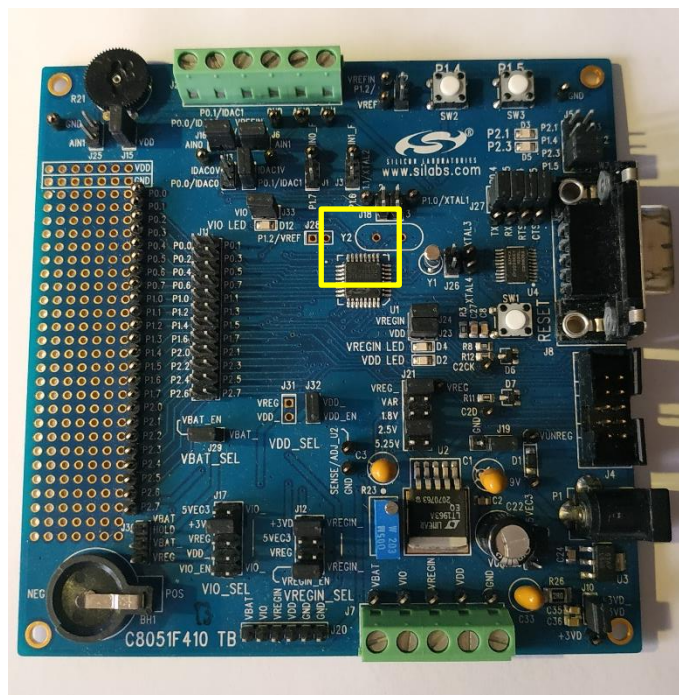
2 Materiál a metódy

Návrh hardvérovej časti zariadenia pozostáva z fototranzistora, ktorý sníma impulzy diódy LED na elektromere, ktorá blikne pri určitom spotrebovanom množstve elektrickej energie. Fototranzistor je pripojený k analógovo digitálnemu prevodníku mikrokontroléra. Pri detegovaní svetla fototranzistorom sa zo zdroja reálneho času prečíta aktuálny čas a uloží do externej pamäte EEPROM.

Softvérový návrh pozostáva z dvoch častí: programovanie mikrokontroléra C8051F410 v programe Keil uVision 5 v programovacom jazyku C a programovanie aplikácie v programe Visual Studio 2019 programovacím jazykom C#. Aplikácia bude komunikovať s mikrokontrolérom pomocou UART protokolu a vykreslí grafy o spotrebe elektrickej energie.

Mikrokontrolér C8051F410

Činnosť zariadenia je založená na mikrokontrolére C8051F410 od firmy Silicon Laboratories. Jedná sa o 8 bitový mikrokontrolér s 32 kB Flash a 2,25 kB RAM pamäte, 24 vstupmi a výstupmi, 12 bitovým analógovo – digitálnym prevodníkom, dvoma 12 bitovými digitálno – analógovými prevodníkmi, štyrmi časovačmi, interným nastaviteľným oscilátorom až do 24,5 MHz a vlastným zdrojom reálneho času. Pri návrhu zariadenia sme využili vývojovú dosku C8051F410DK, na ktorej je mikrokontrolér osadený, a na ktorej sme navrhované zariadenie najprv odskúšali a odladili program. Program do mikrokontroléra sme napáľovali pomocou USB debug adaptéra od výrobcu čipov. Vývojová doska je na obrázku 1. V žltom rámečku je vyznačený samotný mikrokontrolér C8051F410.



Obr. 1 Vývojová doska C8051F410DK
 Fig. 1 C8051F410 Development Kit

Fototranzistor

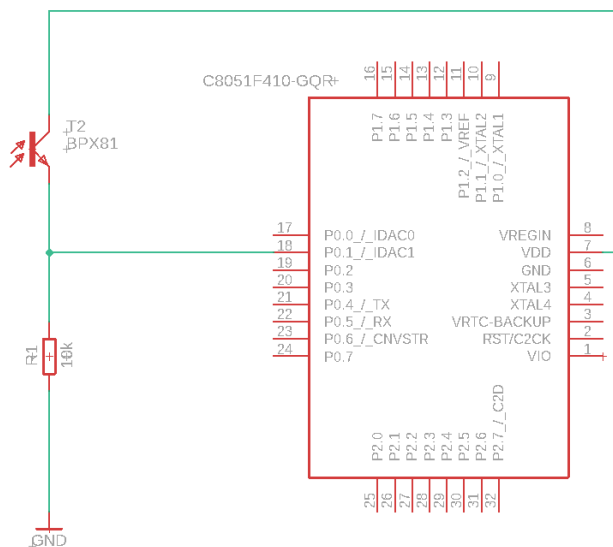
Na snímanie impulzov LED diódy sme použili fototranzistor 3DU5C. Fototranzistor pracuje rovnako ako štandardný bipolárny tranzistor, no namiesto vyvedenej bázy má otvor pre vstup svetelných lúčov. Po privedení svetla na fototranzistor sa otvorí prechod medzi emitorom a kolektorom a na vývode, ktorý je pripojený k A/D prevodníku, sa mení napätie v závislosti od privedeného osvetlenia.

Základné technické parametre fototranzistora 3DU5C:

- Max. pracovné napätie 10 V
- Prúd za tmy 0,3 μ A
- Prúd za svetla 0,5 – 1 mA
- Úbytok napätia 30 mW
- Vlnová dĺžka v bode max. citlivosti 880 nm
- Priemer diódy 4,8 mm



Obr. 2 Fototranzistor 3DU5C
 Fig. 2 3DU5C Phototransistor



Obr. 3 Detail schémy zapojenia fototranzisotra s mikrokontrolérom
 Fig. 3 Detial of connection between phototransistor and microcontroller

Analógovo digitálny prevodník

Na meranie napätia na fototranzistore budeme používať 12 bitový A/D prevodník. Prevodník má $2^{12} = 4096$ kvantovacích úrovní, z čoho vyplýva, že pri referenčnom napätí 2,5 V je rozlíšenie jedného bitu 610,35 μ V. Meraním sme zistili, že napätie na fototranzistore sa po bliknutí LED diódy pohybuje v rozsahu 0,3 - 0,5 V, v závislosti od polohy fototranzistora. Spodnú hranicu snímania sme preto nastavili na 0,2 V.

Čítanie aktuálnej hodnoty na A/D prevodníku sa v mikrokontroléri C8051F410 dá spustiť štyrmi spôsobmi:

- Zápisom log 1 do bitu AD0BUSY v registry ADC0CN.
- Pretečením časovača Timer2.
- Pretečením časovača Timer3.
- Na čelo impulzu na vstupe CNVSTR (vývod P0.6).

My sme zvolili spúšťanie na pretečenie časovača Timer3.

Časovače v MCU

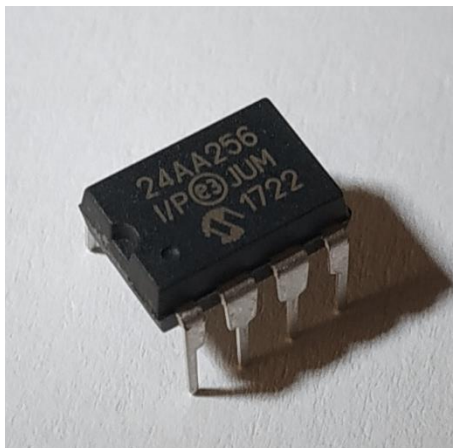
Mikrokontrolér C8051F410 obsahuje štyri počítadlá/časovače Timer0 – Timer3. Prvé dve sú 16 bitové, ktoré sa dajú používať v troch rôznych režimoch: 13-bitové počítadlo, 16-bitové počítadlo a 8-bitové počítadlo s automatickým prednastavením po pretečení. Timer0 sa dá použiť ešte ako dvojité 8-bitové počítadlo. Timer2 a Timer3 sa dajú použiť ako 16-bitové, alebo 2x 8-bitové počítadlá. Majú taktiež režim snímania smaRTClock, ktorý je možné použiť ako zdroj reálneho času.

Pamäť EEPROM

Ako externú pamäť EEPROM sme si zvolili 24AA256 od firmy Microchip. Do nej budeme ukladať časové stopy zo zdroja reálneho času a neskôr tieto záznamy spracovávať v našej navrhutej aplikácii na vykresľovanie grafov. Komunikácia s pamäťou je zabezpečená pomocou protokolu I2C. Používať budeme 4 externé pamäte. Technické parametre EEPROM pamäte 24AA256 sú v tabuľke 1.

Tab. 1 Technické parametre pamäte EEPROM 24AA256
 Tab. 1 Technical characteristics of EEPROM 24AA256

Parameter	Hodnota		Jednotka
	Min	Max	
Napájanie	1,7	5,5	V
Prevádzková teplota	-40	85	°C
Frekvencia	-	400	kHz
Čas pre zapísanie stránky	-	5	ms
Prúd pri zaťažení	Čítanie	400	µA
	Zápis	3	mA
Prúd v pokoji	-	5	µA
Počet mazaní/zápisov	1 000 000	-	cyklov
Doba uchovania dát	200	-	rokov



Obr. 4 Externá pamäť EEPROM 24AA256

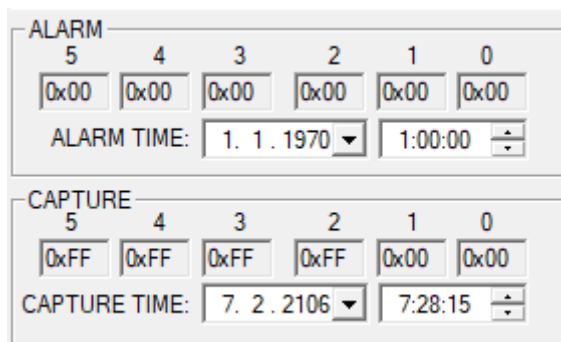
Fig. 4 External EEPROM Memory 24AA256

Časové stopy ukladané do pamäte budú 4-bajtové. Jedna stránka sa skladá zo 64 B, teda na jednu stránku vieme zapísať naraz 16 časových stôp. Časové stopy najskôr uložíme do 64-bajtového poľa v pamäti RAM mikrokontroléra, a až po naplnení celého poľa ich odošleme do pamäte. Robíme tak preto, lebo EEPROM pamäť pri zapisovaní čo i len jedného bajtu na stránku aktualizuje celú stránku a dochádza tak k zbytočnému opotrebovaniu pamäte. Ak by sme zapisovali časové stopy do pamäte po každom bajte, opotrebovali by sme pamäť 16-krát rýchlejšie, čiže namiesto 1 milión zápisových cyklov by sme mali k dispozícii len 62 500 cyklov.

Zdroj reálneho času RTC

Ako zdroj reálneho času sme použili vstavaný obvod smaRTClock mikrokontroléra C8051F410. Tento obvod má vlastný 32 kHz oscilátor a môže byť použitý s kryštálom, alebo bez neho. My budeme používať variant s osadeným 32,768 kHz kryštálom. SmaRTClock môže byť napájaný záložnou batériou, a teda aj pri strate napájacieho napätia si vie udržať aktuálny čas. Prístup k vnútorným registrom zdroja reálneho času je uskutočnený nepriamo pomocou registrov RTC0ADR a RTC0DAT.

Zdroj reálneho času je konfigurovaný od dátumu 1.1.1970 01:00:00. V danom čase sa v šiestich registroch nachádza hodnota 0x00, ako je na obrázku 5 v okne ALARM. My budeme pracovať s hornými 4-mi bajtmi, spodné dva bajty slúžia na počítanie mikrosekúnd, čo v našej aplikácii netreba. Od danej hodnoty dokáže počítať maximálne 136 rokov, teda do dátumu 7.2.2106 7:28:15 – viď obrázok 5, okno CAPTURE. Vtedy bude v horných 4 registroch hodnota 0xFF.



Obr. 5 Minimálne (okno ALARM) a maximálne (okno CAPTURE) hodnoty v RTC registroch

Fig. 5 Minimum (ALARM section) and maximum (CAPTURE section) values in RTC registers

Programové vybavenie

Ako bolo spomínané, na programovanie mikrokontroléra sme použili kompilátor Keil v prostredí uVision V5.27.1.0 a programovací jazyk C. V danom programe je možnosť simulácie čipu, čo nám uľahčilo odlaďovanie programu a ušetrilo flash pamäť mikrokontroléra od nadmerného prepisovania. Nie všetky funkcie simulácie sú úplne presné a program sme priebežne skúšali na mikrokontroléri.

Na zjednodušenie nastavovania registrov mikrokontroléra sme použili program Configuration Wizard 2 V4.40. Po zakliknutí nastavení v oknách program automaticky generoval príkazy na nastavenie registrov mikrokontroléra.

Na odlaďovanie programu a prvotnú komunikáciu s mikrokontrolérom sme použili Terminal v1.9b. V tomto programe sa po pripojení na správny COM Port a nastavení prenosových parametrov dá ľahko komunikovať s mikrokontrolérom.

Tvorbu našej aplikácie, ktorá bude komunikovať s mikrokontrolérom a vykresľovať grafy, sme uskutočnili v programe Visual Studio 2019 V16.7.3 s programovacím jazykom C#. Na vykresľovanie grafov sme použili dynamickú knižnicu ZedGraph.dll.

Návrh schémy zapojenia a dosky plošného spoja sme kreslili v programe EAGLE 9.6.2.

3 Výsledky a diskusia

Návrh zariadenia nám uľahčila vývojová doska C8051F410, ktorá obsahuje predpripravené rôzne periférie, okrem iného aj napr. vyvedené vývody na pripojenie a komunikáciu s inými zariadeniami. Začali sme pripojením fototranzistora k mikrokontroléru cez vývod P0.1, ktorý sme nastavili ako analógový vstup pre analógovo – digitálny prevodník. Meranie napätia na fototranzistore sa vykoná automaticky každých 20 ms (50 Hz). Aby A/D prevodník nezaznamenal pri takejto frekvencii jedno bliknutie ako niekoľko impulzov, stanovili sme hysteréziu. Ďalšie meranie sa nesmie vykonať, pokiaľ aktuálne napätie neklesne pod 0,2 V. Minimálnu hodnotu snímania 0,2 V sme vypočítali podľa vzťahu:

$$\frac{U_{vstup} \cdot 4095}{U_{REF}} = \frac{0,2 \cdot 4096}{2,5} = 328 = 0x0148$$

Hodnoty na A/D prevodníku budeme čítať automaticky pomocou pretečenia časovača Timer3. Stanovili sme si, že merať budeme každých 20 ms. Zdroj hodín používame SYSClk/12. SYSClk je systémový oscilátor, ktorý máme nastavený na frekvenciu 24,5 MHz. Z daného vyplýva, že zdroj hodín bude mať frekvenciu 2 041 666,667 Hz. Interval 20 ms je $1/0,02 = 50$ Hz. Časovač musí navýšiť hodnotu v počítadle $2\,041\,666,67 / 50 = 40\,384$ -krát. Hodnota, od ktorej začne počítadlo počítať je $65\,536 (2^{16}) - 40\,384 = 24\,702 = 0x607E$. Do registrov TMR3H a TMR3RLH vložíme teda hodnotu 60H a do registrov TMR3L a TMR3RLL hodnotu 7EH.

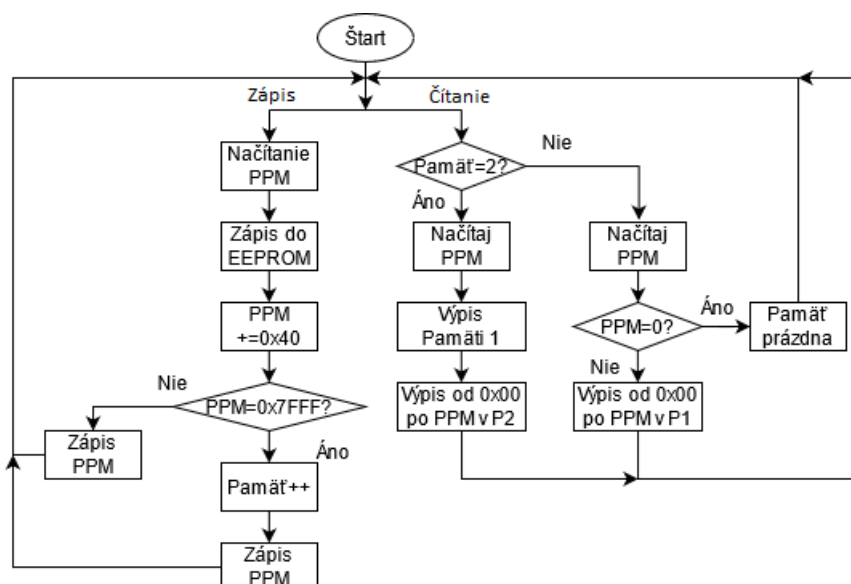
Teraz máme nastavený A/D prevodník, ktorý bude merať samostatne bez nášho ďalšieho zásahu. Po novej vzorke je volaná funkcia prerušenia indikačným bitom AD0INT.

Pri každom impulze inkrementujeme pomocnú premennú *cislo*. Neskôr hodnotu tejto premennej v programe porovnávame s nastavenou frekvenciou snímania, čo je počet impulzov diódy LED elektromera. Zariadenie je navrhnuté tak, že môžeme zaznamenať každý impulz alebo každý desiaty, stý, tisíci. Ak je číslo rovnaké, ako stanovená frekvencia snímania, načítame zo zdroja reálneho času aktuálny čas.

Čas zo zdroja reálneho času je v 4 Bajtovom tvare a vyjadruje počet sekúnd, ktoré prešli od 1.1.1970 01:00:00. Nastavením času RTC sa rozumie nastavenie množstva sekúnd, ktoré uplynuli od počiatocného dátumu a času. Museli sme preto vytvoriť algoritmus, ktorý prepočíta aktuálny dátum a čas na množstvo sekúnd, uplynutých od počiatocného času, a naopak. Čas v RTC sme sa rozhodli používať vo formáte koordinovaného svetového času UTC, ktorý nepozná zimný a letný čas.

Po nastavení ADC a RTC sme k mikrokontroléru pripojili externú EEPROM pamäť. Komunikácia s pamäťou sa riadi štandardom I2C. Tento štandard sme museli preto dôkladne nastudovať a podľa neho naprogramovať priebeh signálov na digitálnych vývodoch P0.2 a P0.3.

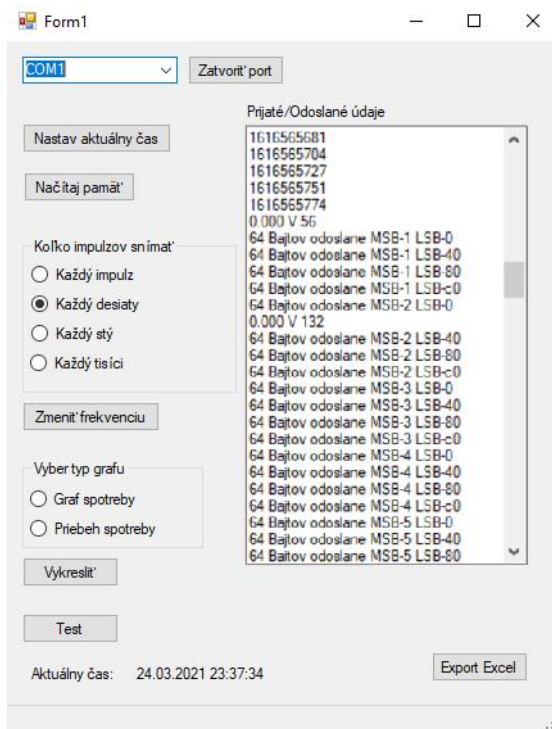
Museli sme taktiež naprogramovať manažment pamäte, v ktorom riadime zapisovanie do pamäte a následné čítanie. Pri zapisovaní do pamäte inkrementujeme poslednú adresu miesta zápisu a pri čítaní čítame od začiatku pamäte, až po danú poslednú adresu. Ak je prvá pamäť plná, zaistíme začatie zápisu do druhej pamäte.



Obr. 6 Vývojový diagram zapisovania a čítania z pamäte EEPROM (Pozn. PPM – posledné pamäťové miesto)

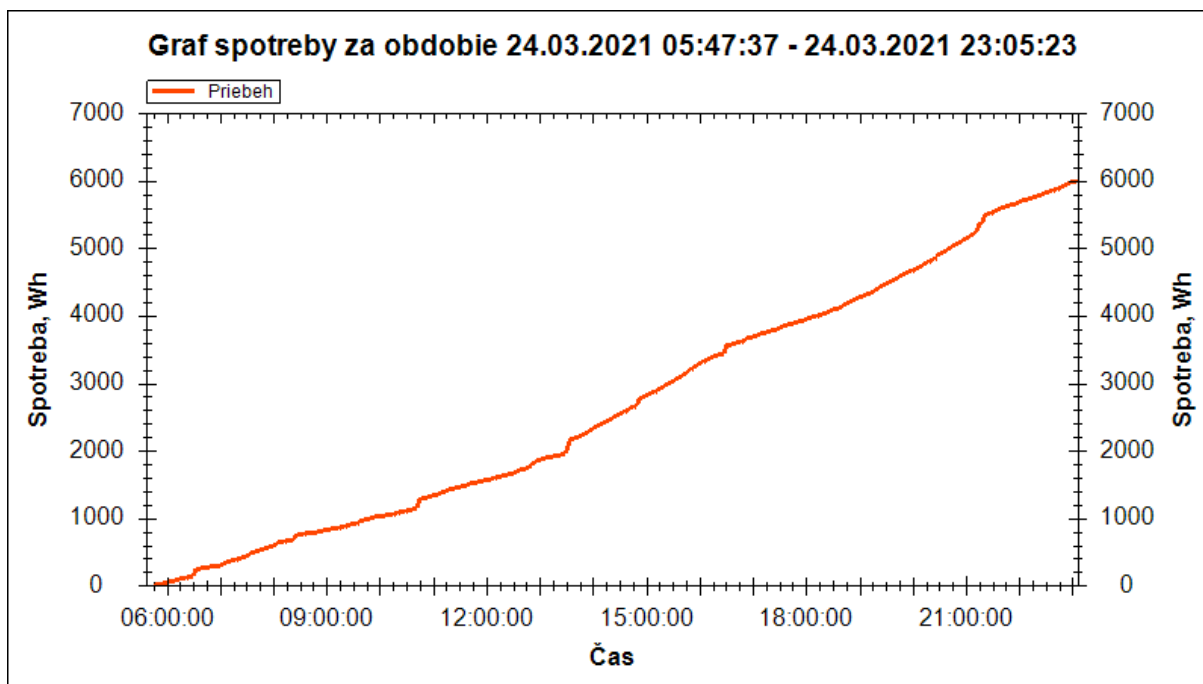
Fig. 6 Writing and Reading EEPROM Flowchart

Po tom, ako sme zapojili potrebné periférie, odladili program a odskúšali komunikáciu cez Terminal, pustili sme sa do programovania aplikácie, ktorá bude so zariadením komunikovať, vykresľovať grafy a exportovať údaje do MS Excel. Ako môžeme vidieť na obrázku 7, aplikácia obsahuje nasledovné funkcie: pripojenie sa ku komunikačnému portu, nastavenie aktuálneho UTC času, zmena frekvencie snímania impulzov, načítanie hodnôt z pamäti EEPROM, vykreslenie grafov z načítaných hodnôt a export nameraných hodnôt do programu Excel. Taktiež sme implementovali tlačidlo *Test*, pomocou ktorého dostaneme spätnú väzbu, či je fototranzistor nainštalovaný správne a či sníma každý impulz.

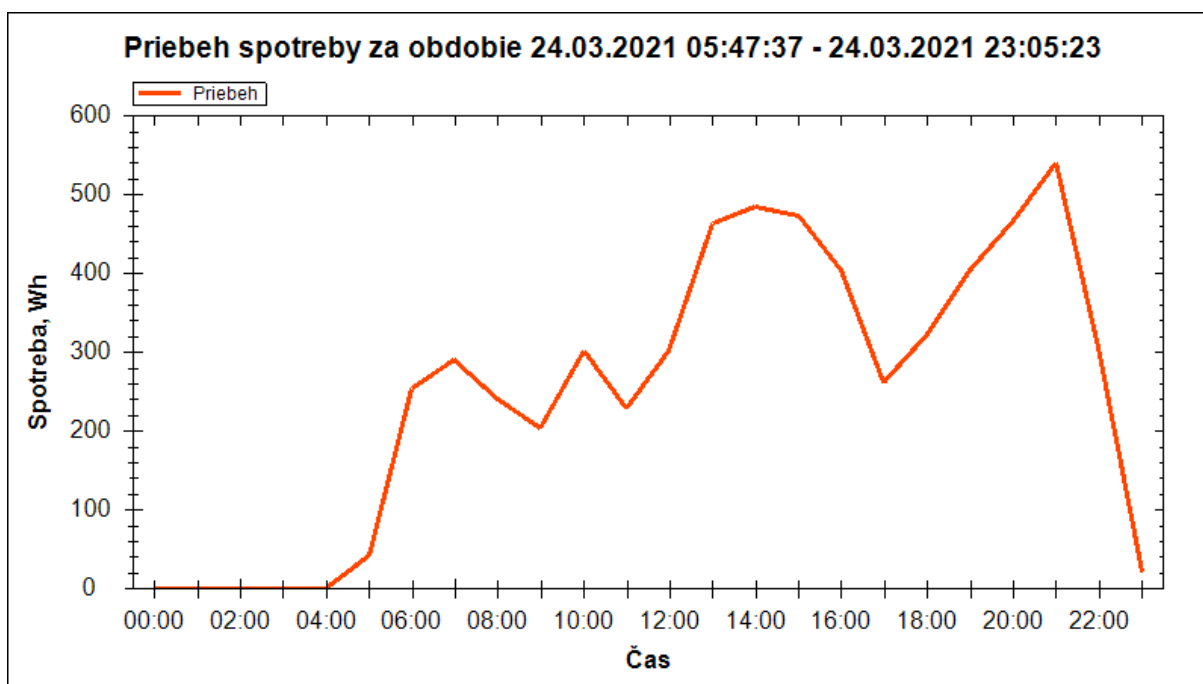


Obr. 7 Program na komunikáciu s mikrokontrolérom
 Fig. 7 Program for communication with microcontroller

Po naprogramovaní aplikácie, odskúšaní komunikácie so zariadením a overenia vykresľovania grafov o spotrebe pomocou knižnice ZedGraph, sme sa pustili do testovania navrhnutého zariadenia. Zariadenie sme nechali spustené v čase 24.3.2021 od 05:47 do 23:05. Snímali sme každý impulz, teda každú spotrebovanú Watthodinu. Za daný časový úsek sme nasnímali 6 000 impulzov, teda 6 000 Wh. Grafy spotreby v danom čase sú na obrázkoch 8 a 9.

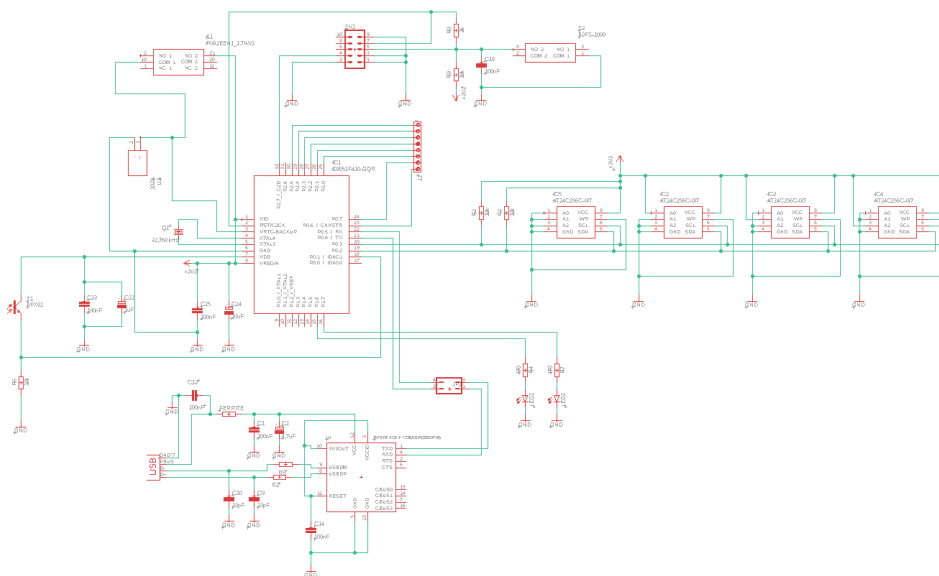


Obr. 8 Graf spotreby vo vybratom časovom období
 Fig. 8 Graph of electricity consumption in selected time

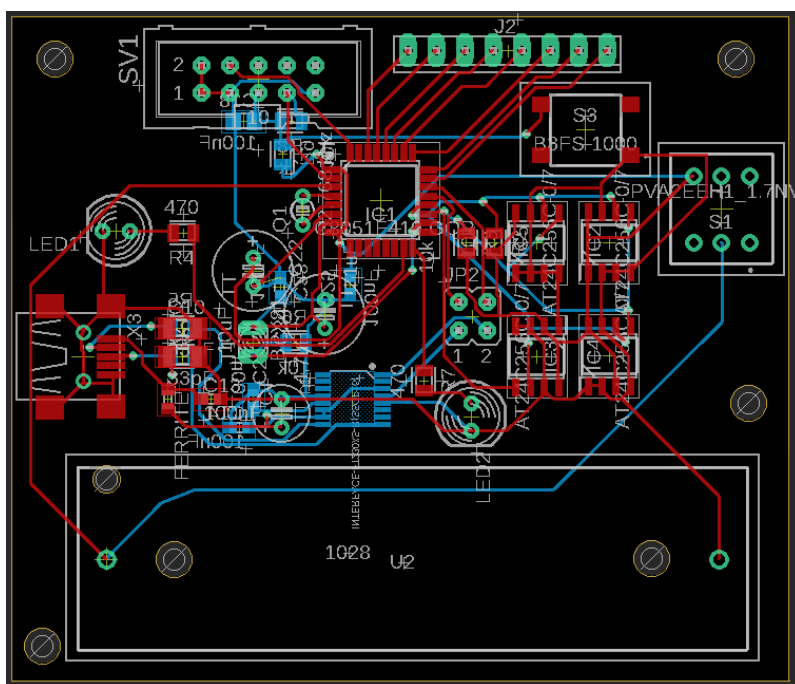


Obr. 9 Priebeh spotreby vo vybratom časovom období
 Fig. 9 Course of electricity consumption in selected time

Schému zapojenia zariadenia a návrh plošného spoja sme kreslili v programe EAGLE 9.6.2. Na obrázku 10 je schéma zapojenia celého zariadenia a na obrázku 11 návrh plošného spoja.



Obr. 10 Schéma zapojenia zariadenia na snímanie spotreby elektrickej energie
 Fig. 10 Schematic design of device used for electricity consumption



Obr. 11 Návrh plošného spoja
 Fig. 11 Circuit board design

4 Záver

V práci sme navrhli a zrealizovali zariadenie, ktoré meria spotrebu elektrickej energie pomocou snímania impulzov LED diódy na elektromere. Pomocou navrhnutej aplikácie sa dá na zariadení nastaviť aktuálny čas, zmeniť frekvencia snímania impulzov, načítať namerané hodnoty z pamäte a vykresliť grafy o aktuálnej spotrebe.

Pri režime snímania každého impulzu dostaneme podrobný prehľad o spotrebe elektrickej energie. Nevýhodou tohto režimu je rýchle zaplnenie pamäte a pomerne krátka doba snímania, maximálne niekoľko dní. V režime snímania každého tisícého impulzu, teda pri spotrebe 1 kWh, dokáže zariadenie zhromažďovať údaje po dobu niekoľkých rokov.

5 Literatúra

AVANCINI, D. – RODRIGUES, J. – MARTINS, S. – RABÊLO, R. – AL-MUHTADI, J. – SOLIC, P. 2019. Energy meters evolution in smart grids: A review. In *Journal of Cleaner Production*, vol. 217, pp. 702-715, ISSN 0959-6526

CVIKLOVIČ, V. 2017. *Aplikovaná elektronika a komunikačné štandardy*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. 132s. ISBN 978-80-552-1647-8

HRUBÝ, Dušan. – CVIKLOVIČ, Vladimír. 2017. *Jazyk C a mikrokontroléry Silabs*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. 167 s. ISBN 978-80-552-1458-0

LYNCH, K. M. – MARCHUK, N. – ELWIN, M. L. 2015. *Embedded Computing and Mechatronics with the PIC32 Microcontroller*. USA:Newnes. 650s. ISBN 978-0-12-420235-1

PAULOVIC, S. – BRACHTÝR, B – CVIKLOVIČ, V. 2016. *Základy elektrotechniky*. 2016. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. 174s. ISBN 978-80-552-1463-4

Datasheet 24AA256 [online] 2021 [cit. 13.3.2021]. Dostupné na: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/21203q.pdf>>

Datasheet C8051F410 [online] 2021 [cit. 13.3.2021]. Dostupné na: <<https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/C8051F41x.pdf>>

Datasheet C8051F410 Development Kit [online] 2021 [cit. 13.3.2021]. Dostupné na: <<https://www.silabs.com/documents/public/user-guides/C8051F41x-DK.pdf>>

Datasheet 3DU5C [online] 2021 [cit. 13.3.2021]. Dostupné na: <<http://j5d2v7d7.stackpathcdn.com/wp-content/uploads/2019/04/3DU5C.pdf>>

Súhrn

Práca je zameraná na návrh zariadenia na monitorovanie spotreby elektrickej energie, prevažne v domácnostiach. Monitorovanie spotreby je uskutočnené snímaním LED diódy na elektromery pomocou fototranzistora, ktorý je pripojený k analógovo – digitálnemu prevodníku mikrokontroléra C8051F410. LED dióda na elektrometri signalizuje spotrebovanie určitého množstva elektrickej energie, väčšinou 1 Wh. Po zosnímaní LED diódy sa zaznamená časová stopa, odčítaná zo zdroja reálneho času. Časové stopy sú postupne ukladané do externej pamäti EEPROM. Údaje z pamäti sú čítané a vyhodnocované v programe, ktorý sme navrhli a vytvorili v softvéri Visual Studio 2019 programovacím jazykom C#. Pomocou nami navrhnutého programu vieme meniť frekvenciu snímania LED diódy na elektrometre, exportovať namerané údaje do programu Excel, a taktiež vykresľovať grafy spotreby v danom časovom horizonte.

Kľúčové slová: Mikrokontrolér, C8051F410, Spotreba elektrickej energie,

POSÚDENIE ČINNOSTI VYBRANÝCH PRVKOV VÝBAVY AUTOMOBILOV EVALUATION OF FUNCTION OF CHOSEN CAR EQUIPMENT ELEMENTS

LUKÁŠ CIGÁŇ – IVAN VITÁZEK

Abstract

This paper is focused on testing of chosen car equipment elements to examine the function of adaptive cruise control, lane assist and seat heating. The following vehicles were tested: Audi S7 4.0 TFSI, Honda CR-V Hybrid and Audi SQ7 TDI. Functions of adaptive cruise control were monitored in a common traffic on a highway and in a village. It can be stated that Audi SQ7 has the most developed adaptive cruise control. Lane assist was examined in Honda CR-V and Audi SQ7. The car does not only warn the driver at digress from the lane without blinker, but once this function is activated, the vehicle is led automatically to proceed in its current lane. Seat heating was tested on VW Passat and VW CC vehicles. Obtained thermograms on Passat model indicate temperature exceeding 40 °C, which can cause health problems. This issue did not occur in the case of VW CC model. All car equipment elements mentioned above have their justification, because they improve comfort and facilitate the control of the vehicle.

Key words: cruise control, lane assist, seat heating, car equipment elements, vehicle

1 Úvod

V automobilovom priemysle sa zaoberá vývoj nielen zlepšovaním pohonov z pohľadu produkcie emisii, ale aj hľadaním možností zlepšovania ovládania automobilu a ďalšími prvkami vplyvujúcimi na jednak na bezpečnosť jazdy a komfort ovládania. V ďalšom texte bude pozornosť venovaná prvkom umožňujúcim vedenie vozidla v jazdných pruhoch, tempomatom a prvku slúžiacemu k lepšej tepelnej pohode, a to vyhrievaniu sedadiel.

Tepelná pohoda človeka závisí na viacerých faktoroch a je podmienená subjektívnymi pocitmi človeka. V jednoduchosti je tepelná pohoda definovaná ako stav, kedy musia byť dosiahnuté také tepelné pomery, pri ktorých človek nepociťuje ani chlad, ani nadmerné teplo, cíti sa príjemne (Cihelka, 1985; Vitázek, Tkáč, 2020).

Lane Assist v preklade znamená systém sledovania jazdných pruhov. Tento systém zabezpečuje udržanie automobilu v jazdnom pruhu. Systém Lane Assist zaraďujeme medzi prvky aktívnej bezpečnosti, a to z dôvodu, že zabráňuje vybočeniu z jazdného pruhu a aj vybočeniu do protismeru. Ak je potrebné, prevezme riadenie automobilu a nasmeruje ho naspäť (autoride, 2021).

Adaptívny tempomat je dostupný systém tempomatu pre cestné vozidlá, ktorý automaticky upravuje rýchlosť vozidla tak, aby bola zachovaná bezpečná vzdialenosť od vozidiel vpredu. Ovládanie je založené na informáciách zo senzorov z on-board snímačov.

Takéto systémy môžu používať radarový alebo laserový senzor, alebo nastavenie kamery, ktoré umožňujú vozidlu zabrzdiť alebo zrýchliť (caranddriver, 2021).

Technológia ACC sa všeobecne považuje za kľúčovú súčasť budúcich generácií inteligentných automobilov. Ovplyvňujú bezpečnosť a pohodlie vodiča, ako aj zvyšujú kapacitu cesty udržiavaním optimálneho oddelenia medzi vozidlami a znižovaním chýb vodiča (Horsman, 2020). Vozidlá s autonómnym tempomatom sa považujú za autonómne vozidlo úrovne 1 podľa definície SAE International. V kombinácii s ďalšou funkciou asistencie vodiča sa vozidlo považuje za autonómne vozidlo úrovne 2 (Vlk, 2002).

V príspevku sú uvedené poznatky zo skúšobných jázd vybraných automobilov pri testovaní adaptívnych tempomátov, asistentov na sledovanie jazdných pruhov a činnosti ohrevu sedačiek.

2 Materiál a metódy

2.1 Testovanie adaptívneho tempomatu

Testovanie činnosti adaptívneho tempomatu bolo realizované na troch rôznych automobiloch. V každom automobile je iný adaptívny tempomat. Skúmané boli tieto automobily:

- Audi S7 4.0 TFSi, rok výroby 2013,
- Honda CR-V Hybrid, rok výroby 2020,
- Audi SQ7 4.0 TDI, vyrobené 12/2020 model 2021.

Každý z uvedených automobilov má iný typ motora a aj iný typ adaptívneho tempomatu.

Audi S7

Audi S7 má motor s výkonom 309 kW (420 PS). Je to benzínový motor, preto sa označuje Audi S7 ako Sport 7. Môžeme konštatovať, že adaptívny tempomat je navrhnutý dobre, v tej dobe patril medzi tzv. lepšie adaptívne tempomaty. Ovláda funkciou, ktorá automobil spomalí, ak kamera nasníma auto pred ním.



Obr. 1 Adaptívny tempomat Audi S7
 Fig. 1 Adaptive cruise control on Audi S7

Honda CR-V Hybrid

Honda CR-V Hybrid má pohon realizovaný hybridným systémom (benzín + elektro). Motor má výkon 135 kW (184 PS). Vo výbave tempomatu je aj funkcia, ak kamera nasníma, že automobil vpredu brzdí, systém upozorní na možnú zrážku, alebo automobil zabrzdí sám.

Audi SQ7

Audi SQ7 4.0 TDI je posledný typ vybavený naftovým motorom s výkonom 320 kW (435 PS). Posledný je preto, lebo do týchto modelov sa v súčasnosti montujú už len benzínové motory. Adaptívny tempomat a line asisst sú umiestnené spolu v dvoch predných kamerách. Adaptívny tempomat je veľmi dobre nastavený a prešiel aj veľkými vylepšeniami v roku

2015, keď sa dával do týchto áut tempomat ako má Audi S7. Na rozdiel od modelu S7 má veľa rôznych vylepšení a veľmi dobre funguje.



Obr. 2 Adaptívny tempomat na Honde CR-V
 Fig. 2 Adaptive cruise control on Honda CR-V



Obr. 3 Bloková schéma záznamníka času
 Fig. 3 Block Diagram of the Time Recorder

2.2 Testovanie asistentov sledovania jazdných pruhov

Lane Assist v preklade znamená systém sledovania jazdných pruhov. Tento systém zabezpečuje udržanie automobilu v jazdnom pruhu (Horsman, 2020). Aj v prípade, keď vodič nedáva pozor. Systém Lane Assist zaraďujeme medzi prvky aktívnej bezpečnosti, a to z dôvodu, že zabráňuje vybočeniu z jazdného pruhu a aj vybočeniu do protismeru. Ak je to potrebné, prevezme riadenie automobilu a nasmeruje ho naspäť (Sajd, 2021).

Prvá automobilka, ktorá začala vyvíjať systém podobný Lane Assist bola Mitsubishi v roku 1992. K reálnemu nasadeniu došlo v roku 2001, a to automobilkou Nissan.



Obr. 4 Lane asistent na Honde CR-V
 Fig. 4 Lane Assist on Honda CRV

Vozidlá boli testované v riadnej cestnej premávke. Bol to úsek na rýchlostnej ceste medzi Zlatými Moravcami a Nitrou. Tempomat bol skúšaný pri rýchlosti 140 km.h^{-1} , v obci pri 50 km.h^{-1} .

2.3 Testovanie vyhrievania sedadiel

Sedadlá sú časť interiéru určená na sedenie, podopierajú telo a cestovanie robia pohodlnejším. Poznáme niekoľko druhov sedadiel podľa vyhotovenia, použitých materiálov a vybavenia doplnkovými prvkami.

Ľudia, ktorí veľa cestujú, alebo sa často nachádzajú v aute, si určite kúpia automobil s vyhrievanými, prípadne i ventilovanými sedadlami alebo s masážnou funkciou. Takto vybavené autosedadlá sú najvyhľadávanejšie a najvyužívanéjšie najmä v chladnom a mrazivom počasí. Vyhrievané sedadlá sú v takomto počasí veľkou výhodou. Keď naštartujeme automobil, tak už po niekoľkých minútach pociťujeme, ako zo sedadla začína pôsobiť príjemné teplo.

Skúmanie vyhrievania sedadla bolo realizované na dvoch automobiloch rovnakej továrenskej značky, ale rozdielnych modeloch. Jedná sa o vozidlá:

- Volkswagen Passat B6 2.0 TDI 103 kW (140 PS), rok výroby 2007;
- Volkswagen CC 2.0 TDi 125 kW (170 PS), rok výroby 2014.

Uvedené vozidlá majú kožené (VW CC) a polokožené (VW Passat) poťahy sedadiel.

Na posúdenie činnosti vyhrievania sedadiel bola použitá termokamera FLIR T335 (obr.5).

Základné technické parametre:

- rozlíšenie IR detektoru 320×240 bodov; zorný uhol objektívu 25° ; teplotná citlivosť $< 0,05 \text{ }^\circ\text{C}$; rozsah merania teplôt od $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ do $1200 \text{ }^\circ\text{C}$; presnosť $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$; nastaviteľná emisivita 0,01 až 1,00; digitálna kamera 3,1 Mpix; meracia funkcia na 5 teplotných bodov; automatické alebo manuálne zaostrovanie obrazu. Nastavenie termokamery je uvedené napr. v literatúre (Vitázek, Tkáč, 2017).



Obr. 5 Termokamera FLIR T335
 Fig. 5 Thermal imager FLIR T335

3 Výsledky a diskusia

3.1 Adaptívny tempomat

Pri testovaní týchto tempomatov bolo zistené, že v Honde CR-V kamera adaptívneho tempomatu upozorní vodiča, aj keď nie je zapnutý tempomat a vozidlo pred ním zabrzdí.

Na Audi SQ7 je kamera adaptívneho tempomatu vybavená tak, že automobil sám číta značky. Keď je na diaľnici najvyššia povolená rýchlosť 110 km.h^{-1} a tempomat je nastavený na 140 km.h^{-1} , automaticky po zosnímaní značky automobil spomalí na 110 km.h^{-1} . Taktiež, keď je tempomat nastavený na 50 km.h^{-1} , tak sám prečíta značku vyznačujúcu koniec obce a začne zrýchľovať na 90 km.h^{-1} . Pri začiatku obce sám začne spomaľovať z rýchlosti 90 km.h^{-1} na 50 km.h^{-1} , tak aby automobil vchádzal do obce rýchlosťou 50 km.h^{-1} .

Na všetkých tempomatoch testovaných vozidiel si vieme nastaviť požadovanú vzdialenosť od automobilu nachádzajúceho sa pred nami. Ak nastavíme na diaľnici na adaptívnom tempomate napríklad rýchlosť 145 km.h^{-1} a automobil pred nami ide rýchlosťou 130 km.h^{-1} , tak náš automobil automaticky spomalí na rýchlosť vozidla pred nami. Ak odbočíme z pravého jazdného pruhu do ľavého, tak kamera tempomatu zosníma, že žiadne vozidlo sa pred nami nenachádza a zrýchli na rýchlosť, ktorú sme si nastavili, čiže 145 km.h^{-1} .



Obr. 6 Ukážka činnosti adaptívneho tempomatu na Audi SQ7
 Fig. 6 Example of activity of adaptive cruise control on Audi SQ7

Porovnávaný bol aj adaptívny tempomat s klasickým. Zistili sme, že klasický tempomat nespomalí a nezrýchli automaticky pri nastavení na určitú rýchlosť a vodič musí dávať pozor na vozidlá pred ním. Po zošliapnutí brzdy sa tempomat vypne sám, pričom adaptívny tempomat robí takmer všetko za vodiča, či už sám brzdí alebo zrýchľuje.

3.2 Line asistent – sledovanie jazdných pruhov

Ak je na automobile zapnutý asistent sledovania jazdných pruhov, teda line asistent, tak automobil sa sám udržiava v jazdnom pruhu. Keď vodič náhodou nedáva pozor, line asistent ho vždy upozorní, ak vybočí mimo svojho jazdného pruhu.



Obr. 7 Nastavenie line asistenta na volante Hondy CR-V
 Fig. 7 Setting of line assist on steering wheel on Honda CR-V

V takomto prvku výbavy má mnoho automobilov, hlavne novších, aj pomoc pri ich vedení. Teda keď má vodič zapnuté udržiavanie v jazdných pruhoch, pustí volant a automobil určitý čas „šoféruje“ sám. Najlepšie vyvinuté takéto vedenie automobilu a line asistenta majú vozidlá značky Mercedes. Od roku 2015 dáva automobilka Mercedes týchto asistentov podľa výbavy do svojich modelov. Má aj funkciu, ktorá sama vedie automobil dlhú dobu, a to hlavne na diaľnici bez toho, aby vodič musel zasiahnuť do riadenia. Funguje to tak, že ak sa pomocou adaptívneho tempomatu nasníma pomalšie vozidlo, vodič dá smerovku a automobil sám odbočí do druhého pruhu. Potom zrýchli na danú rýchlosť, ktorá je nastavená na tempomate, bez toho, aby vodič nejako zasahoval do vozidla či už tým, že pridá plyn, alebo sa chytí volantu a vybočí do druhého pruhu. Takáto funkcia ale závisí to od výbavy, akú si majiteľ zvolí.

V testovanom automobile Audi SQ7, ak vodič nedrží volant, tak line asistent je v činnosti len určitú dobu. Potom sa objaví na prístrojovej doske upozornenie a line asistent sa vypne. Na automobile Honda CR-V je tento časový úsek kratší. Automobil nielen upozorní, keď vybočíte z pruhu bez smerovky, ale zapnutím tejto funkcie je vozidlo samočinne vedené v tom prúde, v ktorom sa nachádza.

3.3 Vyhrievané sedadlá

Pri vozidle **Volkswagen Passat (2008)** rozoznávame 3 stupne ohrevu sedadiel.

1. stupeň ohrevu

Pri 1. stupni sa sedačka vyhreje na najmenšiu teplotu (danú výrobcom) za dobu 7 min. Táto teplota je prijateľná pre ľudské telo. Človek cíti, že je sedačka pomerne zohriata. Keď sedačka dosiahne požadovanú teplotu, tak sa nezohreje, viac ako na ďalších stupňoch. Takáto teplota je daná výrobcom.

2. stupeň ohrevu

Keď si nastavíme ohrev sedačky na 2. stupeň, sedačka sa vyhreje na strednú teplotu, ktorá je vyššia ako pri prvom stupni. Táto teplota sa dá upraviť na prvý stupeň, kde je nastavená nižšia teplota.

3. stupeň ohrevu

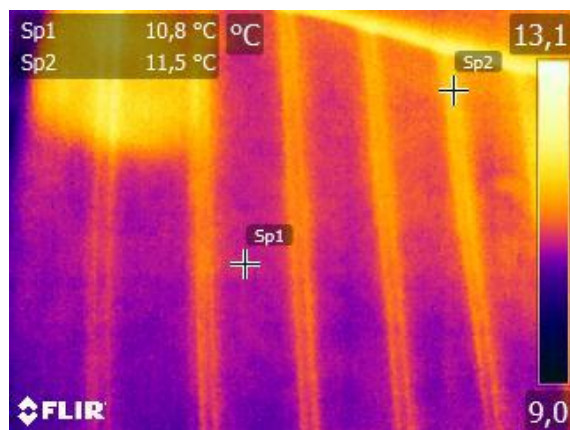
Pri 3. stupni sa sedačka vyhreje na vyššiu teplotu za približne 4 až 5 min, ale teplota je omnoho vyššia ako pri prvom alebo druhom stupni výhrevu. To znamená, že sedačka sa zohreje za kratší čas alebo sa zohreje na vyššiu teplotu.

Tieto stupne vieme najviac rozoznať pri kožených sedačkách najmä cez zimu, kedy sú sedadlá veľmi studené. Testovanie vykurovaného automobilového sedadla preukázalo teploty 35 °C až 48,89 °C.

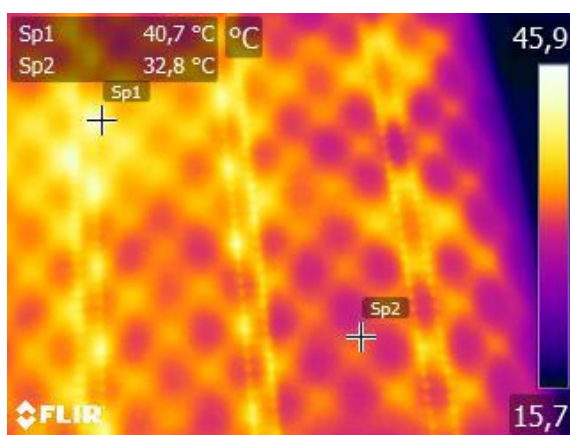
Meranie prebiehalo v automobile Volkswagen Passat, ktorý bol odstavený na parkovisku. Počas merania bol naštartovaný motor na voľnoběžných otáčkach. Počas merania prevládalo oblačné počasie. Teplota vzduchu bola 6,5 °C a relatívna vlhkosť 52 %. Teplota vo vnútri vozidla bola na začiatku merania 16,3 °C. Pomocou termovíznej kamery boli zosnímané sledované povrchy na začiatku a konci ohrevu. Získané termogramy sú na obr. 8 a obr. 9.

Dosiahnutá teplota cez 40 °C je na pocit už vysoká. Zotrvávanie osoby na takto zohriatom sedadle dlhší čas môže mať nepriaznivý vplyv na niektoré činnosti ľudského tela. Týmto je myslená napr. tvorba spermií u mužov. Optimálna teplota by mala byť v intervale hodnôt od 35,5 do 36,5 °C.

Použitie termovízie na sledovanie teploty vybraných povrchov sa rovnako, ako v našej práci, osvedčilo pri sledovaní teploty povrchov palubnej dosky a vyhrievaných sedadiel a bolo publikované v práci (Popovič, Vitáček, 2018). V uvedenej práci bola problematika upriamená na sledovanie povrchovej teploty interiéru automobilov i pri aktívnom chladiacom systéme.



Obr. 8 Termogram sedadla pred meraním
 Fig. 8 Thermogram seat before measurement



Obr. 9 Termogram sedadla po zohriatí
 Fig. 9 Thermogram seat after heating

Pri automobile **Volkswagen CC** (2013) majú kožené sedačky novší spôsob vyhrievania. Je to nastavené tak, že keď si zapneme ohrev naplno, tak riadiaca jednotka sama vyberie stupeň ohrevu podľa toho, ako sa sedadlo vyhreje. Keď sa vyhreje pri treťom stupni na požadovanú teplotu, tak si sám uberie na 2. a nasledovne na 1. stupeň a potom sa automaticky vypne. Vyhrievané sedačky sa odporúčajú pri kožených sedadlách využívať hlavne v zimnom období.

Podstatou testovania uvedených zariadení bolo overenie činnosti týchto prvkov výbavy. Uvedené zariadenia sa líšia podľa automobilky, typu (modelu) automobilu a stupňa jeho výbavy. Vybrané automobily sú od dvoch rôznych výrobcov a súčasne dva rôzne modely toho istého výrobcu. Zariadenia pracovali tak, ako boli navrhnuté a nezistili sa u nich žiadne anomálie. Pokiaľ sa rozhodujete pre daný model automobilu, je potrebné sa bližšie oboznámiť i s inštalovanými prvkami výbavy a ich činnosťou (Ďuriš, Jablonický, 2015). Významné to môže byť pri výbere automobilu od iného výrobcu, kedy daný systém môže odlišne reagovať, ako predtým používaný automobil. Vieme, že zvyk je železná košeľa a prevrpenie v premávke nemusí šťastne skončiť. Mechanizmy motorových vozidiel ako také sú uvedené v (Jablonický, et al., 2015). S rozvahou je potrebné používať aj prvok výbavy, ako je vyhrievanie sedačiek. V niektorých prípadoch systém nereguluje teplotu a táto na najvyššom stupni môže presiahnuť (ako dokladá i meranie) 40 °C, čo môže viesť k zdravotným problémom. Použitie termokamery je uvedené napr. v literatúre (Vitázek, Tkáč, 2017) a výsledky meraní napr. v (Popovič, Vitázek, 2018). Výskumom hodnotenia tepelnej pohody v kabíne automobilu sa zaoberala práca (Tuka, 2011, Čorňák, 2011).

4 Záver

Predmetom práce bolo overenie činnosti vybraných prvkov výbav automobilov, a to adaptívneho tempomatu, asistentov na udržanie vozidla v jazdnom pruhu a vyhrievania sedadiel. Na skúmanie týchto systémov, ktoré môžeme zaradiť medzi komfortné prvky výbavy, boli použité uvedené automobily, ktoré sa podarilo zapožičať. Na automobiloch testovanie a overenie činnosti adaptívneho tempomatu a taktiež lane asistenta bolo realizované len za prítomnosti vodiča. Overili sme, že adaptívny tempomat funguje vo všetkých vozidlách veľmi dobre. Odlišnosti sú dané typom automobilu a stupňom výbavy. V našom prípade sa nejednalo sa o žiadne „lacnejšie“ automobily. Adaptívny tempomat môže byť vo výbave aj ako drahšia príplatková vec. U novších automobilov je to už skoro samozrejmosť, ale väčšinou si priplátime. Audi SQ7 ma najlepšie vyvinutý tempomat, ale odpovedá tomu aj nadobúdacia cena. Už len továrenská značka hovorí zato, že sa nejedná o lacné vozidlo, ale práve naopak je jedno z tých drahších.

Rovnako boli otestované i systémy pre udržiavanie vozidla v jazdnom pruhu. Aj tu nájdeme odlišnosti medzi automobilkami a stupňami výbavy jednotlivých automobilov. Vyhrievané sedadlá sa už taktiež stávajú bežnou súčasťou výbavy automobilov. Ako vyplýva z našich meraní, tu je potrebné dbať na spôsob regulácie a v niektorých prípadoch včas vypnúť vyhrievanie, prípadne prepnúť na nižší stupeň, aby sme zabránili možným nepriaznivým zdravotným následkom (autonoviny, 2018). Prezentovaná problematika je súčasťou riešenia bakalárskej práce. V súčasnosti boli merania poznačené pandemickou situáciou. Rozsiahlejšie experimentálne merania budú realizované pri pokračovaní riešenia v rámci diplomovej práce.

5 Literatúra

Adaptívny tempomat (Adaptive Cruise Control). Vedel si ako funguje? [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné na: <https://www.autoride.sk/adaptive-cruise-control-oznacuje-adaptivny-tempomat-ako-funguje>.

CIHELKA, J. et al. 1985. Vytápění, větrání a klimatizace. SNTL Praha 1985. 648s.

ČORŇÁK, Š. 2011. Specifické aspekty mikroklimatu ve vozidle. In Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropojenních prostředí: sborník abstraktů z mezinárodní konference [online]. Praha: Česká bioklimatická společnost v nakl. Český hydrometeorologický ústav. 8s. [cit. 2020-03-20]. Dostupné na: <<http://www.cbks.cz/SbornikSMlyn11/Cornak.pdf>>.

ĎURIŠ, J., JABLONICKÝ, J. 2015. Návrh inteligentného riadenia automobilu: Intelligent car driving system design. In Najnovšie trendy v poľnohospodárstve, v strojárstve a v odpadovom hospodárstve. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2015, s. 119-124.

HORSMAN, P. 2020. What is Lane Assist and does your car need it? [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné na: <https://www.directline.com/car-cover/magazine/lane-departure-lane-assist-explained>.

JABLONICKÝ, J., HUJO, Ľ., TKÁČ, Z. 2015. Motorové vozidlá: mechanizmy motorových vozidiel. 1. vyd. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2015. 163s.

POPOVIČ, F., VITÁZEK, I. 2018. Sledovanie parametrov vzduchu vo vnútornom prostredí automobilu. In Zborník študentských vedeckých prác „Najnovšie trendy

v poľnohospodárstve, v strojárstve a v odpadovom hospodárstve“. Nitra: SPU, 2018, s. 182-191. ISBN 978-80-552-1828-1.

SAJD, J. 2021. Lane Assist: Poznáš systém sledovania jazdných pruhov? [online]. [cit. 2021-03-30]. Dostupné na: <https://autoride.sk/lane-assist-system-sledovania-jazdných-pruhov>.

Servisné manuály vozidiel Audi S7, SQ7, Honda CR-V Hybrid, Volkswagen.

Pozor na vyhrievanie sedadiel, dá sa poškodiť veľmi ľahko. 2018. [online]. [cit. 2021-03-29]. Dostupné na: <https://www.autoviny.sk/reportaze/118812/pozor-na-vyhrievanie-sedadiel-da-sa-poskodit-velmi-lahko>.

TUKA, J. 2011. Modelování prostředí v kabině osobního automobilu: diplomová práce [online]. Brno: Vysoké učení technické v brně. 65 s. [cit. 2021-03-03]. Dostupné na: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=42112.

VITÁZEK, I. – TKÁČ, Z. 2017. Teplotní technika a hydrotechnika. Příklady a experimentální měření. Nitra : SPU. 124 s. ISBN 978-80-552-1663-8.

VITÁZEK, I., TKÁČ, Z. 2020. Teplotní technika a hydrotechnika. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2020. 160s. ISBN 978-80-552-2160-1.

What is adaptive cruise control? [online]. [cit. 2021-03-03]. Dostupné na: <https://www.caranddriver.com/research/a32813983/adaptive-cruise-control/#>.

VLK, F. 2002. Elektronické systémy motorových vozidel 2. Brno, F. Vlk, 2002. ISBN 80-238-7282-6.

Súhrn

Táto práca je zameraná na testovanie vybraných prvkov výbavy vozidiel, a to overenie funkcie adaptívneho tempomatu, asistentov sledovania jazdných pruhov a ohrevu sedačiek. Sledované boli vozidlá Audi S7 4.0 TFSI, Honda CR-V Hybrid a Audi SQ7 4.0 TDI. Sledované boli funkcie tempomatu v bežnej premávke na diaľničnom úseku a v obci. Môžeme mať konštatovať, že adaptívny tempomat je najlepšie vyvinutý v Audi SQ7. Lane asist bol overovaný vo vozidlách Honda CR- V a Audi SQ. Automobil nielen upozorní, keď vybočíte z pruhu bez smerovky, ale zapnutím tejto funkcie je vozidlo samočinne vedené v tom prúde, v ktorom sa nachádza. Vyhrievanie sedadiel bolo testované na automobiloch VW Passat a VW CC. Získané termogramy u modelu Passat dokumentujú teplotu vyššiu ako 40 °C. To môže mať za následok zdravotné problémy. U modelu VW CC sa tento problém nevyskytol. Uvedené prvky výbavy majú svoje opodstatnenie, zvyšujú komfort a uľahčujú ovládanie vozidla.

Kľúčové slová: tempomat, lane asistent, vyhrievané sedadlá, prvky výbavy automobilu, vozidlo

Podakovanie

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

ZDROJE NAPĚŤOVEJ REFERENCIE A KVANTIFIKÁCIA ICH NAPĚŤOVEJ ODCHÝLKY V ZÁVISLOSTI OD VONKAJŠÍCH VPLYVOV SOURCES OF VOLTAGE REFERENCE AND QUANTIFICATION OF THEIR VOLTAGE DEVIATION DUE TO EXTERNAL IMPACTS

PETER ČERNÁNSKÝ – LADISLAV TÓTH

Abstract

The aim of this thesis is to get acquainted with the issue of voltage references, an overview of existing solutions and design your own voltage reference. The second part of the work includes the results of measurements of individual voltage references and their dependence on external influences as well as internal changes of precise voltage references and long-term stability of their reference voltage. The work also deals with the influence of thermoelectric voltages of voltage reference circuits. The conclusion evaluates the suitability of individual voltage references for metrological purposes for incorporation into calibrators and precision multimeters.

Key words: voltage reference, temperature stability, voltage noise, metrology, precision voltage source, calibrator, multimeter, long-term stability, temperature coefficient, thermoelectric voltage, thermostatisation

1 Úvod

Neodmysliteľnou súčasťou metrologického laboratória sú etalóny. Etalóny sú nositeľom presnej hodnoty. Napätové etalóny sú veľmi dôležité, umožňujú nám totiž stanovovať chyby meracej techniky. Taktiež pre korektnú funkciu mnohých zariadení je veľmi dôležité, aby obsahovali stály, presný a časovo nemenný napätový potenciál, takzvanú napätovú referenciu. Tento napätový potenciál nám môže poskytnúť buď súčiastka, obvod alebo aj celé zariadenie nazývané napätová referencia. Presný zdroj napätia musí obsahovať napríklad aj laboratórny zdroj, aby bolo nemenné jeho výstupné napätie časovo ani teplotne. Taktiež ho musia obsahovať nabíjacie stanice akumulátorov. U lítium-iónových, ale aj mnohých iných sekundárnych chemických zdrojov elektrickej energie, by prebitie o 40 mV nad nominálnu hodnotu mohlo spôsobiť trvalé poškodenie akumulátora. Pre tieto účely je veľmi dôležité poznať základné vlastnosti napätových referencií a mať na zreteli ich možné chyby. Vo vrcholnej metrológii sú zdroje referenčného napätia veľmi dôležitou súčasťou napätových a prúdových kalibrátorov, ako aj veľmi presných osem a pol miestnych multimetrov. Napríklad multimeter Fluke 8588A dosahuje ročnú absolútnu nepresnosť 3,6 milióntiny. Môžeme mať teda predstavu o tom, ako presná napätová referencia musí byť v tomto meracom prístroji obsiahnutá. V súčasnej dobe si konštruktér môže vybrať z veľkého množstva integrovaných obvodov napätových referencií, líšiacich sa dizajnom čipu, vnútorným zapojením, zapuzdrením, odolnosťou voči vonkajším vplyvom ako aj rôznymi rozsahmi napájacieho napätia. Taktiež je na výber množstvo obvodov, ktoré obsahujú napätovú referenciu spolu s ďalšími obvodmi pre zabezpečenie špecifickej funkcie. Obvody

Peter Černánský, Ing. Ladislav Tóth, PhD., Katedra elektrotechniky, automatizácie a informatiky, Technická fakulta, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 Nitra
email: xcernansky@is.uniag.sk, ladislav.toth1@uniag.sk

sa navzájom líšia svojimi parametrami ako aj stabilitou, teplotným koeficientom a presnosťou výstupného referenčného napätia prípadne prúdu. Uvádzané parametre v katalógových listoch jednotlivých výrobcov a výrobkov sa od seba odlišujú napríklad uvádzaním chýb. Niektorí výrobcovia ich uvádzajú priamo vo výstupnej veličine, niektorí v percentách a iný v milióntinách. Taktiež treba dávať pozor na podmienky, pri ktorých boli katalógové údaje získané. Nie vždy sa musia zhodovať s podmienkami v ktorých budeme napäťovú referenciu prevádzkovať, čo môže spôsobiť nemalé odchýlky voči katalógovým údajom. Preto sa javí ako veľmi vhodný spôsob si parametre, potrebné pre danú aplikáciu, overiť fyzicky na čípe, ktorý bude reálne využívaný na tento účel. Cieľom mojej práce je získavanie údajov o jednotlivých napäťových referenciách so zachovaním rovnakých podmienok merania pre každú z testovaných referencií. V prvej kapitole tejto práce sa oboznámime so základnými topológiami napäťových referencií. Následne sa oboznámime s jednotlivými typmi napäťových referencií, používaných v minulosti aj súčasnosti. V ďalšej časti prvej kapitoly budú popísané princípy jednotlivých integrovaných obvodov napäťových referencií. Tiež budú spomenuté aj výhody a nevýhody jednotlivých napäťových referenčných integrovaných obvodov. Následne je v tejto práci oboznámenie sa so základnými parametrami napäťových referencií ako je časová stálosť alebo napäťový šum a iné. Ďalej práca pojednáva o napäťových referenciách v praxi. Spomína sa tiež dôležitosť zmeny napätia referenčného na napätie potrebné a spôsoby tejto realizácie.

2 Materiál a metódy

Množstvo firiem vyrába v dnešnej dobe integrované obvody napäťových referencií. Tieto návrhy majú špecifické výhody aj nevýhody a je na zákazníkovi, ktorý obvod sa pre jeho aplikáciu javí najvýhodnejší.

Základné spôsoby realizácie referenčných integrovaných obvodov sú:

- Podpovrchová Zenerová referencia.
- Bandgap referencia.
- Čiastková referencia Bandgap.
- XFET.
- FGA.
- REFAMP.



Obr. 1 Integrované referenčné obvody LM399, LTFLU, LTZ1000, MAB399
 Fig. 1 Integrated reference circuits LM399, LTFLU, LTZ1000, MAB399

2.1 Podpovrchová Zenerová dióda

Jedná sa o podpovrchovú Zenerovu diódu z angličtiny Subsurface Zener diode, kde sa lavínová oblasť nachádza hlbšie v štruktúre, typicky niekoľko mikrometrov pod oxidom. Prvá Buried Zener monolitická referencia bola vyrobená v polovici 70. rokov minulého storočia v spoločnosti National Semiconductor. Jedná sa o vyhrievanú referenciu LM199 od dizajnéra Roberta Dobkina. Referencia LM199 prípadne 299 alebo 399 (prvá číslica rozdeľuje triedu

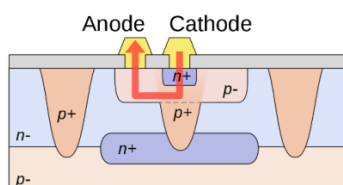
presnosti, pričom nižšie číslo je väčšia stabilita) je veľmi známa a úspešná napäťová referencia, používaná v presných metrologických šesť a pol miestnych multimetroch ako interná referencia hlavne vďaka teplotnej regulácii. Integrovaný obvod napäťovej referencie princípom podpovrchovej Zenerovej diódy obsahujú napríklad multimetre Keithley 2000, Agilent 34401A, Fluke 8846A. Československá kópia týchto obvodov bola s označením MAB399, MAE299 alebo MAC199. V dnešnej dobe sa vo vrcholnej metrológii využívajú výborné vlastnosti tohto zapojenia v obvode LTZ1000 od Linear Technology. LTZ1000 je obvod na podobnom princípe ako LM399, avšak dosahuje nízky šum, vysokú dlhodobú časovú stabilitu, veľmi malú hysteréziu, veľmi malý tepelný drift. Využívajú ho osem a pol miestne multimetre, kalibrátory a elektronické etalóny napätia, váhy a nízkošumové rádiových frekvencných oscilátory. Konkrétne obvod LM399 je obsiahnutý aj vo veľmi známom multimetri HP 3458A. Princíp podpovrchovej Zenerovej diódy je znázornený na obrázku č.2.

Výhody:

- Veľká dlhodobá stabilita.
- Nízky šum.

Nevýhody:

- Základné napätie 6,95 V.
- Nutnosť kompenzácie teploty kvôli vysokému teplotnému driftu.



Obr. 2 Podpovrchová Zenerova dióda

Fig. 2 Buried Zener diode

2.2 Bandgap napäťové referencie

Bandgap referencie sú založené na koncepte obvodu, ktorý bol prvýkrát publikovaný Davidom Hilbiberom v roku 1964. Následne v roku 1969 Bob Widlar z National Semiconductor naviazal na túto prácu výrobou prvých integrovaných obvodov s týmto konceptom. Základné napätie je 1,25 V alebo 1,235 V prípadne 1,2 V.

Výhody:

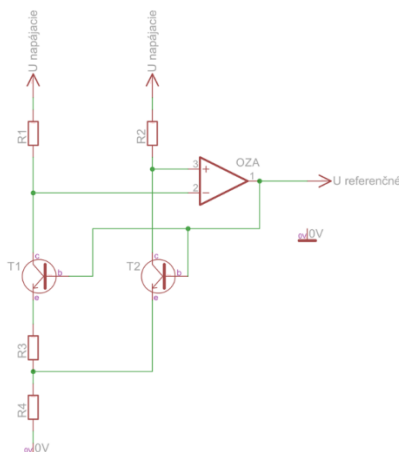
- možnosť použitia širokého rozsahu napájacieho napätia.
- optimalizácia pre nízku spotrebu.

Nevýhody:

- Horšia dlhodobá stabilita.
- Väčší šum (s dnešnou technológiou značne redukovaná nevýhoda).

Referencie založené na Zenerovej dióde dosahujú veľké presnosti výstupného napätia. Ich nevýhoda spočíva v nedostatočnej flexibilita výstupného napätia a potreba stabilného napájania, od ktorého vo veľkej miere závisí stabilita výstupného napätia. Bandgap referencie sa vyznačujú malým rozdielovým napätím medzi vstupom a výstupom a tiež širokým rozsahom výstupných napätí. Pán Hilbiber využil v návrhu základné parametre charakteristík bipolárnych tranzistorov. Ak máme dva bázovo-emitorové prechody tranzistorov navzájom odlišných, tak sa odlišujú tiež rozdielnymi hodnotami napätia bázovo-emitorového prechodu. Napätie z bázovo-emitorového prechodu je vysoko teplotne závislé a má záporný teplotný koeficient. Pri návrhu sa využilo zistenie, že rezistor má kladný teplotný koeficient. Ak sa teda navrhnu súčiastky s ohľadom na najpodobnejší ale protichodný teplotný koeficient, výsledkom je, že sa teplotné koeficienty navzájom odčítajú a výsledný obvod sa blíži

k nulovému teplotnému koeficientu. V dnešnej dobe je na trhu veľké množstvo napäťových referencií založených na Bandgap návrhu. Tieto napäťové referencie ponúkajú veľké množstvo referenčných napätí a tiež väčšie množstvo variantov maximálneho dovoleného výstupného prúdu. Aktuálne najnovšie Bandgap referencie dokážu konkurovať parametrami Zenerovým referenciám. Na obrázku č.3 je znázornená principiálna schéma Bandgap referencie.

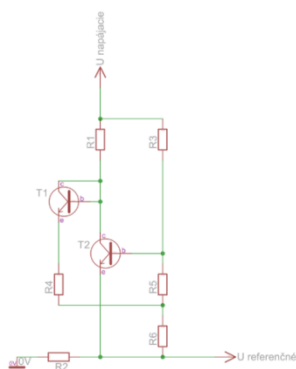


Obr. 3 Principiálna schéma Bandgap referencie
 Fig. 3 Principal diagram of Bandgap reference circuit

2.3 Čiastková Bandgap referencia

Z anglického názvoslovía Fractal Bandgap Reference využíva rovnako princíp teplotnej charakteristiky tranzistorov a odporov. Líši sa vo výstupnom napätí. Kým štandardné Bandgap referencie využívajú základné napätie v rádoch jednotiek voltov, čiastkové Bandgap referencie využívajú základné napätie v rádoch desiatok až stoviek milivoltov. Oproti štandardným Bandgap referenciám vytvárajúcim referenčné napätie na princípe porovnávania napätí, čiastkové Bandgap referencie vytvárajú referenčné napätie na princípe porovnávania prúdov. Využívajú napätie bázo-emitoreového prechodu k tvorbe prúdu. Kým napätie tohto prechodu je priamo úmerné teplote, prúd bude nepriamo úmerný.

Na obrázku č. 4 je zobrazenie principiálnej schémy čiastkovej Bandgap referencie. Typickými zástupcami tohto typu referencie sú obvody LT6650 a LT6700 s výstupným referenčným napätím 400 mV. Obvody sa tiež vyznačujú možnosťou zmeny výstupného napätia na základe zmeny spätnej väzby, čím môžeme napätie zvýšiť až na napätie blízke nižšie napájaciemu napätiu. Tieto obvody je možné napájať výstupným napätím až do 18 V.

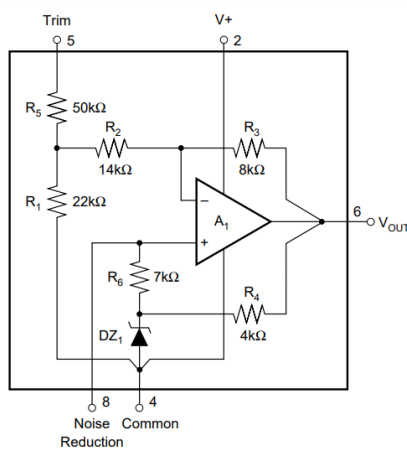


Obr. 4 Principiálna schéma čiastkovej Bandgap referencie.
 Fig. 4 Principal schematic of Fractal Bandgap reference circuit

3 Výsledky a diskusia

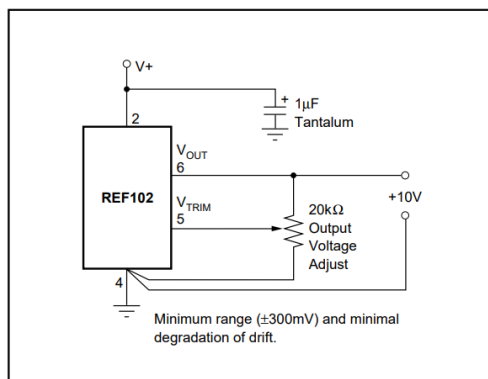
3.1 Výroba vlastnej referencie

K výrobe vlastnej referencie sme si po dôslednom zvážení výhod a cien napäťových referencií na trhu zvolili obvod od firmy Texas Instruments typ REF102AU. Obvod REF102AU sa vyznačuje výhodami ako stabilita na 1000 hodín 20 ppm, maximálna nepresnosť zmenou napájacieho napätia 2 ppm/V, šum 5 μV_{pp} a teplotný drift 2,5 ppm/ $^{\circ}\text{C}$. Konkurenčný zvažovaný obvod bol od firmy Analog Devices typ LM399, tento obvod má výhodu v teplotnej regulácii puzdra, čo však prináša nevýhody ako vyššia spotreba elektrickej energie alebo aj problematickejšia stabilizácia obvodu pri vyššej teplote čipu. Po zvážení týchto faktov sme si zvolili obvod REF102AU. Na obrázku číslo 5 môžeme vidieť schému vnútorného zapojenia integrovaného obvodu REF102AU. Obvod je tvorený presnou Zenerovou diódou DZ1, presným operačným zosilňovačom A1 a laserom justovanými rezistormi s nízkym vplyvom teploty na zmenu odporu.



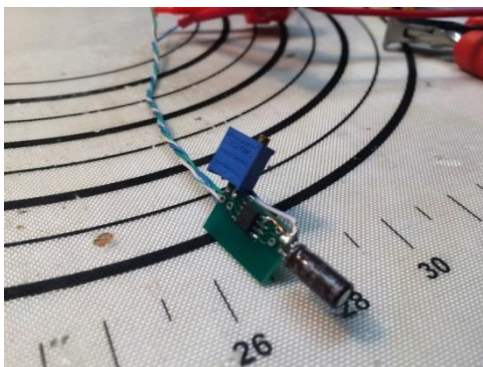
Obr. 5 Vnútna schéma obvodu REF102
 Fig. 5 Internal scheme of REF102 circuit

Na obrázku číslo 6 môžeme vidieť schému odporúčaného zapojenia obvodu. Schéma pochádza priamo z technického listu vydaného výrobcom. Obvod požaduje pripojiť iba dve ďalšie súčiastky okrem samotného čipu. Filtračnú kapacitu na vstupe obvodu a v prípade, ak chceme obvod zohrievať na zvolenú hodnotu, tak aj trimer s odporom 20 k Ω , ideálne s nízkou teplotnou závislosťou odporu.



Obr. 6 Odporúčené zapojenie obvodu REF102
 Fig. 6 Recommended wiring of REF102 circuit

Obvod sme uložili na dosku plošného spoja, pripojili sme trimmer značky Piher, typ 3296 a kondenzátor značky Nichicon, kapacity 1uF na 50V.



Obr. 7 Reálne zapojenie obvodu REF102
 Fig. 7 Real wiring of REF102 circuit

Po úspešnom oživení obvodu sme ako obal zvolili RCA konektor značky Nakamichi. Konektor zaistil kompletne osadenie integrovaného obvodu a zabezpečil jeho tienenie od nežiadúceho rušenia. Pre čo možno najnižšiu hodnotu termoelektrického napätia je konektor galvanicky pozlátený. Konektor sme volili aj kvôli možnosti RCA ľahko konvertovať na ľubovoľný iný laboratórny konektor. Na obrázku číslo 8 môžeme vidieť redukcie konektora z RCA na BNC a následne z BNC na 4 mm banánový konektor s rozstupom 19 mm. Tieto redukcie sú štandardizovanými laboratórnymi prvkami, ktoré je možné zakúpiť v množstve spoločností, v rôznych povrchoch spracovaniach a s rôznymi hodnotami termoelektrického napätia.



Obr. 8 Prvý test obvodu REF102
 Fig. 8 First test of REF102 circuit

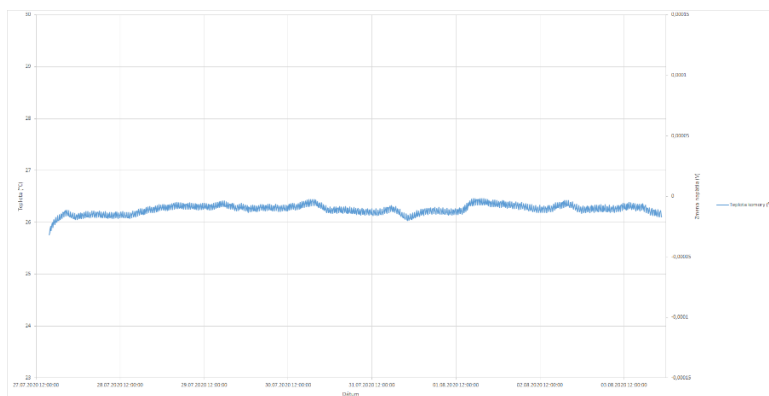
3.2 Teplotne stabilizovaná komora

Ako komora s dobrou teplotnou izoláciou nám vhodne poslužil humidor na víno značky Baumatic. Z pôvodného humidoru sme využili aj jeho chladiace a vykurovacie teleso, Peltierov článok s výkonom 60 W. Pôvodnú riadiacu elektroniku sme vyradili z prevádzky a nahradil ju PID regulátor TRS312 od firmy MAHRLO s.r.o. Regulátor umožňuje regulačný rozsah 0 až 50 °C. Pre test konštantnej teploty sme si zvolili nastavenie 26 °C. Pri teste so zmenou teploty sme zvolili rozsah 20 až 49 °C. Na obrázku číslo 9 môžeme vidieť teplotnú komoru s poukladanými testovanými napäťovými referenciami.



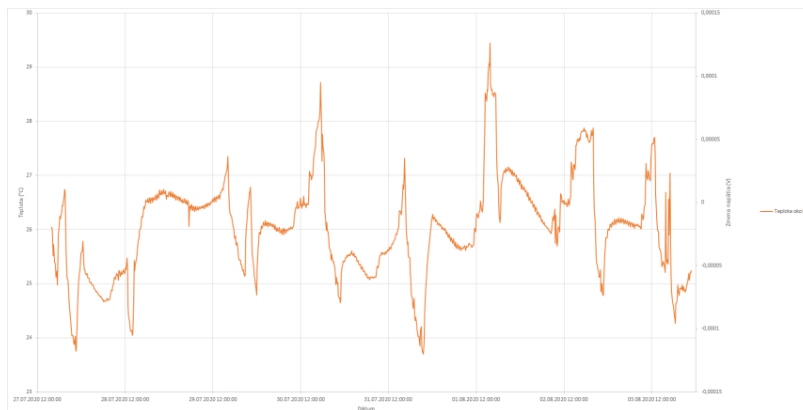
Obr. 9 Pohľad do teplotne stabilizovanej komory počas testu
 Fig. 9 View of the temperature stabilized chamber during the test

Na obrázku 10 môžeme vidieť priebeh teploty v teplotnej komore počas ôsmich dní testu s konštantnou teplotou.



Obr. 10 Priebeh teploty v testovacej komore
 Fig. 10 Temperature course in the test chamber

Na obrázku 11 môžeme vidieť priebeh teploty v miestnosti. Táto teplota vplýva len na merací systém Fluke 2638A a spoje referencií s meracím systémom. Spoje vodičov s referenciami ako aj všetky testované referencie sa nachádzajú v teplotne stabilizovanej komore.



Obr. 11 Priebeh teploty v miestnosti
 Fig. 11 The course of the room temperature

3.3 Systém akvizície dát – Fluke 2638A

Na zbieranie údajov sme si zvolili systém akvizície údajov Fluke 2638A. Systém obsahuje 6,5 miestny multimeter s ročnou maximálnou mierou nepresnosti 37 ppm + 0,0035 % chyba rozsahu. Systém vytvorí maximálnu chybu vplyvom zmeny teploty v rozsahu 18 °C – 28 °C hodnoty 5 ppm. To tvorí vynikajúci základ pre našu prácu, keďže už samotný stroj má skvelú stabilitu. Neistotu merania vieme výrazne znížiť týmto systémom tak, že systém meria spôsobom, že pripína vstupné veličiny k meraciemu systému. To zaisťuje, že môžeme eliminovať chyby spôsobené meracím systémom, pretože tieto chyby sa rovnakou mierou prejavujú na každej meranej veličine.

Za zapožičanie meracieho systému k meraniam tejto práce ďakujeme firme Elso Philips Service, spol. s r.o.

Na obrázku 12 je rozloženie prístrojov pri teste. Na stole sa nachádza systém akvizície dát, PID regulátor pre teplotne stabilizovanú komoru a zdroj pre napájanie referencií.



Obr. 12 Uloženie meracieho pracoviska systému akvizície dát

Fig. 12 Layout of the measuring workplace of the data acquisition system

3.4 REF102 BAT

Výrobca: Texas Instruments

Typ: REF102AU

Referenčné napätie: 10V

Technológia referencie: Kompenzovaná Zenerová dióda

Počiatočná chyba: 5,21979E-05V

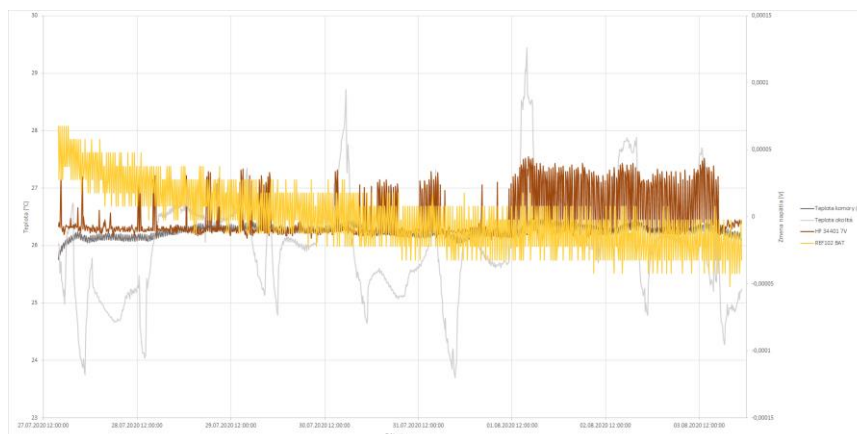
Dlhodobá stabilita: 12ppm

Teplotný koeficient, teplotný drift: 2,69ppm/°C

Teplotná hysterezia: priamoúmerná v celom testovanom rozsahu

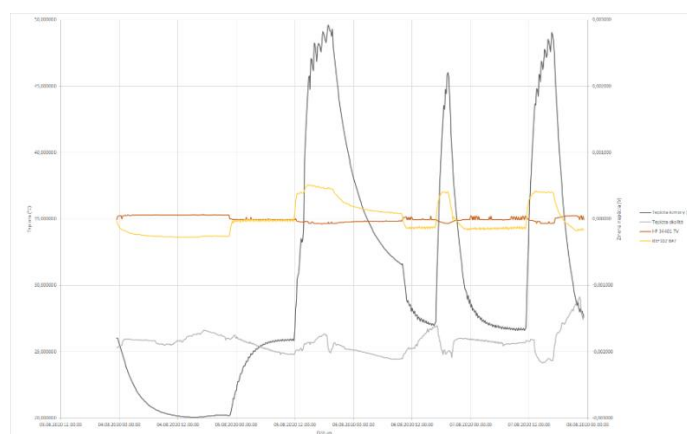
Hodnotenie: Z dlhodobého testu pri stabilnej teplote sme určili dlhodobú stabilitu obvodu.

Z dlhodobého testu pri zmenách teploty sme určili teplotný koeficient a teplotný drift.



Obr. 13 Priebeh napätia počas testu s konštantnou teplotou
 Fig. 13 Voltage course during the constant temperature test

Na obrázku 13 môžeme vidieť ustáľovanie výstupného napätia obvodu REF102AU. Ustáľovanie trvalo 2 dni. Obvod sa vyznačuje mierne vyšším napäťovým šumom, tento šum budeme môcť potlačiť doplnkovými filtermi. Pri aktuálnom meraní bol obvod zapojený len v základnom zapojení podľa technického listu.



Obr. 14 Priebeh napätia počas testu so zmenami teploty
 Fig. 14 Voltage course during the test with temperature changes

Z obrázku 14 môžeme referovať, že obvod sa vyznačuje priamo úmernou teplotnou hystereziou. Reakcia je okamžitá. Keďže obvod nebol ničím teplotne izolovaný, teplotná zmena sa prejavila okamžite na samotnom čipe. Reakcia čipu dokonale kopíruje zmenu teploty a to tvorí skvelý predpoklad pre dodatočné potlačenie týchto vlastností termistorom. Pri voľbe obvodu REF102 s príponou C je však od výrobcu garantovaná hodnota teplotného driftu štvornásobne nižšia ako u obvodu s príponou A. V prípade potreby presnejšej referencie je teda možné zvoliť obvod s príponou C a osadiť ho do montážnej skrinky s vyššou mierou teplotnej izolácie a tak obmedziť tento nedostatok na prijateľnú mieru bez vnášania chýb dodatočnými súčiastkami ako sú termistory.

4 Záver

V tejto práci sme sa oboznámili so základnými pojmami a vlastnosťami napäťových referencií. Ozrejmili sme si jednotlivé druhy napäťových referencií, ich vlastnosti a základné schémy. V práci sme si ukázali a vysvetlili rozdiely jednotlivých integrovaných obvodov typu napäťová referencia. Ukázali sme si bázy, na ktorých sú tieto obvody založené a vysvetlili ich hlavné výhody a nevýhody. V tejto práci sme sa venovali tiež výrobe vlastnej napäťovej

referencie založenej na integrovanom obvode od spoločnosti Texas Instruments, typ REF102AU. Pred vykonaním spoločných testov na dlhodobú stabilitu a teplotný drift pre všetky napäťové referencie sme vyrobili teplotne stabilizovanú komoru. Ako teplotne izolovaná komora nám poslužil humidor na uskladnenie vín značky Baumatic. Humidor sme si upravili pre naše potreby regulovaním peltierovho článku PID regulátorom TRS312 od firmy MAHRLO s.r.o. Následne sme vykonali za pomoci zapožičaného meracieho prístroja Fluke Hydra typ 2638A od spoločnosti Elso Philips Service, spol. s r.o. a v priestoroch nášho projektu www.plservis.sk meranie napäťových referencií pri konštantnej teplote v termostatovanej komore. Potom sme vykonali dynamické testy pri prudkých teplotných zmenách pre určenie teplotného driftu napäťových referencií. V práci sú následne interpretované výsledky jednotlivých meraní. Každá napäťová referencia má vyjadrenú hodnotu počiatkovej chyby, dlhodobej stability, teplotného driftu, teplotnej hysterézie aj napäťového šumu. Všetky tieto hodnoty pochádzajú z nami nameraných dát. Výsledkom tejto práce je vyhodnotenie parametrov jednotlivých referencií a stanovenie, že nami vyrobená napäťová referencia je vyhovujúca pre budúce využitie v kalibračnom laboratóriu ako jeden z napäťových etalónov. Zároveň za pomoci týchto meraní vznikol k tomuto etalónu prvý záznam o možných neistotách pri používaní tohto etalónu.

5 Literatúra

BAJCSY, Jozef. et al. 1986. Automatizované systémy merania riadené mikropočítačmi. Bratislava : Alfa. 216 s. MDT 621.317.7:681.326.32

FAJTL, Václav. et al. 1987. Elektrická měření. Praha : SNTL. 198 s. ISBN 80-78945-45-3

HAASZ Václav - SEDLÁČEK, Marián. 1998. Elektrická měření - Přístroje a metody. Praha: Vydavatelství ČVUT. 187s . ISBN 65-04867-23-4. Zjednodušené zobrazovanie zostáv so spojovacími súčiastkami : všeobecné pravidlá.

KLESKEŇ, Branislav 1960. Meracie prístroje a meranie 1. Bratislava: SVTL, 1960.

MOJŽIŠ, Miroslav – ORENDÁČ, Martin. 1998. Elektrické meranie. Košice : Academic Press Elfa. 170 s. ISBN 80-88786-58-4

TUMA, Miroslav 1974. Elektrotechnické meranie. Bratislava: Alfa, 1974

Súhrn:

Cieľom tejto práce je oboznámenie sa s problematikou napäťových referencií, prehľad existujúcich riešení a navrhnutie vlastnej napäťovej referencie. V druhej časti práce sú zahrnuté výsledky meraní jednotlivých napäťových referencií a ich závislosti na vonkajších vplyvoch ako aj vnútorné zmeny precíznych napäťových referencií a dlhodobá stabilita ich referenčného napätia. Práca sa tiež zaoberá vplyvom termoelektrických napätí obvodov napäťovej referencie. Záver práce vyhodnocuje vhodnosť jednotlivých napäťových referencií na metrologické účely pre zabudovanie do kalibrátorov a presných multimetrov.

Kľúčové slová:

napäťová referencia, teplotná stabilita, napäťový šum, metrológia, precízny zdroj napätia, kalibrátor, multimeter, dlhodobá stabilita, teplotný koeficient, termoelektrické napätie, termostatovanie

UPLATNENIE VYBRANÉHO TRAKTORA PRI POĽNOHOSPODÁRSKÝCH PRÁČACH THE APPLICATION OF THE SELECTED TRACTOR IN AGRICULTURAL WORK

ADAM FRANTIŠEK ČUDAI-JÁN JOBBÁGY

Abstract

The aim of our study was the application of a selected tractor in the field of agricultural plant production. For this study, the Massey Ferguson tractor brand has been chosen, due to it having a wide selection of agricultural equipment used not only in agriculture but also in viticulture and horticulture. The chosen tractor was a Massey Ferguson 8690. With it we were able to monitor the utilization, efficiency and flexibility of the tractor for various types of plant production, as well as the observation of tractor specific values such as, tractor consumption. The total use of the tractor was 857 h, of which 627 h for agricultural activity. The results showed low use of the tractor, so we recommended the company to apply the tractor in the services.

Key words: tractor, application, agriculture

1 Úvod

Traktor sa tak stal základným energetickým prostriedkom v poľnohospodárstve, kde zohráva významnú úlohu dodnes. Hlavne v rastlinnej výrobe by sme si dnes vykonávanie poľných mechanizovaných prác bez moderných traktorov a poľnohospodárskych strojov dokázali predstaviť len veľmi ťažko. Zavedenie traktorov bolo jednou zo základných podmienok zintenzívnenia poľnohospodárskej výroby a zníženia ľudskej práce a zostáva ňou dodnes (Ďud'ák, 2016; Jobbágy - Findura, 2013).

Traktor môžeme definovať ako každý motorový, kolesový alebo pásový poľnohospodársky alebo lesný traktor s minimálne dvoma nápravami a maximálnou konštrukčnou rýchlosťou najmenej 6 km/h, ktorého hlavná funkcia spočíva v ťažnej sile a je hlavne určený na ťahanie, tlačenie, nesenie a na pohon určitých vymeniteľných zariadení určených na vykonávanie poľnohospodárskych alebo lesných prác alebo na ťahanie poľnohospodárskych alebo lesných prípojných vozidiel, môže byť prispôsobený na prepravu nákladu v súvislosti s prácami v poľnohospodárstve alebo lesnom hospodárstve a/alebo môže byť vybavený sedadlami pre cestujúcich. Definované v 2003/37/ES, čl. 2, ods. 1, písm. j. (kategorizácia kolesových traktorov, 2019).

Z hľadiska konštrukcie sa traktory môžu deliť na (Angelovič a kol., 2015) univerzálne, kolesové, pásové, polopásové a špeciálne. Najviac rozšíreným typom traktora na svete je práve univerzálny traktor. Zastúpenie tohto typu traktora v poľnohospodárstve sa pohybuje okolo 80 % z celkového počtu traktorov v poľnohospodárstve. Tieto klasické traktory zabezpečujú prácu na poli i dopravu. Traktory majú väčšinou hnanú zadnú, prípadne aj prednú nápravu a majú možnosť uchytenia náradia vzadu alebo vpredu i vzadu. Predpokladá sa, že univerzálny kolesový traktor bude dominovať na malých a stredných farmách, pretože na veľkých farmách

sú ekonomickejšie jednoúčelové samohybné stroje. (Piszcalka a kol., 2002; Jobbágy – Kováč, 2014). Táto skutočnosť a rozširujúci sa trend modernizácie poľnohospodárskej techniky výrobcami sa prejavuje tým, že už aj na Slovensku sa uchytilo veľké množstvo značiek traktorov, pričom každý výrobca zaujme zákazníka odlišnou ponukou. V súčasnosti je u nás zastúpených viac ako 20 značiek traktorov, pričom pokrytie výkonnostných tried ponúkaných traktorov jednotlivých značiek sa pohybuje od 9 kW (12 k) až do 425 kW (570 k). Výber je teda skutočne bohatý a pri voľbe toho „správneho“ traktora sa treba len dobre rozhodnúť. (Ďudák, 2016).

Cieľom práce bolo sledovanie vybraného traktora a jeho uplatnenie v rámci poľnohospodárstva na základe časových úsekov za kalendárny rok 2018.

2 Materiál a metódy

Realizácia výskumu bola realizovaná na traktore Massey Ferguson 8690 patriacemu poľnohospodárskemu podniku AGRONATUR, s.r.o. Ide o podnik, ktorý sa nachádza v okrese Nové Zámky a hospodári v dvoch lokalitách a to v Malej Mužli a Jasovej. Podnik sa zaraďuje medzi stredne veľkých pestovateľov v regióne a svoju činnosť vykonáva už od roku 1998, pričom jej predmetom podnikania je poľnohospodárstvo v prvovýrobe a najmä v rastlinnej výrobe. Hlavnou pestovanou plodinou spoločnosti je mäkká a tvrdá pšenica, ozimný jačmeň, kukurica na zrno a spomedzi olejnin hlavne slnečnica a mak. V minulosti pestovali aj repku olejnú, ktorá sa javila v daných podmienkach ako mimoriadne riziková plodina. Podľa potrieb sa osiate plochy rozširujú aj o hrach. V ovsenom postupe absentujú krmoviny, keďže spoločnosť sa zaoberá len čisto rastlinnou výrobou a živočíšnej výrobe sa nevenujú. Samotný ovsený postup je hlavne zameraný na striedaní obilnín a olejnin na celkovej výmere, z dôvodu optimálneho využitia strojového parku spoločnosti a aj väčšej stability tržieb.

Ako už bolo spomínané vyššie, našim skúmaným traktorom bol Massey Ferguson 8690. Je to univerzálny traktor, ktorý sa využíva v širokom spektre poľnohospodárstva a rastlinnej výroby. Motor traktora je naftový, 6 valcový preplňovaný motor s medzichladičom a s objemom 8,4 litra. Samotný motor má nízke prevádzkové náklady, nízku hladinu hluku a nekompromisný výkon a krútiaci moment. Maximálny výkon traktora je 262 kW čo v prepočte predstavuje 370 konských síl.

Traktor bol vyrobený v roku 2012 a zaraďujeme ho do rady MF 8600, ktorá ako jedna z prvých na svete začala využívať technológiu SCR (selektívna katalitická redukcia) a nový výfukový katalyzátor. Napriek tomu náš zvolený stroj nemá katalyzátor. Traktor využíva prevodovku typu Dyna-VT. Ide o prevodovku, ktorá bola navrhnutá pre maximálnu produktivitu, uľahčenie práce vodiča a na optimalizáciu spotreby paliva. Páka Power Control umožňuje ľahkú zmenu smeru jazdy a zmeny otáčok. Pri použití tempomatov C1 a C2 a prostredníctvom predvoľby sa rýchlosť jazdy automaticky udržiava a pri vypnutí motora sa ukladá. Keď sa zaťaženie motora zvýši a jeho otáčky poklesnú, aktivuje sa regulátor medzného zaťaženia. Prevodovka zníži, pre zachovanie výkonu, rýchlosť pohybu vpred a traktor pracuje pri zmenách zaťaženia s maximálnym výkonom.

Vybraný traktor má objem nádrže 630 l a ako sme vyššie spomínali. Má dve nápravy, prednú a zadnú, pričom obe tieto nápravy sú poháňané. Má dva typy a to prevádzkovú a parkovaciu brzdu a obidve sú kotúčové brzdy chladené olejom, zabezpečujúci spoľahlivé brzdenie bez poklesu účinku aj pod zaťažením nákladu.

Z hľadiska pohodlia vodiča je traktor vybavený bezpečnostnou kabínou, vybavenou modernou technológiou s dvomi miestami na sedenie. Vstup do kabíny je tvorený širokými dverami umiestnenými na ľavej strane traktora. Vďaka moderným prvkom nielen kabíny, ale aj motora, je hladina hluku vo vnútri nízka aj pri zaťažení.

Na pravej strane sedadla vodiča sa nachádza vysoko funkčná opierka ruky, ktorá obsahuje veľké množstvo ovládacích prvkov ako napríklad spínač pre zdvíhanie a klesania zadných ťahadiel. Vedľa opierky ruky sú v ovládacom centre umiestnené ovládače pohonu pomocných agregátov, zadných aj predných ťahadiel, nastavenie radenia a tiež ovládanie záberu a polohy.

Displej riadiaceho centra Datatronic 4-Control Centre Display (CCD) má 7 farebný monitor nachádzajúci sa na opierke sedadla a plne nastaviteľný pre optimálny prehľad všetkých funkcií traktora.

Prístrojová doska obsahuje dva digitálne displeje a analógové počítadlo otáčok. Z displejov vieme pozorovať všetky varovné funkcie a taktiež teplotu chladiva motora, tlak v oleji, hladinu paliva v nádrži ale aj hladinu AdBlue.

Pre úplný komfort vodiča vieme v kabíne nájsť aj chladiaci box, elektrické zástrčky pre mobilné telefóny, rádio, CD prehrávač, GPS, teleskopické postranné zrkadlá, vzduchom odpružené sedadlo a klimatizáciu.

Z dôvodu veľkého počtu spotrebičov traktora, môžeme nájsť na streche kabíny aj solárny panel, ktorý predstavuje ekologický a úsporný spôsob dobíjania batérie, ktorá zabezpečuje plynulú prevádzku elektrických spotrebičov traktora.



Obr. 1 vybraný traktor Massey Fergusson 8690 (Čudai, 2019)

Fig. 1 The selected tractor Massey Ferguson 8690 (Čudai, 2019)

Monitorovanie traktora prebiehalo počas pracovných činností v poľnohospodárstve a to v oblasti rastlinnej výroby počas celého roka 2018. Údaje sme zapisovali do tabuľky každý jeden deň kedy stroj vykazoval pracovnú činnosť. Sledovali sme hlavne počet motohodín stroja, veľkosť plochy v hektároch na ktorej stroj vykonával prácu, celkovú spotrebu, spotrebu na motohodinu a spotrebu na hektár. Medzi zapísané údaje sme zapisovali aj druh konkrétnej práce, ktorú traktor vykonával počas celého kalendárneho roku 2018.

3 Výsledky a diskusia

Počas monitorovania vybraného traktora sme sa zamerali na viacero faktorov, ako je počet motohodín, spotreba paliva, veľkosť pracovnej plochy v hektároch a spotreba paliva na motohodiny a hektár. Výsledky sa tabuľkovo a graficky zhodnotili. Vybraný traktor Massey Ferguson 8690 nevykonával prácu kontinuálne počas celého roka. Prácu v rastlinnej výrobe traktor vykonával v mesiacoch marec, apríl, júl, august, september, november a december čo predstavuje 7 mesiacov z 12.

Jedným z prvých údajov, ktoré sme merali a zapisovali v rámci celoročného výskumu bol počet motohodín za jednotlivé kalendárne mesiace v roku 2018.

Kalendárny mesiac	Využitie traktora, Mh	Percentuálny podiel za rok 2018, (%)
Január	-	-
Február	-	-
Marec	67	11
Apríl	8	1
Máj	-	-
Jún	-	-
Júl	181	29
August	25	4
September	63	10
Október	-	-
November	230	37
December	53	8

Tab. 1 Využitie vybraného traktora za jednotlivé mesiace, Mh

Tab. 1 The use of the selected tractor for individual months, Mh

Z nameraných výsledkov vyplýva, že celkové využitie traktora za rok 2018 bolo 857 Mh z toho 627 Mh bolo vykonaných pri poľnohospodárskej činnosti. Najväčšie využitie traktora bolo za mesiac november, v ktorom dosiahol hodnotu 230 Mh, čo predstavuje 37% podiel z vykonaných prác pri poľnohospodárskej aktivite za rok 2018. Najnižšie využitie bolo u traktora za mesiac apríl a to 8 Mh čo predstavuje 1% zo spomínaných prác.

Druhý parameter, ktorý sme získali pozorovaním a zapisovaním bola spotreba pohonných látok nášho traktora pri výkone poľnohospodárskych prác. Spotrebu traktora sme merali a zapisovali každý jeden deň, ktorý traktor vykonával pracovnú činnosť v poľnohospodárstve. Pre zjednodušenie porovnania spotreby traktora za jednotlivé kalendárne mesiace roku 2018 sme urobili za každý mesiac aritmetický priemer spotreby pohonných látok. Z nameraných a zapísaných hodnôt vieme povedať, že najväčšiu spotrebu mal traktor v mesiaci september (diskovanie) a to 378,43 l v priemere a naopak najmenšiu spotrebu pohonných látok mal v mesiaci júl a to 184,5 l (hnojenie maštalným hnojom a sejba greeningu).

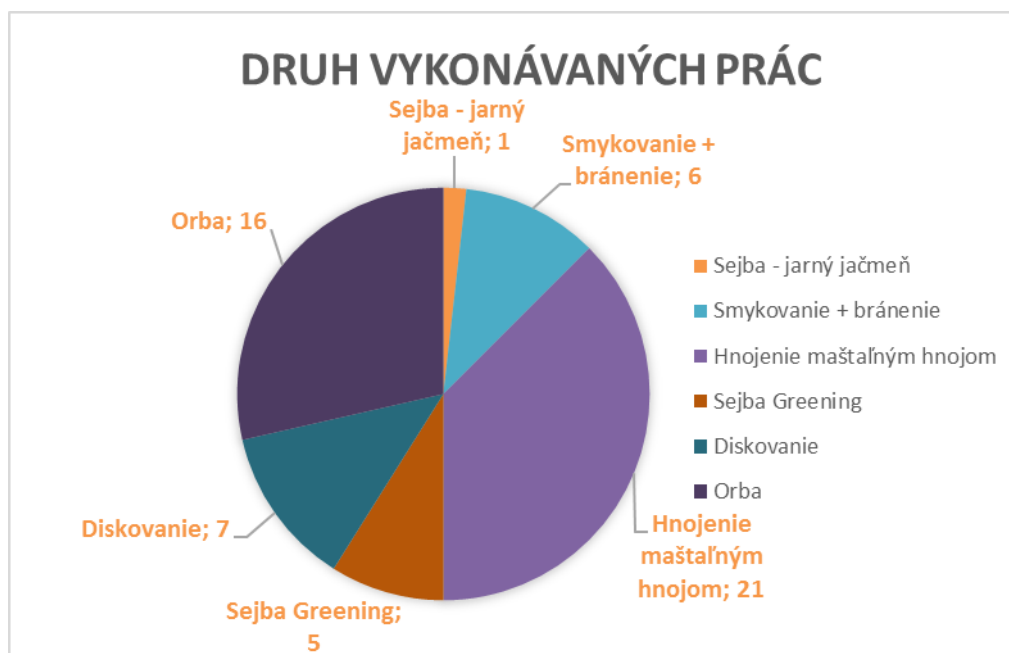
V tretej časti sme sa zamerali na veľkosť pracovnej plochy, na ktorej náš traktor vykonával pracovnú činnosť za rok 2018 v jednotlivých mesiacoch. V tomto prípade sme pri získavaní údajov postupovali rovnakou metódou ako pri predošlých dvoch meraniach. Každý deň, ktorý traktor vykonával poľnohospodársku činnosť sme si zapísali rozlohu obhospodárenej plochy za daný deň. Z nameraných hodnôt vyplýva, že v mesiaci júl náš traktor obhospodáril

najväčšiu časť pracovnej plochy a to v prepočte 505,5 ha, čo tvorí 31% z celkovej plochy, na ktorej traktor pracoval. V tomto mesiaci traktor vykonával hnojenie maštalným hnojom, traktor pracoval najvyšší počet dní v mesiaci. Najmenšiu obhospodarenú plochu mal za mesiac apríl a to 45 ha (traktor pracoval len jeden deň v mesiaci, jarná príprava pôdy smykovaním a bránením). Z percentuálneho hľadiska ide o 3%. Zo zistených údajov o veľkosti plochy, na ktorej traktor pracoval sme zistili, že celková obrobená plocha za rok 2018 predstavovala 1612,5 ha.

Vo štvrtej časti nášho výskumu sme sa zaujímali o spotrebu paliva nášho traktora na motohodiny, ktoré traktor za jednotlivé mesiace odrobil pri poľnohospodárskej činnosti. Z jednotlivých nameraných hodnôt, ktoré sme zapisovali a merali pri pracovnom výkone traktora pri poľnohospodárskej činnosti sme si spravili za každý kalendárny mesiac v roku aritmetický priemer spotreby pohonných látok nášho traktora na motohodiny. Najväčšia spotreba paliva na motohodiny za jednotlivé mesiace bola za mesiac september a to 44,99 l s percentuálnym podielom 22% a naopak najmenšia spotreba bola za mesiac júl a to 18,15 l (činilo 10 %).

V piatej časti sme sa zamerali na spotrebu paliva nášho vybraného traktora na hektár plochy, na ktorej vykonával pracovnú činnosť. Najväčšia spotreba paliva za hektár bol za mesiac december a to 17,49 l.ha⁻¹, čo predstavuje 26% podiel z celkovej spotreby paliva traktora. Traktor v tomto období vykonával orbu. Najmenšiu spotrebu sme namerali v mesiaci apríl a to 5 l.ha⁻¹ (traktor pracoval len jeden deň v mesiaci, percentuálny podiel spotreby paliva 8%). Priemerná ročná spotreba paliva za celý rok 2018 bola 9,59 l.ha⁻¹.

V poslednej časti sa poukázalo na pracovnú aktivitu vybraného traktora pri jeho výkone v poľnohospodárskej oblasti. Zameriava sa hlavne na druh pracovnej aktivity, ktorú traktor vykonával počas roku 2018 a na počet dní, počas ktorých vykonával danú prácu. Z obr. 2 vyplýva, že najviac dní pracoval traktor pri hnojení maštalným hnojom (21 dní). Najmenej dní bol traktor využitý pri sejbe jarného jačmeňa (1 deň). Celkový počet dní, ktoré traktor strávil vykonávaním poľnohospodárskych prác v oblasti rastlinnej výroby bol 56 dní.



Obr. 2 Celkový počet dní, ktoré traktor strávil vykonávaním poľnohospodárskych prác v oblasti rastlinnej výroby je 56 dní.

Fig. 2 The total number of days the tractor has spent carrying out agricultural work in the field of plant production is 56 days.

4 Záver

Cieľom práce bolo sledovanie a posúdenie využitia traktora počas poľnohospodárskych prác za rok 2018. Z výsledkov vyplynulo, že uplatnenie traktora Massey Ferguson 8690 je naozaj široké. Traktor pracoval za rok 2018 viac ako polovicu roka a vykonával viacero druhov poľnohospodárskych prác. Jedným z dôvodov jeho uplatnenia je aj pohodlie, jednoduchá obsluha stroja a jeho veľká miera využiteľnosti. Z výsledkov možno povedať pri porovnaní s inými strojmi, že aj napriek širokému spektru zamerania vybraného traktora, jeho celkový počet odpracovaných dní, bol v porovnaní s inými strojmi nízky. Môže to vyplývať z rôznych dôvodov, jedným z nich môže byť aj bohatý a široký vozový park samotného podniku. Preto sme danému podniku, pre zvýšenie efektivity a využitia stroja navrhli, aby ponúkal pracovnú činnosť vo forme služieb iným poľnohospodárskym podnikom za určitú finančnú odmenu.

5 Literatúra

1. ANGELOVIČ, M. – JOBBÁGY, J. – FINDURA, P. 2015. Technika v biosystémoch. Vydalo: Vydavateľstvo SPU. 2015. 204 s. ISBN 978-80-552-1391-0
2. ČUDAI, Adam František. 2019. Uplatnenie vybraného traktora pri poľnohospodárskych prácach. Bakalárska práca: SPU. 48s.
3. ĎUĐÁK, J. 2016. Traktory a inovačné trendy ich vývoja [online]. © 2016 [cit. 20. 02. 2019]. Dostupné na internete: <http://www.agroporadenstvo.sk/stroje-rozne?article=818>
4. JOBBÁGY, J. – FINDURA, P. 2013. Mechanizácia vinárstva. 1. vyd. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2013. 165 s. ISBN 978-80-552-0996-8
5. JOBBÁGY, J. – KOVÁČ, J. 2014. Stavebné stroje a lesná technika. 1. vyd. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2014. 227 s. ISBN 978-80-552-1233-3
6. KATEGORIZÁCIA KOLESOVÝCH TRAKTOROV. 2018 In *Testek.sk* [online]. © 2018 [cit. 20. 02. 2019]. Dostupné na internete: http://www.testek.sk/files/kategorizacia_traktorov.pdf
7. PISZCZALKA, J. – MAGA, J. 2002. Mechanizácia rastlinnej výroby. Vydalo: Vydavateľstvo SPU. 2002. 202 s. ISBN 80-8069-071-5

Súhrn

Cieľom našej štúdie bolo uplatnenie vybraného traktora v poľnohospodárskej oblasti, ktorou je rastlinná výroba. Pre túto prácu sme si zvolili traktor značky Massey Ferguson, ktorý má široký výber poľnohospodárskej techniky, využívanej nielen v poľnohospodárstve ale aj vinohradníctve a záhradníctve. Vybraným traktorom bol Massey Ferguson 8690. Sním sme vedeli sledovať mieru využitia, efektivity a flexibility traktora pri rôznych druhoch prác v oblasti rastlinnej výroby. Celkové využitie traktora bolo 857 h, z čoho pre poľnohospodársku činnosť 627 h. Z výsledkov vyplynulo nízke využitie traktora, preto sme podniku odporučili aplikáciu traktora vo forme služieb.

Kľúčové slová: traktor, uplatnenie, poľnohospodárstvo

DETEKCIA OBJEKTOV V PRIESTORE POMOCOU HĽBKOVÉHO SENZORA DETECTION OF OBJECTS IN THE AREA USING DEPTH CAMERA

DANIEL GEMER - ING. LADISLAV TÓTH, PHD.

Abstract

The aim of this work is to design algorithms for object detection in the local area based on depth data from the Kinect v2 camera in the C # programming language.

In the next stage, the designed algorithms are tested using machine learning metrics. The design includes image editing techniques such as preprocessing and segmentation. Important design phases include the identification of key image features by methods such as the Histogram of Oriented Gradients or the number of pixels of the object. In the final phase, the predictions of various classification algorithms take place.

The result of the work is two object detection algorithms based on various machine learning methods. Additionally, the algorithms are able to process images obtained from the camera in real-time. Accuracy and speed parameters are calculated for individual algorithms.

Key words: machine learning, histogram of oriented gradients, C#, support Vector machine, k-nearest neighbour

1 Úvod

Detekcia objektov je technológia počítačového videnia zaoberajúca sa identifikáciou a následnou lokalizáciou objektov príslušnej triedy. Cieľom tejto oblasti je naučiť počítače rozoznávať objekty v okolí rovnakým spôsobom ako ľudia.

V súčasnej dobe extrémne rozvíjanie a vývoj v oblasti počítačového videnia prinieslo veľa nových inovácií spracovania obrazu. Každá literatúra uvádza svoje vlastné postupy, preto nie je možné určiť presný postup úpravy obrazu. Každá metóda prechádza cez určité etapy podobnej štruktúry, ktoré môžeme rozdeliť na nízkoúrovňové a vysokoúrovňové predspracovanie. Medzi nízkoúrovňové môžeme zaradiť snímanie a predspracovanie, kde algoritmus nasníma a adekvátne upraví obraz na ďalšiu prácu (Wyawahare, 2020).

Snímanie obrazu sa zvyčajne realizuje kamerou. Kinect v2 senzor je zložený z dvoch kamier, a to RGB a infračervenej kamery. Tri IR projektory zabezpečujú osvetlenie pozorovanej scenérie. Senzor pracuje na princípe Time of Flight, čím odmeraná vzdialenosť je úmerná času potrebného na dolet svetelného lúča od zdroja až po objekt (Wasenmüller, Stricker, 2016; Hannink, Shannon, Barker, Dawes, 2020).

Úlohou v oblasti predspracovania obrazu je eliminácia nežiadúcich a pre ďalšie spracovanie rušivých javov ako šum v signály, zvýraznenie relevantných kontúr alebo potlačenie nežiadúcich informácií, (Šikudová a kol., 2011). Úprava obrazu sa uskutočňuje filtráciou maskami rôznych metód ako napr. Gaussova, Mediánova alebo Bilaterálna.

Vysokoúrovňové predspracovanie zahŕňa etapy ako segmentácia, detekcia príznakov, klasifikácia a rozoznávanie, lokalizácia.

Daniel Gemer, Ing. Ladislav Tóth, PhD., Katedra elektrotechniky, automatizácie a informatiky, Technická fakulta, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76 Nitra
email: xgemer@is.uniag.sk, ladislav.toth1@uniag.sk

Súčasťou analýzy obrazu je segmentácia. Jej úlohou je zjednotiť základné obrazové prvky do celkov - nositeľov vlastnej, novej informácie, tzv. informácie vyššej úrovne. Získané celky môžu byť v ďalšej analýze obrazu použité ako nové základné obrazové jednotky. Segmentáciou sa teda jednotlivé časti obrazu identifikujú podľa určitých vlastností, ktoré sú preň spoločné (Kukura, 2002).

Prvou základnou úlohou detekcie objektov je klasifikácia obrázka. Na základe vstupného obrazu objekty sú pridelené, do príslušných tried, ktoré môžu byť doplnené pravdepodobnosťou patričnosti. Ďalšou úlohou algoritmu je lokalizácia objektu, kde objekty spoločných tried sú ohraničené obdĺžnikom.

Metódy detekcie objektov je možné obvykle prideliť buď do kategórie strojového učenia, alebo hlbokého učenia. Pre metódy strojového učenia je nevyhnutné najprv definovať kľúčové vlastnosti pomocou metód SIFT, HOG a následne použiť metódy ako KNN alebo Support Vector Machine na klasifikáciu. Na druhej strane, metódy na základe hlbokého učenia sú schopné detekcie objektov aj bez špecifikovania kľúčových vlastností a sú typicky založené na konvolučných neurónových sieťach.

2 Materiál a metódy

Pri práci boli použité nasledovné materiály:

- Stolná lampa (33x16,5 cm; farba: svetlomodrá).
- Ozdobný lampáš (15,4x8,8 cm; farba: biela).
- Papuča (8x27,2 cm; farba: tmavomodrá).
- Krabica krému (22,5x7,1 cm; farba: biela).
- Ozdobný stromček (30x9,7 cm; farba: bielo-hnedá).



Obr. 1 Fotky testovaných objektov
 Fig. 1 Pictures of tested objects

Pre návrh boli využité nasledovné prístroje:

- Hĺbkový senzor kamery Kinect v2 (512x424 pixelov; 30 fps; 0,5-4,5m).
- Notebook (Intel® Core™ i5-8250U; 8 GB RAM).

Použitý softvér :

- Visual Studio Community 2019 C#.
- Kinect SDK 2.0.
- EmguCV 4.4.0.4061.
- EmguCV.runtime.windows 4.4.0.4061.

Metóda pracovného postupu :

- Vytvorenie projektu a importovanie preferencií.
- Naprogramovanie softvéru pre ovládanie kamery.
- Príprava databázy obrázkov pre natréňovanie algoritmu.
- Načítanie databázy do pamäte počítača.
- Predspracovanie obrazu.
- Segmentácia obrazu.
- Extrahovanie vlastností.
- Klasifikácia obrazu.
- Lokalizácia objektu na snímku.
- Príprava prostredia pre testovanie.
- Vyhodnotenie presností a rýchlostí.

3 Výsledky a diskusia

Po výbere úložného miesta na lokálnom zariadení pokračujeme importovaním referencií. Následne sme nainštalovali Kinect SDK 2.0 s pomocnými knižnicami. Na pridanie referencií sme použili manažér referencií References→Add Reference→Browse→C:\Program Files\Microsoft SDKs\Kinect\v2.0_1409\Assemblies\Microsoft.Kinect.dll.

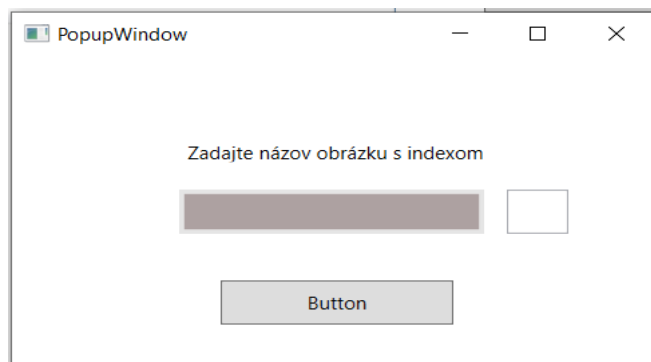
Na inštalovanie knižníc sme využili správcu balíčkov Nuget. Vybrali sme si verziu knižníc 4.4.0.4061, z dôvodu novších verzií obsahujúcich nefunkčné metódy, funkcie a niektoré triedy.

Prvotne sme vytvorili inštancie tried *KinectSensor*, reprezentujúci kameru, a *DepthFrameReader* predstavujúci hĺbkový senzor. Podobne sme vytvorili popis snímku triedou *FrameDescription* a bitmapu na uloženie snímku triedou *WritableBitmap*. Ďalší krok zahŕňal inicializáciu kamery metódou *KinectSensor.GetDefault* a priradenie senzora do pre menej triedy *DepthFrameReader* funkciou *KinectSensor.DepthFrameSource.OpenReader*. Rovnako sme zadefinovali metódu pre udalosť *DepthFrameReader.FrameArrived*.

Nakoniec metódou *KinectSensor.Open()* sme spustili kameru. Pri udalosti *FrameArrived* sme uzavreli vyrovnávaciu pamäť funkciou *LockImageBuffer* a skontrolovali či veľkosť pamäte odpovedá veľkosti snímku. Nakoniec sme určili minimálnu a maximálnu hĺbku vykreslených údajov.

Príprava obrázkov bola uskutočnená vytvoreným algoritmom aplikácie. Na účel ukladania sme vyvorili novú klientsku aplikáciu WPF s názvom *PopupWindow*. Okno aplikácie je spustené stlačením tlačidla v hlavnom formulári. V okne sú zobrazené dve textové polia pre zadanie mena a indexu nasnímaného objektu. Naďalej bola vytvorená udalosť pre

spracovanie prichádzajúcich dát z kamery. Na zvýšenie presnosti kamery algoritmus sa upravil aby ukladal prvých 6 snímkov.



Obr. 2 Okno trénovania algoritmu
 Fig. 2 Training window of the algorithm

Na účel načítania údajov do pamäte počítača sme vytvorili triedu *ImageData*, do ktorej sú jednotlivé obrázky ukladané. Triedy obrázkov sú ukladané podľa indexových čísel do skupín. Algoritmus prechádza každým súborom v priečinku a uloží ich index do dočasnej premennej. V ďalšej fáze sa vyhľadáva príslušná skupina v databáze načítaných obrázkov. Ak sa nájde skupina s daným indexom, obrázok s parametrami sa zapíše do skupiny, ak nie vytvorí sa skupina s príslušným indexom a následne nastáva zápis. Pri metóde histogramov ukladáme iba obrázok, no metóda regiónov vyžaduje uloženie dodatočných parametrov.

Snímky získané z kamery sú upravené pomocou mediánového a bilaterálneho filtra. Mediánový filter odstraňuje náhodné chyby vzniknuté šumom kamery. Pri výbere masky je potrebné zohľadniť množstvo šumu, rovnako ako aj tvarové charakteristiky predmetu. Pri maskách s rozmermi 5x5 a vyššie, detaily predmetu boli odfiltrované. Ideálnou voľbou bola maska 3x3, kde pri redukcii šumu sme získali dostatočné zachovanie detailov. Filtrovanie sa uskutočnilo zavolaním funkcie *CvInvoke.MedianBlur*. S filtrovaním bilaterálnym filtrom sme získali obrázok s ostrejšími hranami, čím sme dosiahli zlepšenie extrahovania vlastností z obrázka. Maskou rozmeru 9x9 sme dosiahli dostatočnú redukciu šumu, popri rozmazaní obrazu. Pre filtrovanie sa využívame funkciu *CvInvoke.BilateralFilter*.

V ďalšej časti výsledkov sú postupy rozdielne pri rôznych metódach. Preto postupy metód rozdelíme do skupiny histogramov a regiónov.



Obr. 3 Proces filtrácie obrazu mediánovým a bilaterálnym filtrom
 Fig. 3 Filtration process using median and bilateral filters

Metóda histogramov

Voľbu veľkosti zostrojeného histogramu bolo nutné prispôbiť veľkosti okna pri lokalizácii objektov. K extrahovaniu vlastností bolo nutné vybrať veľkosť, pri ktorej sú zreteľné detaily predmetu. Z toho dôvodu boli histogramy zostrojované pri šírke 128 pixelov a výške 140 pixelov. Pre zostrojenie histogramov bolo potrebné zadať aj veľkosti blokov a buniek. Čím bude počet väčší tým bude histogram detailnejší, ale na úkor procesného času. Podmienkou funkcie je, aby histogramy boli zoradené do matice, kde riadky reprezentujú jednotlivé vektory a stĺpce snímky. Po vytvorení inštancie triedy *HOGDeskriptor* a zadefinovaní spomínaných parametrov sme zavolali funkciu *HOGDeskriptor.Compute*, ktorá na základe vloženého snímku vytvorila histogramy.

Klasifikátor podporných vektorov zadefinujeme vytvorením inštancie triedy *SVM*. Pri tréňovaní algoritmus vyhľadáva súbor s už vopred natrénovanými modelmi. Pokiaľ sa nenájde súbor, vytvorí sa nový model na základe databázy obrázkov na tréňovanie a uloží sa do súboru. K tréňovaniu sme vytvorili nové tréňovacie dáta pomocou triedy *TrainData*, vyžadujúca ako vstupné parametre maticu histogramov dátového typu float a maticu tried patričnosti histogramov. Dodatočný parameter *DataLayoutType.RowSample* predstavuje spôsob ukladania podporných vektorov do riadkov. Tréňovanie sa uskutoční zavolaním funkcie *SVM.Train* so vstupnými tréňovacími údajmi triedy *TrainData*. Klasifikácia prebieha na každom histograme vytvorenom z posúvacieho okna funkciou *SVM.Predict*.

Metóda regiónov

Pri metóde regiónov sú hĺbkové vzdialenosti získané z kamery sme zmapovali do regiónov. Pri voľbe počtu regiónov sme museli brať do úvahy vzdialenosti rôznych častí patriacich tomu istému predmetu. Voľbou veľkého počtu regiónov časti predmetu vzdialenejšie od seba boli zaradené do iného regiónu. Optimálnu voľbu pre naše testované predmety predstavovalo 15 regiónov.



Obr. 4 Segmentácia prahovaním
 Fig. 4 Threshold based image segmentation

V prvej fáze metódy regiónov získame kontúry Canny detekciou hrán z sérií obrázkov vygenerovaných metódou posúvacieho okna. Pokračujúc sa okolo kontúry vykreslí ohraničujúci obdĺžnik s minimálnou plochou funkciou *CvInvoke.MinAreaRect*. Potom určíme vrcholy obdĺžnika funkciou *RotatedRectangle.GetVertices*. Ďalej sa spočítajú všetky pixely s nenulovou hodnotou patriace kontúre. Algoritmus ďalej využíva fázu priradovania zhlukovej analýzy K-means, prechádza každým nenulovým pixelom kontúry a vypočíta euklidovskú vzdialenosť k centráram. Pokračovaním sa pridelí k pixelu hodnota, predstavujúca región ku ktorej patrí. Druhá fáza spočíta pixely patriace do regiónu a určí ich množstvo.

Algorismus k-najbližších susedov zadefinujeme pomocou triedu *KNearest*. Po vytvorení inštancie zadefinujeme parameter *KNearest.K* určujúcu množinu najbližších bodov. Nastavením boolovskej premennej *KNearest.IsClassifier* na hodnotu True sme zadefinovali použitie klasifikačného modelu. Alternatívne je možné použiť algorismus aj na regresiu. Rovnako ako pri metóde histogramu hodnoty regiónov jednotlivých kontúr sú ukladané do riadkov matice typu float a indexy tried do matice typu int. Obdobne sme vybrali parameter *DataLayoutType.RowSample* udávajúci hromadenie vzorkov po riadkoch. Model sme natrénovali funkciou *KNearest.Train*. Funkciou *KNearest.Predict* sa uskutočňovali predikcie na kontúrach vrstiev snímku. V prípade že snímok bol klasifikovaný ako hľadaný objekt, vykreslí sa obdĺžnik s minimálnou plochou.

Na lokalizáciu objektu záujmu pri oboch metódach bola vytvorená funkcia podľa metódy posúvacieho okna nazývaná *Sliding_Window*. Zadaním parametru veľkosti okna algoritmus funkcie prechádza časti obrázku nastavenou triedou. Do dynamického poľa sa ukládajú individuálne okná a ich body ohraničujúceho štvorca. Ak klasifikátor vyhodnotí okno ako miesto výskytu body okna sú vykreslené.

Algoritmy sme testovali v konštantnej vzdialenosti objektu od kamery. Počas testovania, bola kamera posúvaná v dĺžke 43 cm do oboch strán od stredu predmetu. Predmet sme uložili na krabici rozmerov 45,5 x 29 cm. Každých 2 cm sa nasnímal obraz a otestoval algoritmus. Pri testovaní z vygenerovaných segmentov obrazu užívateľ vyberá, na ktorých obrázkoch je predmet zobrazený. Vybratá časť sa uloží ako obrázok záujmu a ostatné obrázky ako negatívne vzorky prostredia. Celkovo bude vykonaných 20 testov, 15 pri výške kamery 65,5 cm a 5 pri výške 86 cm. Tým dosiahneme pokrytie dostatočného priestoru okolo kamery.

Čas procesora sme získali použitím triedy *StopWatch*, zavolaním metódy *StartNew*. Po zastavení sme odčítali čas z premennej *StopWatch.ElapsedMilliseconds*.

Z výsledkov sme vyhotovili tabuľky matic zamien. Z dôvodu metódy histogramov pracujúcej na princípe binárnej klasifikácie, elementy matice predstavujú skutočné a falošné hodnoty hľadaného objektu. Metóda regiónov je vytvorená na základe viac-triednej klasifikácie, kde elementy matice predstavujú jednotlivé objekty a prostredie.

Na základe matice sme schopní určiť presnosť algorimov vytvorením metrík ako presnosť, precíznosť, opakovateľnosť.

Presnosť je udávaná ako pomer korektných klasifikácií ku celkovému počtu vzoriek:

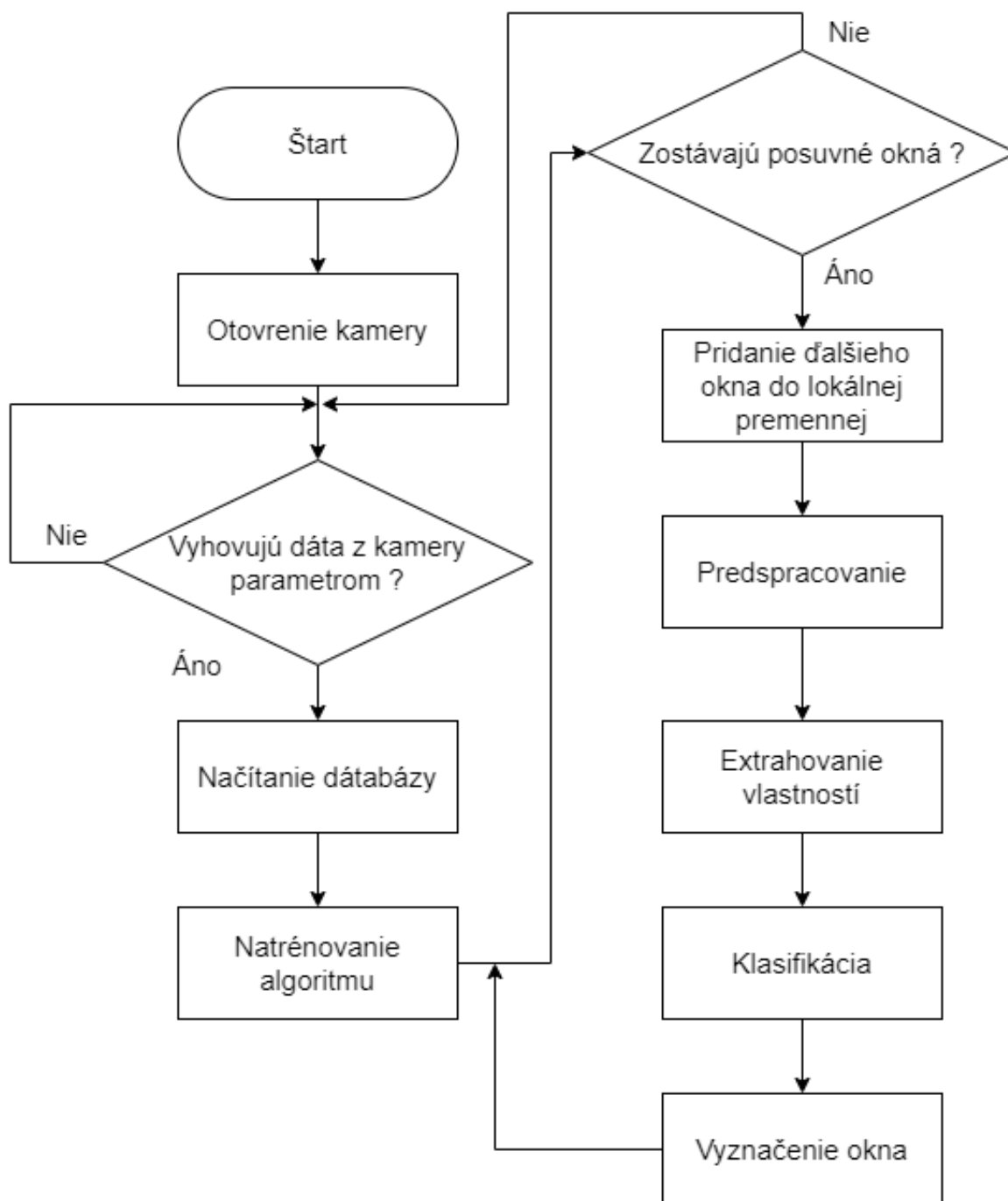
$$\text{Presnosť} = \frac{\text{počet korektných klasifikácií}}{\text{celkový počet vzoriek}} \quad (1)$$

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

$$\text{Precíznosť} = \frac{\text{počet správnych pozitívnych}}{\text{počet správnych pozitívnych} + \text{počet nesprávnych pozitívnych}} \quad (2)$$

Návratnosť sme schopní vypočítať koľko reálne správnych klasifikácií uskutočnil model:

$$\text{Návratnosť} = \frac{\text{počet správnych pozitívnych}}{\text{počet správnych pozitívnych} + \text{počet falošných negatívnych}} \quad (3)$$



Obr. 5 Vývojový diagram procesu detekcie objektov
 Fig. 5 Object detection flowchart

Pri metóde regiónov sme odmerali čas spracovania jedného snímku 1856 milisekúnd. Metóda histogramov mala čas spracovania 127 milisekúnd.

Keďže kamera spracováva 30 snímkov za sekundu, na jednu sériu snímkov je potrebný 30-násobok výpočtového času. Z toho dôvodu pri metóde regiónov bolo potrebné zníženie počtu spracovaných snímkov na 20 za sekundu.

Tab. 1 Percentálne vyhodnotenie algoritmov
 Tab. 1 Percentage evaluation of algorithms

Testované objekty	Metóda					
	Histogramy			Regióny		
	Presnosť (%)	Precíznosť (%)	Návratnosť (%)	Presnosť (%)	Precíznosť (%)	Návratnosť (%)
Ozdobný stromček	92,362	94,117	11,034	70,694	56,863	29
Stolná lampka	96,466	100	24,675	63,163	57,647	41,880
Žehlička	96,156	100	15,190	80,173	76	58,915
Ozdobný lampáš	89,197	100	6,154	66,165	46,94	32,857
Krabica krému	90,05	75	4,17	61,697	72,222	24,223
Papuča	85,328	93,548	14,078	68,885	29,73	9,322

4 Záver

Výsledkom práce sú dva algoritmy navrhnuté na báze rôznych metód spracovávajúce výsledky z kamery v reálnom čase. Z nameraných výsledkov presností v tabuľke č.1 vyplýva, že algoritmus histogramov s klasifikátorom podporných vektorov má celkovo väčšiu presnosť aj precíznosť ako metóda regiónov. Vzniknutý rozdiel môže byť spôsobený nedostatočne precíznou segmentáciou oblastí a nedostatočným potlačením šumu z prostredia. Naopak metóda regiónov pri testovaní návratnosti dosiahla presnejšie hodnoty. Keďže histogramy na rozdiel od regiónov sú závislé na úrovniach jasu, pri snímkach, kde sa predmet nenachádzal v rovnakej polohe ako pri trénovaní nebolo ho možné rozoznať. Rovnako, konvertovanie hĺbkových údajov na úrovne jasu má za následok, že spojené regióny podložky a predmetu nie je možné segmentovať. Preto malá strieda posúvacieho okna iba v určitých polohách oddeľuje predmet od podložky. Tieto chyby by bolo možné odstrániť nastavením väčšej striedy posúvacieho okna na úkor času spracovania.

Celkovo najnižšiu presnosť detekcie sme získali pri ozdobnom lampáši a papuči pri metóde histogramov predstavujúcu 85 až 89 %. Lampáš dôsledku okien láme svetelné lúče, čo má za následok stratu informácií. Tvar a rozmery papuče spôsobovali nepresnosti dôsledkom podobnosti tvarov v prostredí. Najväčšie percento presnosti sme dosiahli pri žehličke a stolnej lampe, a to až 96 %. Jedinečné tvary lampy a žehličky spôsobovali ľahšiu identifikáciu histogramu, pretože neboli podobné iným predmetom v prostredí.

Najväčšia precíznosť výsledkov metódy histogramu bola pri predmetoch stolná lampka, žehlička a ozdobný lampáš. Pri meraniach sa nevyskytol ani jeden prípad, kedy by klasifikátor označil nepravdivý predmet.

Najväčšie nepresnosti predikcie metódy regiónov nastávali pri krabici krému a stolnej lampe 61 až 63%.

Celkovú najnižšiu návratnosť sme získali pri metóde histogramu a detekcií krabici krému. Neúplný tvar krabice krému sa vyskytoval na viacerých snímkoch, preto klasifikátor nebol schopný extrahovať údaje o celom predmete.

Čas spracovania údajov pri metóde regiónov je výrazne dlhší, dôsledkom náročnosti výpočtu euklidovských vzdialeností pri extrahovaní vlastností a klasifikovaní predmetu. Kým účelom klasifikátora podporných vektorov je rozdelenie dátových tried do 2 skupín, klasifikátor k-najbližších susedov rozdeľuje dáta medzi 6-timi rovinami, čo spôsobuje dlhšie výpočtové časy.

5 Literatúra

E. Hannink, T. Shannon, K. L. Barker, and H. Dawes. 2020. The reliability and reproducibility of sagittal spinal curvature measurement using the Microsoft Kinect V2. In : Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation, vol. 33, no. 2, pp. 295–301, 2020

Pavlovičová, Jarmila – Partyk, Martin – Polec, Jaroslav. 2016. Číslicové spracovanie obrazu [online]. 1. vyd. Bratislava: Felia, 2016 [cit. 2021-03-22]. ISBN 978-80-89824-04-5. Dostupné na: https://data.kemt.fei.tuke.sk/KomunikacnaTechnika1/prednasky/26_9_2016/ISDN/CSO/Titul.pdf

Šikudová, E. a i. 2011. Počítačové videnie. Detekcia a rozpoznávanie objektov. 1. vyd. Praha: Wikina. 50 s. ISBN 978-80-87925-07-2

Wasenmüller O., Stricker D. 2017. Comparison of Kinect V1 and V2 Depth Images in Terms of Accuracy and Precision. In: Chen CS., Lu J., Ma KK. (eds) Computer Vision – ACCV 2016 Workshops. ACCV 2016. Lecture Notes in Computer Science [online], vol 10117. Springer, [cit. 2021-03-20] ISBN 978-3-319-54427-4 Dostupné na : https://doi.org/10.1007/978-3-319-54427-4_3

Wyawahare, Chinmay. 2020. Object Detection Techniques in Computer Vision. In Medium [online]. 2020 [cit. 2021-03-31]. Dostupné na : <https://medium.com/swlh/object-detection-techniques-in-computer-vision-7c169771fb15>

Súhrn

Cieľom tejto práce je navrhnutie algoritmov detekcie objektov v priestore na základe hĺbkových údajov z kamery Kinect v2 v programovacom jazyku C#.

V ďalšej etape sú navrhnuté algoritmy podrobené testovaniu pomocou metrík strojového učenia. Návrh v sebe zahŕňa metodiky úpravy obrazu ako prieskumovanie a segmentácia. Medzi dôležité fázy návrhu patrí aj identifikácia kľúčových vlastností obrazu metódami ako Histogram orientovaných gradientov alebo počet pixelov predmetu. V záverečnej fáze prebieha predikcia rôznych metód príslušnými klasifikačnými algoritmi.

Výsledkom práce sú algoritmy detekcie objektov založené na rôznych metódach strojového učenia. Dodatočne algoritmy sú schopné spracovávať snímky získané z kamery v reálnom čase. K jednotlivým algoritmom sú vyhotovené údaje presnosti a rýchlosti.

Kľúčové slová: strojové učenie, histogram orientovaných gradientov, C#, metóda podporných vektorov , metóda k-najbližších susedov

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

TVORBA KOREKČNEJ KRIVKY DIGITÁLNEHO VOLTMETRA S POUŽITÍM LABVIEW CREATING A DIGITAL VOLTMETER CORRECTION CURVE USING LABVIEW

ROMAN HALOMI - LADISLAV TÓTH

Abstract

The work deals with the solution of creating an automatic correction curve of a multimeter. The work deals with the creation of algorithms, thanks to which the NI USB-6211 card will be able to prepare the required parameters for output and read the image from the camera capturing the multimeter. Furthermore the algorithm deals with recognition of digits in the image and subsequent writing of the data into tables and graphs. Additionally filters are used to adjust images and remove noise.

Using automatized measuring, the examined multimeter FK technics FK8250 shows error within its class of accuracy. The largest reported error was 3,33% at 0,3V, indicating a 0,01V error.

Key words: LabVIEW, voltmeter, measurement, correction curve, OCR,

1 Úvod

Cieľom práce je navrhnúť algoritmus ktorý bude robiť automatické meranie napätia a vytvárať tabuľku a graf s danou chybou skúmaného multimetra. Odčítavanie budeme realizovať pomocou kamery a algoritmu vytvoreného v LabVIEW, ktorý dokáže odčítavať dané číslce z multimetra. Na záver merania nám program vytvorí Word dokument s tabuľkou a grafom s merania.

Automatizované systémy na tvorbu korekčnej krivky fungujú väčšinou takým spôsobom že nastavovateľný multifunkčný kalibrátor ktorý vie na výstupe generovať odpor, napätie, prúd, frekvenciu, simulovať termočlánok, vodivosť a kapacitu komunikuje s počítačom cez perifériu ako sú RS232, USB, GPIB, LAN a ďalšie. Na kalibrátor sa pripojí zariadenie ktoré bude merať veličiny na výstupe a toto zariadenie sa taktiež pripojí cez perifériu k počítaču. Celé meranie je riadenie pomocou ich softvérov cez počítač. V týchto softvéroch ide vybrať to o akú veličinu sa jedná, kroky v akých meranie prebieha, koľko sa čaká na stabilizáciu skúmaného meracieho zariadenia. Vedia vytvárať korekčnú krivku a tabuľky s nameranými hodnotami. Niektoré softvéry vedia vytvoriť kalibračný protokol skúmaného zariadenia podľa určenej normy, z tohto protokolu ide odčítať korekcia a korekčná krivka, (Kalibrátory TE, 2021), (Kalibrátory Fluke, 2021).

2 Materiál a metódy

V práci budú použité nasledovné prístroje:

- Multimeter FK technics FK8250
- Multimeter AXIO MET AX-585B
- Karta NI USB-6211
- Kamera Elephone Ecam X
- Osvetlenie LED pásiky
- Software LabVIEW

2.1 Multimeter FK technics FK8250

Pre meranie napätia bude použitý multimeter FK technics FK8250 (Obrázok 1 Použitý voltmeter FK technics FK8250). Vybraný Multimeter FK technics FK8250 má 3,5 miestny LCD displej, podporuje meranie viacerých veličín ako napríklad striedavé a jednosmerné napätie, jednosmerný prúd, odpor, difúzne napätie diód, h21e nízko výkonových bipolárnych tranzistorov a prídavnú funkciu na akustický test priechodnosti elektrického prúdu. Napájanie meracieho prístroja je realizované 9V batériou. Kľúčové technické parametre týkajúce sa rozsahu, citlivosti, presnosti pri meraní napätia sú uvedené v tabuľke 1 nižšie.

Tab. 1 Presnosť merania jednosmerného napätia

Tab. 1 DC voltage measurement accuracy

(https://shop.fkt.cz/zbozi-prilohy/7120274_manual_cz.pdf)

Merací rozsah	Presnosť merania	Citlivosť
200 mV	$\pm 0,5 \%$ z nameranej hodnoty ± 2 digit	100 μ V
2 V		1 mV
20 V		10 mV
200 V		100 mV
600 V	$\pm 0,8 \%$ z nameranej hodnoty ± 2 digit	1 V



Obr. 1 Použitý voltmeter FK technics FK8250

Fig. 1 Used FK technics FK8250 multimeter

(https://shop.fkt.cz/zbozi-prilohy/7120274_manual_cz.pdf)

2.2 Multimeter AXIO MET AX-585B

Na overovanie napätia na výstupe karty NI USB-6211 použijeme multimeter AXIO MET AX-585B (Obrázok 2 Multimeter AXIO MET AX-585B). Merací prístroj AXIO MET AX-585B môže merať jednosmerný a striedavý prúd, taktiež meria jednosmerné a striedavé napätie, odpor, frekvenciu, teplotu, kapacitu. Má taktiež funkcie ako sú True RMS, meranie relatívnej hodnoty a zapamätanie hodnoty. Meranie jednosmerného napätia:

Tab. 2 Presnosť meranie jednosmerného napätia

Tab. 2 Accuracy of DC voltage measurement

(<https://www.tme.eu/sk/details/ax-585b/digitalne-multimetre-prenosne/axiomet/>)

Merací rozsah	Presnosť merania	Citlivosť
200 mV	$\pm(0.1\%+5)$	0,01 mV
2 V		0,1 mV
20 V		1 mV
200 V		10 mV
1000 V	$(0.2\%+5)$	100 mV



Obr. 2 Multimeter AXIO MET AX-585B

Fig. 2 AXIO MET-585B Multimeter

(<https://www.tme.eu/sk/details/ax-585b/digitalne-multimetre-prenosne/axiomet/>)

2.3 Karta NI USB-6211

Na simulovanie napätia, ktoré bude voltmeter merať, použijeme multifunkčné vstupno-výstupné zariadenie od firmy National Instruments. V našom prípade použijeme kartu NI USB-6211. Obsahuje 2 analógové vstupy, 16 analógových výstupov, 8 PFI vstupov – výstupov. Bude napájaná externým napätím 5 V, dá sa pripojiť k počítaču a vie snímať vstupy, simulovať výstupy v reálnom čase. Rozsah maximálne simulovaného napätia na výstupe je -10 V až 10 V. Analógovo digitálny prevodník má rozlíšiteľnosť 16 bit.

2.4 Kamera Elephone Ecam X

Na rozpoznávanie číslíc na displeji voltmetra budeme používať kameru od značky Elephone Ecam X. Kamera má dve pohyblivé osi, jedna je v strede ramena a druhá na konci a slúži na ohýbanie v mieste, kde je uložený snímač obrazu.

Tab. 3 Parametre kamery

Tab. 3 Camera parameters

(zdroj: <https://www.priceboon.com/product/elephone-ecam-x/>)

Rozlíšenie	1980 x 1080
Efektívne rozlíšenie	5 Mpx
Snímková frekvencia videa	30 FPS
Veľkosť šošovky	3,6 mm
Zaostrovanie	auto
Pracovné napätie	DC5 V/165 mA ± 6 mA
Konektor	USB
Pomer signálu k šumu	> 50dB

2.5 Osvetlenie

Aby kamera mohla čo najlepšie snímať obraz bez zachytávania nejakého šumu a tieňov, bude voltmeter osvetlený tromi led pásikmi o dĺžke 10 cm. Dva z nich majú výkon 4,8 W/m, ledky typu SMD 3014, teplotu svetla 3000° K, farba svetla: okolo 6000 °K (studená biela), svetelný tok 300 lm. Jeden z nich má výkon 14,4 W/m, ledky typu SMD 5050, teplotu svetla 6000 °K, farba svetla: okolo 6500 °K (studená biela), svetelný tok 720 lm.

2.6 Použitý softvér LabVIEW

Na vytvorenie programu, ktorý bude ovládať kartu NI USB-6211, zaznamenávať obraz, vytvárať grafy a tabuľku, použijeme softvér od spoločnosti National Instruments a to program LaVIEW. Na dosiahnutie výsledku budeme musieť nainštalovať niekoľko knižníc do LabVIEW:

- Vision development modul. Táto knižnica obsahuje možnosť v jednom zo svojich blokov nastaviť rozpoznávanie daného predmetu, textu, tvaru a ďalšie. V našom prípade som využil možnosť rozpoznávania textu a to konkrétne čísiel.
- NI DAQ mx – S touto knižnicou sme zabezpečili načítavanie pripojenej kamery, nastavenie rozlíšenia kamery a obraz, ktorý bude program zobrazovať.
Taktiež vďaka nej zabezpečujeme načítanie karty, nastavenie výstupu na požadovanú hodnotu.
- Ďalej budú používané podmienky, numerické operátory, tabuľky, grafy a iné bloky, ktoré sú súčasťou základného balíka LabIEW.

V LabVIEW pri vytváraní programu vytvoríme *Blank VI*. Projekt obsahuje *Front Panel* a *Block Diagram*. Vo *Front Panel* riešime grafický výzor programu, to ako bude vyzeráť, okno s vstupnými údajmi a s údajmi, ktoré sa majú zobrazovať. V *Block Diagram* už programujeme daný program.

3 Výsledky a diskusia

3.1 Výsledky práce

Na začiatku práce bolo potrebné najprv navrhnuť miesto, kde bude umiestnený multimeter FK technics FK8250 a kamera Kamera Elephone Ecam X spolu s LED osvetlením. Multimeter FK technics FK8250 bol pripojený ku karte NI USB-6211, ktorá v našom prípade slúžila ako zdroj. Karta NI USB-6211 bola pripojená k počítaču a nastavovali sme na nej požadované hodnoty. Kamera zaznamenávala hodnoty na displeji voltmetra a následne ich odčítaval program, zapisoval do tabuľky a vykresľoval graf, na záver meranie sme vytvoril Word dokument.

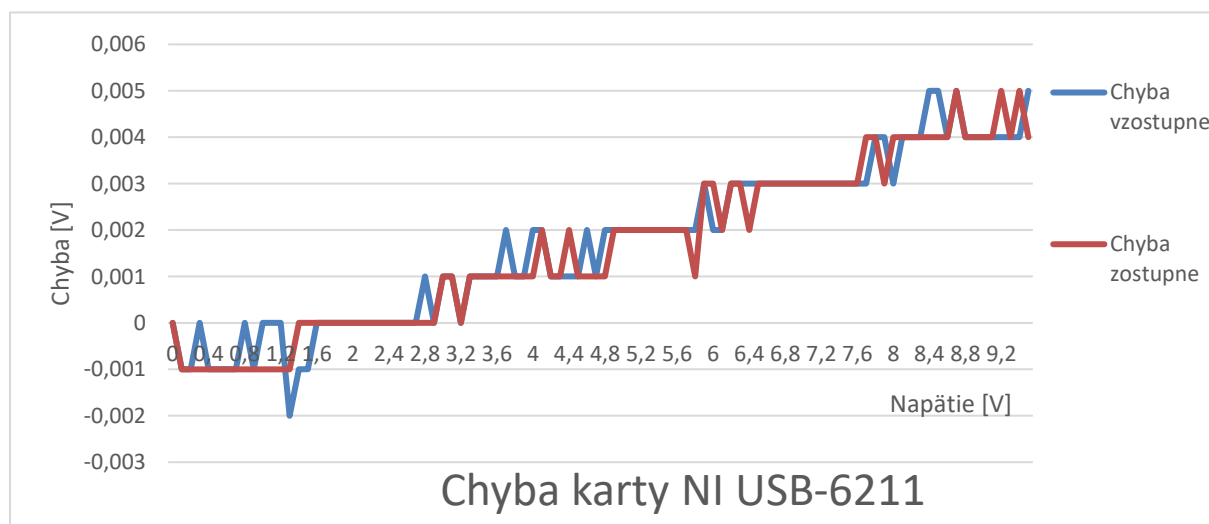
3.2 Overenie napätí na výstupe karty

Na začiatku práce bolo potrebné zistiť, ako presne dokáže naša karta NI USB-6211 simulovať hodnoty napätia na výstupe. Preto sme si na začiatku prekontrolovali výstupné napätie na karte s najpresnejším multimetrom AXIO MET AX-585B. Hodnoty z tohto multimetra považujeme za reálne hodnoty. Preverenie výstupov karty prebiehalo po krokoch 0,1 V a karta bola preverená od 0 V po 9,5 V a následne na to od 9,5 V po 0 V. Týmto sme zistili akú chybovosť má karta pri zostupnom a vzostupnom meraní. Spravili sme z týchto údajov graf, do ktorého sme pridali (vygenerovali) trendovú rovnicu (1):

$$y = 6 * 10^{-5}x - 0,0012 \quad (1)$$

Kde: x - požadované napätie na zdroji.

Túto rovnicu využívame ďalej v programe pri počítaní odchýlky ktorú treba pripočítať k požadovanému napätiu na výstupe.



Obr. 3 Graf chyby napätia meraného od 9,5 V po 0 V
 Fig. 3 Graph of voltage error measured from 9.5 V to 0 V
 (zdroj: autor)

3.3 Postupnosť vykonávania operácií programe

Pred začatím programovania sme si vytvorili vývojový diagram, v ktorom je znázornené v akom poradí vykonáva operácie program. Na začiatku programu si užívateľ zvolí vstupné parametre a tými sú „Napätie“ a „Krok“. Následne na to algoritmus skontroloval, či spĺňa všetky podmienky a keď áno, program začal pracovať. Operácie program vykonával v nasledujúcom poradí: rátanie napätia → pripočítanie korekcie na výstup → nastavenie napätia na karte NI USB-6211 → vyfiltrovanie obrazu → doplnenie chýbajúcich pixelov → odčítanie číslíc → vpísanie do tabuľky → vytvorenie grafu, (Obrázok 5 Vývojový diagram).

3.4 Úprava obrazu

Aby program dokázal lepšie rozpoznávať čísllice z multimetra, obraz prešiel nasledovnými úpravami:

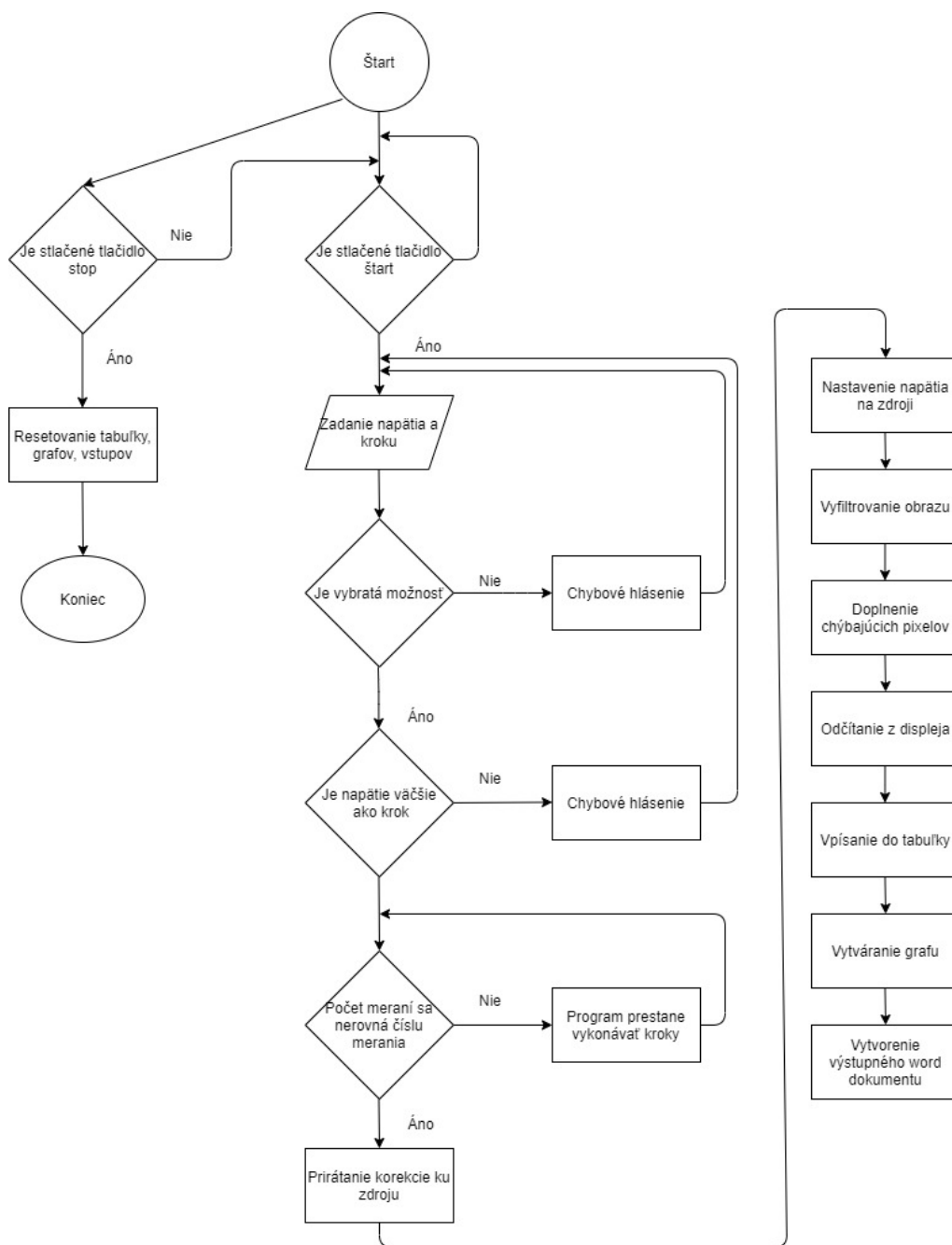
- Grayscale je to obraz šedej alebo taký obrázok, v ktorom je hodnota každého pixelu jediná vzorka predstavujúca iba množstvo svetla, to znamená, že nesie iba informácie o intenzite.
- IMAQ BCGLookup VI Následne na to sme upravili, akú svietivosť, kontrast a gammu mal mať obrázok. Hodnotu svietivosti sme nastavili na 128, kontrast na 255 a gammu na 1, týmto sme docielili že obrázok mal vysoký kontrast medzi farbami a boli lepšie rozoznateľné čísllice.
- IMAQ MultiThreshold VI sme nastavili filter aby hodnoty od 128 po 255 nahradili hodnotou 255, ktorá predstavuje bielu farbu a obrázok sa stal dvojfarebný. To znamená, že svetlé objekty boli iba biele a tmavšie objekty sa stali čiernymi. Týmto sme docielili to, že program bude vedieť oveľa lepšie rozpoznávať dané čísllice.
- IMAQ GrayMorphology VI, Obrázok bol už čierno bielej farby ale stále mal v sebe príliš veľa šumu, preto sme použili *IMAQ GrayMorphology VI*, ktorým sme tento šum z obrázka odstránili. To znamená, že odstránil miesta, kde v poli pixelov 6×7 bielej farby je napríklad jeden pixel čiernej farby, ktorý zmení na pixel bielej farby a funguje to aj naopak. Vďaka tomuto sme docielili hladšie čísllice na sedem segmentovom. Počet iterácií sme nastavili na 5000 a algoritmus na dopĺňanie pixel na „HitMiss“.



Obr. 4 Pôvodný obraz (vľavo) a konečný obraz (vpravo)

Fig. 4 Original image (left) and final image (right)

(zdroj: autor)



Obr. 5 Vývojový diagram
 Fig. 5 Flowchart
 (zdroj: autor)

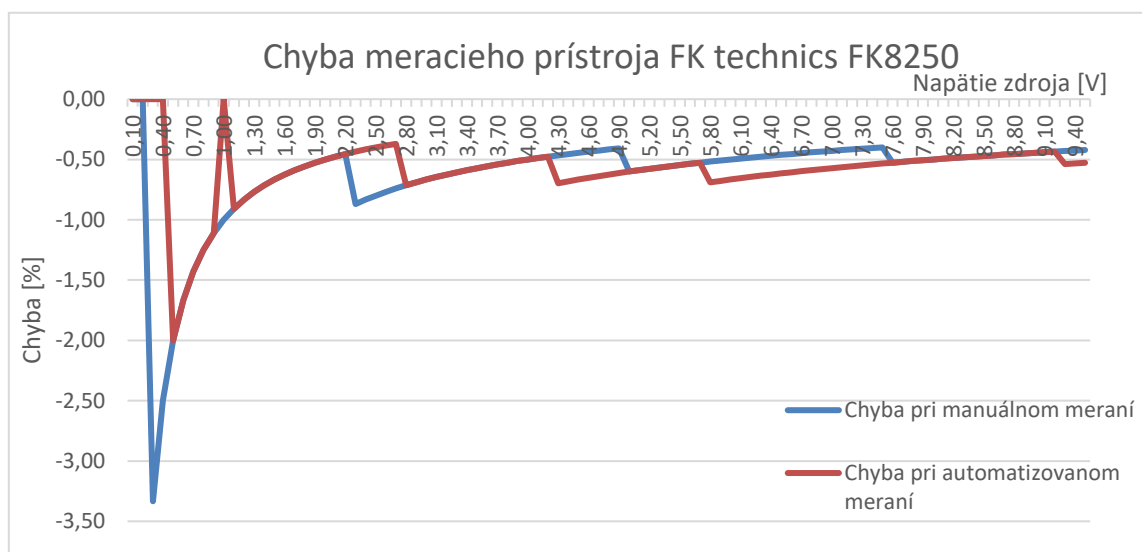
3.5 Vyhodnotenie presnosti nášho systému

Po vyhotovení programu na automatizovanú tvorbu korekčnej krivky sme overili kvalitu nášho systému spôsobom, že sme meranie uskutočnili s našim systémom po kroku 0,1 V v rozsahu od 0 V do 9,5 V. Po skončení tohto merania sme spravili manuálne meranie na 12 V zdroji značky DVE, (Príloha č.10). Na tento zdroj sme pripojili trimer, ktorým sme regulovali výstupné napätie. Meranie prebiehalo taktiež po kroku 0,1 V v rozsahu od 0 V do 9,5 V a to takým spôsobom, že sme napojili voltmetre FK technics FK8250

a AXIO MET AX- 585B, podľa ktorého sme nastavovali kroky a z voltmetru FK technics FK8250 odčítavali napätie.

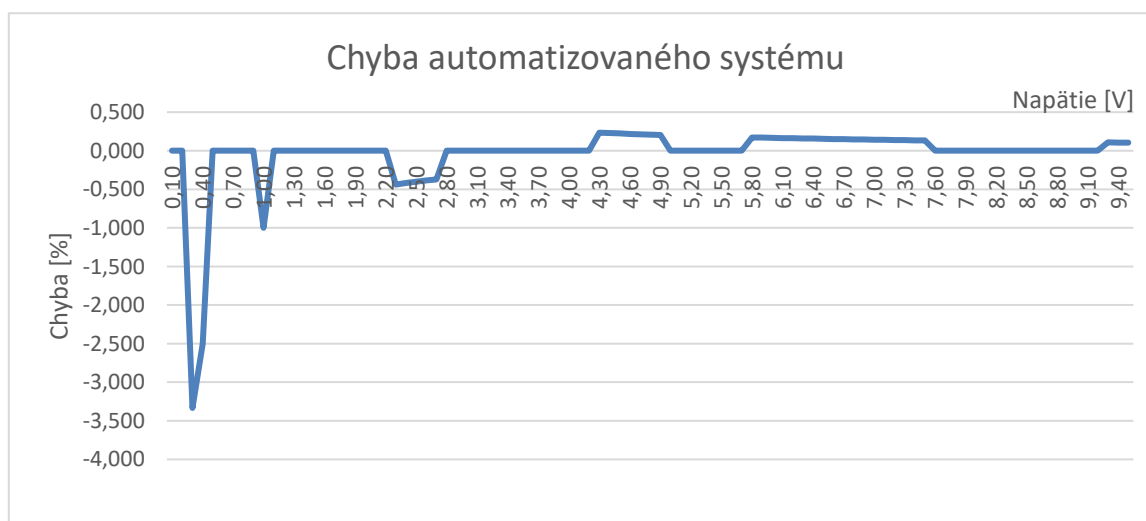
Manuálne meranie považujeme za najpresnejšiu metódu keďže pri tejto metóde nemohlo dôjsť k žiadnemu zlyhaniu okrem ľudského faktoru.

Chybu, akú mohol vykázat skúmaný multimeter FK technics FK8250 a aby stále bol vo svojej triede presnosti, bola $0,5 \% \pm 2$ digity. Najväčšia chyba vznikla pri 0,3 V a to konkrétne 3,33 %, čo značí veľkosť o chybe 0,1 V. Do hodnoty 1 V presahovala chyba 1 % a pri meraní napätia väčšieho ako 1 V chyba už bola pod 1 %. Vzhľadom na to, že chyba taktiež mohla byť ± 2 digity, tak chyby multimetra FK technics FK8250 boli stále v rámci triedy presnosti daného multimetra. Z tohto dôvodu môžeme považovať automatizované meranie za presné meranie.



Obr. 6 Graf chyby meracieho prístroja FK technics FK8250

Fig. 6 FK technics FK8250 meter error graph
 (zdroj: autor)



Obr. 7 Graf chyby automatizovaného merania

Fig. 7 Automated measurement error graph
 (zdroj: autor)

4 Záver

Výsledkom práce je plne funkčný model systému na automatizovanú tvorbu korekčnej krivky pre multimeter FK technics FK8250. Algoritmus bol vytvorený v grafickom programovacom jazyku LabVIEW za pomoci karty NI USB-6211, ktorá slúžila ako riadený zdroj výstupného napätia.

Automatizované meranie bolo porovnané s manuálnym meraním a zistili sme, že najväčšia chyba automatizovaného merania bola 3,33% pri hodnote napätia 0,3V.

Napriek chybe až 3,33% stále táto chyba patrí do presnosti daného meracieho prístroja ktorá je $0,5 \% \pm 2 \text{ digity}$, z tohto dôvodu považujeme automatizované meranie za presné meranie. Jediná odchýlka merania nastáva iba v tom, pri akom napätí sa mení chyba. To znamená že pri manuálnom meraní, vzniká väčšia chyba až pri väčšom napätí ako pri automatizovanom meraní, ale stále táto chyba je v medziach presnosti daného multimetra. Karta bola pripojená k zvukovej karte v počítači ktorá bola použitá vďaka programu Visial Analyser ako osciloscop. Na analógovom výstupe karty NI USB-6211 bol zaznamenaný útlm až -110dB čo značí šumové napätie, ktoré môže generovať napríklad DA prevodník alebo zosilňovač vo vnútri karty. Táto skutočnosť môže mať vplyv na výslednú hodnotu ktorú nameria merací prístroj FK technics FK8250.

Vo vytvorenom programe jeden krok trval približne 2 sekundy, tento čas bol nastavený na takú hodnotu z toho dôvodu, aby sa hodnota na multimeter stihla pred odčítaním s kamerou ustáliť a neodčítala sa nekorektná hodnota. Samozrejme na takúto veľkú hodnotu by nemusel byť čas nastavený pri malých krokoch, kde zmena napätia je malá a nedochádza k skokovým zmenám napätia.

V práci sme dosiahli požadovaný cieľ ktorým bola automatizovaná tvorba korekčnej krivky skúmaného multimetra.

5 Literatúra

Kalibrátory TE. 2021[online] . Dostupné na :< <https://www.timeelectronics.com/>> .

Kalibrátory Fluke. 2021[online]. Dostupné na :< <https://us.flukecal.com/>> .

Súhrn

Práca sa zaoberá riešením tvorby automatizovanej korekčnej krivky multimetra FK technics FK8250. V práci sa rieši vytvorenie algoritmu vďaka ktorému bude karta NI USB 6211 vedieť nastaviť na výstupe požadované napätie a odčítavanie obrazu z kamery ktorá sníma multimeter FK technics FK8250. Ďalej sa rieši v algoritme rozpoznanie číslíc na obraze a následnom zapísaní údajov do tabuľky a grafu. Taktiež využívame filtre na úpravu obrazu a odstránenie šumu.

Skúmaný multimeter FK technics FK8250, pri automatizovanom meraní, vykazuje chyby v rámci jeho triedy presnosti. Najväčšia vykázaná chyba bolo 3,33 % pri 0,3 V čo značí chybu 0,01 V.

Kľúčové slová: LabVIEW, voltmeter, meranie, korekčná krivka, OCR

HODNOTENIE VPLYVU ZNEČISTENIA OLEJOVEJ NÁPLNE PRI MONTÁŽI TLMIČOV VIBRÁCIÍ

EVALUATION OF THE EFFECT OF OIL FILL POLLUTION WHEN INSTALLING VIBRATION SHOCK ABSORBERS

MIROSLAV HORSKÝ - MAROŠ KORENKO

Abstract

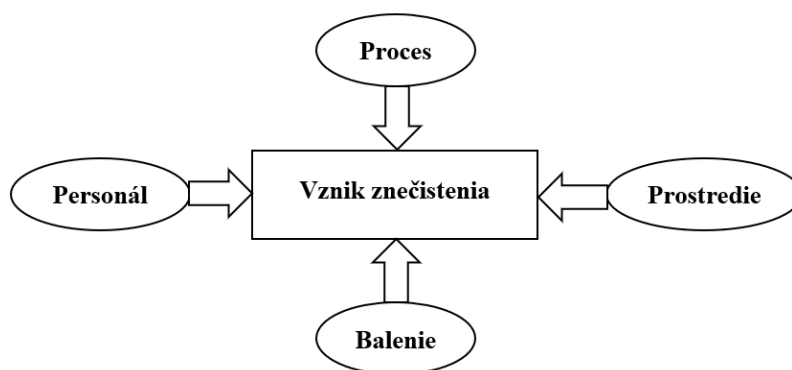
Predložená práca sa zaoberá analýzou technických problémov montáže tlmičov nárazov v automobilovom priemysle. Hlavnou úlohou pri tlmičoch vibrácií je tlmiť nárazy z povrchu vozovky a zabezpečiť nepretržitý kontakt kolies s vozovkou. Spomínané dôvody majú veľký vplyv na bezpečnosť ako aj komfort jazdy. Veľkú úlohu pri tlmičoch nárazov hrá samotná technická čistota oleja. Olej je pracovná kvapalina, ktorou je napúšťaný tlmič vibrácií. Nečistoty v oleji majú za následok vzniku nesprávnych tlmiacich síl, preto je dôležité vykonávať kontrolu čistoty oleja.

Key words: shock absorbers, technical cleanliness, control

1 Úvod

Tlmiče nárazov alebo tlmiče vibrácií sa používajú nielen v automobilových podvozkoch^[2]. Tlmiče nárazu sa osadzujú prevažne z dôvodu zvýšenia bezpečnosti cestnej premávky na pozemných komunikáciách^[5].

V procese montáže tlmičov vibrácií je veľmi dôležitá čistota^[4]. Vznik nečistôt môže mať za následok vzniku porúch, či už v samotnej výrobe alebo pri používaní výrobku v praxi^[1]. Vznik nečistôt môže byť v samotnom procese výroby, prostredí, pri balení výrobku alebo aj obsluhujúci personál môže mať za následok vzniku nečistôt^[3]. Obr. 1 zobrazuje vplyvy na vznik nečistôt.



Obr. 1 Možné vplyvy vzniku nečistôt (vlastná práca)

Fig. 1 Possible effects of impurities (own work)

Nečistoty môžu vznikať aj v samotnom procese montáže tlmičov. Z tohto dôvodu je dôležité klásť dôraz na čistotu a poriadok v montážnom procese. Procesy, pri ktorých môžu vznikať nečistoty:

- zváranie- počas zvárania môžu vznikať tzv. prskance, ktoré môžu spôsobiť vznik ďalších komplikácií.
- lisovanie- pri lisovaní krúžka spätného dorazu môžu vznikať jemné piliny, ktoré tak isto môžu mať vplyv na vznik komplikácií
- montáž- použitie znečistených prípravkov alebo znečistených pracovných rukavíc pracovníkom

Vznik nečistôt môže mať vplyv na funkčnú časť tlmičov. Ak sa nečistota dostane do konštrukcie jednotlivých ventilov, olej bude mať nesprávny prietok, tým dochádza k nesprávnym tlmiacim silám.

Ďalším možným problémom je, keď sa kovová častica dostane medzi vnútornú trubku tlmiča a piestny ventil. Tým môže poškrabať piestny ventil, na ktorého bokoch je teflón. Výsledok bude znovu nesprávny prietok oleja tým pádom vzniknú nesprávne tlmiace sily.

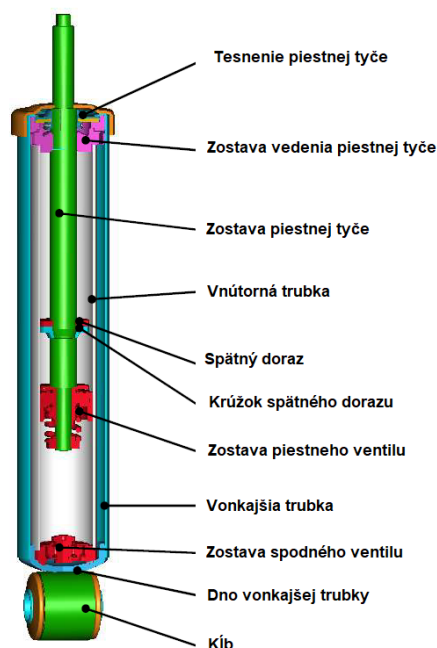
2 Materiál a metódy

Pri zisťovaní nečistôt v tlmičoch nárazov je potrebné poznať konštrukciu samotného tlmiča vibrácií. Zisťovanie nečistôt bolo vykonávané pri dvojtrubkovom tlmiči vibrácií.

Hlavné časti tlmiča sú:

- vnútorná trubka,
- vonkajšia trubka,
- piestny ventil,
- spodný ventil,
- piestna tyč.

Dvojtrubkový tlmič vibrácií a jeho konštrukciu je možné vidieť na priloženom obr. 2.



Obr. 2 Zostava dvojtrubkového tlmiča vibrácií
 Fig. 2 Composition of twin-tube shock absorber

Pracovný postup kontroly čistoty oleja:

1. Vykonávajúci pracovník, ide na montážne pracovisko, prezrie si montážne pracovisko, skontroluje čistotu na pracovisku. Vykonáva sa to z dôvodu následnej inšpekcie pri zistení nevyhovujúcich nečistôt.
2. Pracovník odoberie neuzatvorený tlmič z montážnej linky a vloží ho do ochranného obalu. Pri prenose pracovník drží tlmič v zvislej polohe, čím sa predíde úniku oleja.



Obr. 3 Prenos tlmiču vibrácií do laboratória
 Fig. 3 Transfer of shock absorbers to the laboratory

3. V laboratóriu sa rozoberie tlmič. Olej sa vyleje do čistej nádoby. Rozobraté časti sa oplachujú v jednotlivých nádobách rozpúšťadlom DE-SOLV-IT 1000 PPW. Následne nám vzniknú tri nádoby:
 - nádoba s vonkajšou trúbkou
 - nádoba s ostatnými komponentmi (zostava piestnej tyče, spodný ventil, vnútorná trúbka)
 - nádoba s olejom
4. Nádoby sa vložia do ultrazvukového čističa. Po nastavení pracovných hodnôt zapneme ultrazvukový čistič na dobu 6min.
 - frekvencia 40kHz
 - výkon 25 W/l
 - izbová teplota



Obr. 4 Ultrazvukový čistič
 Fig. 4 Ultrasonic cleaner

5. Počas čistenia sa odvážia 3 kusy filtrov, cez ktoré sa budú prelievať jednotlivé nádoby z ultrazvuku, hodnoty si zapíšeme. Na prenos filtrov používame pinzetu.



Obr. 5 Váha
 Fig. 5 Weight

6. Filtrácia skúmanej kvapaliny prebieha prelievaním kvapaliny cez filter do odsávacej fľaše. Jednotlivé nádoby ďalej očistíme pomocou rozpúšťadla.
7. Po filtrácii vložíme filtre, ktoré sú uložené na hodinových sklíčkach do sušičky na 105 °C na 1 hodinu.



Obr. 6 Sušička filtrov
 Fig. 6 Filter dryer

8. Po sušení vložíme hodinové sklíčka s filtrami do exiskátora na vychladenie. Filtre chladnú ďalšiu hodinu.
9. Vychladnuté filtre znovu odvážeme a zapíšeme hodnoty. Rozdiel hodnôt je hmotnosť jednotlivých nečistôt.

10. Filtre vložíme pod automatický mikroskop „Jomesa“. Software Jomesa automaticky vytvára protokol o najväčších kovových a nekovových časticiach.

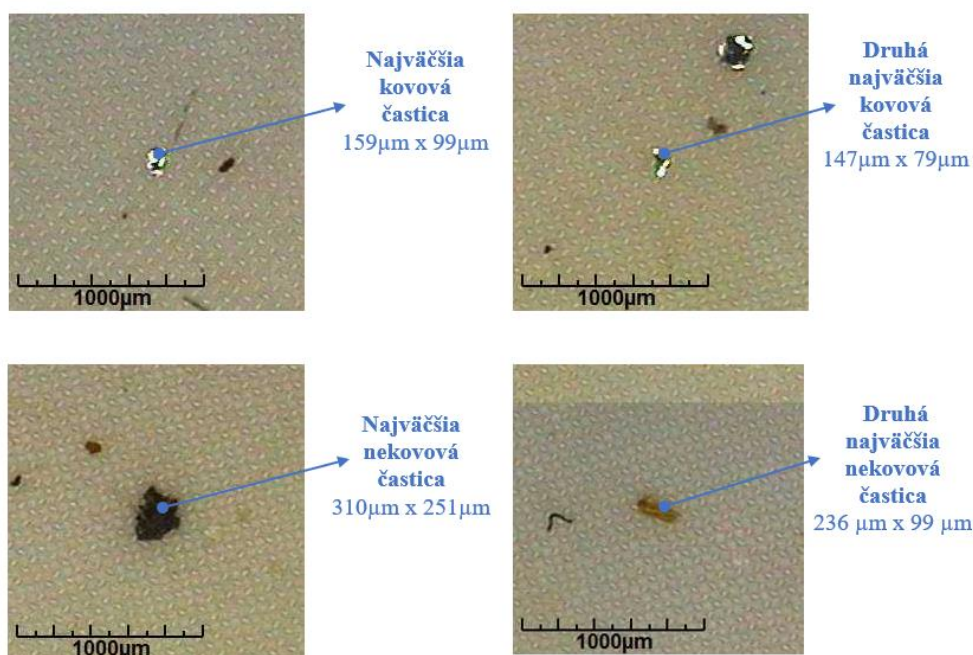


Obr. 7 Automatický mikroskop
 Fig. 7 Automatic microscope

3 Výsledky a diskusia

Technical Cleanliness according to VDA19.1 2015

Description of Sample							
Component:		Sample No.:					
Component No.:		Date of Extraction:					
Tested Area:		Date of Analysis:					
Surface [cm²]:		Examiner:					
Customer:							
Extraction & Gravimetry							
Extraction Method:		Parts on Filter:					
Liquid:		Filter Type:					
Amount [ml]:		Weight [mg]:					
Desolvit		ø47mm/41µm					
1500		0.08					
Microscopic Analysis							
Scale:		Evaluated Ø [mm]:					
X:6.4 µm/Pxl Y:6.4 µm/Pxl		44					
Filter occupancy [%]:		allowed Occupancy:					
0.082648		1,5 % (Cellulose), 3 % (Nylon)					
Largest metallic particle		Length [µm]:	159				
Largest nonmetallic particle²		Length [µm]:	310				
Stretched length of longest fiber		L _{st} [µm]:	1440				
		Total [mm]:	15.3				
Length [µm]	Code	per Filter Membrane		per Part/Component		per 1000 cm²	
		Non metallic²	Metallic	Non metallic²	Metallic	Non metallic²	Metallic
Summary:							
> 600	J-N	0	0	0.0	0.0		
100...600	F-I	63	4	63.0	4.0		
15...100	C-E	504	3	504.0	3.0		



Obr. 8 Zobrazenie častíc v skúmaných vzorkách
 Fig. 8 Display of particles in the examined samples

Z priložených podkladov je možné spozorovať nasledovné:

- celková hmotnosť nečistôt:
 - celková hmotnosť nečistôt nesmie prekročiť hranicu 5 mg. V našom meraní vyšla celková hmotnosť častíc na 0,08 mg čo je viac než uspokojivé. Výsledkom sú žiadne neprijateľné častice, ktoré by mohli poškodiť funkčnosť vybraného tlmiča vibrácií.
- najväčšia kovová častica:
 - prijateľná hranica najväčšej kovovej častice je do 200 µm. V našej skúmanej vzorke vyšla ako najväčšia kovová častica 159 µm. Vznik kovovej nečistoty môže vzniknúť napríklad pri lisovaní krúžku spätného dorazu.
- najväčšia nekovová častica:
 - hranica, ktorá je prijateľná pre nekovovú časticu je 500 µm. V našom prípade ide o časticu, ktorá mala 310 µm. Požiadavka je splnená, tzn. nie sú potrebné nápravné opatrenia. Vznik nekovovej častice môže vzniknúť pri uchytávaní dielov na stojany pri lakovaní.

4 Záver

Cieľom práce bolo zistiť technickú čistotu oleja tlmiča vibrácií. Proces prebiehal v laboratóriu, ktorý bol vykonávaný podľa zadaného pracovného postupu.

Výsledkom bolo zistenie nečistôt, ktorých hmotnosť bola veľmi vyhovujúca, keďže mali hmotnosť 0,08 mg a špecifikácia na celkovú hmotnosť je 5 mg. Následne skúmaný diel spĺňa požiadavku na najväčšiu kovovú časticu ako aj na najväčšiu nekovovú časticu.

Výsledkom celej laboratórnej skúšky je, že vybraný diel spĺňa požiadavku na čistotu podľa VDA 19.1 2015.

5 Literatúra

Antony, J. (2004). Some pros and cons of Six Sigma: An academic perspective. The TQM Magazine, 16 (4), 303-306.

CAUSEMANN, P., 2001. Automotive shock absorbers. Features, designs, applications. Second edition, 2001. ISBN 3-478-93230-0.

Evans, R., J., Lindsay, M., W. (2008) The management and control of quality. Mason, Ohio : South-Western/Cengage Learning, 2008. ISBN 978-0-32438-235-8.

RUDY, V., 2003. Je kombináciou pružných pracovísk s rôznym stupňom automatizácie, s použitím robotov alebo ručných pracovísk s automatizovaným podávaním materiálu. Transfer inovácii 6/2003.

TECHNICKÉ PODMIENKY- TLMIČE NÁRAZOV, 2012. Ministerstvo dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja SR Sekcia cestnej dopravy a pozemných komunikácií. [online]. [cit. 2021-03-21]. Dostupné na internete: http://www.ssc.sk/files/documents/technicke-predpisy/tp2013/tp_02_2013.pdf

Súhrn

The presented work deals with the analysis technical problems of installation of shock absorbers in the automotive industry. The main role of shock absorbers is to absorb shocks from the road surface and to ensure continuous contact of the wheels with the road. The mentioned reasons have a great influence on safety as well as driving comfort. The technical purity of the oil itself plays a major role in shock absorbers. Shock absorber is the filler with oil which is a working fluid. It is important to check the purity of the oil because impurities in the oil lead to incorrect damping forces.

Key words: shock absorbers, technical cleanliness, control,

ANALÝZA POŠKODENIA TURBA A MOŽNOSTI JEHO KONROLY ANALYSIS OF TURBO DAMAGING AND POSSIBILITIES OF ITS CHECKING

ŠTEFAN JANKOVICS - RASTISLAV BERNÁT- ZOLTÁN ZÁLEŽÁK -
JOZEF ŽARNOVSKÝ - NORBERT KECSKÉS

Abstract

Innovations of combustion engines are subject to constant pressure in order to ensure the required performance at the lowest consumption under strict emission standards. Generally, the designers must focus on maintaining the engine's power or on the possibility of its increasing in various ways. In our paper we describe the use of a turbocharger, its diagnostics and repair. Turbocharger diagnostics and repair is currently an important issue for proper operation of a supercharged engine. Information on individual parts of turbochargers and the possibilities of their damaging can significantly affect the overall fault-free condition of the engine.

In this paper we describe the devices used to control and adjust the turbochargers. Theoretical processing of information is a contribution to practical teaching focused on car repairs.

Key words: engine, turbo, increase performance, engine power.

1 Úvod

V spaľovacom motore je chemická energia paliva spaľovaním premieňaná na tepelnú energiu a následne na mechanickú energiu. Pre vznetový motor je charakteristické stlačenie vzduchu a vstreknutie paliva pod vysokým tlakom do valca (Vlk, 2003). Tvar spaľovacieho priestoru určuje odolnosť proti detonáciám, alebo maximálny kompresný pomer pre dané, používané palivo (Jablonický et.al. 2010). Vývojové trendy sa prispôbujú nových potrebám zvyšovania výkonu motora, kde sa využívajú už rozpracované možnosti zvyšovania výkonu prostredníctvom kompresora alebo turba.

Základnou úlohou preplňovania motora, je dostať do spaľovacieho priestoru valca podľa potreby čo najviac vzduchu a tým aj množstvo vstreknutého paliva za jednotku času. Výsledkom je vyšší výkon a krútiaci moment oproti objemovo porovnateľným atmosféricky plneným motorom, resp. dosiahnutie podobných parametrov výkonu a krútiaceho momentu z podstatne menšieho objemu motora.

Z technického hľadiska princípom preplňovania pomocou turba je odvádzanie horúcich výfukových plynov priamo zo spaľovacieho priestoru na lopatky turbíny, kde expandujú a roztáčajú ju. Turbínové koliesko umiestnené vo výfukovom potrubí je spojené hriadeľom s kolieskom v sacom potrubí, ktoré vykonáva opačnú funkciu – stláčanie vzduchu.

Systém preplňovania kompresorom nie je veľmi rozšírený spôsob preplňovania motorov. Dôvodom sú vyššie mechanické straty, nerovnosť plniaceho tlaku, vyššia hlučnosť ale najmä nevyužitá energia výfukových plynov. Výhodou je absencia „turboefektu“. Vďaka priamemu pohonu od kľukového hriadeľa sa vytvára plniaci tlak už od nízkych otáčok čoho výsledkom je okamžitá reakcia na zošliapnutie plynového pedálu. Z toho vyplýva lepší priebeh výkonu a točivého momentu (Růžička, 2004).

Turbodúchadlo Twin-scroll

Ide o turbodúchadlo s pulzným preplňovaním v závislosti od počtu a poradia vypaľovania valcov, kde celý systém je spojený smerovacími rúrkami medzi výfukovými otvormi valcov a turbínou. Výfukové plyny využívajú dve potrubia, preto sa systém nazýva turbodúchadlo Twin-scroll. Toto konštrukčné riešenie má niekoľko výhod ako napr. väčší výstupný tlak do turbíny vďaka využitiu tlakových vln, lepší výkon pri nízkych – stredných otáčkach a zaťaženi motora, lepší výkon pri zrýchlení motorového vozidla.

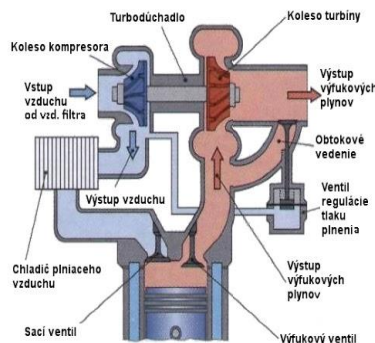
Turbodúchadlo s variabilnou geometriou lopatiek

Turbodúchadlo s variabilnou geometriou lopatiek je typ turbodúchadla, ktoré je vybavené pohyblivými lopatkami na nastavenie prietoku vzduchu. Natočením týchto lopatiek turbodúchadla sa mení prietokový prierez vstupného kanála a uhol, pod ktorým výfukové plyny vstupujú do turbíny, kde sa im zmení rýchlosť, čo ovplyvní otáčky turbíny a tie tak ovplyvnia množstvo dodávaného stlačeného vzduchu. Toto riešenie umožní využiť čo najväčšiu energiu z výfukových plynov a je schopné regulovať a prispôbovať svoju prácu aktuálnym požiadavkám spaľovacieho motora a využiť tak celkovú energiu výfukových plynov v celej výkonovej krivke. Tento typ turbodúchadla sa však používa výhradne pri vznetrových motoroch.

2 Materiál a metódy

Preplňovanie spaľovacích motorov dosahuje nielen zvyšovanie výkonu a znižovanie samotného objemu motora, ale aj napomáha pri znížení mernej spotreby, znížení hmotnosti motora a je priaznivým faktorom pri celkovej dynamike a komforte jazdy. Takto upravený motor má pri nízkych otáčkach relatívne nízke hodnoty krútiaceho momentu, ktorý je dôležitý pre zrýchlenie vozidla. Preto sa výrobcovia motorov snažia optimalizovať účinok preplňovania, aby bola táto nevýhoda v čo najväčšej miere eliminovaná.

Zvyšovanie plniaceho tlaku nasávaného vzduchu má svoje obmedzenia. Vyšší tlak a väčšie množstvo vzduchu znamenajú vyššie maximálne tlaky v spaľovacom priestore, ako aj väčšie zaťaženie pre kľukový mechanizmus, hlavu valcov, tesnenia, tesniace krúžky a piestovú skupinu.



Obr. 1 Systém turbodúchadla
 Fig. 1 Turbocharger system

Systém turbodúchadla využíva energia výfukových plynov motora na to, aby mohli vzduch ktorý prúdi do spaľovacieho priestoru lepšie stlačiť. Konštrukcia turbodúchadla je tvorená dvoma hlavnými časťami a to turbínou a kompresorom. Tie sú tak prepojené, že sa krútiaci moment prenáša z jednej časti na druhú. Vďaka turbodúchadlu je krútiaci moment väčší, niekedy je to až 250 000 otáčok za minútu, čím sa dá do pohybu aj samotný kompresor. Vzduch z motora je nasávaný rýchlejšie, od čoho potom závisí aj lepší výkon motora. Mnoho turbodúchadiel používa ďalšie technológie, ako sú ventily Wastegate, Blow-off ventily a medzichladiče.

2.1 Charakteristika motorového turba Mazda CX-5

Dvojkomorové turbodúchadlo Twin-Scroll sa vyznačuje oddelenými zvodmi na turbínovej strane cez ktoré prúdia výfukové spaliny. Tieto zvody sa spájajú až tesne pred vstupom do turbodúchadla. Tým pádom nedochádza ku vzájomnému ovplyvňovaniu výfukových plynov smerom k turbodúchadlu, čím sa eliminuje vznik nežiadúcich pulzácií. Výhodou turbodúchadla typu Twin-Scroll je najmä lepšia plniaca účinnosť v nízkych otáčkach a rýchlejšie reakcie motora.

Tab. 1 Charakteristika turba Mazda CX-5
 Tab. 1 Mazda CX-5 turbo characteristics

Mazda CX-5 2.2 D Bi turbo			
ROČNÍK	OBSAH MOTORA	VÝKON	KÓD MOTORA
2012.04 - 2017.02	2.191 ccm	110 kW 150 Koní	SHY1

Mazda CX-5 2.2 D Bi turbo			
ROČNÍK	OBSAH MOTORA	VÝKON	KÓD MOTORA
2012.04 - 2017.02	2.191 ccm	129 kW 175 Koní	SHY1

Dúchadlo sa skladá z kolesa kompresora a krytu kompresora. V rámci týchto súčastí je veľa typov konštrukcií a špecifických vlastností, ako je difúzor. Difúzor je zvyčajne navrhnutý do krytu kompresora. Kompresorové koleso turbodúchadla sa nazýva radiálny kompresor, pretože nasáva čerstvý vzduch a radiálne ho zrýchľuje, alebo ho otáča o 90 stupňov, na rozdiel od axiálnych kompresorov používaných v prúdových motoroch, ktoré zrýchľujú vzduch v rovnakom smere, v akom už prúdi.

Turbína odoberá energiu z výfukového plynu a vykonáva prácu otáčaním kompresorového kolesa, ktoré dodáva vzduch do motora. Turbína má dve hlavné časti: zostavu kolesa s hriadeľom turbíny a púzdro turbíny.

Turbína a kompresor sú časti podporované spoločným ložiskovým systémom. Ložiskový systém má veľa aspektov, ktoré sa týkajú jeho konštrukcie. Ložiskový systém musí umožňovať otáčky vyššie ako 100 000 ot./min; musí tiež vydržať vibrácie prenášané na hriadeľ turbíny pulzmi motora pri maximálnom krútiacom momente, zvládnuť radiálne a axiálne alebo prítlačné zaťaženie, odolávať vysokým teplotám a odolávať nečistotám, aby zabránili predčasnemu zlyhaniu turba.

2.2. Diagnostika a poruchy turbodúchadla

Nesprávna funkcia motora prejavujúca sa zníženou akceleráciou, stratou výkonu, nepravidelnou činnosťou, nemusí byť hneď dôsledkom poškodeného turbodúchadla. Pred demontážou turbodúchadla z motora sa odporúča v logickej nadväznosti vykonať niekoľko prvotných kontrol motora a turbodúchadla:

- akustická kontrola turbodúchadla (napr. pískanie turbodúchadla spôsobené mechanickým poškodením jeho rotora napr. nasatím drobnej nečistoty), strata vyváženosti a nadmerné zaťažovanie ložísk uloženia rotora,
- vizuálna kontrola turbodúchadla,
- kontrola olejového systému,
- stav tesnosti vzduchového systému,
- stav tesnosti výfukového systému,
- meranie tlaku na sacom potrubí,
- prístrojová diagnostika motora,
- napojenie auta na externú diagnostiku.

2.3. Metodika opravy turbodúchadla

Metodika opravy vychádza z demontážneho postupu a aplikácií nasledovných krokov opravy:



Obr. 2 Bloková schéma opravy turba

Fig. 2 Block diagram of turbo repair

- Rozobratie turba – podľa demontážneho postupu,
- Vyčistenie turba – bez štrukturálneho poškodenia s poruchou, problémom bude nahromadený karbón a preto je potrebné vyčistiť turbodúchadlo vhodným prípravkom bez demontáže. Profesionálne vyčistenie geometrie turba súvisí s demontážnymi a montážnymi postupmi a zručnosťou mechanika. Následne je potrebné po dočistení zrealizovať znovunastavenie geometrie. Turbodúchadlo v takom prípade musí byť prekalibrované inak môže vzniknúť problém s výkonom motora.



Obr. 3 Znečistenie turbodúchadla
 Fig. 3 Contamination of the turbocharger



Obr. 4 Nový komplet stredu turba
 Fig. 4 New turbo center set

Čistenie sa môže realizovať v špeciálnych strojoch, ako sú tlakové pieskovačky, umývačky a ultrazvukové umývačky. To umožňuje odstránenie nečistôt z hriadeľa a kolesá kompresie a čo je najdôležitejšie, obnoví sa úplná priechodnosť kanálov oleja centrálneho telesa.

- Výmena dielov – podľa druhu poškodenia, katalóg súčiastok príslušnej značky
- Nastavenie turbodúchadla – na certifikovaných zariadeniach

3 Výsledky a diskusia

3.1 Najčastejšie príčiny poruchy turbodúchadiel:

Poškodenie cudzím predmetom - je ľahko viditeľné na poškodených lopatkách turbodúchadla. Pred montážou je veľmi dôležité skontrolovať systém nasávania vzduchu do turbodúchadla, taktiež okolie príruby výfukového potrubia. Neodporúča sa ohnuté lopatky narovnávať, aby nedošlo k poškodeniu celého turbodúchadla. Takisto sa neodporúča montáž turba s poškodenými lopatkami, môže to viesť k celkovému poškodeniu.

Vyššia intenzita nečistôt v motorovom oleji - má za následok poškodenie všetkých ložísk v turbodúchadle. Odporúča sa preto vždy vykonať riadnu a včasnú výmenu motorového oleja, olejového a vzduchového filtra a takisto výmenu oleja a oboch filtrov pri montáži nového turba. Hlavnou príčinou poškodenia v tomto prípade je poškodený alebo upchatý filter, takisto môže byť príčinou nekvalitný výrobok (filter), nečistota pri neodbornej manipulácii pri výmene, výrobná chyba motora ako aj nekvalitný motorový olej, ktorý má za následok karbonizáciu.

Porucha v mazaní turbodúchadla - pri prerušení dodávky motorového oleja (stačí cca 4 sek.) spôsobí hneď poškodenie ložísk v turbodúchadle, čo je dôsledkom neodbornou montážou turbodúchadla, neodbornou výmenou motorového oleja a filtrov, núteným odstavením vozidla, neodborným štartovaním hlavne v zimnom období pod bodom mrazu, nízkym tlak oleja.

Porucha dodávky oleja - (na dlhší čas cca 10 sek.) spôsobí hneď prehriatie turba a tým zadretie ložísk a poškodenie telesa – rotoru. Takéto poškodenie turba je najčastejšie spôsobené poškodením alebo nedostatočným prívodom motorového oleja do prívodu mazania, poruchou olejového čerpadla, nedostatočným množstvom motorového oleja, prienikom vzduchu do systému mazania.

Prehriatie turbodúchadla – je spôsobené vysokou teplotou vo výfukovom systéme, alebo vypnutím motora počas dlhej cesty pri vysokom výkone spôsobí prehrievanie turbínovej skrine čo má za následok zakarbónovanie turbínovej skrine a rotoru. Preto pred vypnutím motora, ako už bolo spomínané treba nechať motor min. 3 min. bežať na voľnobežných otáčkach. Prehriatie turba poškodzuje rotor, hriadeľ rotora ložiska a celú turbínovú skriňu, kde v niektorých prípadoch dochádza dokonca k trhlinám liatinového bloku.

Medzi hlavné príčiny prehriatia turba patria - upchatý čistič vzduchu, nedostatočný prívod vzduchu, náhle vypnutie motora po vysokom zaťažení, karbón spôsobený nekvalitným motorovým olejom, neskorý interval výmeny motorového oleja, prienik vzduchu do systému mazania, poškodené olejové čerpadlo a nedostatočný prívod oleja.

3.2 Možnosti vyváženia turbodúchadla

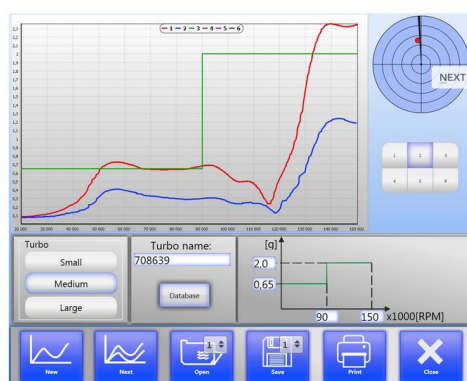
Na nastavenie vyváženia turbodúchadla možno použiť vyvažovací stroj CMT 48 VSR. Vyvažovanie sa vykonáva vo vlastných ložiskách namontovaných v továrenských centrách turbodúchadiel. Stroj sa vyznačuje veľmi vysokou presnosťou merania pri zisťovaní iných dynamických javov pri nominálnych rýchlostiach, ako je ohýbanie rotora pod vplyvom zaťaženia. Proces vyvažovania prebieha na tzv. studenej časti turbodúchadla v jednej rovine korekcie pri rýchlostiach až 300 000 ot./min. Pracovné podmienky sú veľmi podobné reálnym podmienkam v spaľovacích motoroch: rotor turbíny je poháňaný stlačeným vzduchom, ložisko je mazané olejom pri regulovaných teplotách a tlakoch ako v motorovom priestore. Olej sa vypúšťa do nádrže vyvažovacieho stroja. Stlačený vzduch sa používa na riadenie rotora počas vyvažovania. Vyvažovanie nevyžaduje opätovnú kalibráciu.

Vyvažovanie CMT 48 VSR sa vykonáva pomocou kalibrácií dodaných výrobcom, takže používateľ nemusí vykonávať žiadne predbežné činnosti. Pre CMT 48 VSR sa používa špecializovaný a veľmi rýchly merací systém v prevádzke kde vyvažovanie trvá merací cyklus

približne 4 sekundy, test rotora 8,5 sekundy. Merací modul obsahuje LCD monitor pre vizualizáciu výsledkov a špeciálny softvér pre turbíny, takže ovládanie a prevádzka je jednoduchá s možnosťou ukladať dáta na USB disk a možnosti tlače výstupného protokolu.



Obr. 5 Vyváženie stredu turbodúchadla pri prevádzkových podmienkach
 Fig. 5 Turbocharger center balancing under operating conditions



Obr. 6 Záznam vyváženia turbodúchadla
 Fig. 6 Turbocharger balance recording

Ďalšie zariadenie využívajúce ku kontrole turbodúchadla je Turbo Test EXPERT, ktoré sa používa ku kontrole a úprave geometrie turbodúchadiel a na meranie ich výkonnosti. Zariadením Turbo Test EXPERT je možno zrealizovať: kontrolu a nastavenie turbodúchadla, meranie tlaku turba, meranie výkonu, meranie tesnosti (únik oleja), meranie plniaceho tlaku, statické a dynamické nastavenia geometrie, meranie rýchlosti otáčok turbodúchadla.



Obr. 7 Meranie tlaku turba a nastavenie variabilnej geometrie
 Fig. 7 Measuring turbo pressure and setting variable geometry

4 Záver

Turbodúchadlá sú skonštruované tak, aby bežali po celú dobu životnosti motora. A nevyžadovali počas prevádzky žiadnu špeciálnu údržbu. Pre zabezpečenie spoľahlivej prevádzky turbodúchadla je potrebné dodržiavať komplexnú diagnostiku a údržbu motora.

V našom príspevku poukazujeme na diagnostiku, technické vybavenie a možnosti laboratórnych pracovísk k nastaveniu a kontrole turbodúchadiel a ich kontrolu počas jednotlivých režimov práce. Všetky informácie sú komponované zo zámerom inovácie diagnostického pracoviska a nových tém ako aj samostatných úloh študentov opravárenského zamerania.

Správne pochopenie zložitých systémov preplňovania na všetkých úrovniach opravárenstva robí každého majstra opravára a nie vymieňača náhradných celkov.

5 Literatúra

1. GSCHIEDLE, R. 2002 Příručka pro automechanika. 2. dopl. vyd. Praha – Sobotáles, 2002. 644s. ISBN 80-85920-83-2, s.56,
2. JABLONICKÝ, Juraj. et al. 2010. *Motorové vozidlá I.* 1. Vyd. Nitra : SPU, 2010. 97 s. ISBN 978-80-552-0474-1.
3. RAUSCHER, J. 2005. *Spalovací motory.* 1. Vyd : Brno : VUT, 2005. B.s.
4. RUŽIČKA, Bronislav. 2004. *Jak na tuning automobilov.* 4. vyd. Praha : Computer press, 115s. ISBN 80-2510-061-8.
5. VLK, František. 2003. *Vozidlové spalovací motory.* 2003. B.m. 580s. ISBN 8023887564

Súhrn

Inovácie spaľovacích motorov podliehajú neustálemu tlaku konštruktérov pri zmenách zabezpečujúcich požadovaný výkon pri najnižšej spotrebe za prísnych emisných noriem. Celkovo sa pri práci motora treba zamerať na udržanie jeho výkonu prípadne na možnosť zvyšovania výkonu rôznymi spôsobmi. V našom príspevku popisujeme samotné využitie turbodúchadla, jeho diagnostiku a opravu. Diagnostika a oprava turbodúchadla je v súčasnosti dôležitou témou pri správnom fungovaní preplňovaného motora. Informácie o jednotlivých častiach turbodúchadla, možnostiach ich poškodenia môžu výrazne vplývať na celkový bezporuchový stav motora. V príspevku popisujeme zariadenia používaných pri kontrole a nastavení turbodúchadiel. Teoretické spracovanie jednotlivých informácií je prínosom k praktickej výučbe opravárenského predmetu so zameraním na automobily.

Kľúčové slová: motor, turbodúchadlo, zvýšenie výkonu, výkon motora

Podakovanie pri riešení cieľa našej práce patrí Ing. Róbertovi Marenčákovi a Štefanovi Bumbalovi majiteľovi spoločnosti SB Turbo s.r.o za usmernenie a odborné rady pri spracovaní odborných informácií.

Príspevok je súčasťou projektu : Objektívizácia parametrov nástrojov a metód pre zvýšenie kvality vyrábaných produktov zahrnutím ekonomických ukazovateľov, garantom Mariánom Bujnom z Katedry kvality a strojárskych technológií , s označením: VEGA 1/0122/21.

HODNOTENIE ŠTRUKTÚRY CHLEBOVEJ STRIEDKY POČÍTAČOVÝM SPRACOVANÍM OBRAZU EVALUATION OF THE STRUCTURE OF BREAD CRUMBS BY COMPUTER IMAGE PROCESSING

ADAM JESENSKÝ – ĽUBOMÍR KUBÍK

Abstract

The paper is focused on the evaluation of the structure of bread crumbs by computer image processing. We determined the parameters from spelt bread and examined two samples. We processed the samples in the ImageJ program, version 1.53e. We performed statistical processing and correlation tables for comparison of all quantities in measured spelt bread in Excel.

Key words: ImageJ, bread crumbs, computer image processing

1 Úvod

Digitálne spracovanie obrazu je založené na práci so snímkami pomocou počítača a používa sa na úpravu a vylepšenie snímok. Snímky je možné vyhotoviť rôznymi zariadeniami, napríklad fotoaparátom, mobilným telefónom, dronom, skenerom. Počítačové spracovanie obrazu sa v súčasnosti používa v mnohých odvetviach ako napríklad medicína, poľnohospodárstvo, armáda, filmový priemysel (da Silva, 2005). Za posledných 100 rokov sa pekárenský priemysel výrazne zmenil. Remeselnícke pekárne, ktoré boli v každej dedine vybudovali cestu pre vysoko technologický pekárenský priemysel. Vyvinuli sa rôzne technológie pečenia a pridali sa nové materiály a prísady do výroby. Zlepšovanie technológií sa oplatí hlavne z hľadiska zlepšovania kvality výrobkov, vývoja výživovo kvalitnejších výrobkov a z ekonomického hľadiska (Mondal – Datta, 2008). ImageJ sa využíva na spracovanie obrázkov. Program dokáže vykonávať rôzne funkcie ako výpočet plochy, obvodu, meranie vzdialenosti a uhlov alebo dokáže vytvárať histogramy a grafy (Rasband, 2021). Cieľom práce je stanoviť distribúciu pórov a ich geometrické vlastnosti za účelom hodnotenia kvality striedky.

2 Materiál a metódy

Ako metódu použijeme počítačové spracovanie obrazu a ako merané vzorky dva krajce špaldového chlebu. Merané vzorky sme zosnímali mobilným telefónom iPhone 11.

Použité prístroje: iPhone 11 - Fotoaparát má dvojitú 12 Mpx kameru s ultraširokouhlým objektívom a širokouhlým objektívom. Kamera má 2x optický zoom a 5x digitálne priblíženie, optickú stabilizáciu obrazu, automatickú stabilizáciu obrazu, časovú samospúšť, nočný režim alebo čiernobiely režim.

Použité programy:

- ImageJ, ver. 1.53e
- Microsoft Excel – Office 365

Použitý materiál: Špaldový chlieb - špaldová múka je zdravšia a pre telo prospešnejšia a tým pádom aj potraviny z nej sú pre človeka vhodnejšie. Medzi výhody patrí vysoký obsah bielkovín, obsahuje vysoký obsah vitamínov, pečivo zostáva dlhšie čerstvé, pomáha pri vysokom cholesterole a krvnom tlaku, pomáha predchádzať žlčníkovým kameňom a je obzvlášť prospešná pre ľudí s cukrovkou.

3 Merané geometrické vlastnosti

Plocha – plocha výberu v štvorcových pixeloch alebo v kalibrovaných štvorcových jednotkách (napr. mm², µm²)

Obvod - Dĺžka vonkajšej hranice výberu. Pri Image J, ver. 1.44f a novších sa obvod zloženého výberu počíta rozkladom do jednotlivých výberov. Zložený obvod a súčet jednotlivých obvodov sa môžu líšiť v dôsledku použitia rôznych výpočtových metód.

Kruhovitosť – $4\pi * \frac{[Area]}{[Perimeter]^2}$ s hodnotou 1, ktorá označuje dokonalý kruh. Ak sa hodnota blíži k 0, znamená to čoraz viac sa predlžujúci tvar. Hodnoty nemusia byť platné pre veľmi malé častice.

Gul'atost' – $4 * \frac{[Area]}{\pi * [Major axis]^2}$ alebo inverzná k pomeru strán.

Celistvosť – $\frac{[Area]}{[Convex area]}$; Edit – Selection – Convex Hull urobí výber oblastí konvexným.

Kde:

[Area] – Plocha

[Perimeter] – Obvod

[Major axis] – Hlavná os

[Convex area] – Konvexná oblasť

Π - Pí

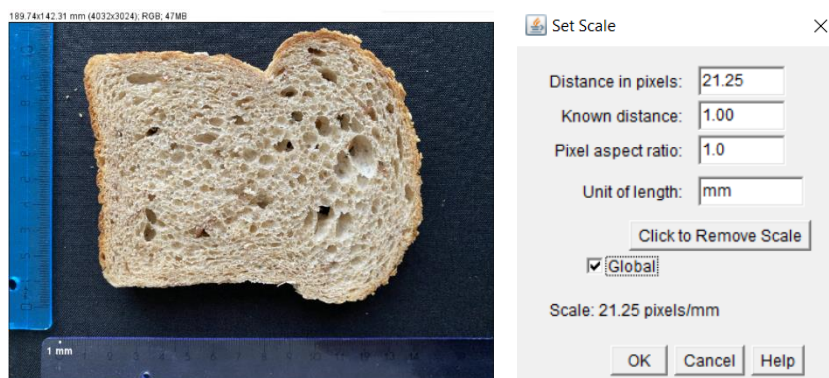
Vzorka1

Kalibrácia obrazu

Merané vzorky sme vyhotovili mobilným zariadením iPhone 11 pri clone f/1.8 za čas 1/5s. Fotografia bola fotená s citlivosťou 500 ISO v ohniskovej vzdialenosti 4.25mm a s expozičnou hodnotou 0ev.

V programe ImageJ, ver. 1.53e sme vykonali cez funkcie Analyze – Set Scale kalibráciu obrazu. Po ručnom označení jedného milimetra na pravítku a nastavení veličín známa vzdialenosť, pomer strán pixelov a jednotka dĺžky, Obr. 1. Program obraz vzorky 1 realizovaný v pixelov kalibráciou transformoval na obraz v milimetroch.

V prípade meranej vzorky 1 špaldového chlebu bolo v jednom milimetri 21.25 pixelov.



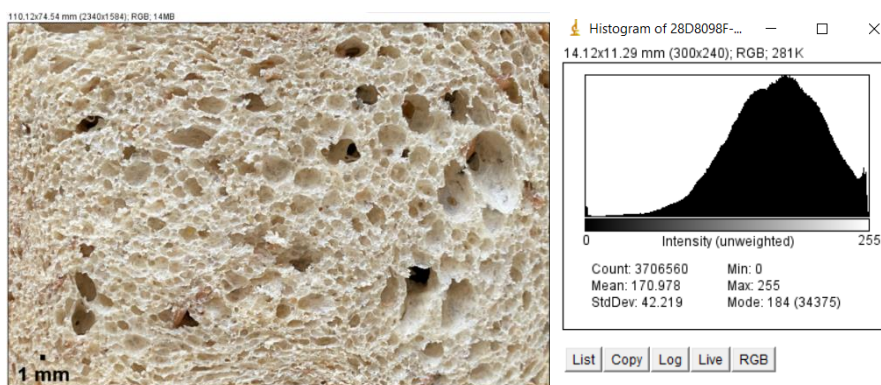
a)

b)

Obr. 1 a) Vzorka 1 špaldového chleba b) Hodnoty kalibrácie vzorky 1 špaldového chleba
 Fig. 1 a) Sample 1 of speltz bread b) Sample 1 calibration values of speltz bread

Zväčšenie vzorky

Zväčšenie obrazu vzorky 1 špaldového chlebu sme vykonali označením plochy, ktorú sme chceli zväčšiť a funkciou Image – Crop, ktorá označenú plochu vyrezala. Výsledný obraz vzorky 1 je na Obr. 2 a). Histogram na Obr. 2 b) sme dosiahli pomocou funkcie Analyze – Histogram. Meranú vzorku sme zväčšili z dôvodu zvýraznenia pórov a pre lepšiu a presnejšiu analýzu obrazu. V histograme Obr. 2 b) má najväčší počet zastúpení šedá farba s odtieňom 184 a konkrétne 34375 krát.



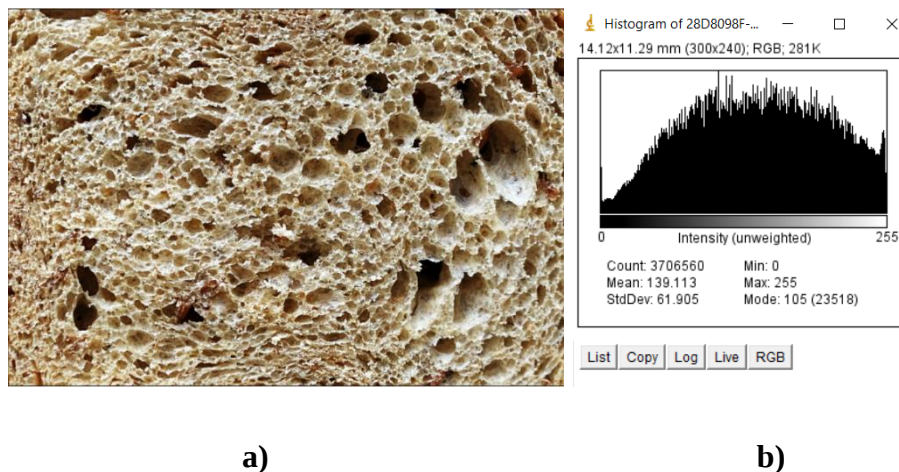
a)

b)

Obr. 2 a) Zväčšená vzorka 1 špaldového chleba b) Histogram vzorky 1 špaldového chleba
 Fig. 2 a) Scaled up Sample 1 of speltz bread b) Histogram of Sample 1 speltz bread

Ekvalizácia

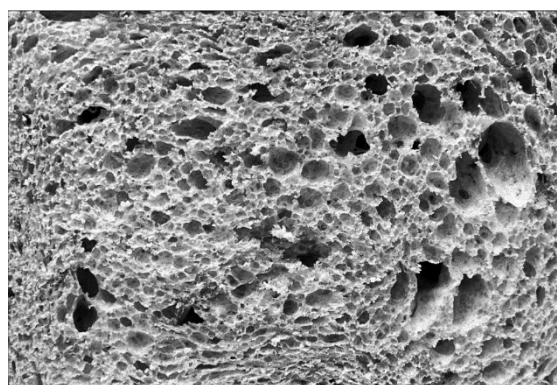
Ekvalizácia sa využíva na zvýšenie kontrastu v obraze. Na Obr. 3 a) je obraz vzorky 1 po ekvalizácii a dosiahli sme ho pridaním hodnoty 0.5%. Na Obr. 3 b) je histogram ekvalizovaného obrazu. Ekvalizáciu sme vykonali cez funkciu Process – Enhance Contrast.



Obr. 3 a) Ekvalizácia skúmanej vzorky 1 špaldového chleba b) Ekvalizovaný histogram vzorky 1 špaldového chleba
 Fig. 3 Equalization of examined Sample 1 spelt bread b) Equalized histogram of Sample 1 spelt bread

Transformácia vzorky

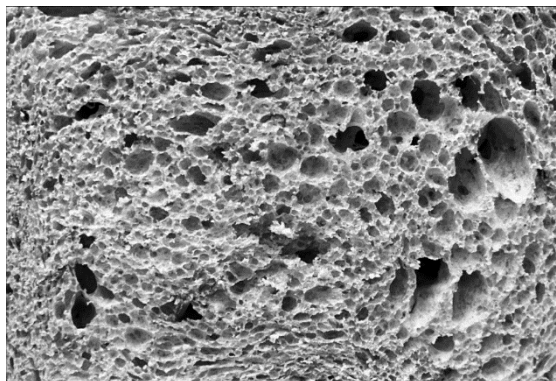
Prahovanie sa môže vykonávať len v šedom obraze a z tohto dôvodu sme transformovali Obr. 3 a) funkciou Image - Type – 8 bit na 8 bitový šedý obraz, Obr. 4.



Obr. 4 8 bitový šedý obraz vzorky 1 špaldového chleba
 Fig. 4 8 bit grey image of Sample 1 spelt bread

Vyhľadanie

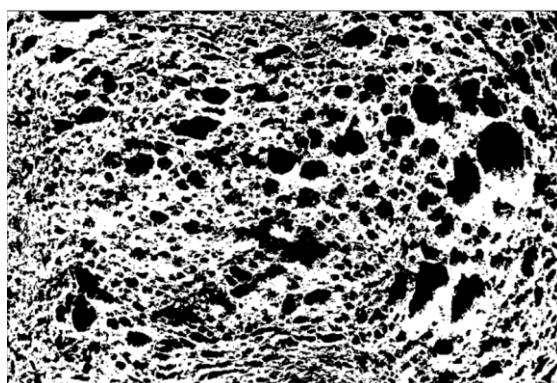
Na vyhladenie veľkých jasových rozdielov v obraze vzorky 1 sme použili mediánový filter, Process – Filters - Median, ktorý patrí medzi nelineárne metódy vyhladzovania. Výsledný Obr. 5 sme dosiahli nastavením hodnoty 2 pixely na radián.



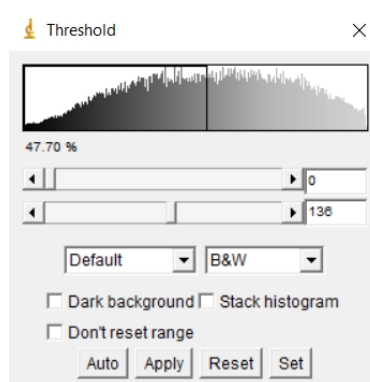
Obr. 5 Vyhľadanie mediánovým filtrom vzorky 1 špaldového chleba
 Fig. 5 Median filter smoothing of Sample 1 spelt bread

Prahovanie

Na oddelenie tmavých a svetlých bodov slúži prahovanie. Na separáciu pórov od striedky sme použili automatické prahovanie v programe ImageJ pomocou funkcie Image – Adjust – Threshold a výsledný obraz po prahovaní je na Obr. 6 a).



a)

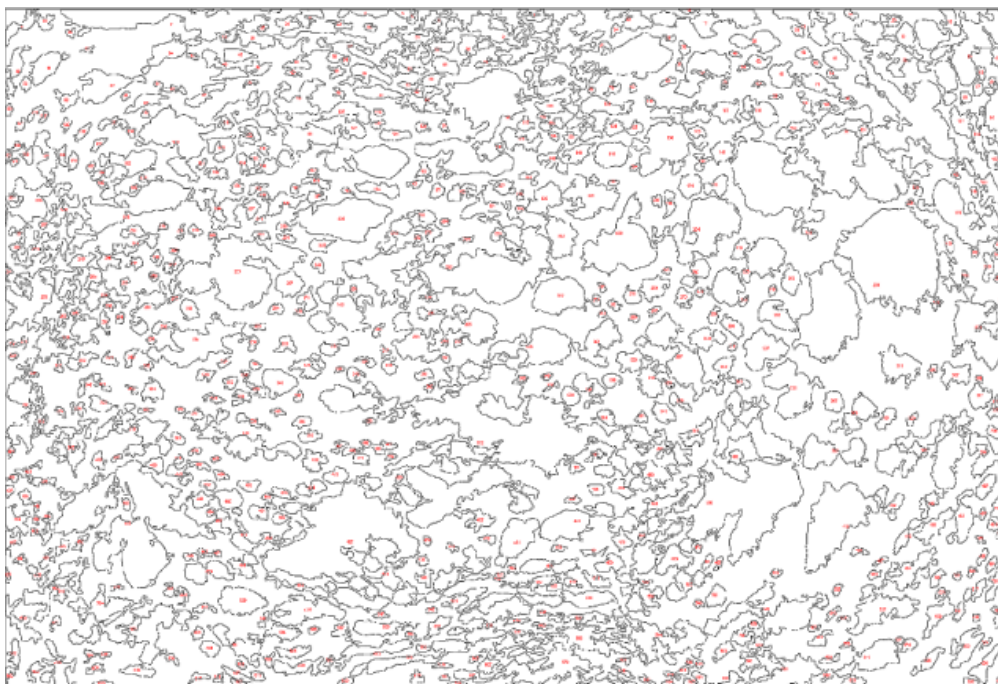


b)

Obr. 6 a) Obraz po prahovaní vzorky 1 špaldového chleba b) Funkcia threshold
 Fig. 6) Image after Threshold of Sample 1 spelt bread b) Threshold function

Analýza obrazu

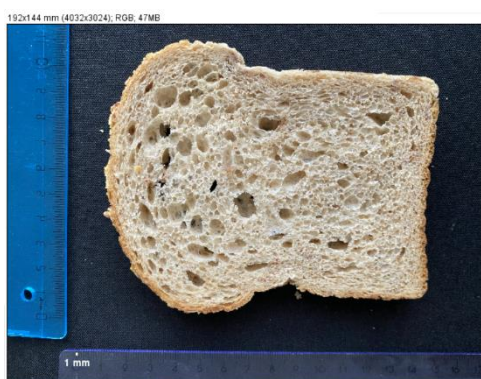
Ako poslednú sme vykonali analýzu obrazu funkciou Analyze - Analyze particles Na meranie pórov v obraze sme zvolili Plochu, Obvod, Kruhovitosť, Guľatosť, a Celistvosť. Na Obr. 7 je vykreslený obraz pórov väčších ako 0.5 milimetra a skúmaný obraz mal 629 pórov.



Obr. 7 Analýza obrazu špaldového chleba Vzorky 1
 Fig. 7 Image analysis of spelt bread Sample 1

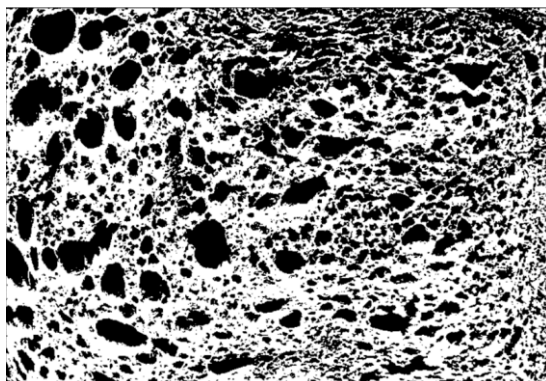
Vzorka 2

Celý postup sme opakovali podľa vzorky 1.



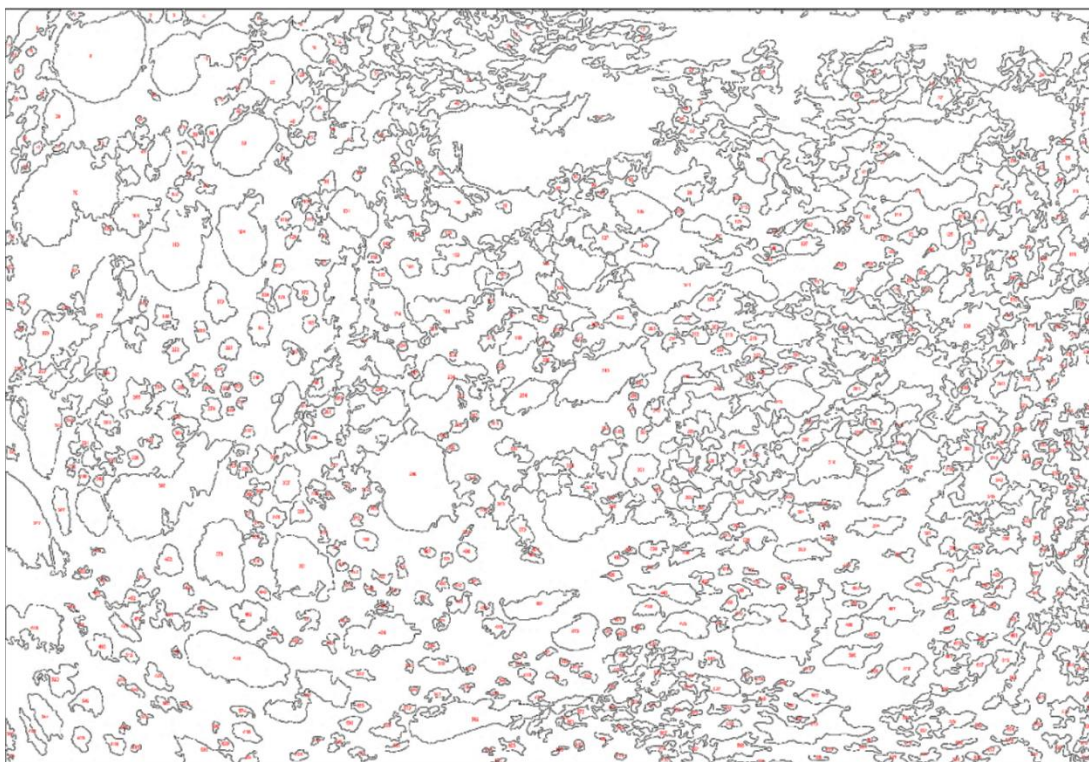
Obr. 8 Vzorka 2 špaldového chleba
 Fig. 8 Sample 2 of spelt bread

Meraná vzorka 2 bola transformovaná z pixelov na milimetre a v jednom milimetri bolo 22 pixelov.



Obr. 9 Obrázok po prahovaní vzorky 2 špaldového chleba
 Fig. 9 Image after Threshold of Sample 2 spelt bread

Analýza obrazu vzorky 2 má 634 pórov.



Obr. 10 Analýza obrazu vzorky 2 špaldového chleba
 Fig. 10 Image analysis of spelt bread Sample 2

4 Výsledky a diskusia

Výsledky merania skúmanej vzorky 1 a vzorky 2 špaldového chlebu sme zapísali do Tab. 1 a Tab. 2 a následne sme vypočítali aritmetický priemer, minimum, maximum, medián, smerodajnú odchýlku a variačný koeficient. Realizovali sme koreláciu medzi jednotlivými geometrickými veličinami v Tab. 3.

Tab. 1 Výsledky Vzorky 1 špaldového chlebu

Tab. 1 Results of Sample 1 spelt bread

	Plocha, mm ²	Obvod, mm	Kruhovitosť, -	Gul'atosť, -	Celistvosť, -
Aritmetický priemer	5,910	14,885	0,415	0,539	0,735
Minimum	0,503	2,844	0,019	0,111	0,399
Maximum	207,934	368,77	0,872	0,973	0,955
Medián	1,592	7,078	0,4	0,524	0,748
Smerodajná odchýlka	16,576	27,235	0,201	0,183	0,119
Smerodajná odchýlka - priemer	0,661	1,086	0,008	0,007	0,005
Variačný koeficient (%)	11,183	7,295	1,931	1,357	0,650

Tab. 2 Výsledky Vzorky 2 špaldového chlebu

Tab. 2 Results of Sample 2 spelt bread

	Plocha, mm ²	Obvod, mm	Kruhovitosť, -	Gul'atosť, -	Celistvosť, -
Aritmetický priemer	5,939	14,180	0,423	0,547	0,734
Minimum	0,51	2,81	0,006	0,065	0,318
Maximum	679,721	1152,399	0,877	0,96	0,948
Medián	1,476	6,911	0,406	0,549	0,749
Smerodajná odchýlka	28,778	48,632	0,198	0,18	0,122
Smerodajná odchýlka - priemer	1,143	1,931	0,008	0,007	0,005
Variačný koeficient (%)	19,243	13,620	1,856	5,218	0,664

Tab. 3 Korelácia Vzorky 1 a Vzorky 2 špaldového chlebu
 Tab. 3 Correlation of Sample 1 and Sample 2 spelt bread

	Plocha1	Obvod1	Kruh.1	PS1	Guľa.1	Celist.1	Plocha2	Obvod.2	Kruh.2	PS2	Guľa.2	Celist.2
Plocha1	1											
Obvod1	0,9546	1										
Kruh.1	-0,3941	-0,5095	1									
PS1	0,0437	0,1023	-0,3969	1								
Guľa.1	-0,0396	-0,0921	0,3986	-0,8581	1							
Celist.1	-0,3249	-0,4633	0,8950	-0,3195	0,3351	1						
Plocha2	-0,0145	-0,0167	-0,0004	-0,0073	-0,0101	-0,0282	1					
Obvod2	-0,0116	-0,0174	0,0036	-0,0170	0,0026	-0,0273	0,9865	1				
Kruh.2	-0,0316	-0,0204	-0,0218	0,0340	-0,0278	-0,0129	-0,2124	-0,2646	1			
PS2	0,0247	0,0134	0,0047	0,0112	-0,0159	0,0090	0,1304	0,1513	-0,3712	1		
Guľa.2	0,0064	0,0092	0,0069	-0,0298	0,0415	-0,0021	-0,0907	-0,1093	0,3890	-0,9040	1	
Celist.2	-0,0412	-0,0376	-0,0270	0,0632	-0,0446	0,0080	-0,1342	-0,2114	0,8876	-0,3093	0,3183	1

Podľa korelačnej Tab. 3 je zrejmé, že je takmer dokonalá korelácia Obvodu 1 voči ploche 1, Obvodu 2 voči Ploche 2 a Guľatosti 2 voči Pomeru strán 2. Korelácia Kruhu 1 voči Obvodu 1 je veľká. Pre Celistvosť 1 voči Kruhu 1, Guľatosti 1 voči Pomeru strán 1 a Celistvosť 2 voči Kruhu 2 je korelácia veľmi vysoká.

Tab. 4 Korelácia priemeru vzorky 1 a vzorky 2 špaldového chleba
 Tab. 4 Correlation average of Sample 1 and Sample 2 spelt bread

	Plocha	Obvod	Kruh.	PS	Guľa.	Celist.
Plocha	1					
Obvod	0,979966	1				
Kruh.	-0,28523	-0,35012	1			
PS	0,094973	0,118635	-0,36641	1		
Guľa.	-0,07208	-0,09275	0,379814	-0,87865	1	
Celist.	-0,22848	-0,32064	0,877139	-0,27329	0,295445	1

Podľa korelačnej Tab. 4 je korelácia Plochy voči Obvodu takmer dokonalá. Korelácia Kruhovitosti voči Celistvosti a Pomer strán voči Guľatosti je veľmi veľká. Ide o koreláciu z priemerných hodnôt oboch vzoriek kvôli lepšej konzistencii výsledku.

5 Záver

Cieľom práce bolo hodnotenie štruktúry chlebovej striedky počítačovým spracovaním obrazu. Štruktúra dvoch vzoriek špaldového chleba bola hodnotená pomocou stanovenia geometrických vlastností pórov v obrazoch a bola zhodnotená štatistickými metódami za účelom zistenia najväčšej pórovitosti, a tým najväčšej kvality chlebovej striedky. V práci sme zistili, že zo skúmaných vzoriek má väčšiu pórovitosť vzorka 2, konkrétne 634 pórov. Najväčší pór sa nachádzal vo vzorke 2 a mal veľkosť plochy 679,72 mm² a obvodu 1152,4 mm. Priemerná veľkosť pórov v oboch vzorkách je 5,9 mm². Z merania sme zistili, že lepšiu kruhovitosť a guľatosť pórov má vzorka 2. Vzorka 1 má lepšiu celistvosť. Póry vzoriek korelujú, čiže navzájom od seba závisia, len pre parametre Plocha voči Obvodu, Kruhovitosť

voči Celistvosti a Pomer strán voči Guľatosti. Chleba je kvalitnejší ak obsahuje veľa malých pórov. Vo vzorke 1 špaldového chleba je 64 skoro okrúhlych pórov a 194 pozdĺžnych pórov. Vo vzorke 2 je 69 skoro okrúhlych pórov a 199 pozdĺžnych pórov.

6 Literatúra

DA SILVA, E. A. B. – MENDONCA G.V. 2005. The Electrical Engineering Handbook [online]. Academic Press. 910 p. ISBN: 9780080477480. [cit. 2020-07-03]. Dostupné na: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780121709600500645>>

RASBAND, W.S., ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <https://imagej.nih.gov/ij/>, 1997-2021.

MANDAL, A – DATTA, A.K. 2008. Journal of Food Engineering. In sciencedirect.com [online], vol. 86, pp 465-474 [cit. 2020-08-25]. Dostupné na: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877407005869>>

FERREIRA, T – RASBAND W. 2012. ImageJ User Guide. In imagej.nih.gov [online], pp 136-137 [cit. 2021-03-30]. Dostupné na: <<https://imagej.nih.gov/ij/docs/guide/user-guide.pdf>>

Súhrn

Príspevok je zameraný na hodnotenie štruktúry chlebovej striedky počítačovým spracovaním obrazu. Stanovili sme parametre zo špaldového chleba a preskúmali sme 2 vzorky. Vzorky sme spracovali v programe ImageJ, verzia 1.53e. Vykonali sme štatistické spracovanie a korelačné tabuľky na porovnanie všetkých veličín v nameranom špaldovom chlebe v programe Excel.

Kľúčové slová: ImageJ, chlebová striedka, počítačové spracovanie obrazu

Touto cestou by som chcel poďakovať vedúcemu diplomovej práce doc. RNDr. Ľubomírovi Kubíkovi, PhD. za odbornú pomoc a cenné rady, ktoré mi napomohli pri vypracovaní mojej práce

CONE PENETROMETER TEST OF SOILS

BOTOND LEVENTE KISS - PÉTER KISS - JÓZSEF DEÁKVÁRI

Abstract

Efficient farming requires the most detailed knowledge of cultivated areas for less damage during production processes. One of the measurable characteristics of the soil, is the mechanical resistance, which is often measured with soil penetrometers. It can provide useful information for farmers to make processes more efficient.

Soils are compacted due to natural and artificial effects, which also makes cultivation difficult. To improve the efficiency of soil cultivation, it is important to measure the mechanical resistance of soils. As there are significant differences between commercially available penetrometers, the values measured at the same place, by different devices may differ. The measurements are influenced by countless factors, so only the most significant can be mentioned. During the tests, two vertical penetrometers were used with different measurement principles. The encountered difficulties during the gathering of measurements, a proposal was made to design a new device, which can reduce the inaccuracies caused by the difficulties.

Key words: soil penetrometer, vertical penetrometer, soil measurement

1 Introduction

Soils are compacted due to natural and artificial effects, which also makes cultivation difficult. To provide greater traction, heavier machines are required, which increases the compaction of the soil, along with tillage at the same depth. (1) Naturally, other processes also compact the soil, by displacing the air from the solid particles and increasing the bulk density of the soil.

The knowledge of the mechanical resistance of the soil helps to estimate the amount of energy required for soil works and to determine the need and depth of scarification. For the protection of soil it is important not to mix and break it more than necessary, so that its water balance does not deteriorate significantly, so its fauna survives and the soil grains do not fragment, because it would make it difficult for plants to grow, and would reduce crop yields. (3)

The compressive strength and load-bearing capacity of the soil can be measured by the mechanical resistance of the soil. As the soil is a viscoelastic material, the extent of deformation also depends on the speed of the load applied to it. In consequence the results can be compared at the same speed of penetration.

The groups of devices often used for mechanical resistance measurements are penetrometers and penetrologgers. With these devices, a measuring cone is pushed vertically into the ground. During the measuring process, the devices detect the amount of force required to press into the ground. The size and shape of the measuring cone, the penetration speed and the indication depths are also recorded in ASAE S 313.2 DEC94.

Botond Levente Kiss, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Institute of Technology, MSc. Mech. Eng.; Deákvári József Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, *Institute of Technology*; Kiss Péter Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, *Institute of Technology, Full Professor*

To express the mechanical resistance of the soil, in the case of measurements with a vertical penetrometer or penetrologger, a so-called Cone Index is used, which gives the amount of force required to penetrate with a cone with a known front surface.

There are different ways of determining the penetration force, of which during the measuring process the spring and load cell methods were used. In practice, the most common force measurement methods are based on deformation.

The studied literature showed that there is a negative correlation between soil moisture and soil resistance. In this case, when the soil's moisture content increases, the mechanical resistance decreases. (4)

2 Material and Methods

The measurements were taken in two different places in Hungary, and in both places two area types were examined. During the measurements, the vertical mechanical resistance and moisture content of the soil were examined. The first series of measurements were performed in Gödöllő, in the farm of Szent István University, in the area of GAK Education and Operation Nonprofit Public Benefit Ltd., on wheat stubble and between corn. The second part of the measurements took place in the areas of Dezső Böröczky, next to Pápa, on a cultivated grain stubble and then between corn.

At the beginning of the measurements, three area were selected to be examined, and three more measurement points were defined in each area, where the tests were performed in several steps. As a first step, the surface of the soil was cleared of disturbing vegetation, while making sure to preserve the integrity of the soil. After cleaning, soil samples were taken to measure the moisture content with an Eijkelkamp type sampling device at a depth of 0-5 cm and 5-10 cm from the surface. This was followed by penetrometer examinations based on a predetermined order of measurement. The soil mechanical resistance test was performed first with an Eijkelkamp penetrologger and then with a Farnell military penetrometer at 4-4 points around the sampling site. The arrangement of the three series of measurements at the measurement points, which were repeated at three different areas on each test field, is shown in 1. Figure.



Fig. 1 Measurement layout

Two manually operated vertical conical penetrometers were used for the measurements. Measurements (at most 130 mm² front surface) were significantly influenced by the inhomogeneity of the soil. In order to reduce its negative effect the number of measurements were increased.

One of the instruments is a Farnell A2451 military penetrometer that meets the requirements of ASAE S 313.2 DEC94, except that the notches for depth indication are not 1 inch (2,54 cm) apart, but 3 inches (7,62 cm) apart. The maximum measuring length of it is 24 inches (61 cm), and it can measure up to 300 CI, which means 667 N. The reading values are marked in 5 cone index values, which can be read on an analog display. It can visualize the value of soil resistance in CI (Cone Index) and CBR (California Bearind Ratio). The measuring cone had a peak angle of 30° and a front surface of 1.3 cm².

The other instrument is an Eijkelkamp penetrometer with measuring cones with a surface area of 1 cm², 2 cm², 3.33 cm², 5 cm². This instrument can measure a maximum force 1000 N, and the force resolution is 1 N. The maximum measuring depth is 80 cms and the depth resolution is 1 cm. The device can locate its position with GPS coordinates, and in case of connecting a separate unit, it is also able to determine the soil moisture content. The vertical position of the measuring instrument can be checked by a built-in libella, which can indicate excessive tilting in any direction due to its disc-shape. It determines the depth of penetration with ultrasound, for which a metal plate with a shiny surface must be placed horizontally on the ground around the measuring rod. (5) The measured values were displayed in MPa with a spacing of 1 cm. The penetration velocity was set at 2 cm/s, the measuring cone had a peak angle of 30° and the surface area is 1 cm².

The Farnell military penetrometer has a scale up to 300 CI, which corresponds to 667.2 N and is divided into 60 equal parts, so that 5 CI corresponds to 11.12 N. The results obtained in CI can be converted to MPa using the known surface area of the measuring cone. According to these, the way to convert CI values into a force dimension is:

$$F = \frac{CI \cdot E}{5} \quad (1)$$

Where: F - the force required to push the cone through a given layer of soil, N

CI - the displayed cone index value

E - the force corresponding to the legibly displayed CI values (5 CI), N

The surface area of the measuring cones on the two different instruments does not match, so the force values required to press the cones are not comparable. Therefore, the force values obtained from the 1. equation were converted to pressure values. Since the Eijkelkamp measuring instrument gave the results in MPa, the pressure σ on the surface area of the cone was converted to MPa based on the 2. equation.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Where: σ – the pressure on the surface area of the cone, MPa

F - the force required to push the cone through a given layer of soil, N

A - the surface area of the measuring cone, mm²

The values calculated with the 2. equation can be compared with the values measured by the Eijkelkamp penetrometer. The converted values were compared with the results of the Eijkelkamp penetrometer, which were interpolated to the measurement depths of the Farnell penetrometer using the 3. equation, assuming that the soil resistance varies linearly between the two depths measured by the Eijkelkamp penetrometer.

$$\sigma = \sigma_{h_1} + \frac{(\sigma_{h_2} - \sigma_{h_1}) \cdot (h - h_1)}{(h_2 - h_1)} \quad (3)$$

Where: σ - the value of the calculated mechanical soil resistance, MPa

σ_{h_1} - the mechanical soil resistance measured above the calculated depth, MPa

σ_{h_2} - the mechanical soil resistance measured below the calculated depth, MPa

h - the depth of the calculated soil resistance value, cm

h_1 - the depth of the soil resistance measured above the calculated soil resistance, cm

h_2 - the depth of the soil resistance measured below the calculated soil resistance, cm

3 Results and Discussion

During the tests, the highest measured soil resistance value was 4.96 MPa for the Farnell penetrometer and 8.8 MPa for the Eijkelkamp penetrometer. The Farnell penetrometer reached the highest soil resistance value at least once in almost all depths of its own depth measurement range, while the Eijkelkamp penetrometer only once, at a depth of 48 cms in corn at Nagyacsád.

At Pápa, on the cultivated grain stubble, the instruments penetrated to a depth of 60 cms only in exceptional cases. This can be explained by the formation of a massive plow-sole layer or the accumulation of a large amount of rock under the cultivated layer. The maximum penetration depth was within the depth measurement range of both instruments, yet the Farnell penetrometer was only able to penetrate to smaller depths.

The maximum standard deviation was 1.86 MPa for the Farnell penetrometer and 1.7 MPa for the Eijkelkamp penetrometer. The larger standard deviation was measured by the Farnell penetrometer in the vast majority of cases.

The characteristics of the depth change of the soil resistance obtained by the devices are almost the same. There is not that much of a difference between the instruments as one of them has always shown a higher or lower value. So the results are not effected by the surface area of the measuring cone this way.

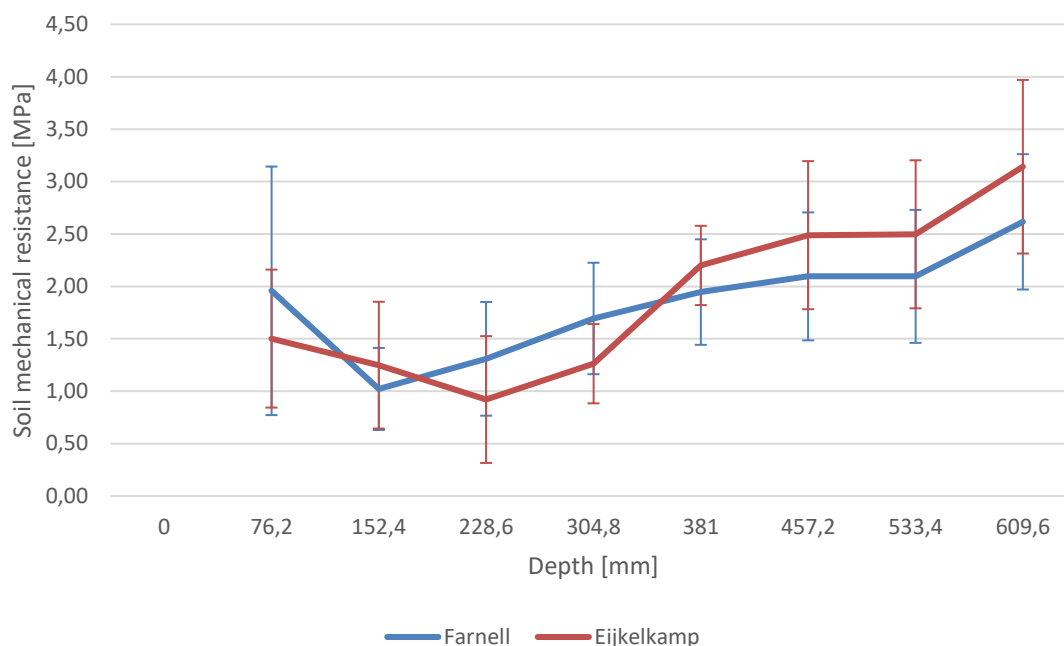


Fig. 2 The average soil resistance values and their standard deviation as a function of depth at the first measuring point at an average moisture content of 14,74% (Gödöllő, Szárítópusztá, wheat stubble).

In some cases, significant differences were observed at the same measuring points and the same depth, even among the results measured with the same instrument.

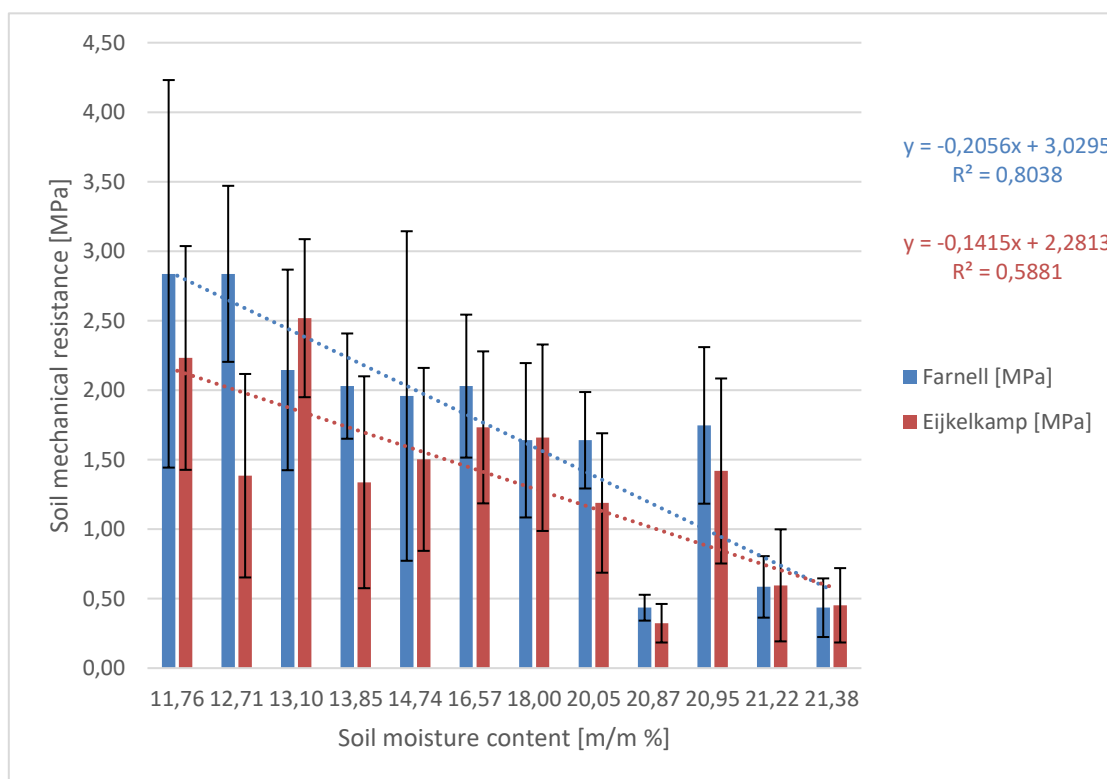


Fig. 3 The connection between the average soil moisture content values and the average of the soil mechanical resistance values, measured at the same soil sampling points and the surroundings of the two gauges.

It can be seen on the 3. Figure that, as the soil's moisture content increases, the mechanical resistance of the soil decreases, which is also supported by the relatively high R^2 value. There are also significant deviations from the trend that can be outlined in this way, this can also be caused by the inhomogeneity of the soil structure.

Difficulties and inaccuracies during the measuring process were caused by the clods, stones, water washes, wheel tracks, as well as the non-constant penetration velocity due to human operation, the buckling and the measuring rod directions frequent deviation from the vertical direction. The phenomenon of buckling was not observed at the Farnell military penetrometer, presumably due to the shorter measuring rod and the more massive design.

In the case of vertical penetrometers, the measuring cone of the penetrometer must move downwards in a vertical direction and the measuring cone must move at a constant speed in the ground in order to make accurate measurements.

During measurements near Pápa, we observed that there was a significant amount of stone in the soil. These stones, 2–15 cm in diameter, made measuring more difficult, as in many cases they either distracted the direction of the measuring cone or prevented the process. Similar problems arose during the measurements in Gödöllő, when the mechanical resistance of the soil was so high that the measurements could not be performed at the designated locations because the measuring cone could not penetrate the soil. Soils with such resistance were mainly at the site of dried water washes and wheel tracks, while in many cases the assumed plow-sole layer prevented the penetrometer from proceeding. During obstructions near the surface, the measuring rod of the Eijkelkamp penetrometer suffered an elastic deflection due to the compressive force.

In the case of the Farnell military penetrometer, the recording of measurement results is not automated, so the people performing the measurement must pay attention to the indication depth and record the soil mechanical resistance values.

4 Conclusion

Overall, moving the penetrometers in a constant (vertical) direction, loading the force measuring unit in the right direction, and maintaining a constant speed is a problem for both gauges. While the Farnell penetrometer data recording caused problems, at the Eijkelkamp penetrometers measuring rod deflected some times. In case of manual operation, without the use of guide rails, it is not possible in practice to keep the load force in a constant direction during the measurement. Keeping the penetration velocity at a predetermined value is practically impossible with manual operation, because the vertical change of the soil resistance is so significant in many cases, even at small depth differences that the person cannot react in time. These problems and their impact can be reduced with the design of measuring devices, so it is necessary to create a new gauge meets the standard (ASAE S 313.2 DEC94).

The results of previous measurements show that there is a negative correlation between soil moisture content and soil resistance. In this case, as the soil moisture content increases, the mechanical resistance of the soil decreases. (4) This statement is confirmed by the results of the measurements, which are illustrated in the 3. Figure.

5 References

1. Márta, BIRKÁS. a i. 2001. *Talajművelés a fenntartható gazdálkodásban*. Gödöllő : Szent István Egyetem Mezőgazdaság és Környezettudományi Kar Növénytermesztési Intézet Földművelési Tanszék : B. v.

2. Levente, KISS Botond. 2020. Talajpenetrométerek összehasonlító vizsgálata és új mérőeszköz tervezése. Gödöllő : Szent István Egyetem. B. v.
2. Mehmet, TOPAKCI a i. 2010. *Design of a Horizontal Penetrometer for Measuring On-the-Go Soil Resistance*. B. m. : Sensors, pp. 2-3. ISSN 1424-8220.
3. M., NADERI-BOLDAJI. a i. 2012 *Improvemet and field testing of a combined horizontal penetrometer for on-the-go measurement of soil water content and mechanical resistance*. B. m. : Elsevier, pp. 9-10. B. v.
4. Penetrologger User manual. 2017. Giesbeek : Eijkelkamp Soil & Water
5. STANDARDS, ASAE. 1998. B. m. ASAE A313.2 DEC94

MINIATÚRNY SYSTÉM S DYNAMICKOU STABILIZÁCIOU NA BÁZE FPGA MYRIO MINIATURE SYSTEM WITH DYNAMIC STABILIZATION BASED ON FPGA MYRIO

MICHAL KLOKNER - LADISLAV TÓTH

Abstract

The work deals with the construction and programming of a miniature robot on two wheels, using a measuring card NI MyRio 1900. The individual components needed to build this device are described, as well as their function. It also explains how the various parts of the program work, from measuring the position of the device, through control to the drive of the device.

Key words: lowpass filter, accelerometer, gyroscope, PID, segway

1 Úvod

Samovyvažovacie zariadenie sa používajú takmer v každodennom živote. Napríklad na osobnú dopravu typu "hoverboard". Tieto zariadenia môžu byť dvoj alebo aj jednokolesové. Samozrejme potrebu vyvažovania nemajú iba kolesové prostriedky. Podobný systém je využívaný aj v leteckom priemysle, v prípade lietadiel môže slúžiť na určenie polohy lietadla, ako je jeho náklon v troch osiach ako indikácia pre pilota, alebo na základe týchto údajov môže lietadlo letieť aj autonómne. Stále viac do popredia prichádzajú aj rôzne mechanické stabilizátory kamier, či už na ručnom držiaku alebo drone tzv. „gimbál“. Základom všetkých takýchto systémov je meranie polohy zariadenia (uhol náklonu) vzhľadom ku osi gravitácie. Túto polohu možno merať akcelerometrom alebo gyroskopom. Každý z týchto senzorov má aj svoje nevýhody, ktoré však možno odstrániť.

Cieľom práce je fyzicky zostrojiť a naprogramovať miniatúrny systém, schopný samovyvažovania a jazdy rôznymi smermi. Ovládanie smeru jazdy bude prebiehať cez Wi-fi, priamo z prostredia Labview.

2 Materiál a metódy

Materiál potrebný na zhotovenie robota

Krokový motor NEMA 17

- Napájacie napätie 12V DC
- Prúd 1.2A pri 4V
- Veľkosť kroku 1.8
- 200 kokov na otáčku(pri plnom kroku)

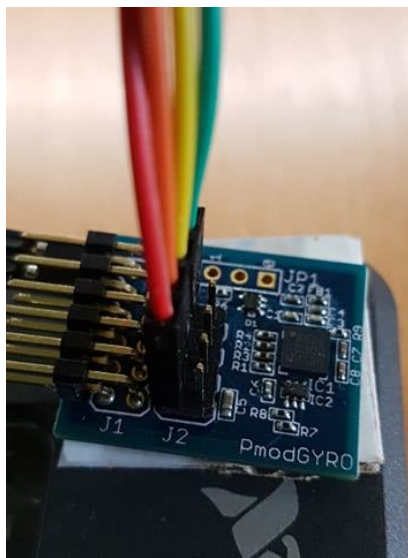


Obr. 1 Krokový motor

Fig. 1 Stepper motor

Gyroskop PMODGYRO DIGILENT

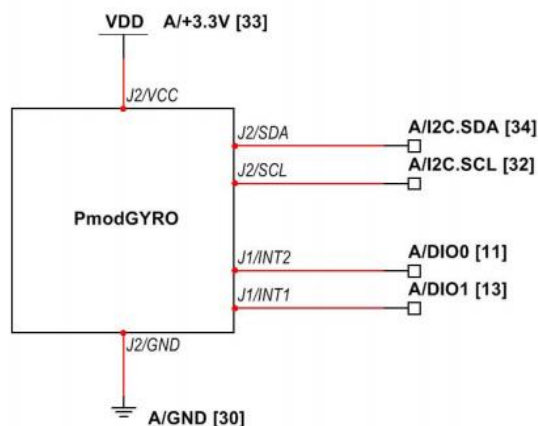
Modul obsahuje čip ST Microelectronics L3G4200D. Jedná sa o MEMS pohybový senzor, ultrastabilný 3-osý gyroskop s digitálnym výstupom. Podporuje komunikáciu I2C a SPI.



Obr. 2 Gyroskop

Fig. 2 Gyroscope

Gyroskop je zariadenie na meranie, alebo udržiavanie rovnakej orientácie, resp. rovnakého smeru. Prístroj využíva zákon zachovania momentu hybnosti. Rozdiel medzi akcelerometrom a gyroskopom spočíva v tom, že gyroskop dokáže merať rotáciu. Táto vlastnosť uprednostňuje jeho použitie na určenie polohy lietadiel vzhľadom k zemskému povrchu.



Obr. 3 Zapojenie gyroskopu
 Fig. 3 Gyroscope pinout

Riadenie robota

NI MyRIO-1900 od National Instruments je prenosné rekonfigurovateľné I / O (RIO) zariadenie, na navrhovanie riadiacich, robotických a mechatronických systémov.



Obr. 4 Meracia karta NI MyRio 1900
 Fig. 4 Measurement card NI MyRio 1900

Akcelerometer

Zariadenie, ktoré umožňuje merať a analyzovať lineárne a uhlové zrýchlenie. Meria zrýchľovaciu silu v jednotke g a môže merať v jednej, dvoch alebo troch rovinách. V súčasnosti sú najbežnejšie používané 3-osové akcelerometre, ktorých konštrukcia sa skladá zo

systému troch akcelerometrov, z ktorých každý meria zrýchlenie iným smerom – v rovinách X, Y a Z

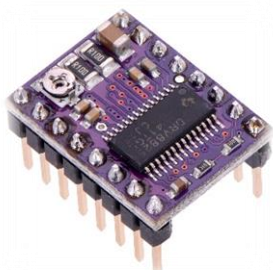
Ak akcelerometer nie je ovplyvnený žiadnym vonkajším zrýchlením, zariadenie bude merať iba gravitačné zrýchlenie, t.j. gravitačnú silu.

MyRIO-1900 obsahuje zabudovaný akcelerometer

Počet osí	3
Rozsah	± 8 g
Rozlíšenie.....	12 bits
Vzorkovacia frekvencia	800 S/s
Rušenie.....	3.9 mgrms

Ovládač krokových motorov

Riadenie krokových motorov zabezpečuje dvojica obvodov drv8825. Obvod umožňuje mikrokrokovanie motorov rovnako aj zmenu smeru rotácie.



Obr. 5 Ovládač krokových motorov
 Fig. 5 Stepper motor driver

Programovacie prostredie LABVIEW

LabVIEW ponúka grafický programovací prístup, ktorý vám pomáha vizualizovať všetky aspekty aplikácie vrátane hardvérovej konfigurácie, nameraných údajov a ladenia. Táto vizualizácia uľahčuje integráciu meracieho hardvéru od ktoréhokoľvek dodávateľa, predstavuje zložitú logiku na diagrame, vyvíja algoritmy analýzy údajov a navrhuje užívateľské rozhrania.

Dolnopriepustný filter

V reálnom prostredí bude vždy pôsobiť nejaký druh rušenia. V tomto prípade ide o odstránenie vyšších neharmonických frekvencií z nameraných údajov akcelerometra. Tento druh rušenia spôsobujú vibrácie zariadenia vytvárané najmä chodom motorov.

3 Výsledky a diskusia

Funkcia samovyvažovacieho zariadenia pozostáva z týchto krokov:

1. Zistenie skutočnej polohy zariadenia voči zemi
2. Filtrácia vstupných dát
3. Vyhodnotenie merania
4. Regulácia
5. Riadenie pohonu

Poloha zariadenia voči zemi bola nameraná kombináciou senzorov a to akcelerometrom a gyroskopom. Akcelerometer meria absolútnu polohu voči zemi, avšak ako z názvu vyplýva, meria aj akceleráciu spôsobenú samotným pohybom robota, preto sú tieto údaje dynamicky nepresné a spôsobujú chybu merania. Na druhej strane gyroskop v podstate dokáže merať náklon zariadenia, ak je prevodník zo stupňov za sekundu na stupne, vynulovaný presne v rovnovážnej polohe. Avšak gyroskop nie je stabilný z dlhodobého hľadiska, tzn. vzniknutá chyba sa pripočítava až sa nameraná poloha úplne líši od skutočnej. Kombináciou dvoch senzorov dosiahneme dlhodobú stabilitu z akcelerometra a dynamickú presnosť z gyroskopu. Prepojenie dvoch meraní nám umožňuje komplementárny filter.

$$Uhol = a * (predošlýUhol + gyroskop * dt) + (1 - a) * akcelerometer \quad (1)$$

kde:

a = koeficient filtrovania (0-1)

$gyroskop$ = namerané hodnoty z gyroskopu (°)

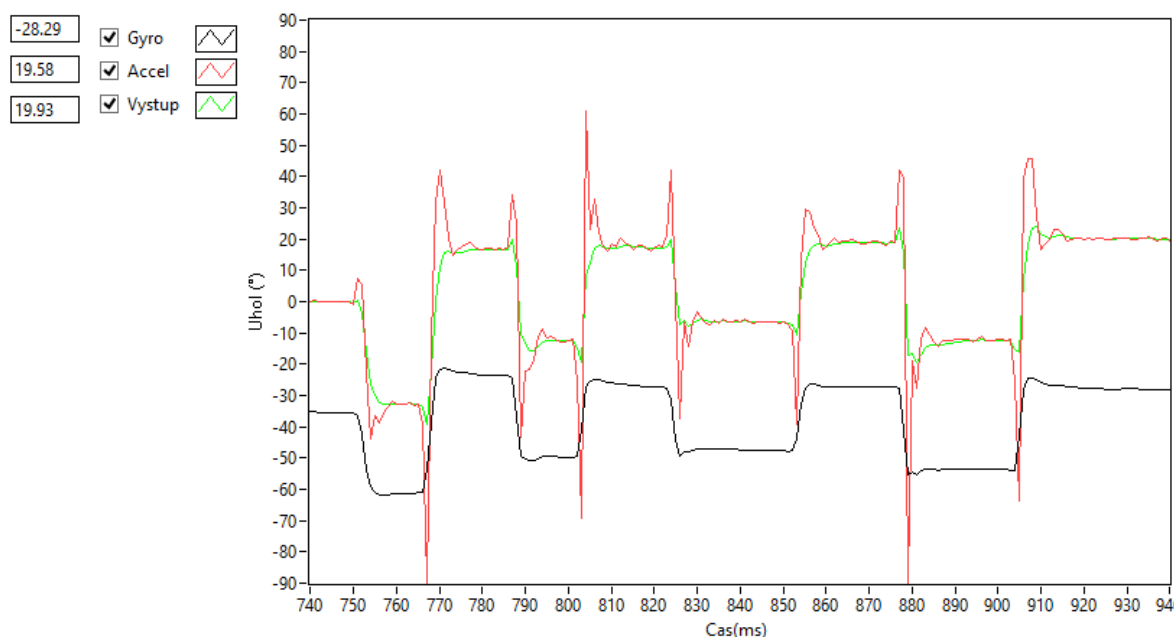
$akcelerometer$ = namerané hodnoty z akcelerometra(°)

where:

a = coefficient of filtration (0-1)

$gyroskop$ = acquired (measured) data from gyroscope (°)

$akcelerometer$ = acquired (measured) data from accelerometer(°)



Obr. 6 Graf nameraných hodnôt so senzorov snímania polohy robota

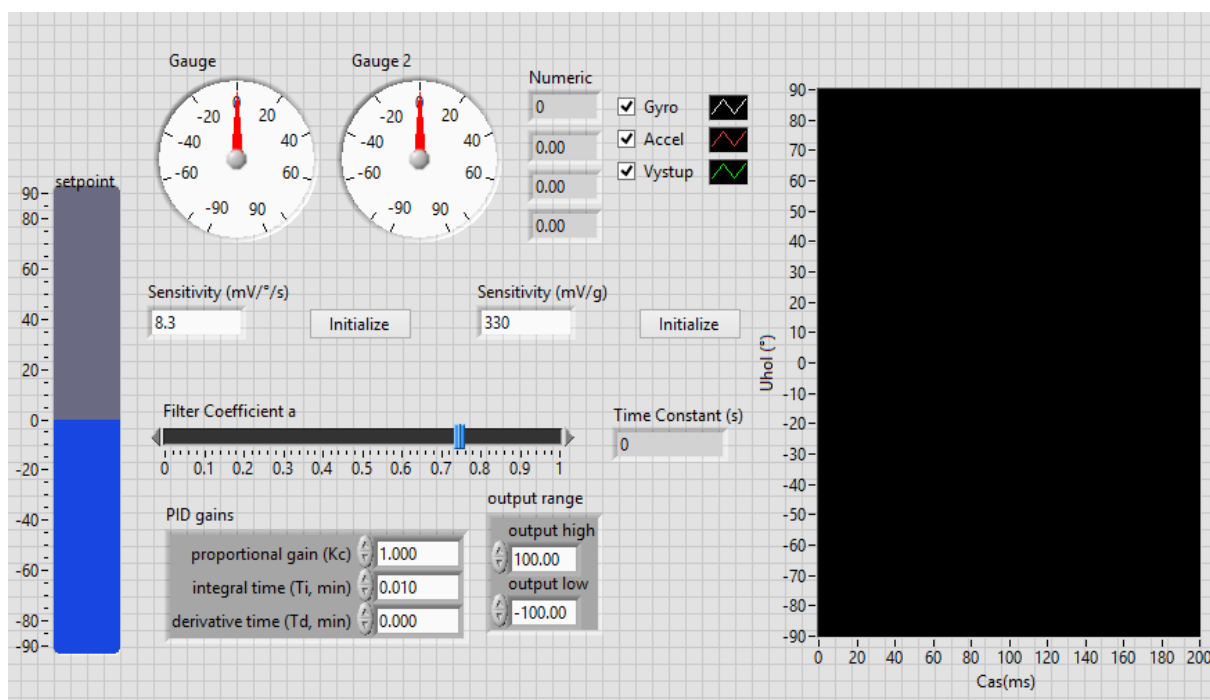
Fig. 6 Graph of measured values from robot position sensors

Na grafe možno vidieť priebeh akcelerometra po filtrácii (červená), pri kmitavom pohybe. Zreteľné sú najmä špičky pri zmene smeru pohybu, kvôli pôsobeniu zotrvačnosti. Čierny priebeh vyjadruje uhol nameraný gyroskopom. Zelený priebeh už vyjadruje oba senzory po spracovaní komplementárnym filtrom. Ako možno vidieť filtrovaný priebeh má podobný tvar ako priebeh gyroskopu, avšak gyroskop sa po čase vychýli preto ho nemožno na tento účel použiť samostatne. Filtrovaný priebeh najviac zodpovedal skutočnému uhlu náklonu zariadenia a zároveň mal aj najnižšie rušenie.

Namerané hodnoty ďalej spracováva PID regulátor, ktorý už nepriamo riadi rýchlosť motorov. Výsledná hodnota určuje frekvenciu pravouhlého signálu. Pomocou PID regulátora je dosiahnutý aj plynulý rozbeh motorov. Motory pri rozbehu a zastavení tým pádom nie sú zdrojom kmitania, ktoré zhoršujú meranie polohy robota.

Moduly DRV8825 vyžadujú na vstupe pravouhlý signál, na základe ktorého riadia rýchlosť krokových motorov.

Všetky nastavenia možno vykonávať z predného panela aj za chodu programu. Setpoint vyjadruje nastavenie aký uhol je cieľový pre reguláciu, napr. 0 stupňov predstavuje zvislú polohu zariadenia. Práve tento uhol je dôležitý pre samovyvažovanie. Ďalej možno nastaviť aj proporcionálnu, integračnú a derivačnú zložku PID regulátora ako aj jeho výstupný rozsah. Celkový priebeh nameraných hodnôt o polohe sa zobrazí v reálnom čase na grafe obr.6.



Obr. 7 Predný panel programu
 Fig. 7 Program front panel

Robot bol vyhotovený na železnom ráme. Doplnený bol o padacie protektory z PVC izolácie. Aby bol robot schopný samovyvažovania, bolo nutné doplniť záťaž vo vyššej polohe zariadenia. Napájanie bolo riešené lítium-polymérovou batériou.



Obr. 8 Vyhotovenie robota
 Fig. 8 Robot design

4 Záver

Cieľom práce bolo stabilizovať miniatúrny dvojkoľesový robot pomocou FPGA NI MyRio. Na stabilizáciu bolo nutné vedieť aktuálne naklonenie zariadenia. Použitie vstavaného akcelerometra na meranie náklonu robota ako jediný snímač tejto veličiny sa ukázalo ako nedostačujúce. Rušenie tohto senzoru bolo potrebné filtrovať dolnopriepustným filtrom s medznou frekvenciou 1Hz. Navyše pre kvalitnejší výsledok merania a následného riadenia nakláňania robota, systém bol doplnený gyroskopom. Tento senzor dokáže merať uhlové vychýlenie za sekundu. Spojením merania z týchto dvoch senzorov bol dosiahnutý najlepší výsledok merania polohy robota a následné riadenie motorov pre optimálne reakcie a vyváženie samotného mobilného dvojkoľesového robota. Správnym nastavením PID regulátora bolo možné dosiahnuť takmer úplnú stabilitu bez väčšieho kmitania okolo zvislej osi.

5 Použitá literatúra

National instruments.2021.www.ni.com.[online]dostupné na<<https://www.ni.com/en-us/shop/labview.html>>

Nationalinstruments.2021.www.ni.com.[online]dostupné na<<https://www.ni.com/pdf/manuals/376047c.pdf>>

TME.2021.ako funguje akcelerometer[online][cit.2020-20-09]dostupné na

<<https://www.tme.eu/sk/news/library-articles/page/22568/Ako-to-funguje-a-naco-sluzi-akcelerometer/>>

Xilinx.2021.What is an FPGA?[online]dostupné na<<https://www.xilinx.com/products/silicon-devices/fpga/what-is-an-fpga.html>>

Bisinfotech.2021.FPGA manufacturers.[online] dostupné na<<https://www.bisinfotech.com/top-5-fpgas-manufacturers-in-the-world/>>

MouserElectronics.2021.Motion and position sensors.[online]dostupné na <https://www.mouser.sk/ProductDetail/STMicroelectronics/L3G4200D?qs=Mmr5WwCtLzN7Jc5xVj4UAQ==>

Súhrn

Práca sa zaoberá zostrojením a naprogramovaním miniatúrneho robota na dvoch kolesách, za použitia meracej karty NI MyRio 1900. Popísané sú jednotlivé komponenty potrebné na zostrojenie tohto zariadenia, ako aj ich funkcia. Ďalej je vysvetlené ako pracujú rôzne časti programu od merania polohy zariadenia, cez reguláciu až po pohon zariadenia.

Kľúčové slová: dolnopriepustný filter, akcelerometer, gyroskop, PID, segway

TRIEDENIE MATERIÁLU NA ZÁKLADE FARBY SORTING MATERIAL BASED ON ITS COLOR

PATRIK KOVÁČ – ONDREJ LUKÁČ – MARTA HARNIČÁROVÁ

Abstract

Incorrect separation of waste and material nowadays poses a serious problem. Aim of this work is to create a model which sorts the material based on its color. This thesis firstly deals with the problem of separating waste and material and the possible solution of this problem. To explain this principle, we have created and designed a model, which sorts the material based on its color, and it is controlled with the help of development board by Arduino. This model correctly points to one of many solutions to this issue.

Key words: Arduino, sorting, waste, microcontroller

1 Úvod

Daná problematika práce je riešená na základe akútneho problému moderného sveta a tým je znečisťovanie životného prostredia. Následkom takéhoto znečisťovania je vznik takzvaného skleníkového efektu, poškodzovanie ľudského zdravia a veľa ďalších. Najväčší podiel na znečisťovaní životného prostredia má energetika, priemyselná výroba, doprava a kúreniská. V takýchto priemysloch sa produkuje veľké množstvo látok a plynov ako napríklad pevné častice, oxidy síry a dusíka. Podľa Svetovej zdravotníckej organizácie, žije až 92% svetovej populácie v znečistenom ovzduší. (Svetová zdravotnícka organizácia, 13.10.2016)(1). Život v takomto prostredí môže spôsobiť výskyt rôznych alergií, ochorení dýchacích ciest a podobne. Jedným zo spôsobov triedenia odpadkov a materiálov je aj triedenie na základe farby. Preto sme sa rozhodli navrhnúť a zostrojiť model automatického triedenia na základe farby.

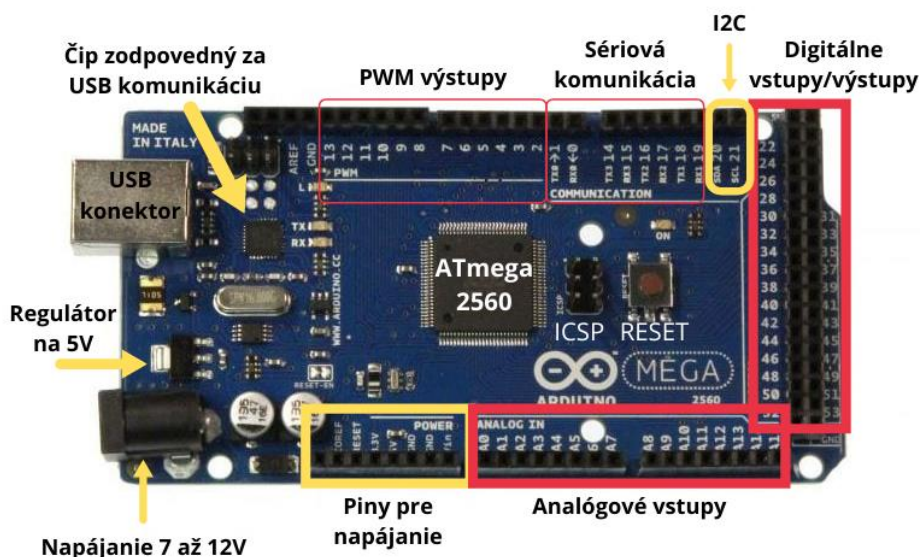
2 Materiál a metódy

Na zostrojenie modelu triedenia materiálu na základe farby boli použité rôzne materiály ako napríklad drevo. Bolo potrebné pracovať so strojmi ktoré slúžia na trieskové obrábanie, na dosiahnutie požadovaných tvarov a rozmerov. Krokový motor, senzory a ďalšia elektronika bola pripojená k štítu, ktorý bol navrhnutý v prostredí EasyEDA. Tento štít sa priamo pripája k vývojovej doske Arduino Mega2560. Tieto vývojové dosky sú známe ako jedno-doskové počítače, založené na mikrokontroléroch AVR ATmega od firmy ATMEL. Nejedná sa teda o počítač ku ktorému je možné pripojiť vstupné zariadenia ako napríklad klávesnica alebo myš, ale skôr ide o zariadenie, ktoré je pripravené na pripojenie rôznych senzorov, LED diód, servomotorov, krokových motorov, displejov z tekutých kryštálov a prácu s nimi. Mozgom tejto vývojovej dosky je mikroprocesor ATmega2560, ktorý disponuje nasledujúcimi charakteristikami.

Tab. 1 Charakteristiky mikroprocesora ATmega2560

Tab. 1 Characteristics of the ATmega2560 microprocessor

Maximálne napätia na vstupno/výstupných pinoch	5 V
Napájanie dosky Vin	7 – 12 V
Napájanie dosky cez USB	5 V
Digitálne vstupno/výstupné piny	54
PWM piny (8 bit)	15 (D2 – D13, D44 – D46)
Analógové piny (10 bit)	16 (A0 – A15)
DC prúd na vstupno/výstupných pinoch	20 mA
DC prúd z 3,3 V pinu	50 mA
Frekvencia mikroprocesora	16 MHz



Obr. 1 Programovacia doska Arduino Mega2560

Fig. 1 Arduino Mega2560 programming board

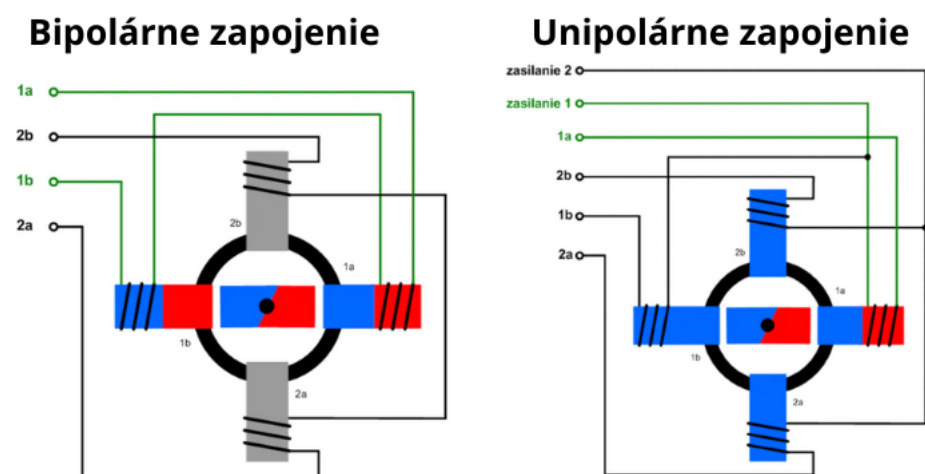
Na riadenie krokového motora bol použitý ovládač A4988, ktorý slúži na ovládanie bipolárnych krokových motorov. Na ovládači sa nachádzajú konektory pre napájanie z mikrokontroléra a taktiež konektory pre napájanie krokového motora. Na ochranu ovládača pred napäťovými špičkami sa do obvodu pripája paralelne elektrolytický kondenzátor ku zdroju, najčastejšie s hodnotou 47 μ F. Konektory 1A, 1B, 2A, 2B slúžia pre pripojenie jednotlivých cievok krokového motora. Konektory 1A a 1B slúžia pre jednu cievku a konektory 2A a 2B pre druhú. Ďalej sa na doske nachádzajú konektory STEP, DIR, SLEEP, RESET, MS1 až MS3 a ENA. STEP a DIR sú konektory, ktoré pripájame k digitálnym vstupom mikrokontroléra, pomocou ktorých ovládame smer rotácie a počet krokov motora.

Tab. 2 Charakteristiky ovládača A4988

Tab. 2 A4988 driver features

Minimálna logická úroveň napätia	3V
Maximálna logická úroveň napätia	5,5V
Kontinuálny prúd na fázu	1A
Maximálny prúd na fázu	2A
Minimálne operačné napätie	8V
Maximálne operačné napätie	35V

Krokové motory podľa konštrukcie rozdeľujeme na motory s permanentným magnetom, s premenlivou reluktanciou a na hybridné krokové motory. V prípade permanentného magnetu ide o permanentne zmagnetizovaný rotor. Aktiváciou cievok vznikajú opačné polarizácie a týmto činom sa rotor natáča. Krokové motory s premenlivou reluktanciou používajú rotor v tvare ozubeného kolesa z mäkkého železa, ktorý nie je zmagnetizovaný. Postupnou aktiváciou cievok sa rotor natáča tak, aby zuby smerovali ku vedeniu statora. Posledným typom sú hybridné krokové motory, ktoré vznikli kombináciou predošlých konštrukcií. Rotor sa skladá z dvoch ozubených kolies opačnej polarizácie a zuby týchto kolies sú vzájomne odsadené. Krokové motory ďalej rozdeľujeme na bipolárne a unipolárne motory. Hlavný rozdiel je v zhotovení vinutia u dvojfázových motorov, unipolárny motor pracuje s jednou polaritou prúdu, bipolárny pracuje s dvoma polaritami, čo znamená, že smer prútu prúdu v cievke je striedavý.



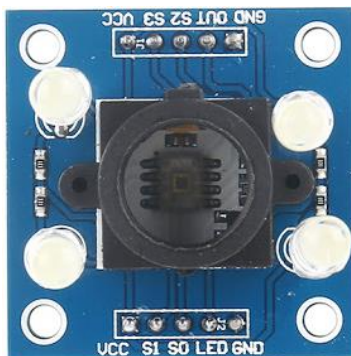
Obr. 2 Zapojenia dvojfázového krokového motora
 Fig. 2 Two-phase stepper motor connections

Konštrukcia servo motorov sa skladá zo štyroch hlavných komponentov a to DC motor, prevodový mechanizmus, potenciometer a riadiaci obvod. Otáčky jednosmerného motora sú pomocou prevodového mechanizmu znížené na 60 otáčok za minútu a zároveň sme dosiahli aj väčší krútiaci moment na výstupe motora. Potenciometer je uchytený na výstupnom prevode alebo priamo na výstupnej hriadeľi. Zmenou uhla natočenia hriadeľa sa otáča aj potenciometer. Napätie na potenciometri odpovedá uhlu natočenia výstupného hriadeľa. Riadiaci obvod porovnáva napätie na potenciometri s napätím na signálovej linke. Ak je potrebné, riadiaci obvod aktivuje integrovaný H-mostík, ktorý umožní rotáciu motora v určitom smere tak, aby rozdiel týchto dvoch signálov bol nulový.



Obr. 3 Servo motor MG996R s uhlom natočenia 180°
 Fig. 3 MG996R servo motor with 180 ° rotation angle

Farebný senzor TCS3200 pracuje s napätím od 2,7 do 5,5V a skladá sa z poľa fotodiód o veľkosti 8x8. Senzor pre svoju činnosť využíva prevod prúdu na frekvenciu. Údaje z fotodiód sú prevedené na obdĺžnikový signál, ktorého frekvencia odpovedá intenzite svetla. Použitím mikrokontroléru môžeme výstupný obdĺžnikový signál spracovať a identifikovať farbu.



Obr. 4 Farebný senzor TCS3200

Fig. 4 TCS3200 color sensor

Fotodiódy tohto senzora sa skladajú z troch rôznych farebných filtrov a to z červenej, modrej a zelenej. Každá sa skladá zo šesťnástich farebných filtrov o veľkosti 110 μm x 110 μm . Posledných šesťnásť fotodiód nemá žiadny farebný filter, preto ich nazývame čisté fotodiódy. Fotodiódy jednotlivých farieb sú paralelne medzi sebou poprepájané. Nastavením signálov S2 a S3 určíme, ktoré farebné filtre sú v danom čase aktívne.

Tab. 3 Kombinácia signálov na konektoroch S2 a S3

Tab. 3 Combination of signals on connectors S2 and S3

S2	S3	Typ fotodiódy
Log.0	Log.0	Červená
Log.0	Log.1	Modrá
Log.1	Log.0	Bez filtra
Log.1	Log.1	Zelená

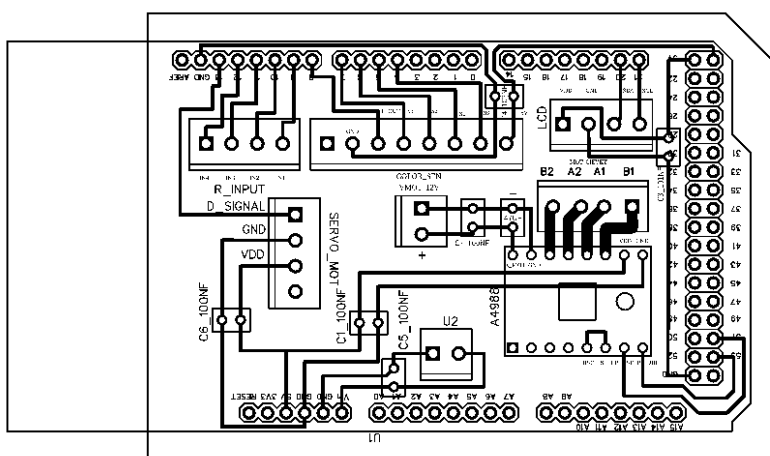
LCD displej je špeciálny panel z takzvaných tekutých kryštálov. Tieto kryštály na základe zmeny stavu elektrického napätia menia svoju polohu. Vďaka tomuto javu nimi svetlo prechádza alebo neprechádza. Displej teda na základe polarizácie zobrazuje obraz podľa toho, ako mu ovládacia technika prikáže, respektíve tekuté kryštály na základe napätia menia ich molekulárne usporiadanie a tým teda menia aj polarizáciu svetla, ktoré cez tieto kryštály prechádza.



Obr. 5 LCD displej s veľkosťou 20x4 charaktery

Fig. 5 LCD display with a size of 20x4 characters

Štít je doplnok, ktorý sa pripája k vývojovej doske. Úlohou takéhoto štítu je zabezpečenie kvalitnejších kontaktov, odoberá nutnosť použitia kontaktnej dosky a umožňuje nám umiestniť všetky potrebné prvky na jednu dosku plošných spojov. Prvým krokom pri návrhu je potrebné si zvoliť program, v ktorom daný štít navrhujeme. Ďalej je potrebné skontrolovať, či daný program poskytuje potrebné knižnice pre návrh. Ak nie je potrebné tieto knižnice stiahnuť a vložiť do zložky, v ktorej sa nachádzajú všetky knižnice. Po skontrolovaní potrebných kritérií sme pre návrh daného štítu použili vývojové prostredie EasyEDA a dostupné knižnice tejto platformy. Na navrhnutom štíte sa nachádzajú všetky potrebné kontakty pre správnu funkčnosť daného zariadenia a taktiež aj potrebná riadiaca elektronika pre krokový motor. Ďalším krokom bola konverzia návrhu na priečinok typu gerber a následne sme súbor odoslali výrobcovi dosiek plošných spojov.



Obr. 6 Navrhnutý štít pre vývojovú dosku Arduino Mega2560

Fig. 6 Designed shield for Arduino Mega2560 development board

Návrh 3D modelu predstavoval pri tvorbe daného zariadenia dôležitú časť. 3D model nám umožnil počas tvorby dodržiavať určité rozmery, proporcionálne charakteristiky a rozmiestnenie jednotlivých častí ako krokový motor, farebný senzor, a iných častí vyrobených z dreva. Tento model zariadenia bol zhotovený v programe TinkerCAD od spoločnosti Autodesk, ktorý je dostupný aj na internete.

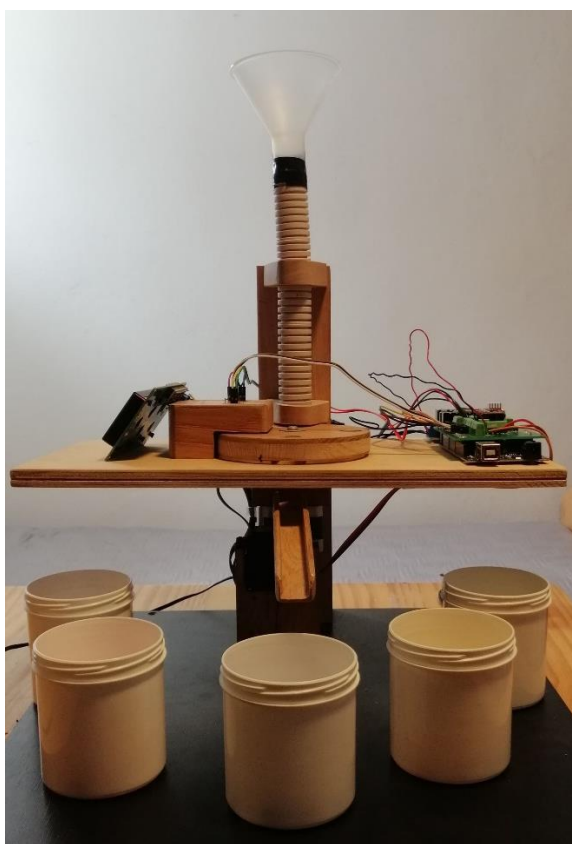


Obr. 7 3D model zariadenia pre triedenie materiálu

Fig. 7 3D model of a material sorting device

3 Výsledky a diskusia

Po dokončení modelu automatického triedenia materiálu na základe farby, môžeme povedať, že daný model korektne poukazuje na jeden zo spôsobov triedenia materiálu. Táto práca je vyhotovená z ekologicky spracovateľných materiálov a iných častí, ktoré môžeme aj po jej znehodnotení znova použiť. Tento model nachádza využitie aj vo farmaceutickom priemysle, v prípade triedenia liekov alebo aj v chemickom priemysle pri triedení hnojív. Nakoľko ide o prototyp zariadenia, pri jeho konštrukcii boli použité súčiastky, senzory a iná elektronika z Číny, čo sa v konečnom dôsledku prejavilo na presnosti zariadenia. V prípade, ak by sme chceli dosiahnuť väčšiu presnosť a efektivitu zariadenia, bolo by potrebné použiť súčiastky, senzory a elektroniku od kvalitnejších výrobcov.



Obr. 8 Model triedenia materiálu na základe farby
 Fig. 8 Color-based material sorting model

4 Záver

Cieľom danej práce bolo vytvoriť model triedenia materiálu na základe farby. Nakoľko v dnešnej dobe nekorrektne roztriedený materiál a odpadky predstavujú vážnu hrozbu, zhotovili sme prototyp zariadenia, ktorého účelom je poukázať na jeden zo spôsobov triedenia materiálu.

Daná práca predstavovala prínos vo viacerých oblastiach. Keďže určité časti práce sú vyhotovené z dreva, bolo potrebné využiť rôzne technológie obrábania materiálov, ako napríklad frézovanie, brúsenie a vrtanie. Na pripojenie elektroniky ku mikrokontroléru bol navrhnutý a vyrobený štít. Návrhom štítu sme nadobudli určité skúsenosti v oblasti návrhu,

výroby a osadzovania plošných spojov. V neposlednom rade sme taktiež zdokonalili aj naše schopnosti z oblasti programovania a práce s mikrokontrolérmi.

Stanovený cieľ tejto práce bol úspešne dosiahnutý, nakoľko tento model triedenia materiálu na základe farby korektne triedi vzorky podľa požadovaných kritérií.

5 Literatúra

WHO. 2016. *92% of the world's population breathe polluted air*[online]. roč. 10,2016 [cit. 2020-03-14]. Dostupné na : <[https://www.thelancet.com/journals/lanres/article/PIIS2213-2600\(16\)30330-7/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanres/article/PIIS2213-2600(16)30330-7/fulltext)>.

Súhrn

Nekorektná separácia odpadu a materiálov predstavuje v súčasnosti vážny problém. Cieľom tejto práce je zhotovenie modelu, ktorý triedi materiál na základe farby. Práca sa v prvom rade zaoberá problematikou separovania odpadov a materiálov a možným riešením daného problému. Na ukážku tohto princípu bol zhotovený model triedenia materiálu na základe farby, ktorý je riadený pomocou vývojovej dosky Arduino. Tento model korektne poukazuje na jednu z možností pri riešení tejto problematiky.

Kľúčové slová: Arduino, triedenie, odpad, mikrokontrolér

Touto cestou by som sa chcel úprimne poďakovať môjmu vedúcemu práce Ing. Marta Harničárová, PhD. a doc. Ing. Ondrej Lukáč, PhD. za odborné a cenné rady, pripomienky a poskytnutú pomoc pri vypracovávaní práce.

NÁVRH A KONŠTRUKCIA STIRLINGOVHO MOTORA DESIGN AND CONSTRUCTION OF A STIRLING ENGINE

DÁVID MACSÁNSZKY - JURAJ TULÍK

Abstract

The work was created with the aim to design and manufacture a functional model of a Stirling engine. Due to the fact that the engine is less known, in the introductory part I deal with the history, the use of the engine in the past as well as in the present. The next section explains the principle of operation of the engine, the differences between the various designs. Due to smaller design requirements, γ - motor modification was chosen in the work. The next part of the work deals with theoretical calculations for making a p-V diagram of the engine and the production itself. Part of the work is a 3D model of the engine and animation of disassembly created in SolidEdge ST8 program, complete production documentation created in AutoCade 2020. The last part deals with the production and measuring of engine parameters. Basic technologies of splint machining on CNC machines as well as 3D printing technology were used in the production. The output of the work is a functional model equipped with a generator and a speed sensor. The produced model can be used as a teaching tool.

Key words: Stirling engine, heat engine, ideal Stirling cycle, thermodynamics

1. Úvod

Zdroje ropy sú obmedzené a preto sa k spaľovacím motorom už dávnejšie hľadajú alternatívy, ktoré by vykazovali lepšie vlastnosti a neprodukovali škodlivé výfukové plyny. Stredobodom záujmu v poslednej dobe sa stáva výskum obnoviteľných zdrojov energií ako je energia vody, vetra, slnka, či zemského tepla. Najväčšou technickou výzvou je stále efektívna transformácia týchto energií na iné využiteľné formy, najmä na elektrickú. Jednou z možných alternatív je Stirlingov motor, ktorý vykazuje rad priaznivých vlastností: jednoduchá konštrukcia, vysoká účinnosť a životnosť, vyvážený a tichý chod, nevyžaduje väčšiu údržbu a voči životnému prostrediu je veľmi šetrný, nakoľko neprodukuje výfukové plyny.

Stirlingov motor je druhým najstarším tepelným motorom na svete, pričom najstarším je parný motor. Škótsky reverend Robert Stirling pred vyše dvesto rokmi navrhol a vyrobil prvý teplovzdušný motor, ktorý sa javil ako veľmi bezpečný a spoľahlivý oproti parným strojom. Motor bol patentovaný v roku 1816 a na svoju prevádzku používal teplo dodané z vonka. Motor pracuje v uzatvorenom termodynamickom cykle, ktorý sa nazýva Stirlingov cyklus. Jeho podstata spočíva v cyklickom zaťažovaní pracovného plynu kompresiou a expanziou pri rôznych teplotách. Hlavným prínosom patentu bol regenerátor, ktorý rapídne zvyšoval výkon motora. V patente bol označený ako „ekonomizer“ (Reid, 2016; Cinar et al, 2005). Môžeme ho chápať ako „termodynamickú špongiu“, ktorá striedavo absorbuje a uvoľňuje teplo. V ďalších rokoch nastala éra bezpečnejších motorov, nakoľko u parných strojov často dochádzalo k výbuchom kotla. Zo začiatku sa motor používal na čerpanie vody v kameňolomoch a v baniach (Walker, 1973). Neskôr si našiel využitie aj v netradičných oblastiach priemyslu, ale aj v domácnostiach, napr. v železničnej doprave, v zubných ambulanciách, dokonca sa používal na pohon domácich ventilátorov v tropických oblastiach,

či šijacích strojoch. Éra Stirlingovho motora končí s nástupom menších motorov s vnútorným spaľovaním (Ottov a Dieselov motor) a neskôr aj elektrických motorov (Thombare, 2008). Boli pokusy aj na nasadenie motora do automobilov ako hlavná pohonná jednotka, čo sa nakoniec neosvedčilo. Dôvodom boli najmä nižšie otáčky, krútiace momenty a príliš oneskorená akcelerácia motora. Motor si zato našiel svoje uplatnenie hlavne v takých oblastiach, kde nie je nutná náhla zmena výkonu. V dnešnej dobe sa spúšťajú výskumy osadenia Stirlingovho motora do hybridných aut (Djetel, 2017).

Nakoľko sa jedná o motor s vonkajším spaľovaním, na jeho pohon môžeme použiť ľubovoľný zdroj tepla, ako je slnečná energia, tepelná energia získaná z biomasy alebo odpadového tepla, či z geotermálnych zdrojov. Stirlingov motor je teda ekologickou alternatívou obnoviteľných zdrojov energie. Z tohto dôvodu si motor našiel uplatnenie v súčasnosti v ponorkách ako generátor elektrickej energie, chladnička pre vakcíny (stirlingultracold.com), cryochladiče, tepelné čerpadlo, kongeneračná jednotka, v slnečných elektrárnach či v kozmonautike.

Význam biomasy, ako zdroj energie, sa postupne zvyšuje s rastúcimi emisiami CO₂ (Gawlik et al, 2016). Biomasu na pohon motora je možné vyrobiť pri veľmi nízkych nákladoch z lesníckeho, poľnohospodárskeho, domáceho a priemyselného odpadu (minzp.sk). Slovenská republika sa zapojila do projektu Európskej únie s cieľom zvýšiť podiel obnoviteľných zdrojov energie na 20% do roku 2020. Slovenské elektrárne vo Vojanoch a v Novákoch na výrobu elektrickej energie požívajú teplo získané spaľovaním biomasy (seas.sk).

Z hľadiska konštrukčného vyhotovenia rozlišujem tri základné modifikácie Stirlingovho motora: alfa, beta a gama. Modifikácia alfa je náročná na výrobu z hľadiska tesnenia obidvoch valcov, najmä u teplého valca. Beta modifikácia má zložitý kľukový mechanizmus, nakoľko sa oba piesty nachádzajú v jednom valci, ktorého výroba je pomerne zložitá a vyžaduje si presné nastavenie. Gama modifikácia sa javí ako vhodný kompromis pri konštrukcii malých modelov. Nevyžaduje vysokú presnosť vyhotovenia jednotlivých komponentov, pričom na pohon postačí aj plameň liehového kahana. Cieľom predkladaného dokumentu je oboznámiť čitateľa s princípom činnosti Stirlingovho motora, so základnými zákonitosťami termodynamiky v rozsahu potrebnými pre výpočet p-V diagramu modelu motora a návrh konštrukčného riešenia gama-modifikácie modelu. Konečným produktom je funkčný model motora aj s technickou dokumentáciou.

2. Materiál a metódy

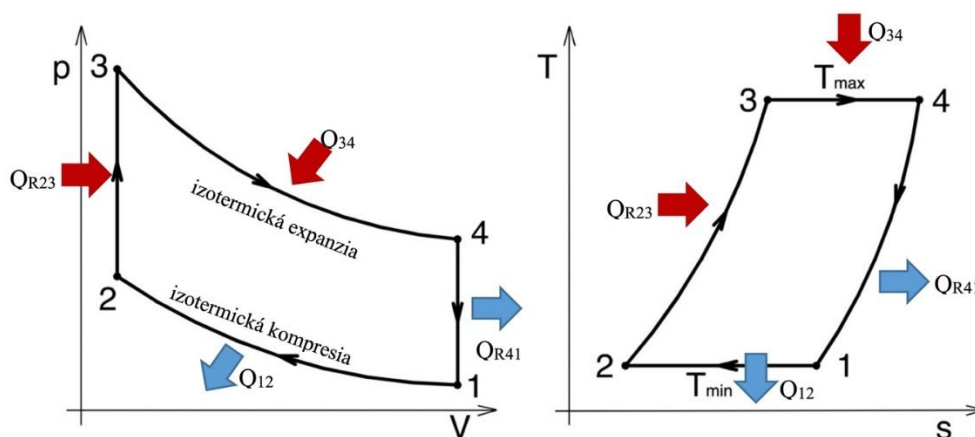
Stirlingov ideálny cyklus

Z termodynamického hľadiska je teplo surovina, ktorej časť je možné premeniť na mechanickú prácu. Samotná premena sa uskutočňuje v rámci Stirlingovho cyklu, ktorý pozostáva z dvoch izotermických a dvoch izochorických dejov. Priebeh termodynamických veličín môžeme sledovať na p-V a T-S diagrame, obrázok 1:

Medzi bodmi **1 a 2** prebieha **izotermická kompresia**, objem postupne klesá a tlak narastá. Energiu potrebnú k stlačeniu plynu zabezpečuje zotrvačník. Vzniknuté teplo počas kompresie Q_{12} je odvedené cez chladič do vonkajšieho prostredia.

Medzi bodmi **2 a 3** prebieha **izochorický ohrev**, teplo Q_{R23} potrebné na ohrev pracovného plynu dodáva regenerátor. Objem plynu je konštantný, stúpa len teplota a tlak. Maximálny tlak v motore je v bode 3.

Na úseku medzi bodmi **3 a 4** prebieha **izotermická expanzia**. Pracovný plyn koná prácu, pôsobí silou na píst, ktorý poháňa zotrvačník. Aby počas expanzie neklesla teplota pracovného plynu, je potrebné dodať teplo do systému z vonkajšieho zdroja (Q_{34}). Množstvo dodaného tepla sa rovná vykonanej práci.



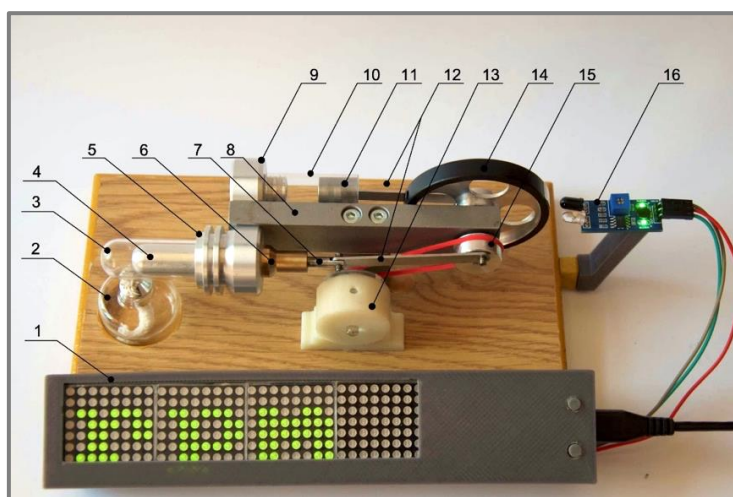
Obr. 1 p-V a T-S diagram ideálneho Stirlingovho cyklu
 Fig. 1 p-V and T-s diagram of the Ideal Stirling cycle

1- východiskový bod, v ktorom je objem plynu V_1 a jeho tlak p_1 . V ostatných bodoch je značenie identické. Q_{12} - množstvo odvedeného tepla (cez chladič), Q_{34} - dodané teplo do systému, Q_{R23} , Q_{R41} - množstvo tepla odovzdané a prijaté regenerátorom

Medzi bodmi 4 a 1 sa odohráva **izochorické ochladzovanie**. Pri konštantnom objeme klesá teplota a tlak. Znižovanie teploty spôsobuje regenerátor, ktorý absorbuje teplo z pracovného plynu (Q_{R41}). V tomto bode (východiskový bod) je najnižší tlak v motore (Škorpík, 2013).

2.1. Dizajn a konštrukčné usporiadanie motora

Cieľom práce bolo vyhotoviť model γ -modifikácie motora. Ako tepelný zdroj sa použil liehový kahan. Pri zhotovení súčiastok sú nižšie požiadavky na presnosť, čomu mal vyhovovať bežný CNC sústruh a fréza. V prvom kroku sa navrhlo konštrukčné riešenie: dva valce umiestnené vodorovne vedľa seba, jeden kompresný druhý expanzný. Ako materiál pre valce a piest sa zvolilo sklo. Všetky rozmery motora sa stanovili vzhľadom na rozmery valcov (skúmaviek). Nápomocný bol program Solid Edge ST8, v ktorom sa vytvoril model motora. Pri určovaní a zmene rozmerov sa využila výhoda parametrického modelovania. Rozmiestnenie hlavných komponentov je vidieť na obrázku 2.

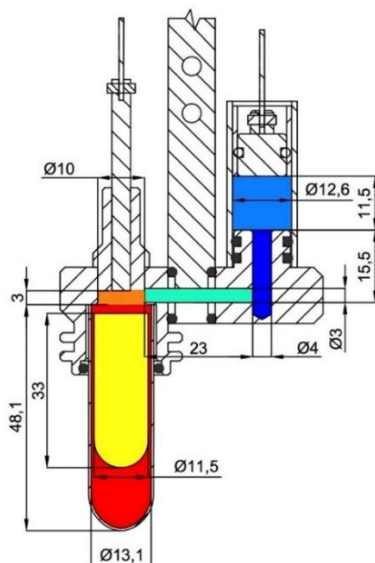


Obr. 2 Rozloženie základných častí vyrobeného modelu γ -modifikácie Stirlingovho motora

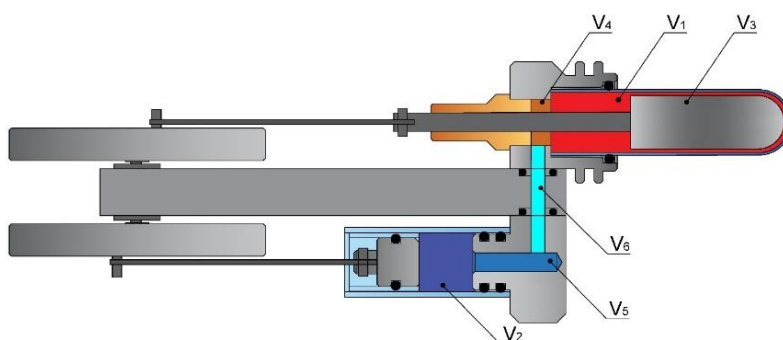
Fig. 2 Arrangement of the basic part of the manufactured γ -modification Stirling engine
 1- matrice displeja s riadiacou jednotkou na snímanie otáčok, 2- liehový kahan, 3- teplý valec, 4- premiestňovací piest, 5- držiak teplého valca (zároveň aj chladič), 6- púzdro, 7- tiahlo, 8- nosník, 9- držiak studeného valca, 10- studený valec, 11- pracovný piest, 12- ojnice, 13- generátor, 14- zotrvačník, 15- remenica, 16- IR snímač

2.2. Výpočet p-V diagramu ideálneho Stirlingovho cyklu vlastného motora

Jednotlivé objemy motora sú zrejmé z obrázkov 3 a 4, vypočítané objemy sú v tabuľke 1.



Obr. 3 Znáznornenie rozmerov vnútorných objemov
 Fig. 3 Representation of internal dimensions



Obr. 4 Označenie objemov
 Fig. 4 Layout of volumes

Tab. 1 Vypočítané objemy motora
 Tab. 1 Calculated volumes of the engine

Popis	Označenie	Hodnota v mm ³
Pracovné objemy motora:		
Teplý valec	V ₁	6 188,75
Studený valec	V ₂	1 433,9
Objem premiestňovacieho piesta	V ₃	3228,6
Mŕtve objemy:		
Objem za teplým valcom	V ₄	235,6
Objem pred studeným valcom	V ₅	194,8
Objem spojovacieho kanála	V ₆	162,6
Maximálny objem motora	$V_{\max} = V_1 + V_2 - V_3 + V_4 + V_5 + V_6$	4 987,1
Minimálny vnútorný objem motora	$V_{\min} = V_{\max} - V_2$	3553,1
Kompresný pomer	$\varepsilon = V_{\max}/V_{\min}$	1,4

Výpočet bodov p-V diagramu

V prvom kroku sa vypočíta hmotnosť vzduchu nachádzajúce sa v motore. Vychádzalo sa z predpokladu, že motor je v kludovom stave pri izbovej teplote ($22^{\circ}\text{C}=295,15\text{K}$), normálnom atmosférickom tlaku $101\,325\text{ Pa}$ a pracovný piest je v polohe dolnej úvratí, keď je vnútorný objem plynu $V_{\max} = 4\,987,1 \cdot 10^{-9}\text{ m}^3$. Hmotnosť plynu v motore sa vypočítala pomocou stavovej rovnice ideálneho plynu, kde r je špecifická plynová konštanta vzduchu:

$$m = \frac{p \cdot V}{r \cdot T} = \frac{101\,325\text{ Pa} \cdot 4\,987,1 \cdot 10^{-9}\text{ m}^3}{287,1 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 295,15\text{ K}} = 5,963 \cdot 10^{-6}\text{ kg} \quad (1)$$

Bod číslo 1 p-V diagramu zodpovedá východiskovému stavu, kde objem vzduchu v motore je maximálny: $V_{\max} = 4\,987,1 \cdot 10^{-9}\text{ m}^3$. Tlak plynu v motore sa vypočíta opäť pomocou stavovej rovnice ideálneho plynu, pričom teplota studeného valca počas práce motora sa stanovila meraniami: $48^{\circ}\text{C} = 321,15\text{ K}$.

$$p_1 = \frac{m \cdot r \cdot T_{\min}}{V_1} = \frac{5,963 \cdot 10^{-6}\text{ kg} \cdot 287,1 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 321,15\text{ K}}{4\,987,1 \cdot 10^{-9}\text{ m}^3} = 110\,250,8\text{ Pa} \quad (2)$$

V bode 2 je objem pracovného plynu minimálny: $V_{\min} = 3\,553,1 \cdot 10^{-9}\text{ m}^3$.

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot V_1}{V_2} = \frac{110\,250,8\text{ Pa} \cdot 4\,987,1 \cdot 10^{-9}\text{ m}^3}{3\,553,1 \cdot 10^{-9}\text{ m}^3} = 154\,744,6\text{ Pa} \quad (3)$$

V bode 3 je objem pracovného plynu totožný s objemom v bode 2. Teplota plynu však stúpa a z toho dôvodu sa zvyšuje aj tlak. Množstvo prijatého tepla z regenerátora sa vypočíta podľa nasledovnej rovnice:

$$Q_{R23} = m \cdot c_v \cdot (T_{\max} - T_{\min}) = 1,35\text{ J} \quad (4)$$

Kde: c_v je hmotnostná tepelná kapacita vzduchu meraná pri konštantnom objeme a má hodnotu $c_v = 733 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ [ohio.edu], $T_{\max}$, $T_{\min}$ označujú teplotu teplého a studeného valca, ktoré sa stanovili meraním: $T_{\max} = 357^{\circ}\text{C} = 630,15\text{ K}$, $T_{\min} = 48^{\circ}\text{C} = 321,15\text{ K}$

Tlak v motore:

$$p_3 = p_{\max} = \frac{p_2 \cdot T_{\max}}{T_{\min}} = 303\,634,7\text{ Pa} \quad (5)$$

V bode 4 v dôsledku expanzie sa objem plynu zvýši na maximum. Výpočet tlaku:

$$p_4 = \frac{p_3 \cdot V_3}{V_4} = 216\,330,5\text{ Pa} \quad (6)$$

Späť do bodu 1 sa systém dostane tak, že pracovný plyn je pretláčaný cez regenerátor pomocou premiestňovacieho piesta, pričom mu regenerátor odoberie teplo. Teplota pracovného plynu tak klesne na $T_{\min}$. Vypočítané množstvo tepla odovzdané do generátora bude záporné:

$$Q_{R41} = m \cdot c_v \cdot (T_{\min} - T_{\max}) = -1,35\text{ J} \quad (7)$$

Zostrojenie p-V diagramu

Izotermická expanzia a kompresia predstavuje krivku a aby sa mohla zostrojiť, potrebujeme vypočítať čo najviac možných bodov pre daný objem a tlak.

Z údajov podľa obrázka 5 je možné odvodiť vzťah pre výpočet objemu motora v závislosti od natočenia hriadeľa (Škorpík, 2013):

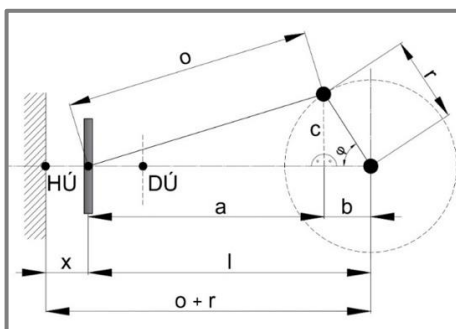
$$x = o + r - \sqrt{o^2 - r^2 \sin^2 \varphi} - r \cdot \cos \varphi \quad (8)$$

Okamžitý objem motora sa vypočíta nasledovne:

$$V = V_{\min} + x \cdot S$$

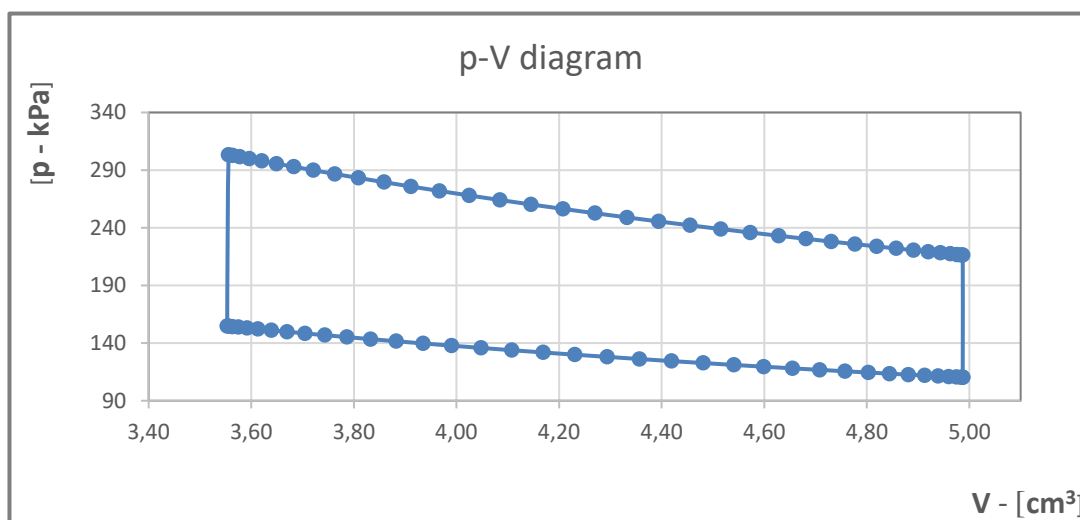
Kde: $V_{\min}$ - minimálny objem motora, S - plocha pracovného piesta

Uvedené výpočty sa vykonali v rôznych polohách zotrvačníka (v 5 stupňových krokoch) v programe MS Excel. Zo získaných výsledkov sa zostrojil p-V diagram, viď. obr. 6.



Obr. 5 Kinematická schéma kľukového mechanizmu kompresného piesta
 Fig. 5 Kinematic scheme of crank mechanism of the compression piston

HÚ- horná úvrať, DÚ- dolná úvrať, x- vzdialenosť piesta od hornej úvrate, a- vzdialenosť piesta od konca ramena kľuky, b- vzdialenosť konci ramena kľuky od stredu otáčania zotrvačníka, r- rameno kľuky, o- dĺžka ojnice, l- aktuálna vzdialenosť piesta od stredu otáčania zotrvačníka, φ- uhol natočenia hriadeľa



Obr. 6 Vypočítaný p-V diagram motora
 Fig. 6 Calculated p-V diagram of the engine

Termická účinnosť

Keďže termická účinnosť Stirlingovho cyklu sa zhoduje s účinnosťou Carnotovho cyklu, potom sa vypočíta nasledovne (Škorpík, 2013):

$$\eta = \frac{T_{max} - T_{min}}{T_{max}} = 0,49 \quad (9)$$

Výpočet práce

Množstvo práce dodanej do systému počas kompresie bolo vypočítané na základe rovnice:

$$W_{12} = p_1 \cdot V_1 \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (10)$$

Výpočet práce konanej počas expanzie:

$$W_{34} = p_3 \cdot V_3 \cdot \ln \frac{V_4}{V_3} \quad (11)$$

Celková práca počas jedného cyklu:

$$W = W_{12} + W_{34} = -0,19 \text{ J} + 0,37 \text{ J} = 0,18 \text{ J}$$

Otáčky sa stanovili meraniami: $f = 1\,730 \text{ min}^{-1}$. Tieto otáčky produkoval motor s jedným zotrvačníkom a pripojeným generátorom bez záťaže.

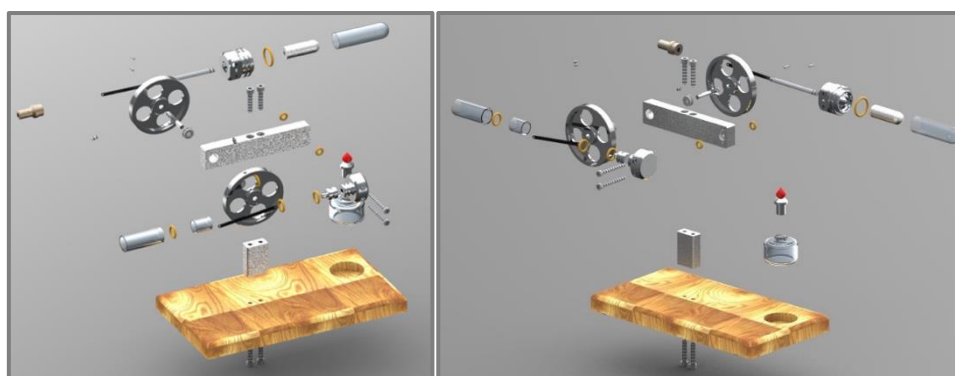
Výpočet výkonu:

$$P = \frac{W}{t} = W \cdot f = 0,18 \text{ J} \cdot \frac{1730}{60} \text{ s}^{-1} = 5,19 \text{ W} \quad (12)$$

Treba spomenúť, že sa jedná o teoretickú hodnotu Stirlingovho cyklu a skutočný výkon je rádovo nižší.

2.3. Výroba komponentov

Po stanovení základných rozmerov súčiastok sa vyhotovil 3D model a animácie v programe Solid Edge ST8. V ďalšom kroku sa vytvorili výrobné výkresy v programe AutoCAD 2020. Počítačové modely sa preniesli do programu KeyShot6 a vytvorili sa fotorealistické vizualizácie, ktoré vidieť na obrázku 7.



Obr. 7 Rozloženie komponentov, renderované pomocou programu KeyShot6

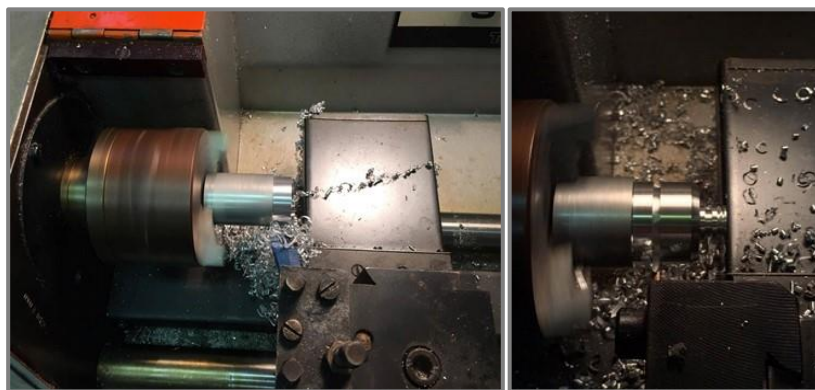
Fig. 7 Layout of components rendered in KeyShot6

Pri výrobe sa použili základné spôsoby trieskové obrábania, sústruženie na CNC sústruhu SUF16 a frézovanie. NC-program pre sústruh bol napísaný v programe S2000.

Pracovné valce - Nakoľko sa požaduje maximálna tesnosť pri minimálnom trení a samozrejme odolnosť voči vyšším teplotám liehového kahana, tak sa rozhodlo pre žiaruvzdorné sklo, presnejšie skúmavky používané v chemických laboratóriách.

Piesty- Materiál pracovného piesta je sklo. Premiestňovací piest čiastočne plní aj úlohu regenerátora a z tohto dôvodu je potrebné ho dimenzovať s väčšou dĺžkou. Spravidla platí, že tvorí dve tretiny dĺžky teplého valca. Ako materiál sa zvolili hliník AW 2007.

Chladič a držiak valca - Ide o dve súčiastky, z ktorých sa jedna pripája k studenému a druhá k teplému valcu. Ich úlohou je uchytiť sklenené valce (použitím tesniacich O-kružkov) a zároveň slúžia aj ako chladič pracovného plynu. Ako materiál sa použil hliník AW 2007, nakoľko má dobrú tepelnú vodivosť ($\lambda = 160 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) (gleich.de). Ich výrobu vidieť na obrázku 8.



Obr. 8 Sústruženie držiaku studeného valca na sústruhu SUF16
 Fig. 8 Turning the holder of the cold cylinder on the SUF16 lathe

Tesniace krúžky- K uchyteniu valcov sa použili O-tesniace krúžky, ktoré sa vybrali na základe vonkajších a vnútorných priemerov sklenených valcov. Nakoľko tieto plochy sú vystavené vyšším teplotám (cca 180-200°C), použili sa krúžky vyrobené z teflónu (obchodné značenie PTFE). Výrobca udáva tepelnú odolnosť do +250°C.

Vedenie ojnice- Na tiahlo piesta sa napája premiestňovací piest, ktorý vykonáva oscilačný pohyb. Vedenie ojnice teplého valca je riešené púzdom z mosadze, ktorá je vlisovaná do hliníkového držiaku teplého valca. Pri tejto súčiastke sa vyžaduje najväčšia presnosť, nakoľko ak je veľká vôľa v osadení, pracovný plyn unikne. Ak je osadenie príliš tesné, tak vplyvom veľkej trecej sily sa motor nerozbehne. Táto súčiastka sa vyrobila sústružením a vrtaním.

Kľukový mechanizmus- K premene lineárneho pohybu piestu na rotačný pohyb sa použil kľukový mechanizmus. Tvoria ho dve ojnice z tenkých oceľových plechov, ktoré zapadajú do čapov zotrvačníka a piestov. Pre zaistenie ojnic na čapoch sa použil gumený návlek.

Čapy, hriadeľ a tiahlo- Pre výrobu čapov, hriadeľa zotrvačníka a tiahla premiestňovacieho piesta sa zvolil materiál oceľ triedy 12 000. Čapy boli následne montované lisovaním.

Stojan- Stojan je nosnou konštrukciou motora. Slúži na uchytenie valcov a zotrvačníka. Ako materiál sa zvolil konštrukčný oceľ triedy 11 500, ktoré boli opracované vrtaním a frézovaním. Skladajú sa z dvoch častí, ktoré sú spojené skrutkami M4x20.

Podstavec- Podstavec je vyhotovený z dreva, na ktorý je uchytená sústava držiakov a tým pádom celý motor. Pod teplým valcom sa vyhotovilo zahĺbenie pre liehového kahana.

Zotrvačník- Úlohou zotrvačníkov je vrátenie pracovného piestu do východiskovej polohy a tým zabezpečiť plynulý chod motora. Uskladňuje energiu získanú z expanzie (úsek 3-4 na p-V diagrame) a následne jej časť vráti späť do systému pri kompresii (úsek 1-2). Použil sa hliníkový polotovár, ktorý bol obrobený sústružením a frézovaním.

Remenica- Výroba bola realizovaná na sústruhu, následne sa vyvrtali diery, nalisoval čap a narezal závit na skrutku M3x5, s ktorým sa fixuje na hriadeľ. Ako materiál sa použil už spomenutý hliník AW 2007.

Plastové diely- Držiaky, puzdra a kryt boli vyrobené technológiou FDM na 3D tlačiarňi. Pre držiak generátora bol zvolený biely filament z materiálu ABS, ktorý sa vyznačuje vysokou pevnosťou. Pre usadenie mikrokotrollera ESP 8266 a ďalších komponentov snímača otáčok sa zvolil sivý filament, z materiálu PETG, vidieť na obrázku.

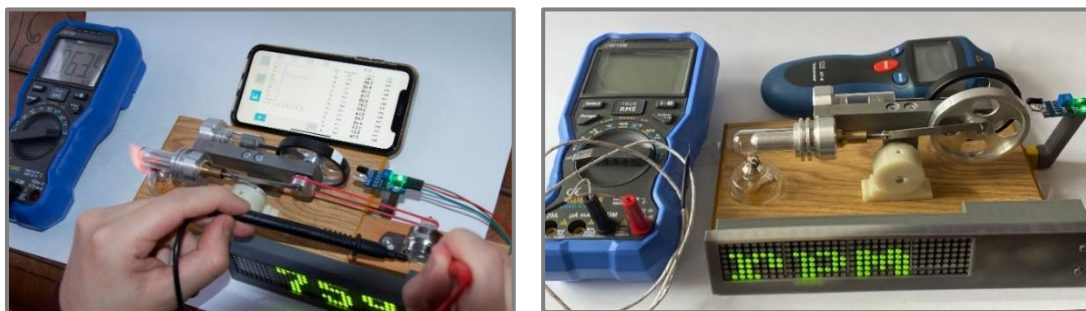
2.4. Experimentálne meranie parametrov motora

Cieľom bolo vykonať merania veličín, ktoré sú potrebné pre výpočet p-V diagramu a stanovenie výkonu: prevádzkové teploty, otáčky motora pri rôznych konfiguráciách, napätie a prúd generované na svorkách generátora. Vzhľadom na epidemiologickú situáciu, merania sa uskutočnili v domácich podmienkach.

Meranie teploty: Merania boli uskutočnené po stabilizovaní otáčok motora, čo nastalo po piatich minútach. Teplota sa merala pomocou multimetra značky OW18B na ktorý sa pripojil termočlánok typu K s rozsahom merania -50 až 400°C. Multimeter má zabudovanú funkciu preposielania a zaznamenania nameraných hodnôt cez Bluetooth na mobilný telefón. Aplikácia mobilného telefónu snímala hodnoty teploty v intervaloch 1 sekunda. Všetky hodnoty merania boli preposlané na osobný počítač, z ktorých sa vypočítali priemerné hodnoty.

Keďže nebola možnosť priamo merať teplotu pracovného médiu vo vnútri skleného valca, tak sa pristúpili k vlastnej metóde: po uhasení plameňa a zastavení motora (aby neodčerpával teplo) sa okamžite merala teplota vonkajšieho povrchu skleneného valca. Vychádzalo sa z predpokladu, že v tomto momente sa teplota pracovného plynu zhoduje s teplotou skleneného valca. Pri meraní teploty studeného valca sa postupovalo podobne s tým rozdielom, že meranie bolo možné uskutočniť aj počas horenia liehového kahana.

Meranie otáčok: Na stanovenie otáčok sa vyrobil otáčkomer podľa návodu dostupného na: (github.com), pričom sa zmenil len použitý infračervený snímač. Potrebné komponenty boli zakúpené cez spoločnosť Techfun s.r.o. Merania sa vykonali pri rôznych zaťaženiach motora. Na overenie presnosti zhotoveného otáčkomera sa použil laserový digitálny otáčkomer CEM-AT 6, ktorý vidieť na obrázku 9. Počas merania obe zariadenia vykazovali skoro rovnaké hodnoty.



Obr. 9 Meranie prúdu generátora a použité meracie prístroje
 Fig. 9 Generator current measurement and used measuring devices

Meranie výkonu motora: Cieľom bolo zistiť výkon motora počas prevádzky a porovnať ho s vypočítaným výkonom. K motoru sa pripojil cez remeň generátor, na ktorom sa meralo výstupné napätie a prúd. Meranie trvalo približne 1 minútu, počas ktorej bolo prenesených 60 výsledkov do mobilu. Postup merania a použité prístroje vidieť na obrázku 9.

Z nameraných hodnôt sa stanovili priemerné hodnoty a výkon sa vypočítal nasledovne:

$$P = U \cdot I = 2,76 \text{ V} \cdot 0,0653 \text{ A} = 0,18 \text{ W} \quad (13)$$

3. Výsledky a diskusia

Výsledkom práce je fungujúci model Stirlingovho motora vybavený generátorom a otáčkomerom s kompletnou technickou dokumentáciou. Namerané hodnoty parametrov motora sú zhrnuté v tabuľke 2.

Tab. 2 Namerané a vypočítané hodnoty z experimentálneho merania

Tab. 2 Measured and calculated values from the experimental measurements

Meraná veličina	Komentár	Nameraná hodnota	Jednotka
Teplota	Studený valec	48	°C
	Teplý valec	357	°C
Otáčky	Dva zotrvačníky	2541	ot. min ⁻¹
	Jeden zotrvačník	2230	ot. min ⁻¹
	Jeden zotrvačník s pohonom generátora	1730	ot. min ⁻¹
	Jeden zotrvačník so zaťaženým generátorom	775	ot. min ⁻¹
Výkon meraný pomocou generátora	Prúd	65,3	mA
	Napätie	2,76	V
	Vypočítaný výkon	0,18	W
Poznámka:	Merania boli vykonané pri izbovej teplote 22°C.		

Ďalším výsledkom práce je teoretický p - V diagram motora. Pri termodynamických výpočtoch sa vychádzalo zo stavovej rovnice ideálneho plynu, čo vnáša niekoľko idealizujúcich predpokladov. Vypočítané hodnoty tlaku a objemu v jednotlivých bodoch p - V diagramu sú uvedené v tabuľke 3.

Tab. 3 Hodnoty v hlavných bodoch p - V diagramu a sily pôsobiace na pracovný piest

Tab. 3 Values at main points of the p - V diagram and the forces acting on the working piston

Bod grafu	V [mm ³]	p [Pa]	T [K]	F [N]
1	4 987,0650	110 250,8004	321,15	1,1130
2	3 553,1321	154 744,5704	321,15	6,6609
3	3 553,1321	303 634,7223	630,15	25,2260
4	4 987,0650	216 330,5057	630,15	14,3400

Teoretické výpočty navrhnutého motora jednoznačne naznačovali, že motor bude funkčný. Ako zdroj tepla sa použil plameň liehového kahana, ktorého teplota je približne 600°C. Podľa výpočtov pri tejto teplote je maximálny tlak pracovného plynu v motore približne 303 kPa a sila pôsobiaca na piest 25,26 N. Predpokladalo sa, že táto sila bude dostatočná na prekonanie všetkých brzdiacich síl.

Termická účinnosť vyšla na $\eta = 49\%$. Pri pohľade na tieto čísla ale nesmieme zabudnúť, že sa jedná o teoretické hodnoty, ku ktorým sa dospelo za predpokladu ideálnych podmienok.

Vypočítaná práca ideálneho Stirlingovho cyklu bola stanovená na $W = 0,18$ J, výkon motora predstavuje $P = 5,19$ W. Rozdiel medzi vypočítaným a nameraným výkonom je $\Delta P = 5,19$ W – 0,18 = 5,01 W a poukazuje na zložitost' termodynamických dejov, ktoré nie je možné opísať jednoduchými rovnicami, a takto vypočítané hodnoty sú vysoko idealizované. Ďalším zistením je, že po zapálení kahana treba počkať približne 40 sekúnd, kým sa motor zohreje a je možné ho naštartovať. Na tomto mieste treba uviesť, že Stirlingov motor nie je schopný sa sám rozbehnúť. Treba ho naštartovať dodaním vonkajšej sily – mechanickým roztočením zotrvačníka.

4. Záver

Hlavným cieľom práce bolo navrhnuť a vyrobiť funkčný model γ -modifikácie Stirlingovho motora. Jedná sa o komplexnú prácu, ktorá zahŕňa návrh konštrukcie, termodynamické

výpočty ako aj praktickú výrobu gama modelu Stirlingovho motora. Pri výrobe boli použité základné technológie trieskového obrábania na CNC strojoch tak i technológia 3D tlačenia. Pôvodne bol motor vybavený dvoma zotrvačníkmi, priebehom práce sa ale pristúpilo k vybaveniu motora generátorom a snímačom otáčok. Malý elektrický generátor je zaťažený RGB LED diódou a je poháňaný cez remeň.

Zvyšujúci sa dopyt po „čistých“ energiách dostal tento vynález opäť do záujmu vedeckých skúmaní a zdá sa, že zásluhou vynálezu nových konštrukčných riešení ako aj materiálov, aplikácii informačných technológií, sa darí zvyšovať účinnosť motora a pomaly sa blíži čas ich masového nasadenia nielen v priemysle, ale aj v domácnostiach. Otázkou je, kedy sa hromadne udomácní v našich príbytkoch.

Ciele práce považujem za dosiahnuté. Zhotovený model je možné použiť ako učebnú pomôcku.

5. Literatúra

Dr.REID, John S. 2016. *Stirling Stuff: Marking the bicentenary of Robert Stirling's first patent* [online]. Aberdeen: University of Aberdeen. [cit. 2021-03-18]. Dostupné na: <<https://homepages.abdn.ac.uk/npmuseum/article/StirlingStuffIllustr.pdf>>

CINAR, Can et al. 2005. Beta-type Stirling engine operating at atmospheric pressure. In *Applied Energy*, vol. 81, no.4, pp. 351-357, ISSN: 0306-2619 [cit. 2021-03-18] Dostupné na: <<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2004.08.004>>

WALKER, Graham. 1980. *Stirling engines*. United States : Oxford University Press. 554 s. ISBN-13: 978-0198562092

THOMBARE, D.G – VERMA, S.K. 2008. Technical developement in the Stirling cycle engines. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online], ISSN: 1364-0321, vol 12, no. 1, pp. 1-38, [cit. 2021-03-20] Dostupné na: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.07.001>>

DJETEL, Steve at al. 2017. *A Stirling Engine for Automotive Applications: Vehicle Power and Propulsion Conference*, [online]. Belfort, France. [cit. 2021-03-21] Dostupné na: <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02131002>>

COVID Vaccines Solutions eBook. 2021. In *Stirlingultracold.com* [online]. © 2021 [cit. 2021-03-21]. Dostupné na: <<https://bit.ly/2PCargI>>

GALWIK, Lidia – SZURLEJ, Adam – WYRWA, Arthur. 2015. The impact of the long-term EU target for renewables on the structure of electricity production in Poland, In *Energy* [online], vol 92, no.2, pp.172-178 ISSN: 0360-5442. [cit. 2021-03-24] Dostupné na: <<https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.05.066>>

Biomasa. In *minzp.sk* [online] © 2021 [cit. 2021-03-25]. Dostupné na: <<https://www.minzp.sk/klima/obnovitelne-zdroje-energie/biomasa/>>

Biomasa v elektrárnach. In *seas.sk* [online] © 2021 [cit. 2021-03-25]. Dostupné na: <<https://www.seas.sk/biomasa>>

ISRAEL, Urieli. *Specific Heat Capacities of Air* In *ohio.edu* [online] © 2010 [cit. 2021-03-28]. Dostupné na: <<https://bit.ly/3fpRkRV>>

ŠKORPÍK, Jiří. Oběh Stirlingova motoru. In transformacní technologie.cz [online] © 2009 [cit. 2021-03-28]. Dostupné na: <<https://www.transformacni-technologie.cz/34.html>>

Tyč EN AW2007 Technický list. In gleich.de [online] © 2021 2021 [cit. 2021-03-28]. Dostupné na: <https://gleich.de/cz/wp-content/uploads/sites/8/2017/04/cz_en_aw_2007.pdf>

PENNINGS, Maarten. 2017. Rpm meter [softvér]. Version 4a [prístup 2017-08-21] Dostupné na: <<https://github.com/maarten-pennings/mRPM>>

Súhrn

Práca vznikla s cieľom navrhnúť a vyrobiť funkčný model Stirlingovho motoru. Z dôvodu, že je motor menej známy, sa úvodná časť venuje histórii, využitiu motoru v minulosti ako aj súčasnosti. V ďalšej časti je vysvetlený princíp fungovania motoru, rozdiely medzi jednotlivými konštrukčnými prevedeniami. Vzhľadom na menej náročné konštrukčné požiadavky sa v práci zvolila γ –modifikácia motoru. Nasledovná časť práce sa zaoberá s teoretickými výpočtami pre zhotovenie p-V diagramu motoru a samotnou výrobou. Súčasťou práce je 3D model motoru a animácia rozoberania v programe SolidEdge ST8, kompletná výrobná dokumentácia vytvorená v AutoCade 2020. Posledná časť sa zaoberá výrobou a meraním parametrov motoru. Pri výrobe boli použité základné technológie trieskového obrábania na CNC strojoch tak i technológia 3D tlačenia. Výstupom práce je funkčný model vybavený generátorom a snímačom otáčok. Zhotovený model je možno využiť ako učebnú pomôcku.

Kľúčové slová: Stirlingov motor, teplovzdušný motor, ideálny Stirlingov cyklus, termodynamika

Na tomto mieste by som poďakoval môjmu školiteľovi inžinierovi Jurajovi Tulíkovi, PhD. za cenné rady a pomoc pri vedení práce.

POROVNANIE DVOCH METÓD VÝPOČTU STATICKÉHO UHĽA PRIEČNEJ STABILITY TRAKTORA COMPARISON OF TWO CALCULATION METHODS FOR STATIC OVERTURNING ANGLE OF TRACTOR LATERAL STABILITY

MARTIN MEDOVIČ – RUDOLF ABRAHÁM

Abstract

The paper presents a comparison of the static lateral stability of the tractor Deutz-Fahr 5100G in the field of the ISO 16321-2 (2015) with an alternative available method according to Grečenko (1963). The weight distribution of the tractor axles was measured to calculate the vertical and longitudinal coordinates of the centre of gravity (COG). The calculations were focused on a tractor equipped with three rear wheel load modifications (0 kg, 180 kg 300 kg) and with minimum, medium and maximum rear wheel track. Static transverse stability was calculated according to the ISO standard and subsequently according to Grečenko (1963). We compared the results with each other and determined the percentage differences in both methods. Maximal rear wheel ballast weight of 300 kg and maximal overall width on tyres of 1.89 m improved the static overturning angle about 12.5° compared to the minimal rear wheel ballast weight of 0 kg and minimal overall width on tyres of 1.145 m. Comparing the data of Grečenko (1963) 0,5p with the ISO 16321-2 (2015) standard, the differences were on average 15.83% in the case of the minimal overall width on tyres, 12.76% for the medium overall width and 11.19% in the case of the maximal overall width of rear tyres.

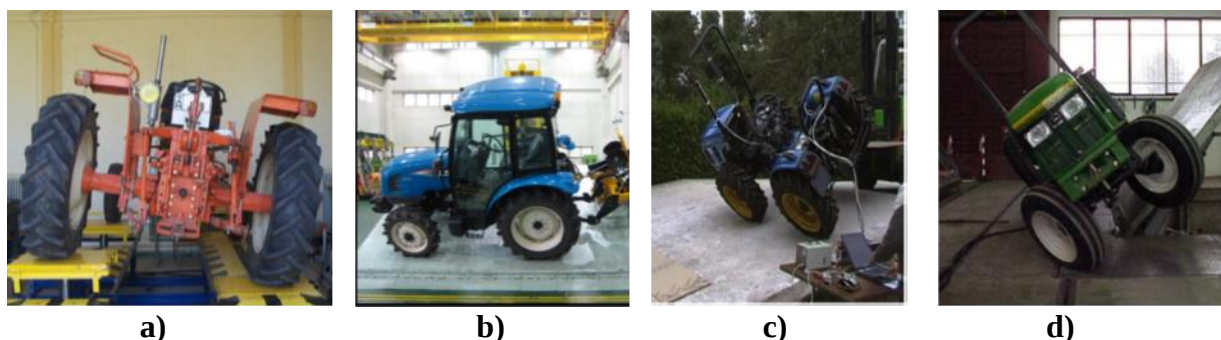
Key words: : lateral overturning, centre of gravity, ballast weight, compare data

1 Úvod

Prevrátenie traktora je nebezpečná nehoda, pri ktorej je ohrozená obsluha traktora a poškodený traktor. Zlepšenie konštrukcie traktorov nemôže úplne eliminovať riziko týchto nehôd. Neustále rastúci dopyt po poľnohospodárskych výrobkoch viedol k pestovaniu aj na plochách, ktoré nie sú ideálne na mechanizáciu v dôsledku geografickej polohy pôdy, najmä kvôli veľmi strmým šikmým pozemkom, aj keď so zaujímavými agronomickými vlastnosťami z hľadiska podnebia a slnečného žiarenia (Bietresato & Mazzetoo, 2017). Extrémna rôznorodosť situácií, ktoré môže poľnohospodársky stroj splniť, nenájde primeranú zľahu so skúšobnými situáciami a navrhnutými normami. Hoci všetky skutočné situácie musia byť nevyhnutne zjednodušené a štandardizované na experimentálne skúmanie, testy, ktoré sú v súčasnosti prijaté na zisťovanie stability prevrátenia strojov, hoci sú jednoduché a účinné v spôsobe ich prevádzky, majú mnoho základných nedostatkov (Bietresato & Mazzetoo, 2017). Prevrátenie traktora zostáva vážnym problémom v poľnohospodárskych činnostiach. Podrobná analýza problémov a príčin vedúcich k prevráteniu traktora odhalila, že zlepšením statickej stability traktora môžeme pozitívne ovplyvniť bezpečnosť už počas koncepcnej fázy. Vyrobené poľnohospodárske traktory sa vyznačujú vysokou mierou štandardizácie a majú celý rad ďalších prídavných zariadení, ktoré umožňujú širšie

používanie každého traktora a výrazne uľahčujú jeho prevádzku (Kosiba a kol., 2012). Potreba skúšania traktorov a poľnohospodárskych strojov z hľadiska ich vhodnosti na poľnohospodárske použitie bude neustále rásť, pretože tieto stroje priamo ovplyvňujú poľnohospodársku výrobu (Hujo a kol., 2017; Hujo a kol., 2012).

Pri skúške priečnej stability Molari a Rondelli (2004) umiestnili traktory na horizontálnu rovinu tak, aby sa otočný bod prednej nápravy traktora mohol voľne pohybovať. Traktor bol naklonený pomocou naklápacej plošiny, aby sa určil uhol v okamihu, keď traktory sa nachádzali v stave nestabilnej rovnováhy na kolesách a dotýkajúcich sa zeme (Obr. 1a). Franceschetti et al. (2014) priečne naklonil traktor tak, že zdvihol pravé kolesá vysokozdvížnym vozíkom, až kým sa nedosiahla nestabilná rovnovážna poloha (Obr. 1b). Choi a kol. (2017) použil naklápaciu plošinu na testovanie priečnej stability traktora. V tomto prípade sú všetky kolesá traktora umiestnené na platni (Obr. 1 c). Na meranie stability traktora Gravalos a kol. (2011) použil platformu (1d), ktorá bola vybavená nezávislými elektronickými váhami pre každé koleso. Pôsobiace reakcie podložky v dôsledku statického zaťaženia zadných kolies boli merané v súlade so zmenami uhla náklonu.



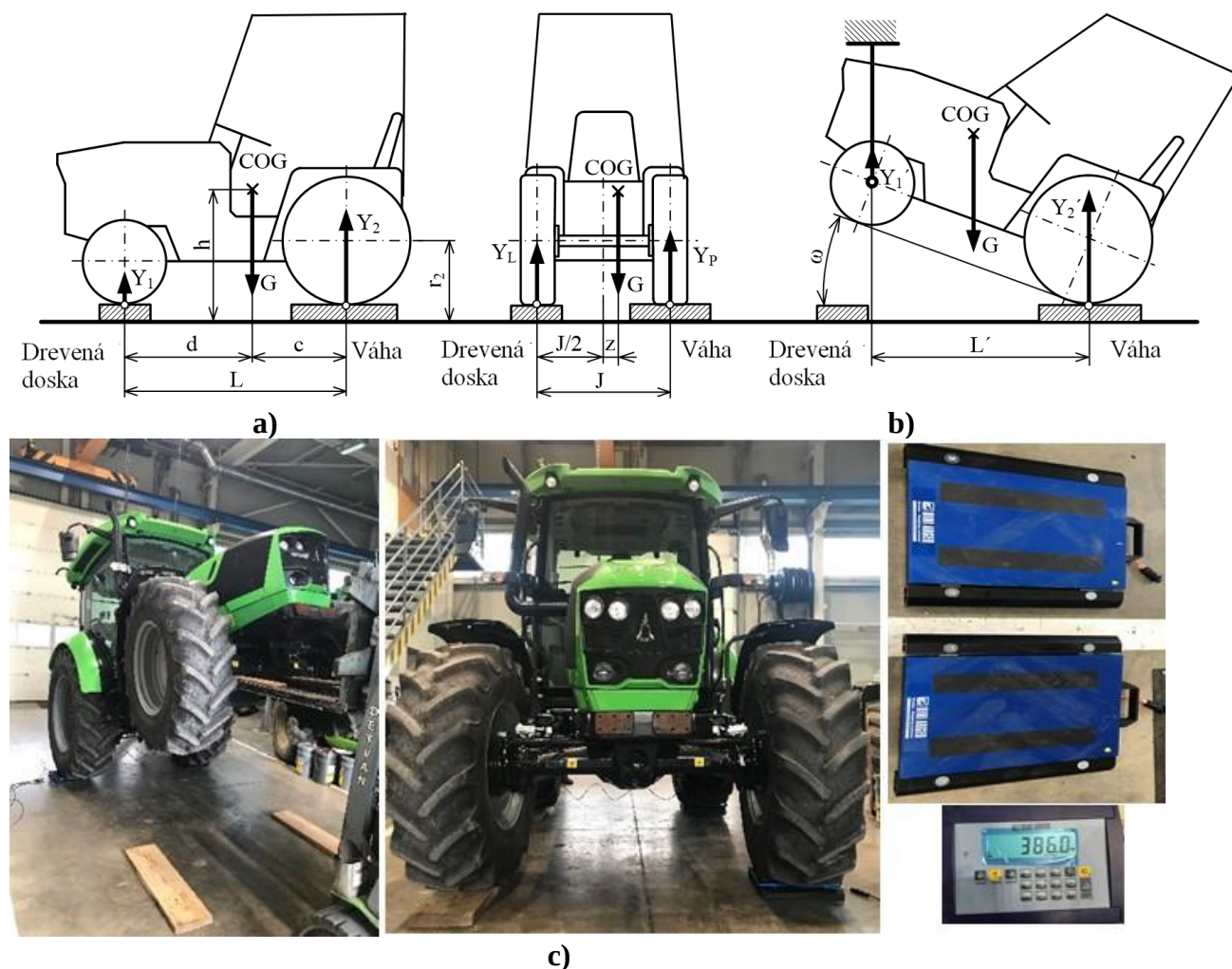
Obr. 1 Skúška priečnej stability: a) naklápacia plošina na naklápanie traktora do stavu nestabilnej rovnováhy na kolesách dotýkajúcom sa zeme (Molari a Rondelli, 2004), b) traktor naklonený vysokozdvížnym vozíkom (Franceschetti et al. 2014), c) test priečnej stability traktora na naklápacej plošine (Bietresato & Mazzetoo, 2017), d) stabilita traktora na skúšobnej stolici s váhami (Gravalos a kol., 2011).

Fig. 1 Lateral stability test: a) tilting platform for tilting the tractor up to a state of unstable equilibrium on the wheels touching the ground (Molari and Rondelli, 2004), b) tractor tilted with forklift (Franceschetti et al. 2014), c) test of tractor lateral overturning on tilting platform (Bietresato & Mazzetoo, 2017), d) study of tractor stability on test bench (Gravalos et al., 2011).

Bočné prevrátenie poľnohospodárskych traktorov je veľmi nebezpečná nehoda. Skúšky, ktoré sa vykonávajú na charakterizáciu stability traktora, kontrolujú statický uhol priečnej stability a sú užitočné pre skutočné prevádzkové podmienky. Cieľom článku bolo porovnať statický uhol priečnej stability vypočítaný podľa normy ISO 16321-2 (2015) s metódou podľa Grečenka 1963 pri minimálnom, strednom a maximálnom rozchode kolies s použitím troch rôznych hmotností prídavných kolesových závaží 0kg, 180 kg a 300 kg.

2 Materiál a metódy

Merací systém



Obr. 2 Určenie súradníc ťažiska COG a) schéma výpočtu pozdĺžnej súradnice ťažiska: b) schéma výpočtu vertikálnych súradníc ťažiska COG (Majdan a kol., 2012), c) nápravové váhy Dini Argeo WWSE 3T merajúce reakcie kolies traktora Deutz-Fahr 5100G: L – rázvor; c , d – pozdĺžne súradnice COG; h – vertikálna súradnica COG; J – rozchod kolies; G – hmotnosť traktora; Y_1 , Y_2 , Y_P , Y_L – pozemné reakcie; r_2 – statický polomer zadného kolesa; ω – uhol zdvihu, L' – vertikálny priemet rázvoru, Y_1' , Y_2' – reakcia pri traktore v zdvihnutých polohách.

Fig. 2 Determination of COG coordinates: a) scheme for calculation of longitudinal coordinate of COG: b) scheme for calculation of vertical coordinates of COG (Majdan et al., 2012), c) weighing scales Dini Argeo WWSE 3T measuring reactions of tractor wheels and steel discs (ballast weight): L – wheelbase; c , d – longitudinal coordinates of COG; h – vertical coordinate of COG; J – tread width; G – tractor weight; Y_1 , Y_2 , Y_P , Y_L – ground reactions; r_2 – static rear wheel radius; ω – lifting angle, L' – vertical projection of wheelbase, Y_1' , Y_2' – reaction when tractor in raised position.

Nápravové váhy typu Dini Argeo WWSE 3T s indikátorom hmotnosti, boli použité na meranie hmotnosti pod kolesami traktora (Obr. 2). Menovitá kapacita systému váženia je 3000 kg. Na výpočet pozdĺžnych a vertikálnych súradníc COG sa merali vzdialenosti metrom s meracím rozsahom 3 m, triedou presnosti 2 a rozlíšením 1 mm. Vertikálne roviny potrebné na meranie vzdialenosti jednotlivých rázvorov boli určené pomocou olovnice. Digitálny protraktor Genbox 810-100 (Changzhou Skyvictor Ltd., Čína) s meracím rozsahom 4 x 90°, rozlíšením displeja 0,1° a chybou presnosti 0,01° bol použitý na meranie uhla sklonu traktora pri zdvíhaní prednej nápravy. Všetky experimentálne merania sa zopakovali trikrát a vypočítala sa stredná hodnota. Regresná analýza (Microsoft Excel – Office 365) bola použitá na analýzu vplyvu hmotnosti závaží zadných kolies a celkovej šírky rozchodu na statický uhol priečnej stability. Výpočty sa vykonávali pri minimálnom, strednom a maximálnom rozchode zadných pneumatík a troch úrovniach zadných kolesových závaží. Tri úrovne kolesových závaží vychádzali z technickej dokumentácie výrobcu traktora a boli stanovené nasledovne: bez závaží 0kg, 180kg závaží tvoril nosič závažia 120 kg + jeden pár závaží s hmotnosťou 60 kg a 300kg závaží predstavuje nosič závaží 120 kg a tri páry závaží 180 kg.

Experimentálny traktor Deutz-Fahr 5100G

Tab. 1 Technické údaje experimentálneho traktora Deutz-Fahr 5100G

Tab. 1 Technical data of experimental tractor Deutz-Fahr 5100G

Parameter	Hodnota
Počet valcov motora SAME DEUTZ-FAHR	4
Zdvihový objem motora, cm ³	3849
Výkon, kW/min ⁻¹	75/2000
Rázvor, m	2,4
Prevádzková hmotnosť, kg	4390
Celková hmotnosť, kg	6200
Rozmery: v/š/d, m	2,7/2,36/5,1
Rozchod zadných kolies - minimálny/stredný/maximálny, m	1,145/1,518/1,89



Obr. 3 Experimentálny traktor Deutz-Fahr 5100G

Fig. 3 Experimental tractor Deutz-Fahr 5100G

Výpočet statickej priečnej stability traktora podľa normy ISO 16231-2

Norma ISO 16231-2 (2015) predstavuje metódu výpočtu statického uhla priečnej stability traktora s jednou výkyvnou nápravou bez zariadenia obmedzujúceho uhol výkyvu a bodom otáčania výkyvnej nápravy v línii so stredovou čiarou traktora, obr. 4. Norma definuje úsečku AB prevracania traktora na pevnej náprave, ktorá prechádza 75% šírky pneumatiky. Úsečka AA' je základná čiara trojuholníka stability a počíta sa podľa tohto vzorca:

$$AA' = \frac{o - 2(p - 0,75p)}{2} \quad (1)$$

Kde: AA' – úsečka trojuholníka priečnej stability, m
 o – celková šírka od bokov pneumatík na pevnej náprave, m
 p – šírka pneumatiky na pevnej náprave, m

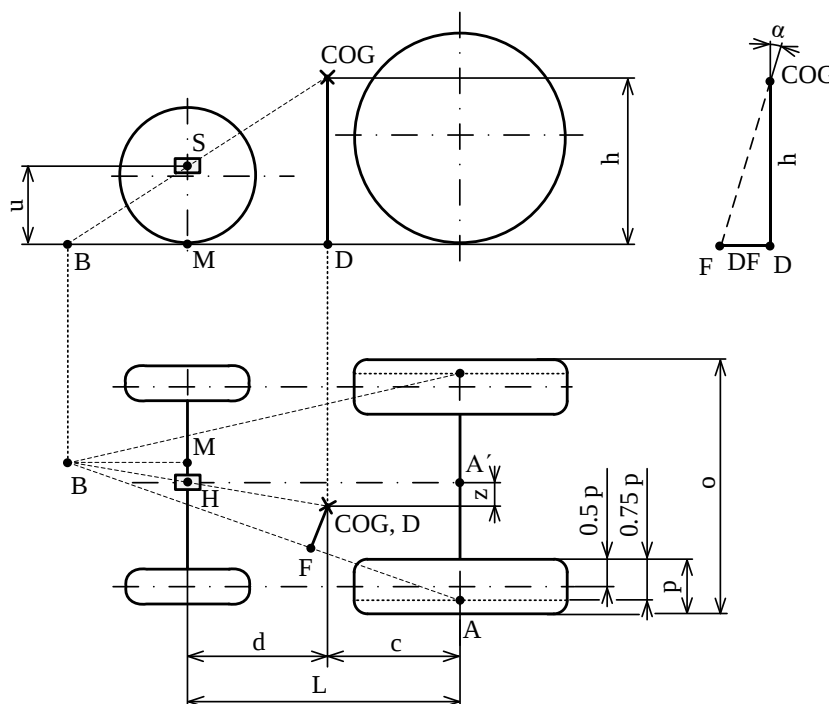
Where: AA' – base line of stability triangle, m
 o – overall width on tyres of the fixed axle, m
 p – width of tyres on fixed axle, m

Vzhľadom na výpočtovú metódu podľa ISO 16321-2 (2015) sa statický uhol priečnej stability vypočíta pomocou priamky sklonu DF a vertikálnej súradnice výšky ťažiska COG h .

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{DF}{h} \quad (2)$$

Kde: DF – svahová línia, m
 α – uhol priečnej stability, °
 h – výšky ťažiska, m

Where: DF – length of slope line, m
 α – static overturning angle, °
 h – vertical coordinate of COG, m

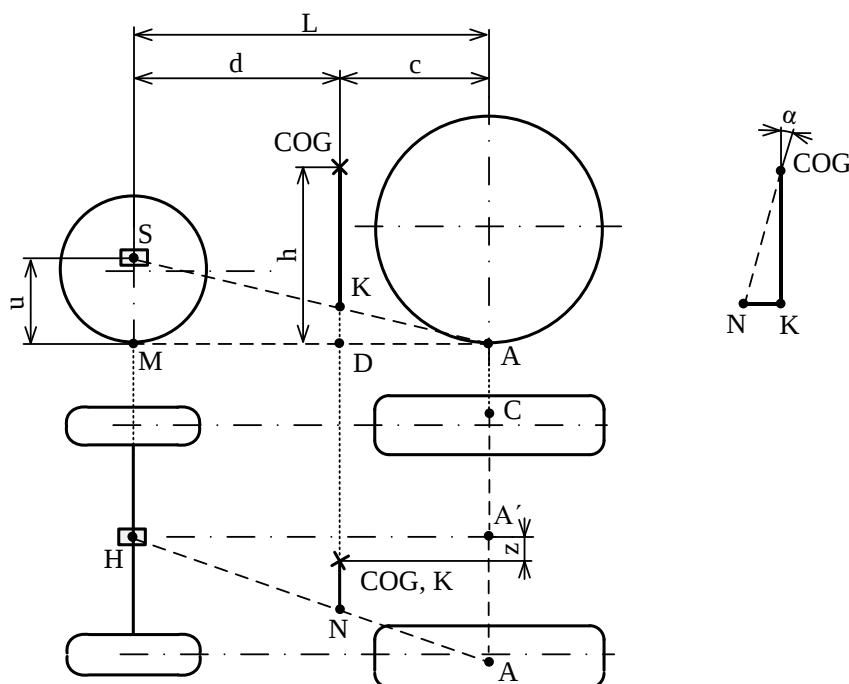


Obr. 4 Rozmerová schéma priečnej stability podľa normy ISO 16231-2 (2015): o – celková šírka od bokov kolies na pevnej náprave, p – šírka pneumatík/kolies, u – výška čapu výkyvnej nápravy, L – rázvor, c, d – parametre horizontálnej polohy ťažiska; h – vertikálna výška ťažiska, z – vyosenie ťažiska od pozdĺžnej roviny, α – uhol priečnej stability, AA' – úsečka trojuholníka priečnej stability, DF – svahová línia

Fig. 4 Determination of tractor lateral stability according to ISO 16231-2 (2015): o – overall width on tyres of the fixed axle, p – width of tyres on fixed axle, u – height of pivot point of the swelling axle, L – wheelbase, c, d – longitudinal coordinates of COG; h – vertical coordinate of COG; z – lateral position of COG; α – static overturning angle, AA' – base line of stability triangle, DF – slope line.

Výpočet statickej priečnej stability traktora podľa Grečenka (1963)

Grečenko (1963) predstavili trojuholník stability rôznych vozidiel tvorený priamkami AH , HC a AC (obr. 5). Metóda výpočtu statického uhla priečnej stability α založená na tomto trojuholníku stability využíva čiaru sklonu NK rovnobežnú so zadnou nápravou traktora a skrátenú vzdialenosť zvislej súradnice COG, (obr. 5). Návrh zjednodušenej metodiky je založený na kombinácii trojuholníka stability a priamky sklonu DF definovanej v norme ISO 16321-2 (2015). Pri porovnaní stabilizačných trojuholníkov AB , BC , AC (obr. 4) a AH , HC , AC (obr. 5) je v prípade zjednodušenej metodiky svahová línia DF kratšia. Výpočet statického uhla priečnej stability nie je možný pri použití celej dĺžky vertikálnej súradnice ťažiska COG, ale s jej skrátenou vzdialenosťou.



Obr. 5 Výpočet statického uhla priečne stability na základe stabilizačného trojuholníka v otočnom bode výkyvnej nápravy podľa Grečenka (1963): u – výška čapu výkyvnej nápravy, L – rázvor, c, d – parametre horizontálnej polohy ťažiska; h – vertikálna výška ťažiska, z – vyosenie ťažiska od pozdĺžnej roviny, α – uhol priečnej stability, AA' – úsečka trojuholníka priečnej stability, NK – svahová línia.

Fig. 5 Calculation of static overturning angle based on stability triangle with cups in a pivot point of swelling axle according to Grečenko et al. (1963): u – height of pivot point of the swelling axle; L – wheel base; c, d – longitudinal coordinates of COG; h – vertical coordinate of COG; z – lateral position of COG; α – static overturning angle; AA' – base line of stability triangle, NK – slope line.

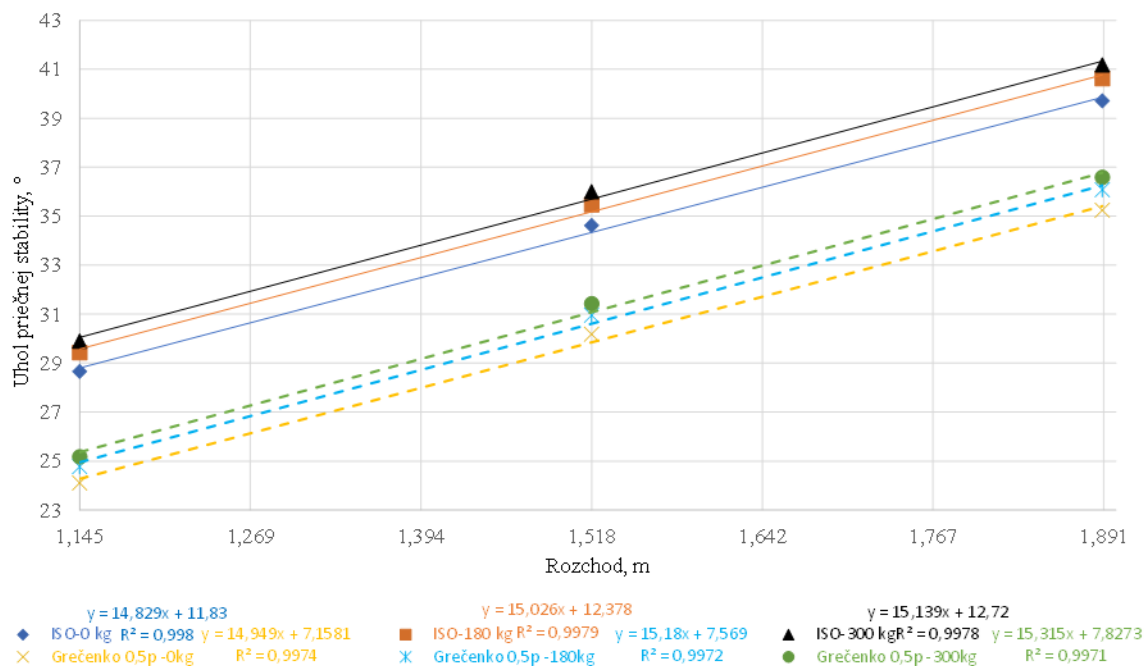
3 Výsledky a diskusia

Traktor bol odvážený, keď bol v horizontálnej polohe a tiež keď bola zdvihnutá predná náprava. Hmotnosť zadnej nápravy bola 2238 kg, prednej nápravy 1609,5 kg, pravých kolies 1921 kg a ľavých kolies 1926,5 kg, keď bol traktor v horizontálnej polohe. Hmotnosť zadnej nápravy pri 15° náklone traktora bola 2339 kg a vertikálny priemet rázvoru náprav bol 2,32 m. Hmotnosť zadnej nápravy pri 21° náklone traktora bola 2388 kg a vertikálny priemet rázvoru náprav bol 2,24 m (predná náprava zdvihnutá vysokozdvížnym vozíkom). Vybočenie ťažiska COG od strednej pozdĺžnej roviny boli 0,000818 m, 0,001085 m a 0,001351 m pri minimálnom, strednom a maximálnom rozchode zadných pneumatík boli vypočítané na základe experimentálne nameraných hmotností. Hodnota tohto parametra je oproti iným rozmerom traktora relatívne nízka, ale pre ďalšie výpočty ho používame z dôvodu systematického odstraňovania chýb. Vplyv prídavných kolesových závaží zadných kolies na parametre stability, konkrétne vertikálne a horizontálne súradnice COG a statický uhol priečnej stability (tabuľka 2), boli štatisticky analyzované pri minimálnom, strednom a maximálnom rozchode zadných kolies. Pre regresnú analýzu bola ako nezávislá premenná vybraná hmotnosť prídavného závažia a rozchod zadných kolies. Regresné koeficienty R^2 lineárnych regresíí boli vyššie ako 0,99. Štatistická významnosť demonštrovala výrazný vplyv rozchodu zadných kolies a menej výrazný vplyv hmotnosti záťaže zadného prídavného kolesového závažia na statický uhol priečnej stability.

Tab. 2 Údaje vypočítané podľa normy ISO 16231-2 (2015) a podľa Grečenka (1963)

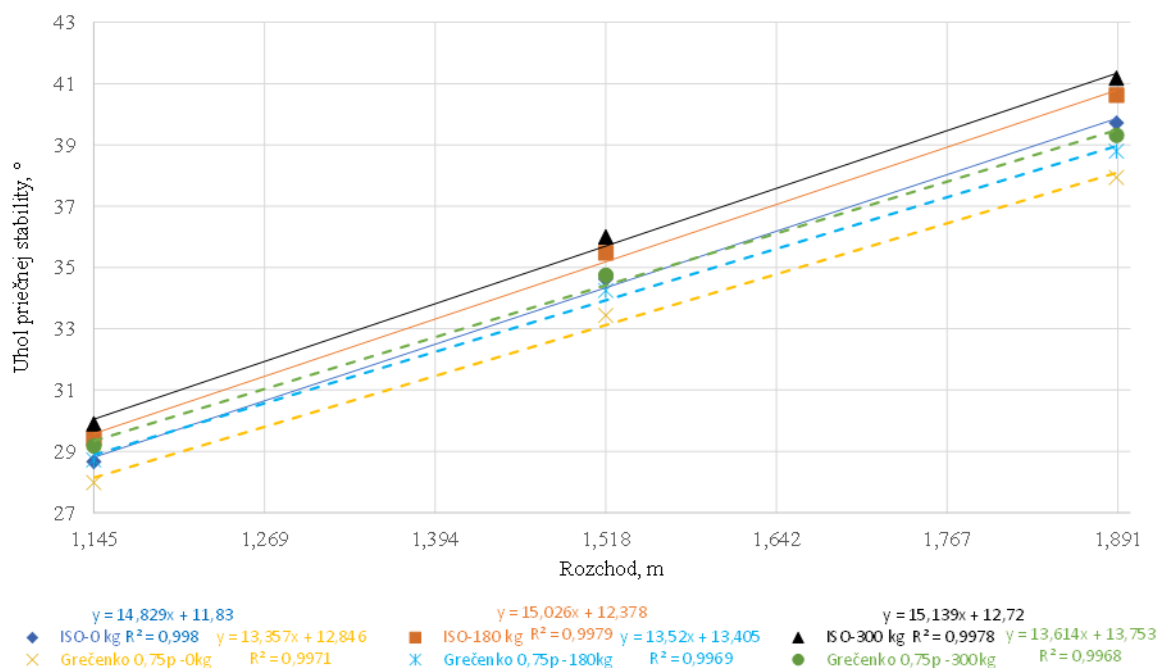
Tab. 2 Data of calculated according to ISO 16231-2 (2015) and according Grečenko (1963)

Prídavné kolesové závažia zadných kolies, kg		0	180	300
Vertikálna a horizontálna zmena polohy ťažiska COG	h , m	0,973	0,962	0,956
	d , m	1,396	1,441	1,469
	c , m	1,004	0,959	0,931
Uhol priečnej stability ISO 16231-2 (2015)	α , °	Minimálny rozchod kolies (1,145m)		
		28,67	29,43	29,90
		Stredný rozchod kolies (1,518m)		
		34,62	35,48	36,00
		Maximálny rozchod kolies (1,89m)		
Uhol priečnej stability Grečenko (1963) - 0,5p	α , °	39,71	40,63	41,18
		Minimálny rozchod kolies (1,145m)		
		24,11	24,78	25,19
		Stredný rozchod kolies (1,518m)		
		30,18	30,96	31,43
Uhol priečnej stability Grečenko (1963) - 0,75p	α , °	Maximálny rozchod kolies (1,89m)		
		35,25	36,09	36,60
		Minimálny rozchod kolies (1,145m)		
		27,98	28,72	29,18
		Stredný rozchod kolies (1,518m)		
	α , °	33,43	34,25	34,75
		Maximálny rozchod kolies (1,89m)		
		37,93	38,80	39,32



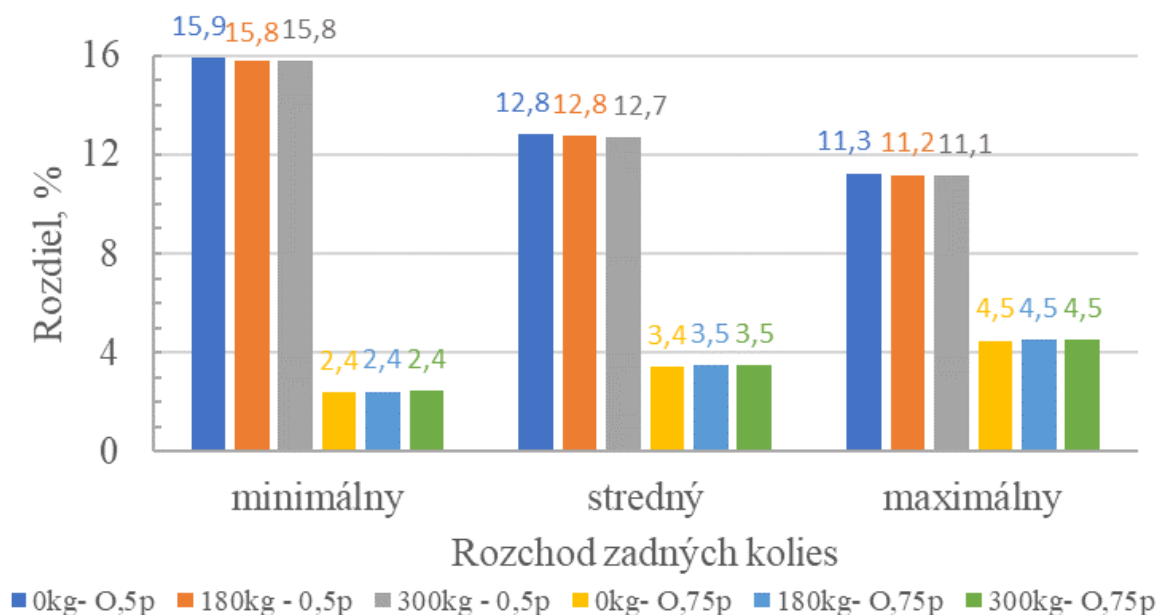
Obr. 6 Porovnanie uhla statickej priečnej stability traktora vzhľadom na rozchod zadných kolies podľa normy ISO 16231-2 (2015) a Grečenko (1963) pri 0,5p

Fig. 6 Comparison angle static lateral stability of the tractor relative to the rear wheel track according to ISO 16231-2 (2015) and Grečenko (1963) at 0,5p



Obr. 7 Porovnanie uhla statickej priečnej stability traktora vzhľadom na rozchod zadných kolies podľa normy ISO 16231-2 (2015) a Grečenko (1963) pri 0,75p

Fig. 7 Comparison angle static lateral stability of the tractor relative to the rear wheel track according to ISO 16231-2 (2015) and Grečenko (1963) at 0,75p



Obr. 8 Percentuálny rozdiel uhla priečnej stability Grečenko 0,5p a 0,75p od normy ISO 16231-2

Fig. 8 Percentage difference angle static lateral stability Grečenko 0,5p and 0,75p from ISO 16231-2

Z obr. 6 vyplýva, že hodnoty uhla priečnej stability podľa normy ISO sa značne odlišujú od výsledkov podľa Grečenka 1963. Je to spôsobené tým, že norma predpokladá že rovina okolo ktorej traktor stráca stabilitu prechádza 75% šírky zadnej pneumatiky. Podľa Grečenka sa z bezpečnostných dôvodov uvažuje z hodnotou 50% šírky zadnej pneumatiky t.z. 0,5p. Na obr.7 sú dokázateľne menšie rozdiely ak podľa postupu Grečenka uvažujeme s rovinou stability, ktorá prechádza 75% šírky zadnej pneumatiky t.z. 0,75p. Na obr. 8 sú znázornené jednotlivé percentuálne rozdiely obidvoch metód podľa Grečenka vzhľadom na normu ISO 16231-2. Pri rovine stability prechádzajúcej 50% šírkou pneumatiky sa rozdiely znižujú vplyvom rozchodu a dosahujú hodnoty medzi 11,1 a 15,9 %. Pri rovine stability prechádzajúcej 75% šírkou pneumatiky sa rozdiely zväčšujú vplyvom rozchodu a dosahujú hodnoty medzi 2,4 a 4,5%.

4 Záver

V tomto príspevku bola porovnaná statická priečna stabilita traktora Deutz-Fahr 5100G. Na zlepšenie statickej bočnej stability poľnohospodárskeho traktora boli použité tri úrovne záťaže zadného kola a tri rozchody zadných kolies. Záťaženie umiestnené na zadných kolesách znížilo vertikálnu súradnicu COG. Zmena rozchodu zadných pneumatík rozšírila základnú čiaru stabilizačného trojuholníka traktora. Obidve opatrenia sa v praxi často používajú na zlepšenie bočnej stability traktora. Tento článok predstavuje porovnanie medzi priečnou stabilitou traktora vypočítanou podľa normy ISO 16231-2 (2015) a vypočítanou podľa Grečenka. Výpočet priečnej stability je založený na polohe ťažiska stanovenej podľa normy ISO 789-6 (1993). Výsledky ukazujú rozdiel medzi údajmi vypočítanými podľa normy ISO 16231-2 (2015) a podľa postupu Grečenka (1963). Výsledky ukázali, že odchýlka medzi údajmi podľa Grečenka a vypočítanými podľa normy ISO 16231-2 sa pohybuje v rozmedzí od 2,4 do 15,9 %.

5 Literatúra

BIETRESATO, Marco & MAZZETTO, Fabricio. 2017. Proposal of an Advanced Facility to Perform Static and Dynamic Tests of Stability on Agricultural Machines. Chemical Engineering Transactions 58, 151–156.

FRANCESCHETTI, Bruno – LENAIN Roland – RONDELLI, Valda. 2014. Porovnanie medzi dynamickým modelom prevráteného traktora a skutočnými statickými skúškami. Biosystémové inžinierstvo 127, 79–91.

GRAVALOS, Ioannis – GIALAMAS, Theodoros – LOUTRIDIS, Spiros – MOSHOU, Dimitrios – KATERIS, Dimitrios – XYRADAKIS, Panagiotis – TSIROPOULOS, Zisis. 2011. Experimentálna štúdia o vplyve šírky zadného rozchodu na stabilitu poľnohospodárskych traktorov používajúcich skúšobnú naklápaciu rovinu. Časopis Terramechanics 48, 319–323.

GREČENKO, Alexander. 1963. Kolové a pásové traktory: Pracovní a jízdní vlastnosti, zásady návrhů, hodnocení a zkoušení. Praha: SZN, 1963. 402 s.

ISO 16231-2. 2015. Self-propelled agricultural machinery – Assessment of stability – Part 2: Determination of static stability and test procedures. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

ISO 789-6. 1993. Poľnohospodárske traktory – Skúšobné postupy – Časť 6: Ťažisko. Medzinárodná organizácia pre normalizáciu, Ženeva, Švajčiarsko.

HUJO, Ľubomír – TKÁČ, Zdenko – JABLONICKÝ, Juraj – UHRINOVÁ, Daniela & HALENÁR, Marek 2017. The action of force measurement for the three-point hitch of a tractor. Agronomy Research 15, 162–169.

HUJO, Ľubomír – KOSIBA, Ján – JABLONICKÝ, Juraj & DRABANT, Štefan 2012 a. Theoretical design of a laboratory test device for the testing of tractor hydraulics. Technics in AgriSector Technologies. Nitra, pp. 68–73 (in Slovak).

KOSIBA, Ján – VARGA, František – MOJŽIŠ, Miroslav – BUREŠ, Ľubomír 2012. The load characteristics of tractor Fendt 926 Vario for simulation on test device. Acta Facultatis Technicae 17, 63–72.

MAJDAN, Radoslav – ABRAHÁM, Rudolf – TKÁČ, Zdenko – DRLIČKA, Róbert – MATEJKOVÁ, Eva – KOLLÁROVÁ, Katarína – MAREČEK, Jan. 2021. Static Lateral Stability of Tractor with Rear Wheel Ballast Weights: Comparison of ISO 16231-2 with Experimental Data Regarding Tyre Deformation. In Applied sciences IF=2,474 Q2 JCR, Q1 SJR.

MAJDAN, Radoslav – TKÁČ, Zdenko – ABRAHÁM, Rudolf – KOSIBA, Ján. 2012. Teória a konštrukcia traktorov. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, SPU Nitra, 100 s.

MOLARI, Giovanni – RONDELLI, Valda. 2004. On the Definition of Narrow-track Wheeled Agricultural Tractors. Biosystems Engineering 88, (1), 75–80 doi:10.1016/j.biosystemseng.2004.02.001.

Súhrn

Článok predstavuje porovnanie statickej priečnej stability traktora Deutz-Fahr 5100 G podľa normy ISO 16321-2 s alternatívnou dostupnou metódou podľa Grečenka (1963). Rozloženie hmotnosti náprav traktora boli merané na výpočet vertikálnych a pozdĺžnych súradníc ťažiska (COG). Výpočty boli zamerané na traktor vybavený tromi modifikáciami doťaženia zadných kolies (0 kg, 180 kg 300 kg) a s minimálnym, stredným a maximálnym rozchodom zadných kolies. Statická priečna stabilita bola vypočítaná podľa normy ISO a následne podľa Grečenka (1963). Výsledky sme navzájom porovnali a stanovili percentuálne rozdiely v oboch metódach. Maximálna záťaž zadného kolesa 300 kg a maximálny rozchod na zadných pneumatikách 1,89 m zlepšila statický uhol prevrátenia o $12,5^\circ$ v porovnaní s minimálnou záťažou zadného kolesa 0 kg a minimálnym rozchodom zadných pneumatík 1,145 m. Porovnaním údajov Grečenka (1963) 0,5p so štandardom ISO 16321-2 (2015) boli rozdiely priemerne 15,83% v prípade minimálneho rozchodu zadných pneumatík, 12,76% v prípade stredného rozchodu a 11,19% v prípade maximálnej šírky rozchodu zadných kolies.

Kľúčové slová: priečna stabilita, ťažisko, prídavné závažia, porovnanie

Podakovanie patrí pracovníkom firmy Ematech s.r.o. Radošina za umožnenie a zabezpečenie meraní aj počas pretrvávajúcej pandémie.

VEGA 1/0724/19 “ Výskum, návrh a aplikácia špeciálnych hnacích kolies na zlepšenie ťahových vlastností a elimináciu poškodenia pôdy počas prevádzky vozidiel a traktorov “.

MIKROKLIMATICKÉ PRACOVNÉ PODMIENKY A ICH VPLYV NA PRACOVNÚ POHODU PRACOVNÍKA MICROCLIMATE WORKING CONDITIONS AND THEIR IMPACT ON LABOR WELFARE WORKER

FRANTIŠEK MLYNARČÍK – VLASTIMIL MALÝ

Abstract

The subject of these work is objective and subjective assessment of working environment conditions, focusing on microclimate working conditions and their influence on worker welfare. We have characterized a number of basic physical factors affecting the worker's working welfare. The research group consists of 64 students at the age of 25 years. Using a short questionnaire, we will find the subjective well-being of the worker or the student, considering the factors affecting the microclimate conditions at the workplace. The objective assessment of the working environment lies directly in the measurement of microclimate variables. Measurement took a total of 7 h 10 minutes and we can use the measurement results to evaluate and compare data obtained with the optimal and permissible microclimate conditions of the work environment as set out in the implementing regulations and technical standards.

Key words: air temperature, air humidity, air flow, microclimatic conditions, work environment

1 Úvod

Hlavnými veličinami charakterizujúcimi mikroklimu na vnútornom pracovisku sú teplota vzduchu, vlhkosť vzduchu, prúdenie vzduchu a kvalita vzduchu. Je to zložitý proces vytvoriť také pracovisko, a také pracovné prostredie, aby neboli zamestnanci vystavovaní nepriaznivým mikroklimatickým vplyvom. Cieľom našej práce bude zistiť reálny stav mikroklimatických podmienok na určenom pracovisku, a zistiť spokojnosť zamestnancov s mikroklimatickými podmienkami na pracovisku. Vychádzali sme pritom z dostupných a dôveryhodných zdrojov (Kopča, Bisták, Lelák, Šaly, 2002).

Zamerali sme sa na meranie nasledovných veličín :

- teplota vzduchu TA (°C)
- relatívna vlhkosť vzduchu RH (%)
- teplota mokrého teplomera WBT (°C)
- teplota rosného bodu DP (°C)
- hladinu oxidu uhoľnatého CO (ppm)
- hladinu oxidu uhličitého CO₂ (ppm)
- rýchlosť prúdenia vzduchu VEL (m.s⁻¹)
- objem prúdiaceho vzduchu VOL (CMM)

2 Materiál a metódy

Potrebné údaje k výskumu sme získali meraním mikroklimatických veličín, a následne študenti vyplnili krátky anonymný dotazník zameraný na ich subjektívny názor na stav prostredia, v ktorom sa počas vyučovania zdržiavajú. Meranie sa uskutočnilo v čase od 7:50 do 15:00. Meranie trvalo celkom 7 h 10 min. Vonku v tom čase bolo prevažne zamračené počasie, bez zrážok s teplotami okolo 0 °C. Do vyučovania sme nijak nezasahovali. Hodnoty meraných veličín sme počas vyučovania zapisovali v pätnásť minútových intervaloch. V miestnosti, kde sme výskum realizovali, sa počas merania vystriedalo 5 skupín, celkovo 64 študentov 2. a 3. ročníka vo veku do 25 rokov. Výskumná vzorka bola z hľadiska pohlavia rozdelená na 28 mužov a 36 žien. Počas merania sa v miestnosti nachádzalo od 14 do 16 osôb. Pracovnú činnosť respondentov môžeme charakterizovať ako fyzicky nenáročnú s minimálnou pohybovou aktivitou, prevažne v sede. Vetranie a prívod čerstvého vzduchu do miestnosti je riešený pomocou okien, ktoré sú v dobrom technickom stave, a sú orientované na severozápad.

Na spracovanie získaných údajov sme použili základné funkcie excelovských tabuliek a grafov, pomocou ktorých vieme znázorniť priebeh merania jednotlivých mikroklimatických veličín v závislosti na čase. Ďalej potom vieme zhodnotiť a porovnať získane údaje s optimálnymi a prípustnými podmienkami mikroklimy pracovného prostredia, ktoré sú uvedené vo vykonávajúcich predpisoch a v technických normách.

Na meranie mikroklimatických veličín sme použili dva prístroje :

- Testo 315-3 (meranie koncentrácie CO, CO₂)
- Anemometer/ Psychrometer AN340 (meranie TA, RH, WBT, DP, VEL, VOL)



Obr. 1 Meracie prístroje
 Fig. 1 Measuring instruments

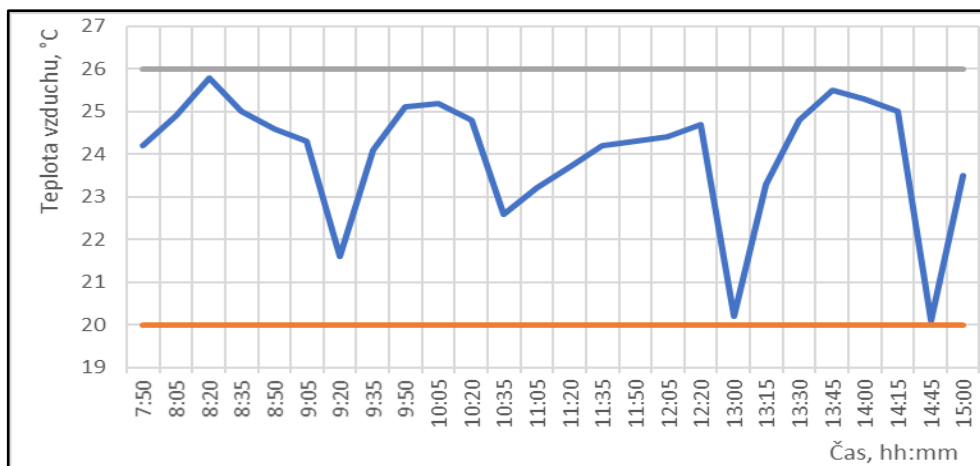
3 Výsledky a diskusia

V tabuľke sú uvedené hodnoty jednotlivých meraných veličín, ktoré sme počas merania zaznamenali. V ľavom stĺpci sú uvedené časy, v ktorých sme hodnoty zapisovali a prestávky medzi jednotlivými vyučovacími hodinami, počas ktorých sa intenzívne vetralo. Meranie rýchlosti prúdenia vzduchu a meranie objemu prúdiaceho vzduchu v tabuľke neuvádzame nakoľko sme počas celého merania zaznamenali hodnotu nula.

Tab. 1 Namerané hodnoty
 Tab. 1 Measured values

	MERANÉ VELIČINY						Počet osôb v miestnosti
ČAS	TA [°C]	RH [%]	WBT [°C]	DP [°C]	CO [ppm]	CO ₂ [ppm]	
7:50	24,2	24,6	12,9	2,6	0	930	15
8:05	24,9	25	13,4	4	0	1540	
8:20	25,8	28,4	14,7	6,3	0,5	1910	
8:35	25	26	13,5	3,5	0,5	1660	
8:50	24,6	23,3	12,8	2,3	0,5	1470	
9:05	24,3	21,6	12,3	0,9	0,5	1240	
Prestávka	otvorene dve okná na 10min.						2
9:20	21,6	19,5	10,3	-1,9	0	910	14
9:35	24,1	23,3	12,6	1,9	0	1330	
9:50	25,1	25	13,5	3,8	0,5	1700	
10:05	25,2	27,3	14,1	5,3	0,5	2060	
10:20	24,8	22,9	12,8	1,9	0,5	1470	
10:35	22,6	20,8	11	-1,1	0,5	990	
Prestávka	otvorene dve okná na 10min.						2
11:05	23,2	19,1	11,2	-1,2	0	920	16
11:20	23,7	21,1	11,8	0,2	0	1140	
11:35	24,2	22,6	12,5	1,6	0	1460	
11:50	24,3	22,4	12,6	2	0,5	1570	
12:05	24,4	23,3	12,7	2,1	0,5	1560	
12:20	24,7	23,5	12,9	2,6	0,5	1660	
Prestávka	otvorene dve okná na 35min.						2
13:00	20,2	27	10,6	0,8	0	660	15
13:15	23,3	24,5	12,3	1,9	0	1340	
13:30	24,8	25,5	13,4	3,8	0,5	1690	
13:45	25,5	27,6	14,3	5,6	0,5	2160	
14:00	25,3	27,7	14,1	5,3	0	2060	
14:15	25	30,8	14,5	6,7	0,5	2380	
Prestávka	otvorene štyri okná na 20min.						2
14:45	20,1	23,8	10,4	-0,4	0	640	14
15:00	23,5	25,8	12,6	2,8	0	1240	

Priebeh merania teploty vzduchu je znázornený graficky na Obr. 2, kde sú tiež znázornené minimálne a maximálne prípustné hodnoty teplôt pre chladné obdobie podľa vyhlášky MZ SR 99/2016 Z.z. Vo vyhláške sú uvedené optimálne teploty od 20 °C do 24 °C a prípustné od 20 °C do 26 °C.

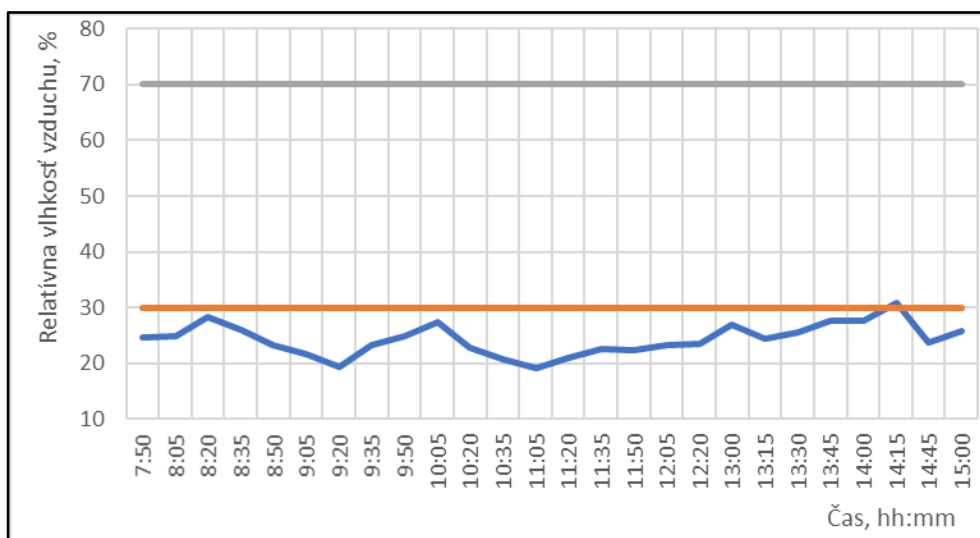


Obr. 2 Graf priebehu merania teploty vzduchu v závislosti na čase

Fig. 2 Graph of air temperature measurement as a function of time

- Kde:
- šedou čiarou je maximálna prípustná hodnota teploty vzduchu, °C
 - oranžovou čiarou je minimálna prípustná hodnota teploty vzduchu, °C
 - modrou čiarou je nameraná hodnota teploty vzduchu, °C
- Where:
- gray line is the maximum permissible air temperature, °C
 - orange line is the minimum permissible air temperature, °C
 - blue line is the measured value of air temperature, °C

V nasledujúcom grafe na Obr. 3 je znázornený priebeh merania relatívnej vlhkosti a prípustné hodnoty relatívnej vlhkosti pre chladné obdobie podľa vyhlášky MZ SR 99/2016 Z.z. Vo vyhláške sú uvedené prípustné hodnoty vlhkosti vzduchu od 30 % do 70 %.

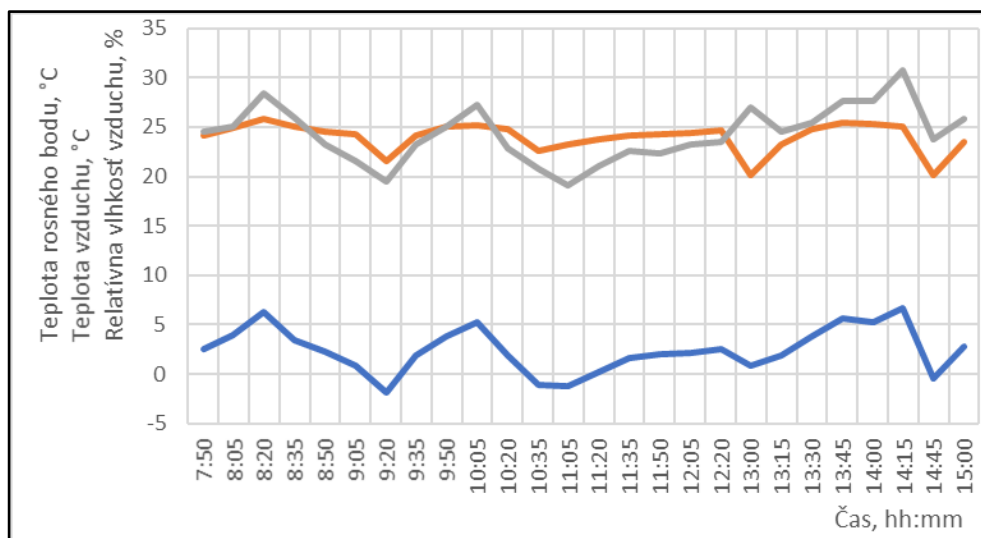


Obr. 3 Graf priebehu merania relatívnej vlhkosti v závislosti na čase

Fig. 3 Graph of measuring relative humidity as a function of time

- Kde: - šedou čiarou je maximálna prípustná hodnota relatívnej vlhkosti, %
 - oranžovou čiarou je minimálna prípustná hodnota relatívnej vlhkosti, %
 - modrou čiarou je nameraná hodnota relatívnej vlhkosti, %
- Where: - gray line is the maximum permissible value of relative humidity, %
 - orange line is the minimum permissible value of relative humidity, %
 - blue line is the measured value of relative humidity, %

Pri zobrazení nameraných hodnôt teploty rosného bodu sme do grafu zakomponovali aj merania relatívnej vlhkosti a teploty vzduchu. Pre lepšie znázornenie vzájomnej závislosti týchto veličín sme použili graf na Obr. 4.

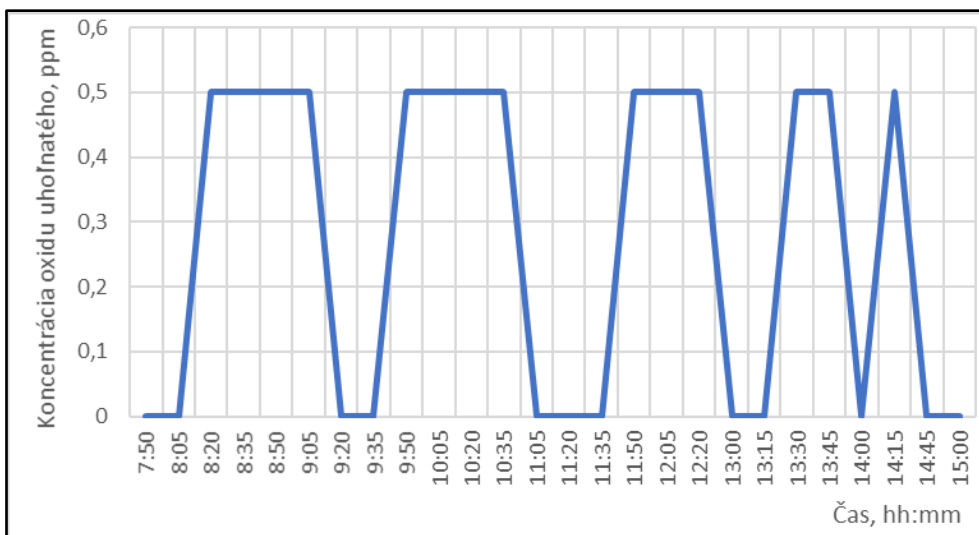


Obr. 4 Graf priebehu merania teploty rosného bodu, teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti v závislosti na čase

Fig. 4 Graph of measuring the dew point temperature, air temperature and relative humidity as a function of time

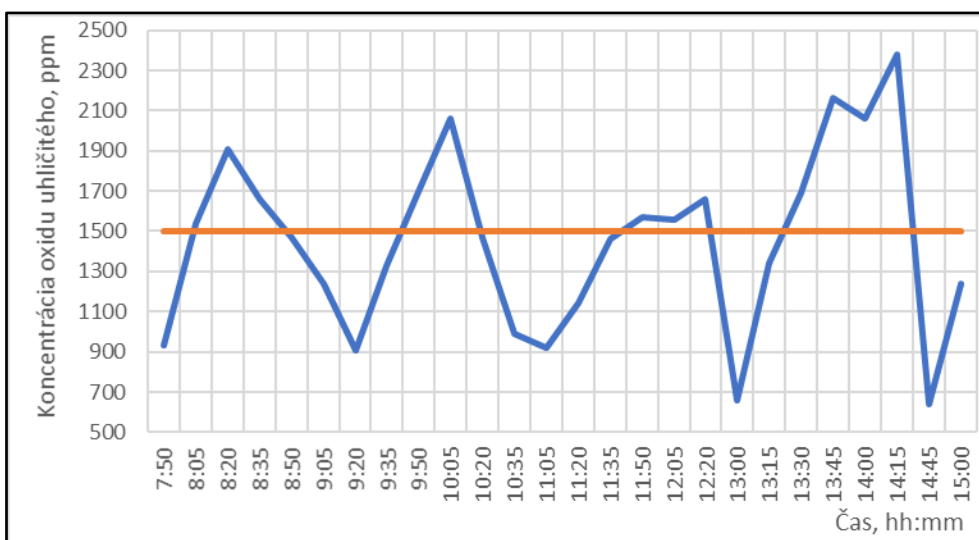
- Kde: - šedou čiarou je nameraná hodnota relatívnej vlhkosti, %
 - oranžovou čiarou je nameraná hodnota teploty vzduchu, °C
 - modrou čiarou je nameraná hodnota teploty rosného bodu, °C
- Where: - gray line is the measured value of relative humidity, %
 - orange line is the measured value of the air temperature, °C
 - blue line is the measured value of the dew point temperature, °C

Výsledky merania oxidu uhoľnatého a oxidu uhličitého sú znázornené graficky na Obr. 5 a Obr. 6. Maximálne namerané hodnoty koncentrácie CO a CO₂ v učebni neprekročili najvyššie prípustné limity podľa Nariadenia vlády Slovenskej republiky 355/2006 Z.z.. Najvyššia nameraná koncentrácia CO nepresiahla hodnotu 0,5 ppm, pričom priemerná hodnota za osemhodinovú pracovnú zmenu je 30 ppm. Koncentrácia CO₂ neprekročila hodnotu 5000 ppm ktorá je vo vyhláske uvedená ako maximálna prípustná hodnota. Avšak pre lepší výkon, sústredenosť a pohodu sa majú udržiavať koncentrácie CO₂ nižšie ako 1500 ppm. Pri vyšších koncentráciách, ako 2000 ppm je pociťovaná značná miera nepohody a v mnohých prípadoch sa ľudia sťažujú na bolesti hlavy či nevoľnosť. Preto sme do grafu na Obr. 6 zvolili ako maximálnu prípustnú hodnotu 1500 ppm. (www.tzbportal.sk, cit. 9.4.2018).



Obr. 5 Graf priebehu merania oxidu uhoľnatého v závislosti na čase
 Fig. 5 Graph of carbon monoxide measurement as a function of time

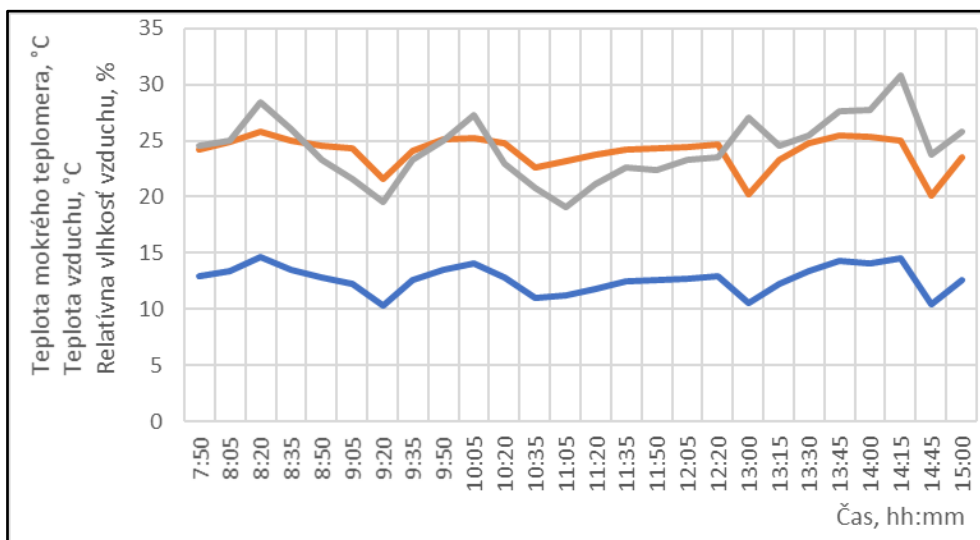
Kde: - modrou čiarou je nameraná hodnota koncentrácie oxidu uhoľnatého, ppm
 Where: - blue line is the measured value of the carbon monoxide concentration, ppm



Obr. 6 Graf priebehu merania oxidu uhličitého v závislosti na čase
 Fig. 6 Graph of carbon dioxide measurement as a function of time

Kde: - oranžovou čiarou je max. odporúčaná hodnota koncentrácie oxidu uhličitého, ppm
 - modrou čiarou je nameraná hodnota koncentrácie oxidu uhličitého, ppm
 Where: - orange line is max. recommended value of carbon dioxide concentration, ppm
 - blue line is the measured value of the carbon dioxide concentration, ppm

V nasledujúcom grafe, Obr. 7 udávame priebeh merania teploty mokrého teplomera v súvislosti s teplotou vzduchu a relatívnou vlhkosťou. Ako môžeme spozorovať, krivka teploty mokrého teplomera, a krivka teploty vzduchu, sú takmer identické. Rozdielom teploty mokrého teplomera a teploty vzduchu vieme pomocou Psychrometrickej tabuľky určiť približnú hodnotu relatívnej vlhkosti (príklad. meranie 13:15 TA - WBT = 11 pri teplote 23,3 °C je v Psychrometrickej tabuľke uvedená relatívna vlhkosť okolo 24 % . Naš merací prístroj nameral v tomto čase vlhkosť vzduchu 24,5 %).



Obr. 7 Graf priebehu merania teploty mokrého teplomera, teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti v závislosti na čase

Fig. 7 Graph of wet bulb temperature, air temperature and relative humidity as a function of time

- Kde: - šedou čiarou je nameraná hodnota relatívnej vlhkosti, %
 - oranžovou čiarou je nameraná hodnota teploty vzduchu, °C
 - modrou čiarou je nameraná hodnota teploty mokrého teplomera, °C
- Where: - gray line is the measured value of relative humidity, %
 - orange line is the measured value of air temperature, °C
 - blue line is the measured value of the wet bulb temperature, °C

Nameraná rýchlosť prúdenia vzduchu bola počas celej dĺžky merania 0 m.s⁻¹. Miestnosť je uzavretý priestor, a nie je vybavená technológiou núteného obehu vzduchu. Podľa vyhlášky MZ SR 99/2016 Z.z je odporúčaná rýchlosť prúdenia vzduchu najviac 0,2 m.s⁻¹.

Hodnota objemu prúdiaceho vzduchu bola počas celého priebehu merania 0 CMM (meter kubický za minútu). Z výpočtu podľa STN EN 15251 je primeraný objem prúdiaceho vzduchu v rozmedzí 4,7 CMM až 8,3 CMM na danú plochu miestnosti 37,5 m² a maximálny počet osôb 16.

Pomocou krátkého dotazníka sme zisťovali subjektívnu pohodu pracovníka, vzhľadom na faktory ovplyvňujúce mikroklimatické podmienky na pracovisku. Otázky boli zamerané na vyjadrenie spokojnosti k jednotlivým faktorom mikroklimy (teplota vzduchu, prúdenie vzduchu, vlhkosť vzduchu, kvalita vzduchu). Dotazník nám vyplnilo celkovo 64 respondentov, a vyhodnotenie je spracované v Tab. 2. (Kopča, Váry, 2009).

Tab. 2 Vyhodnotenie dotazníka
 Tab. 2 Questionnaire evaluation

VYHODNOTENIE DOTAZNÍKA		VÝSLEDOK	
<i>Máte pocit nadmerného prúdenia vzduchu (prievan)?</i>			
Áno	7	11%	
Neviem	18	28%	
Nie	39	61%	
<i>Pocit'ujete prílišný chlad?</i>			
Áno	7	11%	
Neviem	11	17%	
Nie	46	72%	
<i>Pocit'ujete prílišne teplo?</i>			
Áno	11	17%	
Neviem	10	16%	
Nie	43	67%	
<i>Máte pocit suchého, vydýchaného vzduchu?</i>			
Áno	37	58%	
Neviem	10	16%	
Nie	17	26%	
<i>Najčastejšie uvádzané zdravotné ťažkosti</i>			
Žiadne	11	17%	
Bolesť hlavy	36	56%	
Problémy zo zrakom	14	22%	
Dýchacie problémy	13	20%	
Únava	28	44%	
<i>Spokojnosť s mikroklimatickými podmienkami</i>			
Spokojný	7	11%	
Skôr spokojný	32	50%	
Neviem	12	19%	
Skôr nespokojný	13	20%	
Nespokojný	0	0%	

Najviac vnímaným faktorom pracovnej mikroklimy je teplota prostredia. Okrem merania teploty sme sa zamerali aj na to ako teplotu vnímajú študenti prostredníctvom dotazníka. Nami namerané hodnoty sa pohybovali v rozmedzí prípustných hodnôt pre chladné obdobie roka. Najnižšia nameraná hodnota bola 20,1 °C a najvyššia 25,8 °C. Teplotu prostredia označila prevažná väčšina respondentov za vyhovujúcu, až 70 %, čím sa nám potvrdilo naše meranie. Teplotu vzduchu, ako jeden z faktorov ovplyvňujúcich mikroklimu pracovného prostredia, považujeme v tomto prípade za vyhovujúcu.

Chladné obdobie roka je charakteristické tým, že sú budovy vykurované, čo má za následok výrazný pokles koncentrácie vodných pár vo vzduchu. Pre stanovenie relatívnej vlhkosti vzduchu bola použitá metóda priameho merania vlhkosti vzduchu, a súčasne bolo prevedené aj meranie teploty mokrého teplomera. Zistili sme že namerané hodnoty sú veľmi nízke a sú pod úrovňou minimálnej zákonom stanovenej hranice. V priemere sa vlhkosť vzduchu pohybovala okolo 24,15 %. Takto nízke hodnoty môžu spôsobovať problémy súvisiace so suchým vzduchom (vysychanie a zdurení slizníc, ich znížená obranyschopnosť,

nádcha, dusivý kašeľ prechádzajúci často do chronickej formy, zápal horných dýchacích ciest i ďalšie). Z dotazníka sme zistili, že študenti vnímajú nízku hladinu vlhkosti vzduchu ako negatívne pôsobiaci faktor na ich zdravie. Až 58 % respondentov uviedlo, že majú pocit suchého vydýchaného vzduchu. Uvádzajú tiež zdravotné ťažkosti, ako napr. ťažkosti s dýchaním, podráždenie očí, únava, bolesť hlavy. Takýto stav je nevyhovujúci a je potrebné počas zimného obdobia umelo zvlhčovať takéto prostredie. Ideálna je vlhkosť vzduchu od 40 % do 55 %.

Koncentráciu CO a CO₂ vieme najlepšie vyjadriť počtom častíc na jeden milión ostatných častíc vo vzduchu. Hladina CO bola veľmi nízka, a počas trvania merania neprekročila hranicu 0,5 ppm, a takýto stav spĺňa legislatívu SR. Hoci je CO₂ nejedovatý plyn, jeho vysoká koncentrácia negatívne vplyva na pracovnú pohodu. Počas merania bolo v uzavretej miestnosti od 14 do 16 osôb. Pri našom meraní sme zaznamenali extrémny nárast koncentrácie CO₂ počas výučby. Najvyššia nameraná koncentrácia bola 2380 ppm. Koncentrácie CO₂ vyššie ako 1200 ppm až 1500 ppm zodpovedajú za nesústreďenosť študentov, a ich nepozornosť pri vyučovacom procese ovplyvňujú ich pracovný a študijný výkon. Navrhujeme vetrať v pätnásť minútových intervaloch po dobu desiatich minút.

4 Záver

Diagnostikou prostredia a analýzou získaných údajnou vieme posúdiť úroveň pracovného prostredia, jeho nedostatky z pohľadu mikroklimatických vplyvov na pracovnú pohodu účastníkov. Výsledky z dotazníka nám ukazujú že študenti vnímajú negatívny vplyv pracovného prostredia na ich zdravie. Až 56 % účastníkov výskumu uvádza bolesť hlavy za následok negatívneho pôsobenia mikroklimatických podmienok na pracovisku. Takmer 60 % respondentov je nespokojných s vlhkosťou vzduchu v učebnej miestnosti. Podľa Švidovej (2011) vždy musíme počítať s určitým počtom nespokojných. Pri maximálne 10 % nespokojných z celkového počtu pracovníkov je prostredie považované za optimálne. V našom prípade je miera nespokojnosti 20 %. V priemere sa vlhkosť vzduchu pohybovala okolo 24,15 %. Takto nízke hodnoty môžu spôsobovať zdravotne ťažkosti súvisiace so suchým vzduchom. Až 58 % respondentov uviedlo, že majú pocit suchého vydýchaného vzduchu. Uvádzajú tiež zdravotné ťažkosti, ako napr. ťažkosti s dýchaním, podráždenie očí, únava, bolesť hlavy. Ideálna je vlhkosť od 40 % do 55 %, ktorú jednoducho dosiahneme zvlhčovačmi, ktoré dodajú potrebnú dávku vody do vzduchu. Všetky získané údaje z výskumu nám poskytli dostatočné množstvo informácií k danej problematike. Potvrdil sa nám tak význam a dôležitosť dodržiavania predpísaných hodnôt pre dané veličiny. Zistili sme, aké podstatné je venovať pozornosť mikroklimatickým pracovným podmienkam a ich vplyvom na pracovnú pohodu pracovníkov.

Ako jedno z riešení na zlepšenie podmienok na pracovisku navrhujeme montáž systému modernej rekuperácie vzduchu. Rekuperačné jednotky zabezpečujú regulovanú výmenu vzduchu bez plytvania energiou a zároveň by sme vedeli zabezpečiť optimálnu kvalitu vzduchu. Riadené vetranie pomocou rekuperácie zachytáva škodliviny, jemný prach a peľ a zabraňuje ich prenikaniu z vonkajšieho vzduchu do vnútorných priestorov. Rekuperácia tepla zároveň môže ušetriť 30 až 50% nákladov.

5 Literatúra

Koncentrácia oxidu uhličitého vo vetraných miestnostiach [online]. [citované 9. apríla 2018]. Dostupné na <<http://www.tzbportal.sk/kurenie-voda-plyn/koncentracia-oxidu-uhliciteho-vo-vetranych-miestnostiach.html>>.

KOPČA, M., BISTÁK, P., LELÁK, J., ŠALY, V. (2002). Bezpečnosť a ochrana zdravia pri práci (BOZP I.): Základné pojmy a predpisy. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave. 101s. ISBN 80-22718-09-2

KOPČA, M., VÁRY, M. (2009). Bezpečnosť a ochrana zdravia pri práci: BOZP II. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave. 113s. ISBN 978-80-227-3047-1

Nariadenie Vlády Slovenskej republiky 355/2006 Z.z. o ochrane zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou chemickým faktorom pri práci.

STN EN 15251:2007. Vstupné údaje o vnútornom prostredí budov na navrhovanie a hodnotenie energetickej hospodárnosti budov – kvalita vzduchu, tepelný stav prostredia, osvetlenie a akustika.

SZÉKYOVÁ, M. a kol. (2010). Vetranie a klimatizácia. Bratislava: Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia ZSVTS. ISBN 978-80-89216-33-8.

ŠVÍDOVÁ, D. (2011). Hodnotenie tepelno-vlhkostnej mikroklímy pracovného prostredia. Košice: Novus Scientia. (online). (cit. 2017.11.29). Dostupné na <<http://www.sjf.tuke.sk/novus/papers/588-594.pdf>>.

Vyhláška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky 99/2016 Z.z o podrobnostiach o ochrane zdravia pred záťažou teplom a chladom pri práci.

Zákon 355/2007 Z. z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov

Súhrn

Predmetom tejto práce je objektívne a subjektívne hodnotenie podmienok pracovného prostredia so zameraním na mikroklimu pracovných podmienok a ich vplyv na blahobyt pracovníkov. Charakterizovali sme niekoľko základných fyzikálnych faktorov ovplyvňujúcich kvalitu práce pracovníka. Výskumnú skupinu tvorí 64 študentov vo veku 25 rokov. Pomocou krátkeho dotazníka zistíme subjektívnu pohodu pracovníka alebo študenta, berúc do úvahy faktory ovplyvňujúce mikroklimatické podmienky na pracovisku. Objektívne hodnotenie pracovného prostredia spočíva priamo v meraní mikroklimatických premenných. Meranie trvalo celkovo 7 h 10 minút a pomocou výsledkov merania môžeme vyhodnotiť a porovnať údaje získané s optimálnymi a prípustnými mikroklimatickými podmienkami pracovného prostredia tak, ako sú stanovené vo vykonávacích predpisoch a technických normách.

Kľúčové slová: teplota vzduchu, vlhkosť vzduchu, prúdenie vzduchu, mikroklimatické podmienky, pracovné prostredie

POROVNANIE NIEKTORÝCH REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ PRE VYBRANÉ DRUHY HYDRAULICKÝCH KVAPALÍN

COMPARISON OF SOME RHEOLOGICAL PROPERTIES FOR CHOSEN TYPES OF HYDRAULIC FLUIDS

KATARÍNA PAPÁNKOVÁ – PETER HLAVÁČ

Abstract

This article deals with exploring of the rheological properties of hydraulic fluids. The aim of this research was to explore temperature dependencies of the most important rheological properties – density and viscosity. Temperature dependencies were examined on new and used samples of hydraulic oils. For measurement were used two types of hydraulic oil – Mobil DTE 25 and Mobil Velocite Oil No. 6. In every measurement these parameters were decreasing with the rising temperature. For density were discovered linear dependencies with coefficient of determination in the range (0,9983 – 0,9990). In the case of dynamic viscosity the exponential dependencies were observed with coefficient of determination in the range (0,9864 – 0,9884). The measurement proved that the used oil had higher density and lower dynamic viscosity than the new oil, what was caused by penetrated impurities. Every coefficient of determination was very close to 1, what proved strong temperature dependence of measured properties.

Key words: rheological properties, hydraulic oils, temperature dependence of dynamic viscosity, temperature dependence of density, comparison of results

1 Úvod

Reologické vlastnosti ovplyvňujú zmenu tvaru látok a pri kvapalinách aj ich tok. Tieto vlastnosti sa menia v závislosti od pôsobiacich vonkajších podmienok ako je napätie (tlak), teplota, deformácia a čas. Reológia teda predstavuje vedný odbor, zaoberajúci sa prietokom a deformáciou materiálov pri mechanickom namáhaní pri pôsobení rozličných vonkajších podmienok (Lengyelová, 2020). V súčasnosti sa kladú vysoké požiadavky na hydraulické kvapaliny, aby pri zvýšených teplotách a tlakoch, zachovávali svoje reologické vlastnosti. Vyžaduje sa, aby mali stabilné termofyzikálne vlastnosti a predchádzali tak častým zmenám pri prevádzkových podmienkach (Halдар et al., 2020). Na meranie reologických vlastností sa používajú rôzne reometre, ktoré umožňujú merať viskozitu aj elasticitu pri širokej škále podmienok (Netzsch, 2021). Najčastejšie sa používajú rotačné reometre, ktoré umožňujú merať viskozitu a iné reologické vlastnosti v ustálenom šmykovom aj oscilačnom poli. Hlavné časti týchto reometrov tvoria rotor a stator, medzi ktorými sa umiestni meraný materiál. Môžu pracovať v dvoch režimoch, buď je nastavené šmykové napätie, ku ktorému sa úmerne meria rýchlosť šmykovej deformácie (CS – Controlled Stress) alebo naopak (CR – Controlled Rate) (KZM, 2017).

Za najdôležitejšie reologické vlastnosti hydraulických olejov považujeme hustotu a viskozitu. Hustota vyjadruje pomer hmotnosti danej látky na jednotku objemu tejto látky (Esteban et al., 2012). Optimálna hustota hydraulických olejov pri teplote 15 °C by mala byť (800 – 950) kg·m⁻³. Hustota oleja je významným kvalitatívnym ukazovateľom, a jej hodnota signalizuje stav oleja, resp. jeho znečistenie cudzími látkami. Esteban et al. (2012) skúmal vo svojej práci teplotnú závislosť hustoty a meraniami dokázali, že hustota hydraulickej kvapaliny lineárne klesá pri zvyšovaní teploty. Viskozita charakterizuje tokové chovanie kvapaliny (Attia et al., 2020). Optimálna viskozita je taká, ktorá poskytuje najlepší pomer medzi objemovou a mechanickou účinnosťou. Dvořák (2010) za optimálnu viskozitu považuje (16 – 36) mm²·s⁻¹. Jednotka mm²·s⁻¹ patrí kinematickej viskozite, ktorá sa v praxi najčastejšie uvádza pri teplotách 40 °C a 100 °C. Pri skúmaní reologických vlastností sa meria dynamická viskozita, ktorá má jednotku Pa·s. Závislosť od teploty preukázal Ustra et al. (2013) niekoľkými meraniami, kde dospel k záveru, že s rastúcou teplotou sa znižuje vnútorný odpor kvapaliny (dynamická viskozita).

Cieľom práce bude vykonať merania vybraných reologických vlastností, t.j. hustoty a dynamickej viskozity, pri meniacej sa teplote. Na meranie budú použité dva druhy hydraulických olejov.

2 Materiál a metódy

Na meranie hustoty a dynamickej viskozity hydraulických olejov v závislosti od teploty použijeme hustomer Mettler Toledo DM 40 a rotačný viskozimeter Brookfield DV2T. Pre realizáciu výskumu budú použité dva druhy hydraulického oleja.

Princíp činnosti hustomeru spočíva v elektromagnetickej indukovanej oscilácii sklenenej U – trubice. Oscilácia je indikovaná pomocou prevodníka a magnetu, ktorý je pripevnený na trubici. Prázdna trubica vibruje pri inej frekvencii ako trubica, v ktorej je vzorka. Pri vyššej hmotnosti vzorky sa táto frekvencia znižuje a naopak sa zvyšuje perióda. Perióda oscilácie T je doba, za ktorú vibrácia vykoná dokončený pohyb, resp. pohyb tam aj späť (Mettler – Toledo, 2014). Základné parametre sú uvedené v Tab. 1.

Tab. 1 Technické parametre Mettler Toledo DM40 (Mettler – Toledo, 2014)

Tab. 1 Technical parameters of Mettler Toledo DM40

Rozsah merania hustoty, [g·cm ⁻³]	0 – 3
Opakovateľnosť merania, [g·cm ⁻³]	± 0,00005
Presnosť merania, [g·cm ⁻³]	± 0,0001
Rozsah teploty, [°C]	0 – 91
Požadované množstvo vzorky pri ručnom vstreknutí injekčnou striekačkou, [ml]	min. 1,2
Rozsah tlaku v meracej komore	≤ 1 MPa

Tab. 2 Technické parametre viskozimetru Brookfield DV2T (Brookfield, 2014)

Tab. 2 Technical parameters of viscometer Brookfield DV2T

Rozsah teploty, [°C]	-100 až +300
Presnosť merania teploty, [°C]	± 1 (pre rozsah teplôt -100 °C až +149 °C)
	± 2 (pre rozsah teplôt +150 °C až +300 °C)
Reprodukovateľnosť merania, [%]	± 0,2
Rozsah merania viskozity, [mPa·s]	100 – 40 000 000
Presnosť merania viskozity, [%]	± 1
Rýchlosť otáčok vretena [ot·min ⁻¹]	0,1 – 200
Minimálne množstvo vzorky [ml]	15

Princíp činnosti viskozimetra DV2T je poháňanie vretena, ponoreného do testovacej kvapaliny, cez kalibrovanú pružinu. Viskózný odpor kvapaliny proti pohybu vretena sa meria pomocou vychýlenia pružiny. Vychýlenie pružiny sa meria rotačným prevodníkom. Na základe veľkosti vychýlenia prístroj prepočíta dynamickú viskozitu (Brookfield, 2014). Technické parametre viskozimetru sú uvedené v Tab. 2.

V rámci výskumu budeme merať dva druhy hydraulického oleja. Z každého druhu odmeriame dve vzorky, pričom vždy jedna bude nový hydraulický olej a druhá bude použitý hydraulický olej. Prvá vzorka bude nový hydraulický olej Mobil DTE 25. Vzorka č. 2 bude rovnaký olej používaný približne rok na linke pre pozdĺžne delenie ocele. Tretia vzorka bude nový olej Mobil Velocite Oil No.6 a štvrtá vzorka bude hydraulický olej tohto druhu odobraný z rýchlobežného dierovacieho lisu, po cca. trištvrte roku používania. V Tab. 3 sú uvedené ich špecifické vlastnosti.

Tab. 3 Špecifické vlastnosti olejov Mobil DTE 25 a Mobil Velocite Oil No.6
(MVO, 2016; DTE 25, 2019)

Tab. 3 Specific properties of oils Mobil DTE 25 and Mobil Velocite Oil No.6

	Mobil DTE 25	Mobil Velocite Oil No.6
Hustota / 15 °C	–	844 kg·m ⁻³
Hustota / 15, 6 °C	876 kg·m ⁻³	–
Viskozita / 40 °C / ASTM D 455	44,2 mm ² ·s ⁻¹	10 mm ² ·s ⁻¹
Viskozita / 100 °C / ASTM D 455	6,7 mm ² ·s ⁻¹	2,62 mm ² ·s ⁻¹
Viskozitný stupeň ISO	46	10
Bod vzplanutia / ASTM D 92	202 °C	180 °C
Bod tuhnutia / ASTM D 97	- 27 °C	- 15 °C

Pri meraniach aplikujeme ten istý postup, aby získané výsledky boli čo najobjektívnejšie. Všetky merania závislosti hustoty od teploty budú realizované pri teplote (0 – 90) °C. Pri dynamickej viskozite bude začiatkový interval posunutý od teploty 5 °C.

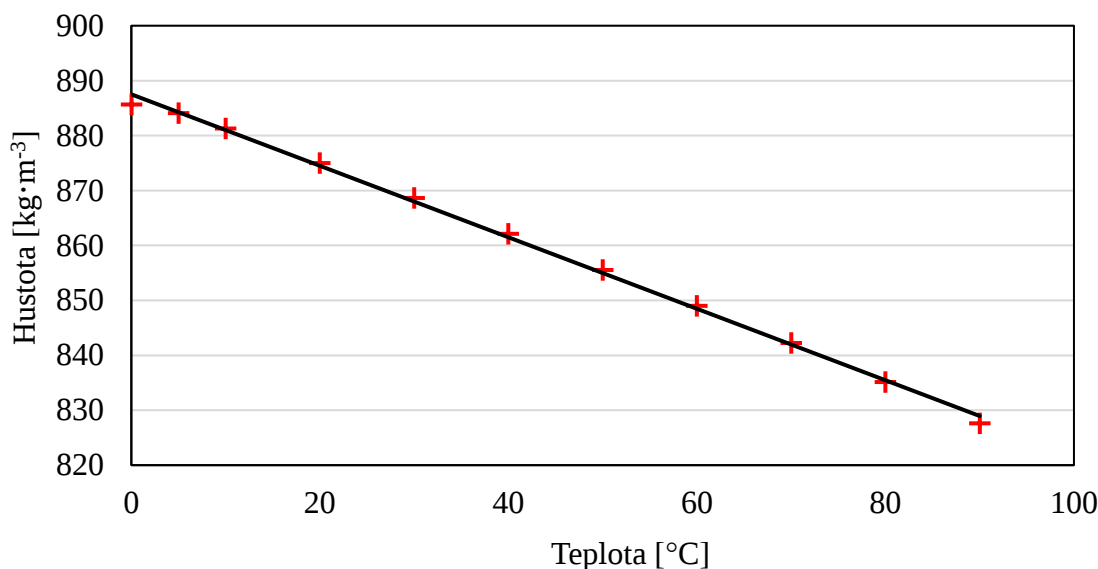
Pri meraní hustoty budeme postupovať nasledovne: pomocou tlačidla zapneme prístroj a zvolíme metódu merania. Meracia cela sa začne chlaďať a pri teplote približne 0 °C nás vyzve, aby sme vložili vzorku. Vzorku vstrekneme do U – trubice pomocou injekčnej striekačky, pričom musíme zaplniť celú trubicu. Prvú hodnotu získame pri teplote 0 °C, a ďalšiu hodnotu zapisujeme až pri teplote 5 °C. Po nameraní hodnoty pri 10 °C bude interval získavaných hodnôt 10 °C až do konečnej teploty 90 °C. Po ukončení merania spustíme metódu CL (clean). Keď sa prístroj ochladí na 20 °C odoberieme celú našu vzorku z trubice a prepláchneme ju liehom a následne acetónom. Prepláchnutú trubicu potom napojíme na hadičku DryPal, ktorá ju vysuší a pripraví na ďalšie použitie.

Meranie dynamickej viskozity začneme zapnutím prístroja, ktorý sa automaticky začne kalibrovať. Vyberieme vhodné vreteno a spolu s našou vzorkou ho vložíme do meracej nádoby. Túto nádobu zasunieme do prístroja a upevníme pomocou ťahovacej skrutky. Vzorku začneme

chladit' na 5 °C pomocou pripojeného chladiča. Pred začatím merania ešte nastavíme rýchlosť otáčania vretena tak, aby krútiaci moment počas merania bol v rozmedzí (10 – 90) %. Prvú hodnotu zapíšeme pri teplote 5 °C a vzorku zohrejeme na 10 °C. Po zapísaní hodnoty pri tejto teplote opakujeme meranie s intervalom 10 °C až po teplotu 90 °C. Po skončení merania vyčistíme vreteno aj meraciu nádobu a prístroj pripravíme pre ďalšie meranie.

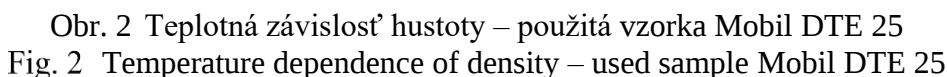
3 Výsledky a diskusia

Ako prvé sme merali teplotnú závislosť hustoty. Začali sme so vzorkami hydraulického oleja Mobil DTE 25. Z dôvodu veľmi blízkych nameraných hodnôt a prekryvania trendových spojnic sme vytvorili dva samostatné grafy, pričom prvý graf zodpovedá novej vzorke (Obr. 1) a druhý graf zodpovedá použitej vzorke (Obr. 2). Z nameraných hodnôt je vidno, že použitý olej má mierne nižšie hodnoty hustoty ako nový olej. Táto skutočnosť je spôsobená tým, že olej na linke sa nevymieňal kompletne, ale bol len dolievaný v prípade potreby, a taktiež tým, že do používaného oleja boli pridávané aditíva na rozpúšťanie nečistôt, čo malo zabezpečiť jeho dlhšiu životnosť. Nakoľko rozdiely medzi nameranými hodnotami sú veľmi nízke, môžeme konštatovať, že olej je stále vyhovujúci.



Obr. 1 Teplotná závislosť hustoty – nová vzorka Mobil DTE 25

Fig. 1 Temperature dependence of density – new sample Mobil DTE 25



Teplota [°C]	Hustota nová vzorka [kg·m⁻³]	Hustota použitá vzorka [kg·m⁻³]
0	848	852
5	846	849
10	844	846
20	837	840
30	830	833
40	824	827
50	817	820
60	810	813
70	804	806
80	797	799
90	790	792

Strana 183 z 230

Vo všetkých meraniach sme zaznamenali lineárne klesanie hustoty so zvyšujúcou sa teplotou. Priebeh tejto lineárnej závislosti môžeme vyjadriť regresnou rovnicou (1), ktorá má vo všeobecnosti tvar.

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

Kde: ρ – hustota, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

A, B – konštanty rovnice, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

t – teplota, $^{\circ}\text{C}$

$t_0 = 1^{\circ}\text{C}$.

Konkrétne regresné rovnice spolu s koeficientmi sú uvedené v Tab. 4. Taktiež je v nej uvedený koeficient determinácie R^2 , ktorý vyjadruje presnosť lineárnych funkcií a taktiež aj mieru závislosti hustoty od teploty.

Tab. 4 Regresné rovnice a ich koeficienty a koeficienty determinácie pre teplotné závislosti hustoty

Tab. 4 Regression equations and its coefficients and coefficients of determination for temperature dependencies of density

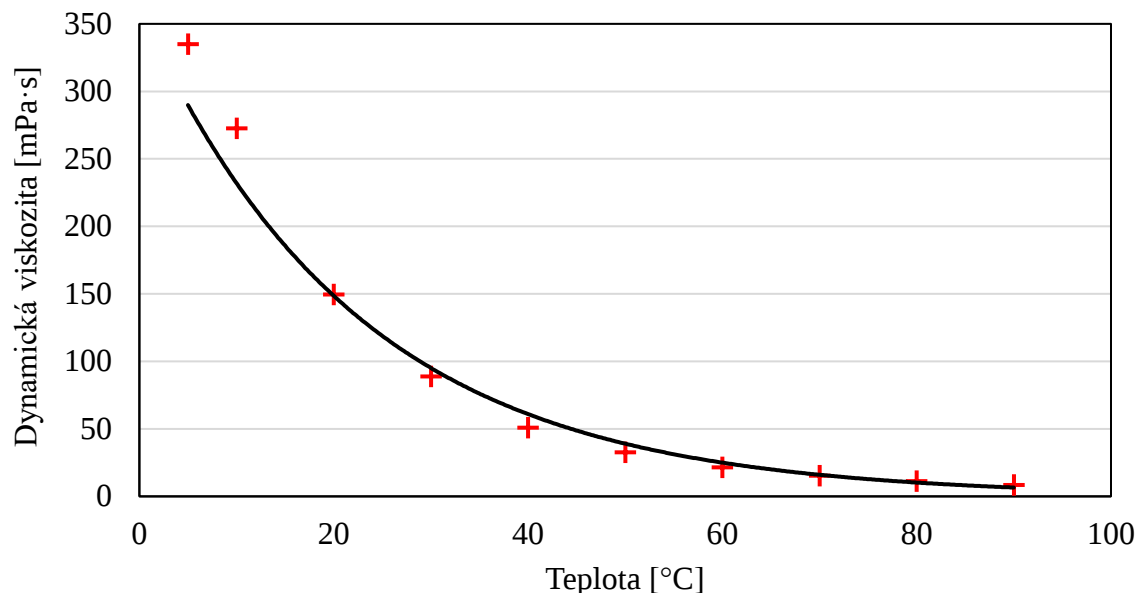
		koeficient regresnej rovnice (1)		
Hydraulický olej	Regresná rovnica	A [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]	B [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]	R ²
Mobil DTE - nový	$\rho = 887,51 - 0,6506x$	887,51	-0,6506	0,9983
Mobil DTE - použitý	$\rho = 886,66 - 0,6390x$	886,66	-0,6390	0,9990
Velocite No.6 - nový	$\rho = 849,65 - 0,6607x$	849,65	-0,6607	0,9989
Velocite No.6 - použitý	$\rho = 852,52 - 0,6605x$	852,52	-0,6605	0,9989

Vo všetkých meraniach vyšli koeficienty determinácie veľmi vysoké, blížiac sa k hodnote 1, čo potvrdzuje vysokú závislosť hustoty od teploty a takisto aj vysokú presnosť merania. Presnosť merania môžeme posúdiť aj na základe porovnania nameraných hodnôt nových vzoriek s hodnotami, ktoré sú uvedené v Tab. 3. Keďže v tabuľke sú uvedené hodnoty pre teploty (15 a 15,6) $^{\circ}\text{C}$, my si tieto hodnoty dopočítame na základe získaných regresných rovníc z Tab. 4. Pre vzorku Mobil DTE 25 sme vypočítali pri teplote 15,6 $^{\circ}\text{C}$ hustotu 877,36 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, ktorá je veľmi blízka hodnote 876 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ uvedenej v tabuľke (DTE 25, 2019). Pre vzorku Mobil Velocite Oil No.6 sme vypočítali hustotu 839,74 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ pri teplote 15 $^{\circ}\text{C}$, ktorá sa mierne líši od uvedenej hodnoty 844 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (MVO, 2016). Na základe tohto porovnania môžeme konštatovať, že merania boli dostatočne presné a malé odchýlky mohli vzniknúť nepozornosťou pri meraní alebo nevhodným skladovaním olejov.

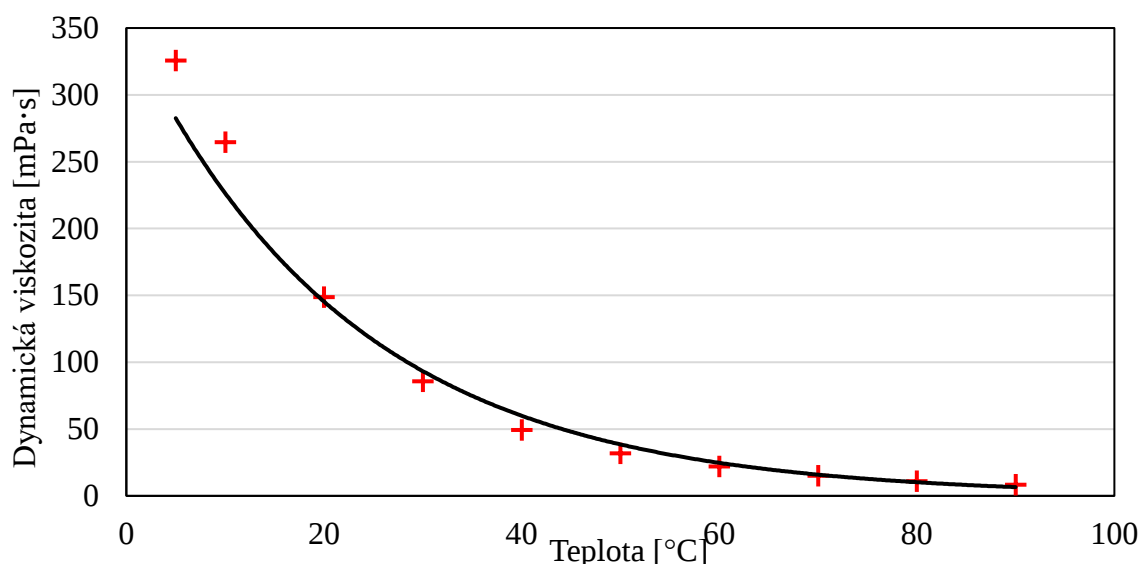
Ako druhé sme merali dynamickú viskozitu v rozsahu teplôt (5 – 90) $^{\circ}\text{C}$. Prvé sme merali vzorky oleja Mobil DTE 25. Rovnako ako pri meraní hustoty, aj v tomto prípade boli namerané hodnoty novej a použitej vzorky veľmi blízke, preto sme ich spracovali do samostatných grafov. Prvý graf (Obr. 4) zodpovedá nameraným hodnotám novej vzorky a druhý graf (Obr. 5) použitej vzorky. Namerané hodnoty dokazujú, že nový olej má vyššiu dynamickú viskozitu ako olej použitý. Z priebehu grafov môžeme sledovať, že so zvyšovaním teploty sa znižuje rozdiel dynamickej viskozity nameraných vzoriek, a pri teplote 90 $^{\circ}\text{C}$ je rozdiel len 0,12 $\text{mPa} \cdot \text{s}$. Na základe malých rozdielov medzi nameranými hodnotami môžeme tvrdiť, že olej je stále vyhovujúci a je možné ho používať aj naďalej bez toho, aby došlo k zvýšenému opotrebeniu stroja.

Pri vzorkách olejov Mobil Velocite Oil No.6 sme z nameraných hodnôt zostrojili spoločný graf (Obr. 6), na ktorom je vidno, že použitý olej má nižšiu dynamickú viskozitu

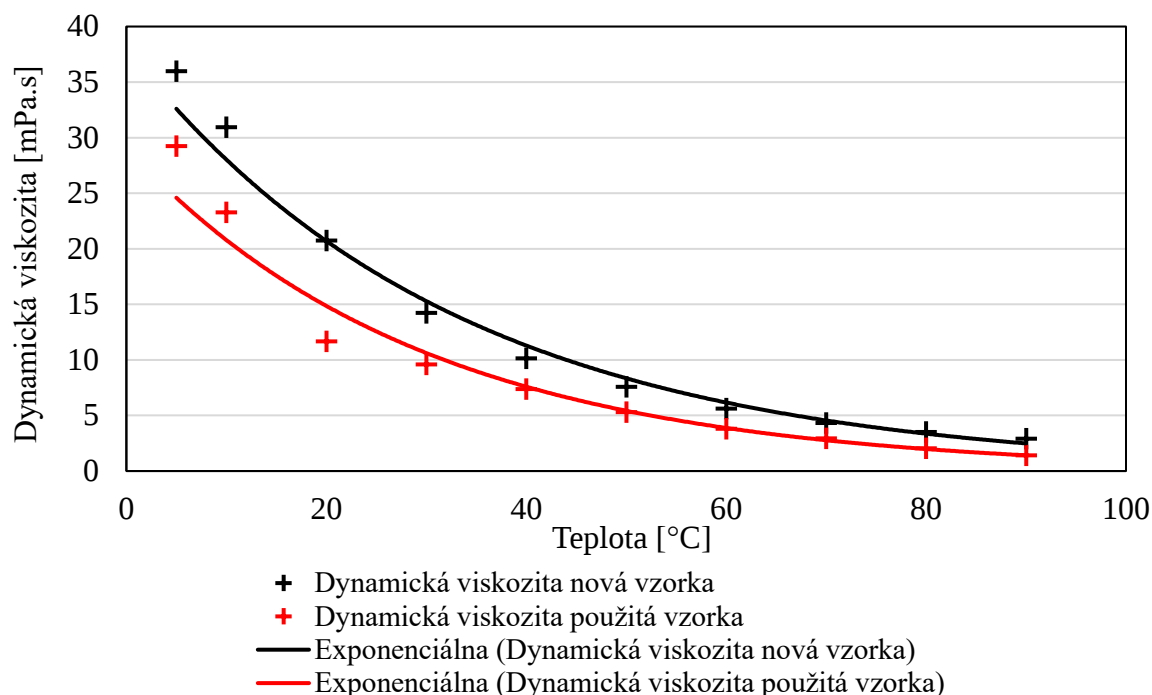
ako olej nový. Takisto môžeme pozorovať, že s rastúcou teplotou sa rozdiely medzi nameranými vzorkami znižujú, pričom rozdiel dynamickej viskozity pri teplote 5 °C je 6,74 mPa·s a pri teplote 90 °C je tento rozdiel len 1,49 mPa·s. Rozdiely nameraných hodnôt v oblasti prevádzkových teplôt (40 – 60) °C nie sú veľké, preto tento olej môžeme považovať za vyhovujúci.



Obr. 4 Teplotná závislosť dynamickej viskozity – nová vzorka Mobil DTE 25
 Fig. 4 Temperature dependence of dynamic viscosity – new sample Mobil DTE 25



Obr. 5 Teplotná závislosť dynamickej viskozity – použitá vzorka Mobil DTE 25
 Fig. 5 Temperature dependence of dynamic viscosity – used sample Mobil DTE 25



Obr. 6 Teplotné závislosti viskozity – nová a použitá vzorka Velocite Oil No.6
 Fig. 6 Temperature dependencies of viscosity – new and used sample Velocite Oil No.6

Vo všetkých meraniach sme pozorovali exponenciálne klesanie dynamickej viskozity pri rastúcej teplote. Tieto exponenciálne krivky môžeme popísať regresnou rovnicou Arrheniovoho typu (2).

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

Kde: η – dynamická viskozita, mPa·s
 C, D – konštanty regresnej rovnice, mPa·s
 t – teplota, °C
 $t_0 = 1$ °C

Regresné rovnice popisujúce konkrétne exponenciálne krivky zobrazené na grafoch (Obr. 4 – 6) sú uvedené v Tab. 5. Sú v nej uvedené aj koeficienty determinácie, ktoré ako už bolo spomínané vyjadrujú mieru teplotnej závislosti dynamickej viskozity. Pri meraniach dynamickej viskozity vyšli tieto hodnoty mierne nižšie ako pri meraní hustoty, no stále ich môžeme považovať za vysoké čísla blížiac sa k hodnote 1. Preto aj merania môžeme považovať za dostatočne presné.

Tab. 5 Regresné rovnice a ich koeficienty a koeficienty determinácie pre teplotné závislosti dynamickej viskozity

Tab. 5 Regression equations and its coefficients and coefficients of determination for temperature dependencies of dynamic viscosity

		koeficient regresnej rovnice (2)		
Hydraulický olej	Regresná rovnica	C [mPa·s]	D [1]	R ²
Mobil DTE - nový	$\eta = 362,16e-0,045x$	362,160	0,045	0,9864
Mobil DTE - použitý	$\eta = 352,61e-0,044x$	352,610	0,044	0,9867
Velocite No.6 - nový	$\eta = 37,929e-0,030x$	37,929	0,030	0,9884
Velocite No.6 - použitý	$\eta = 29,092e-0,034x$	29,092	0,034	0,9868

Pri posúdení presnosti merania na základe porovnania nameraných hodnôt s hodnotami v Tab. 3, sme museli najprv prepočítať dynamickú viskozitu na kinematickú, na základe vzťahu (3), takisto sme si museli na základe regresných rovníc v Tab. 4 dopočítať hustoty pre 100 °C. Pre novú vzorku Mobil DTE 25 sme pri teplote 100 °C vypočítali kinematickú viskozitu $4,89 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, ktorá sa mierne líši od hodnoty $6,70 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Pri 40 °C bol rozdiel medzi vypočítanou hodnotou $58,81 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a predpísanou hodnotou $44,20 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ oveľa väčší (DTE 25, 2019). V prípade vzorky Mobil Velocite Oil No.6 boli oba rozdiely naozaj malé. Pri teplote 100 °C sme zaznamenali najmenší rozdiel, kedy vypočítaná hodnota bola $2,41 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a predpísaná $2,62 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. O trochu väčší rozdiel sme zaznamenali pri 40 °C, kde sme vypočítali viskozitu $12,33 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a výrobca udáva $10 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (MVO, 2016). Rozdiely medzi hodnotami mohli byť spôsobené nepresnosťou merania, ako aj tým, že do výpočtu sme používali hustotu zo získaných regresných rovníc, ktoré tiež neboli 100 % presné. Taktiež to mohlo byť ovplyvnené inými faktormi ako sú napr. otáčky vretena či typ vretena.

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (3)$$

Kde: ν – kinematická viskozita, $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

η – dynamická viskozita, $\text{Pa} \cdot \text{s}$

ρ – hustota, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Podobné výsledky vo svojich výskumoch dosiahli aj Esteban et al. (2012) a Ustra et al. (2013). Obidva výskumy boli zamerané na meranie teplotných závislostí hustoty a viskozity na rastlinných olejoch, pričom pre hustotu zistili lineárnu závislosť od teploty a pre viskozitu exponenciálnu. Ďalej uvádzajú že so zvyšujúcou sa teplotou hodnoty oboch týchto vlastností klesajú. Esteban et al. (2012) vykonával merania pri teplotách (10 – 140) °C, pričom pre lineárnu závislosť hustoty určil koeficienty determinácie (0,99900 – 0,99985) a pre meranie kinematickej viskozity (0,998765 – 0,999965). Ustra et al. (2013) meral v rozmedzí teplôt (9,85 – 89,85) °C. Najnižší koeficient determinácie pre teplotnú závislosť hustoty zaznamenal pre ricínový olej, a to 0,9988. Naopak najvyšší koeficient determinácie 0,9998 zaznamenal pre sójový olej. Koeficienty determinácie pre teplotnú závislosť dynamickej viskozity vo výskume neuvádza. Naše výsledky sa zhodujú s výsledkami spomínaných výskumov, a preto môžeme potvrdiť vysoké teplotné závislosti ako hustoty, tak aj dynamickej viskozity.

4 Záver

Náš výskum bol zameraný na určenie teplotnej závislosti vybraných reologických vlastností – hustoty a dynamickej viskozity. Výskum sme realizovali na dvoch druhoch hydraulických olejoch (Mobil DTE 25 a Mobil Velocite Oil No.6), pričom z každého sme merali novú aj použitú vzorku. V prípade hustoty sme zistili teplotnú závislosť, ktorú reprezentuje lineárna krivka na grafoch (Obr. 1 – 3), ktorá so zvyšujúcou sa teplotou klesá. Všetky krivky sme popísali regresnými rovnicami (Tab. 4). Každéj krivke prislúcha aj koeficient determinácie, ktorý určuje mieru teplotnej závislosti. Vo všetkých prípadoch vyšli tieto koeficienty blízke 1, (0,9983 – 0,9990), čo potvrdzuje vysokú závislosť hustoty od teploty. Pri porovnávaní jednotlivých vzoriek sme zistili, že použité vzorky majú vyššiu hustotu ako nové, čo je v prevádzke spôsobené najmä nečistotami. Pri vzorkách oleja Mobil DTE sme zaznamenali veľmi malé rozdiely, pričom najväčší bol pri teplote 60 °C – $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Pri vzorkách Mobil Velocite sa tieto rozdiely pohybovali v rozmedzí (2,8 – 3,05) $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Pri skúmaní dynamickej viskozity sme zistili exponenciálnu závislosť od teploty. Klesanie viskozity s rastúcou teplotou sme popísali regresnou rovnicou Arrheniovoho typu (2). Pre každú krivku sme zapísali jej regresnú rovnicu aj koeficient determinácie (Tab. 5). V tomto

prípade sa koeficienty determinácie pohybovali v rozmedzí (0,9864 – 0,9884), čo taktiež potvrdzuje vysokú teplotnú závislosť. Najväčšie rozdiely medzi novými a použitými vzorkami sme zaznamenali pri nízkych teplotách, pričom pri teplote 90 °C sa namerané hodnoty takmer zhodovali. Z nameraných hodnôt vyplýva, že dynamická viskozita použitej vzorky je menšia ako pri novej vzorke. Presnosť merania sme posúdili na základe porovnania nameraných hodnôt s hodnotami, ktoré udáva výrobca (Tab. 3). V prípade porovnávania hustoty pre vzorku Mobil DTE sa hustoty $877,36 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ / $876 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ takmer zhodovali. Pri vzorke Mobil Velocite sme zaznamenali väčší rozdiel $839,74 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ / $844 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Pri porovnávaní viskozít sme museli najskôr prepočítať dynamickú viskozitu na kinematickú. Pri teplote 100 °C vyšli kinematické viskozity blízke viskozitám, ktoré uvádza výrobca. Väčšie rozdiely sme pozorovali pri teplote 40 °C, kedy pri vzorke Mobil DTE bol rozdiel až o $14,61 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$ a pri vzorke Mobil Velocite bol rozdiel menší, a to $2,33 \text{ mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$. Na základe týchto porovnaní a vysokých koeficientov determinácie môžeme považovať merania za dostatočne presné. Mierne nepresnosti mohli byť spôsobené najmä nepozornosťou pri meraní alebo inými faktormi. Na základe nameraných hodnôt nových a použitých vzoriek, a malých rozdielov medzi nimi, hlavne v oblasti prevádzkových teplôt (40 – 60) °C, môžeme oba použité oleje stále považovať za vyhovujúce.

5 Literatúra

ATTIA, N. K. et al. 2020. Chemical and rheological assessment of produced biolubricants from different vegetable oils. In *Fuel*. vol. 271. ISSN 0016-2361.

BROOKFIELD. 2014. Viscomer BROOKFIELD DV2T, Operating Instruction: Manual No. M13 – 167 – B0614.

DTE 25. 2019. Mobil DTE 20 rad, [online]. © 2019 [cit. 2021-03-06]. Dostupné na: <<http://www.lubstar.cz/upload/files/sk/mobil-dte-20-rad.pdf>>.

DVOŘÁK, L. 2010. Vlastnosti tekutin, [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita. 62 s. [cit. 2021-03-02]. Dostupné na : <<http://www.338.vsb.cz/wp-content/uploads/2016/03/Dvorak-vlastnosti-tekutin.pdf>>.

ESTEBAN, B. et al. 2012. Temperature dependence of density and viscosity of vegetable oils. In *Biomass and Bioenergy*. vol. 42, no. 7, pp. 164-171. ISSN 0961-9534.

HALDAR, A., et al. 2020. Analysis of rheological properties of MWCNT/SiO₂ hydraulic oil nanolubricants using regression and artificial neural network. In *International Communications in Heat and Mass Transfer*. vol. 116, no. 1, pp. 1 – 12. ISSN 0735-1933.

KZM. 2017. Reologie, [online]. © 2017 [cit. 2021-03-01]. Dostupné na: <http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_03.pdf>.

LENGYELOVÁ, A. 2020. Viskozita. Zdanlivá viskozita, reológia, [online]. © 2020 [cit. 2021-03-01]. Dostupné na: <https://www.fpharm.uniba.sk/uploads/media/FT2_Viskozita_reologia_10.03.2020.pdf>.

METTLER – TOLEDO. 2014. Density Meters DM40 / DM45 DeltaRange / DM50, [online]. © 2021 [cit. 2021-03-05]. Dostupné na: <<https://www.manualslib.com/manual/1388013/Mettler-Toledo-Dm40.html#manual>>.

MVO. 2016. Mobil Velocite Oil číselný rad, [online]. © 2016 [cit. 2021-03-06]. Dostupné na: <https://1olej.sk/wp-content/uploads/2016/02/MOBIL_VELOCITE_OIL_NUMBER.pdf>.

NETZSCH. Rheology, [online]. © 2021. [cit. 2021-03-01]. Dostupné na: <<https://www.netzsch-thermal-analysis.com/en/products-solutions/rheology/rheometer/>>.

USTRA, M. K., et al. 2013. Effect of temperature and composition on density, viscosity and thermal conductivity of fatty acid methyl esters from soybean, castor and Jatropha curcas oils. In The Journal of Chemical Thermodynamics. vol. 58, pp. 460 – 466. ISSN 0021-9614.

Súhrn

Táto práca sa zaoberá skúmaním reologických vlastností hydraulických kvapalín. Cieľom tohto výskumu bolo určiť teplotné závislosti najdôležitejších reologických vlastností – hustoty a viskozity. Teplotné závislosti boli skúmané na nových a použitých vzorkách hydraulických olejov. Na meranie boli použité dva druhy hydraulického oleja – Mobil DTE 25 a Mobil Velocite Oil No.6. V každom meraní tieto vlastnosti klesali so zvyšujúcou sa teplotou. Pre hustotu boli zistené lineárne závislosti s koeficientmi determinácie v rozsahu (0,9983 – 0,9990). V prípade dynamickej viskozity boli pozorované exponenciálne závislosti s koeficientmi determinácie v rozmedzí (0,9864 – 0,9884). Merania dokázali, že použitý olej má väčšiu hustotu a menšiu dynamickú viskozitu ako nový olej, čo je spôsobené preniknutými nečistotami. Všetky koeficienty determinácie boli veľmi blízke 1, čo potvrdilo vysokú teplotnú závislosť meraných vlastností.

Kľúčové slová: reologické vlastnosti, hydraulické oleje, teplotná závislosť dynamickej viskozity, teplotná závislosť hustoty, potovnanie výsledkov.

Touto cestou by som sa chcela poďakovať Mgr. Petrovi Hlaváčovi, PhD., za jeho ochotu, cenné rady a usmernenie pri písaní tejto práce. Taktiež by som sa chcela poďakovať laboratóriám AgroBioTech, v ktorých bol výskum realizovaný.

VYTVORENIE APLIKÁCIE NA VYHODNOTENIE MERANIA VISKOZITY NA VISKOZIMETRI DV2T CREATION OF AN APPLICATION FOR EVALUATION OF VISCOSITY MEASUREMENTS ON VISCOMETER DV2T

TOMÁŠ SZASZKO, JÁN CSILLAG

Abstract

This project deals with the creation of a Microsoft Windows-based application for evaluating viscosity measurements on viscometer DV2T. The application is made in Microsoft Visual Studio 2019. The project includes basic information about the viscometer DV2T, basic informations about the way, how the viscometer provides us with measured values after the measurement in the form of a table in CSV format. Further the project includes the program itself, which is able to do conversion of the table we get from the viscometer to a table in Microsoft Excel format (xlsx), mainly the parts of importing and exporting the table with measured data, where as a result the table is created directly in Microsoft Excel together with the calculated values of kinematic viscosity and fluidity. Finally, graphical representations of these values are created as well. The calculations of the given values of kinematic viscosity and fluidity, the creation of the graphical representations as well as the necessary formulas for the calculations of these values are implemented directly in the „export“ part and this means, that they are performed automatically during the export. The result of the project is a fully automated program designed for the DV2T viscometer, which performs the conversion and then creates a table in Microsoft Excel with the values obtained from the measurement and it also creates the graphical representations of the wanted values.

Key words: viscometer DV2T, Microsoft Visual Studio 2019, types of formats, import, export, C#, dynamic viscosity, density, kinematic viscosity, fluidity

1 Úvod

Objektovo orientovaný programovací jazyk C# bol vyvinutý spoločnosťou Microsoft ako časť ich iniciatívy .NET. Programovací jazyk C# vznikol spojením programovacích jazykov Java a C++ a bol navrhnutý úmyslom, aby sa vyvážila sila programovacieho jazyka C++ a rýchlosť programovacích jazykov, ako napríklad Visual Basic, Delphi, ktoré využívajú rýchle programovanie, inak nazývané „rapid application development“. Programovací jazyk C# je vhodný pre začiatočníkov, kvôli jeho jednoduchosti a rýchlosti. Názov .NET predstavuje súbor technológií v softvérových produktoch, ktoré tvoria celú platformu. „Common Language Infrastructure“ (CLI) predstavuje štandardizovanú špecifikáciu jadra .NET. Základným komponentom .NET je Microsoft .NET Framework, ktoré predstavuje prostredie potrebné pre správne fungovanie aplikácií. Program, ktorý slúži na prácu s .NET Framework-om a taktiež slúži na vývoj aplikácií v tomto prostredí sa volá Microsoft Visual Studio .NET. Pod názvom Microsoft Visual Studio si predstavujeme integrované vývojové prostredie (IDE), ktorý sa používa na vývoj webových aplikácií, stránok, služieb, taktiež nájde využitie v oblasti mobilných

telefónov na vývoj mobilných aplikácií, ale taktiež nájde využitie aj vo vývoji počítačových programov. Použité platformy pre vývoj softvéru pochádzajú tiež od spoločnosti Microsoft. Použité platformy sú napríklad Windows Forms, Windows Presentation Foundation, Windows API a Windows Store.

2 Materiál a metódy

Na vytvorenie žiadanej aplikácie sme si zvolili programovací jazyk C# a prostredie, v ktorom bude prebiehať programovanie sme si zvolili Visual Studio 2019 od spoločnosti Microsoft. Hlavné parametre meraných kvapalín, ktoré nás budú zaujímať budú teplota, od ktorej budú závisieť ďalšie potrebné parametre, ako dynamická viskozita a hustota. Po úspešnom odmeraní vzoriek nás zaujíma zistenie hodnoty kinematickej viskozity, ktorá závisí od dynamickej viskozity a hustoty kvapaliny a ďalej hodnoty tekutosti, čo sa rovná prevrátenej hodnote kinematickej viskozity. Prvým krokom bolo vyriešenie importu, teda načítanie tabuľky vo formáte CSV (viď obr. 1 a obr. 2), ktorú nám poskytne prístroj do aplikácie.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	DV2T,,	VISCOSITY REPORT,,	Brookfield Engineering							
2										
3	SAMPLE INFORMATION									
4	Sample Notes,									
5										
6	TEST METHOD, File;	Unsaved Test								
7	Test Date/Time, Start,	02/03/21, 3:54 AM, End,	02/03/21, 3:58 AM, Tester,,	Administrator						
8	Instrument,, LV, S/N,	8677804, Model,,	DV2TLVKJ, FWV,,	1.1.7-9						
9	Spindle,, ULA (0), SMC,	0.640, SRC,	1.223							
10	Step, Speed, Temperature, Interval, Averaging, Collect single pt., Run,,	Density, QC Limits								
11	(#), (RPM), (°C), (hh:mm:ss), (hh:mm:ss), at step end, Until,,	(kg/ml), Low, High								
12	1, 10, 25, 0, 00:00:02,, No, 95.0, °C,	0,,								
13	Instructions,									
14										
15	Math Model, No Math Model									
16										
17	Test Averaging, Steps,, Viscosity, Torque, Speed, Shear Stress, Shear Rate, Temperature, Density, Accuracy									
18	(#), (mPa·s), (%), (RPM), (N/m ²), (°C), (kg/ml), (+/-mPa·s)									
19	0, 0.00, 0.0, 0.0, 0.00, 0.000, ---, 0, 0.00									
20										
21	Step Averaging, Step, Viscosity, Torque, Speed, Shear Stress, Shear Rate, Temperature, Density, Accuracy									
22	(#), (mPa·s), (%), (RPM), (N/m ²), (°C), (kg/ml), (+/-mPa·s)									
23	1, 32.25, 53.8, 10, 0.39, 12.23, 35.3, 0, 0.60									
24										
25	DATA, File;	lanovylej.vdt								
26	Step, Point, Time, Viscosity, Torque, Speed, Shear Stress, Shear Rate, Temperature, Density, Accuracy									
27	(#), (s), (mPa·s), (%), (RPM), (N/m ²), (°C), (kg/ml), (+/-mPa·s)									
28	1, 1, 2, 41.34, 68.9, 10, 0.51, 12.23, 23.4, 980, 0.60									
29	1, 2, 4, 42.66, 71.1, 10, 0.52, 12.23, 23.4, 975, 0.60									
30	1, 3, 6, 42.84, 71.4, 10, 0.52, 12.23, 23.4, 960, 0.60									
31	1, 4, 8, 43.02, 71.7, 10, 0.53, 12.23, 23.4, 950, 0.60									
32	1, 5, 10, 43.02, 71.7, 10, 0.53, 12.23, 23.5, 940, 0.60									
33	1, 6, 12, 43.08, 71.8, 10, 0.53, 12.23, 23.6, 930, 0.60									
34	1, 7, 14, 43.14, 71.9, 10, 0.53, 12.23, 23.7, 940, 0.60									
35	1, 8, 16, 43.02, 71.7, 10, 0.53, 12.23, 23.9, 930, 0.60									
36	1, 9, 18, 43.02, 71.7, 10, 0.53, 12.23, 24.1, 920, 0.60									
37	1, 10, 20, 42.96, 71.6, 10, 0.53, 12.23, 24.4, 910, 0.60									
38	1, 11, 22, 42.78, 71.3, 10, 0.52, 12.23, 24.6, 900, 0.60									

Obr. 1 Export nameraných hodnôt z viskozimetra – Časť 1.

Fig. 1 Export of measured values from a viscometer – Part. 1

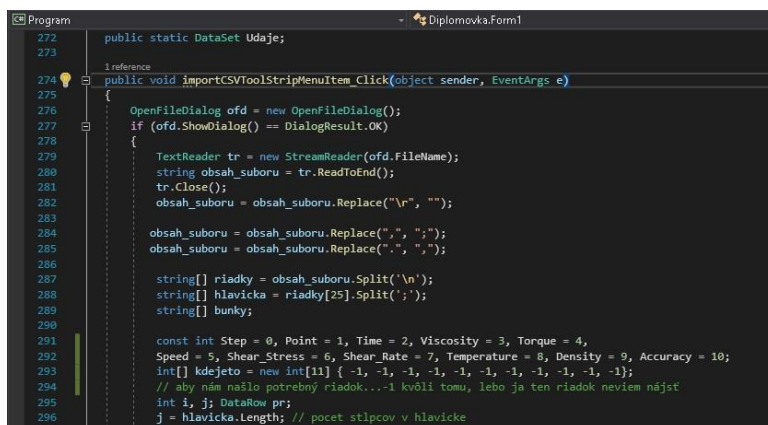
	A	B	C	D	E
124	1,97,194,26.88,	44.8,	10,0.33,12.23,	40.4,	230,0.60
125	1,98,196,26.76,	44.6,	10,0.33,12.23,	40.5,	220,0.60
126	1,99,198,26.76,	44.6,	10,0.33,12.23,	40.5,	210,0.60
127	1,100,200,26.76,	44.6,	10,0.33,12.23,	40.5,	200,0.60
128	1,101,202,26.64,	44.4,	10,0.33,12.23,	40.5,	190,0.60
129	1,102,204,26.64,	44.4,	10,0.33,12.23,	40.5,	180,0.60
130	1,103,206,26.58,	44.3,	10,0.33,12.23,	40.5,	170,0.60
131	1,104,208,26.52,	44.2,	10,0.32,12.23,	40.5,	160,0.60
132	1,105,210,26.52,	44.2,	10,0.32,12.23,	40.5,	150,0.60
133	1,106,212,26.46,	44.1,	10,0.32,12.23,	40.6,	140,0.60
134	1,107,214,26.40,	44.0,	10,0.32,12.23,	40.6,	130,0.60
135	1,108,216,26.34,	43.9,	10,0.32,12.23,	40.6,	120,0.60
136	1,109,218,26.34,	43.9,	10,0.32,12.23,	40.6,	110,0.60
137	1,110,220,26.28,	43.8,	10,0.32,12.23,	40.6,	100,0.60
138	1,111,222,26.28,	43.8,	10,0.32,12.23,	40.6,	90,0.60
139	1,112,224,26.22,	43.7,	10,0.32,12.23,	40.6,	80,0.60
140	1,113,226,26.16,	43.6,	10,0.32,12.23,	40.6,	70,0.60
141	1,114,228,26.16,	43.6,	10,0.32,12.23,	40.6,	55,0.60
142	1,115,230,26.16,	43.6,	10,0.32,12.23,	40.5,	40,0.60
143	1,116,232,26.10,	43.5,	10,0.32,12.23,	40.5,	30,0.60
144	1,117,234,26.10,	43.5,	10,0.32,12.23,	40.5,	25,0.60
145	1,118,236,26.10,	43.5,	10,0.32,12.23,	40.5,	20,0.60
146	1,119,238,26.04,	43.4,	10,0.32,12.23,	40.6,	15,0.60
147	1,120,240,25.98,	43.3,	10,0.32,12.23,	40.8,	14,0.60
148	1,121,242,25.98,	43.3,	10,0.32,12.23,	41.0,	12,0.60
149	1,122,244,25.80,	43.0,	10,0.32,12.23,	41.2,	12,0.60
150	1,123,246,25.80,	43.0,	10,0.32,12.23,	41.4,	11,0.60
151	1,124,248,25.68,	42.8,	10,0.31,12.23,	41.6,	10,0.60
152	1,125,250,25.50,	42.5,	10,0.31,12.23,	41.9,	9,0.60
153	1,126,252,25.44,	42.4,	10,0.31,12.23,	42.1,	8,0.60
154	1,127,254,25.38,	42.3,	10,0.31,12.23,	42.3,	7,0.60
155	1,128,256,25.20,	42.0,	10,0.31,12.23,	42.5,	6,0.60
156	1,129,258,25.14,	41.9,	10,0.31,12.23,	42.8,	5,0.60
157	1,130,260,25.08,	41.8,	10,0.31,12.23,	42.9,	4,0.60
158	1,131,262,24.84,	41.4,	10,0.30,12.23,	43.1,	3,0.60
159	1,132,264,24.84,	41.4,	10,0.30,12.23,	43.3,	2,0.60
160	1,133,266,24.72,	41.2,	10,0.30,12.23,	43.4,	1,0.60

Obr. 2 Export nameraných hodnôt z viskozimetra – Časť 2.

Fig. 2 Export of measured values from a viscometer – Part. 2

Na obrázkoch 1 a 2 môžeme vidieť, že samotná tabuľka sa nám začína na riadku č. 26. Tento riadok obsahuje hlavičku tabuľky. Ďalej riadok 27 slúži len ako informatívny, lebo obsahuje jednotky daných veličín a následne od riadku č. 28 sa začínajú odmerané hodnoty.

V načítaní súboru CSV do aplikácie (import) sa v princípe jedná o nasnímanie celého súboru CSV a následne správne rozdelenie súboru na stĺpce a riadky, aby sme dokázali z daného súboru získať presne všetky hodnoty, ktoré prebehli meraním a aby sa nevynechala žiadna hodnota. Na to sme použili pole, ktoré sme pomenovali „kdejeto“ a ktorému sme zadali hodnoty -1, čo v princípe znamená, že nevieme, kde sa táto hodnota nachádza (viď obr. 3).



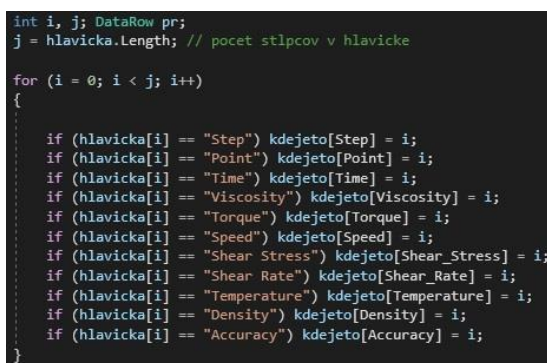
```

272 public static DataSet Udaje;
273
274 // reference
275 public void ImportCSVToolStripMenuItem_Click(object sender, EventArgs e)
276 {
277     OpenFileDialog ofd = new OpenFileDialog();
278     if (ofd.ShowDialog() == DialogResult.OK)
279     {
280         TextReader tr = new StreamReader(ofd.FileName);
281         string obsah_suboru = tr.ReadToEnd();
282         tr.Close();
283         obsah_suboru = obsah_suboru.Replace("\r", "");
284         obsah_suboru = obsah_suboru.Replace(";", "");
285         obsah_suboru = obsah_suboru.Replace(" ", "");
286
287         string[] riadky = obsah_suboru.Split('\n');
288         string[] hlavicka = riadky[25].Split(';');
289         string[] bunky;
290
291         const int Step = 0, Point = 1, Time = 2, Viscosity = 3, Torque = 4,
292               Speed = 5, Shear_Stress = 6, Shear_Rate = 7, Temperature = 8, Density = 9, Accuracy = 10;
293         int[] kdejeto = new int[11] { -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1 };
294         // aby nám našlo potrebný riadok...i kvôli tomu, lebo ja ten riadok neviem nájsť
295         int i, j; DataRow pr;
296         j = hlavicka.Length; // pocet stlpcov v hlavicke
    
```

Obr. 3 Princíp rozdelenia súboru CSV na riadky a stĺpce pomocou poľa „kdejeto“

Fig. 3 The principle of dividing a CSV file into rows and columns using the „kdejeto“ field

Na základe hlavičky v tabuľke, ktorú nám poskytne merací prístroj po uskutočnení merania, sme si zistili počet stĺpcov v hlavičke a presne tento počet sa následne rovná rozsahu poľa „kdejeto“. Ako prvé sme si importovali hlavičku tabuľky z CSV súboru do našej aplikácie a to z toho dôvodu, aby sme vedeli presný počet stĺpcov v tabuľke (viď obr. 4).



```

int i, j; DataRow pr;
j = hlavicka.Length; // pocet stlpcov v hlavicke

for (i = 0; i < j; i++)
{
    if (hlavicka[i] == "Step") kdejeto[Step] = i;
    if (hlavicka[i] == "Point") kdejeto[Point] = i;
    if (hlavicka[i] == "Time") kdejeto[Time] = i;
    if (hlavicka[i] == "Viscosity") kdejeto[Viscosity] = i;
    if (hlavicka[i] == "Torque") kdejeto[Torque] = i;
    if (hlavicka[i] == "Speed") kdejeto[Speed] = i;
    if (hlavicka[i] == "Shear Stress") kdejeto[Shear_Stress] = i;
    if (hlavicka[i] == "Shear Rate") kdejeto[Shear_Rate] = i;
    if (hlavicka[i] == "Temperature") kdejeto[Temperature] = i;
    if (hlavicka[i] == "Density") kdejeto[Density] = i;
    if (hlavicka[i] == "Accuracy") kdejeto[Accuracy] = i;
}
    
```

Obr. 4 Princíp vytvorenia hlavičky pomocou poľa „kdejeto“

Fig. 4 Principle of creating a header using „kdejeto“ field

Následne sme pomocou poľa „kdejeto“ našli pre daný stĺpec hodnotu, ktorá sa nachádza v tom danom stĺpci pre prvý riadok. Princíp hľadania hodnôt prebiehal tak, že sa najprv hľadal názov stĺpca, čo sa vlastne nachádza v hlavičke a následne, keď sa daný stĺpec našiel, hľadala sa hodnota o riadok nižšie v tom istom stĺpci. Takto sa vypísal prvý riadok a tento istý postup sa použil pre všetky riadky, až kým sa nenašiel v súbore CSV prázdny riadok (nulová hodnota), ktorý nám identifikoval koniec tabuľky (viď obr. 5).

```
j = riadky.Length - 1;
// -1 kvôli tomu, lebo posledný riadok nám dáva prázdny a ten tam nepotrebujeme

for (i = 27; i < j; i++)
// i = 27 preto, aby nám nedalo hlavičku do prvého riadku (príklad i = 26) v mojej tabuľke
{
    bunky = riadky[i].Split(';');
    pr = Udaje.Tables[0].NewRow();
    // >=0 preto, lebo ak sa nenajde hľadaná položka, tak sa ten krok preskočí a nepridá
    if (kdejeto[Step] >= 0) pr[0] = bunky[kdejeto[Step]];
    if (kdejeto[Point] >= 0) pr[1] = bunky[kdejeto[Point]];
    if (kdejeto[Time] >= 0) pr[2] = bunky[kdejeto[Time]];
    if (kdejeto[Viscosity] >= 0) pr[3] = bunky[kdejeto[Viscosity]];
    if (kdejeto[Torque] >= 0) pr[4] = bunky[kdejeto[Torque]];
    if (kdejeto[Speed] >= 0) pr[5] = bunky[kdejeto[Speed]];
    if (kdejeto[Shear_Stress] >= 0) pr[6] = bunky[kdejeto[Shear_Stress]];
    if (kdejeto[Shear_Rate] >= 0) pr[7] = bunky[kdejeto[Shear_Rate]];
    if (kdejeto[Temperature] >= 0) pr[8] = bunky[kdejeto[Temperature]];
    if (kdejeto[Density] >= 0) pr[9] = bunky[kdejeto[Density]];
    if (kdejeto[Accuracy] >= 0) pr[10] = bunky[kdejeto[Accuracy]];
}
```

Obr. 5 Princíp vytvorenia všetkých riadkov pod daným stĺpcom pomocou poľa „kdejeto“

Fig. 5 The principle of creating all rows under a given column using the „kdejeto“ field

Aby bola aplikácia čím viac automatizovaná, ešte pred dokončením výpisu každého riadku sme zapísali do zdrojového kódu výpočet kinematickej viskozity. S kinematickou viskozitou sme sa už zoznámili, vieme, že sa rovná podielu dynamickej viskozity a hustoty. Výpočet prebehol tak, že sa našla hodnota pod stĺpcom s názvom dynamická viskozita hodnota v prvom riadku, uložila sa do premennej, potom sa takým istým spôsobom našla hodnota pod stĺpcom s názvom hustota a zapísala do ďalšej premennej a ešte pred dokončením výpisu prvého riadku sa vykonalo vydelenie týchto dvoch premenných a následne sa zapísala hodnota pod nový stĺpec, ktorému sme zadali názov kinematická viskozita. S výpočtom tekutosti sme už mali ľahkú robotu, keďže sa jedná iba o prevrátenú hodnotu kinematickej viskozity. Zobrala sa hodnota z pod stĺpca kinematická viskozita z prvého riadku a vykonal sa výpočet a hodnota sa zapísala pod nový stĺpec s názvom tekutosť (vid' obr. 6).

```
a = Convert.ToDouble(bunky[kdejeto[Viscosity]]);
b = Convert.ToDouble(bunky[kdejeto[Density]]);

c = a / b;

c = Math.Round(c, 8, MidpointRounding.ToEven);

pr[11] = c;

d = 1 / c;

d = Math.Round(d, 8, MidpointRounding.ToEven);

pr[12] = d;

Udaje.Tables[0].Rows.Add(pr);
}
```

Obr. 6 Výpočet kinematickej viskozity a tekutosti

Fig. 6 Calculation of kinematic viscosity and fluidity

Tento postup opisuje priebeh zápisov a výpočtov pre prvý riadok v tabuľke a pomocou už spomínaného poľa „kdejeto“ sa tento istý postup vykonal pre všetky riadky, ktoré sa vytvorili počas merania a boli uložené v základnom súbore CSV, ktorá obsahovala tabuľku s výsledkami merania. Pridanie riadkov do tabuľky v aplikácii môžete vidieť na poslednom riadku na obr. 6. Po stlačení tlačidla import sa nám zobrazí v aplikácii načítaná tabuľka, ktorá obsahuje všetky odmerané hodnoty (vid' obr. 7).

DV2-T Importer/exporter

Import / Export

Import CSV

Export Excel

Výpočty

Vymenovať tabuľku	Čas, s	Dyn. viskozita, mPa·s	Kružiaci moment, %	Rýchlosť otáčok, RPM	Šmykové napätie, N/m	Miera šmyku, %	Teplota, °C	Hustota, kg/m ³	Preťažnosť, +/mPa·s	Kin. viskozita, m ² ·s ⁻¹	Tekutosť, s·m ⁻²
1	1	41.34	68.9	10	0.51	12.23	23.4	960	0.60	0.04218367	23.70595984
1	2	42.66	71.1	10	0.52	12.23	23.4	975	0.60	0.04375385	22.89513161
1	3	42.84	71.4	10	0.52	12.23	23.4	960	0.60	0.044625	22.40896359
1	4	43.02	71.7	10	0.53	12.23	23.4	960	0.60	0.04528421	22.08275246
1	5	43.02	71.7	10	0.53	12.23	23.5	940	0.60	0.04576596	21.85030097
1	6	43.08	71.8	10	0.53	12.23	23.6	930	0.60	0.04632258	21.58774403
1	7	43.14	71.9	10	0.53	12.23	23.7	940	0.60	0.04689362	21.78952107
1	8	43.02	71.7	10	0.53	12.23	23.9	930	0.60	0.04625806	21.61785427
1	9	43.02	71.7	10	0.53	12.23	24.1	930	0.60	0.04676087	21.38540194
1	10	42.96	71.6	10	0.53	12.23	24.4	910	0.60	0.04720879	21.16249589
1	11	42.78	71.3	10	0.52	12.23	24.6	900	0.60	0.04753333	21.03786964
1	12	42.72	71.2	10	0.52	12.23	24.8	890	0.60	0.048	20.83333333
1	13	42.66	71.1	10	0.52	12.23	25.1	880	0.60	0.04847727	20.62822432
1	14	42.42	70.7	10	0.52	12.23	25.3	870	0.60	0.04875862	20.50919407
1	15	42.24	70.4	10	0.52	12.23	25.6	860	0.60	0.04911628	20.3950481
1	16	42.06	70.1	10	0.51	12.23	25.8	850	0.60	0.04948235	20.2922612
1	17	41.76	69.6	10	0.51	12.23	26.0	840	0.60	0.04971429	20.11454079
1	18	41.58	69.3	10	0.51	12.23	26.3	830	0.60	0.05009639	19.96151819
1	19	41.46	69.1	10	0.51	12.23	26.6	825	0.60	0.05025495	19.89889574
1	20	41.16	68.6	10	0.50	12.23	26.8	818	0.60	0.05031795	19.8736312
1	21	40.92	68.2	10	0.50	12.23	27.0	810	0.60	0.05051852	19.79472083
1	22	40.68	67.8	10	0.50	12.23	27.3	805	0.60	0.05053416	19.7899449
1	23	40.38	67.3	10	0.49	12.23	27.5	800	0.60	0.050475	19.81178801

toolStripStatusLabel1

Obr. 7 Načítané hodnoty zo súboru CSV do aplikácie

Fig. 7 Read and write values from CSV file into the application

Po úspešnom načítaní súboru CSV do aplikácie nám neostáva nič iné, ako už vytvorenú tabuľku z aplikácie dostať do prostredia Microsoft Excelu do formátu.xlsx. Po pridaní tlačítka s názvom export sme vytvorili nový formulár, ktorý sme nazvali Excel_Funkcie. Tento formulár obsahuje zdrojový kód, ktorý po spustení otvorí Microsoft Excel a načíta všetky údaje z tabuľky, ktorá sa nachádza v aplikácii. Vykonáme potrebné kroky na vytvorenie hlavičky, ktoré môžete vidieť na obr. 8.

```
public static void XLS_Export()
{
    int i, j;
    Application excel = new Microsoft.Office.Interop.Excel.Application();
    Workbook workbook = excel.Workbooks.Add(Type.Missing);
    Worksheet worksheet = null;
    excel.Visible = true;

    foreach (Worksheet sheet in workbook.Worksheets)
    {
        worksheet = workbook.Sheets[sheet.Name];
        break;
    }
    worksheet = workbook.ActiveSheet;

    Microsoft.Office.Interop.Excel.Range RozsahHlavicka; //vymedzujeme rozsah
    RozsahHlavicka = worksheet.get_Range("a1", "m1");
    RozsahHlavicka.EntireRow.Font.Bold = true; // nastavenie písma
    RozsahHlavicka.EntireRow.Font.Name = "Arial";
    RozsahHlavicka.EntireRow.Font.Size = 12;

    RozsahHlavicka.Interior.Color = ColorTranslator.ToOle(Color.LightSalmon); //nastavenie pozadia a políček
    RozsahHlavicka.Columns.ColumnWidth = 25;
    RozsahHlavicka.Columns.RowHeight = 50;
    RozsahHlavicka.HorizontalAlignment = XlHAlign.xlHAlignCenter;
    RozsahHlavicka.VerticalAlignment = XlVAlign.xlVAlignCenter;

    Microsoft.Office.Interop.Excel.Borders rámik = RozsahHlavicka.Borders; // nastavenie orámovania
    rámik[XlBordersIndex.xlEdgeLeft].LineStyle = XlLineStyle.xlContinuous;
    rámik[XlBordersIndex.xlEdgeRight].LineStyle = XlLineStyle.xlContinuous;
    rámik[XlBordersIndex.xlEdgeTop].LineStyle = XlLineStyle.xlContinuous;
    rámik[XlBordersIndex.xlEdgeBottom].LineStyle = XlLineStyle.xlDouble;
    rámik[XlBordersIndex.xlInsideVertical].LineStyle = XlLineStyle.xlContinuous;
}
```

Obr. 8 Vytvorenie hlavičky v Microsoft Exceli

Fig. 8 Creating a header in Microsoft Excel

Následne do vytvorenej hlavičky načítame údaje z tabuľky z aplikácie. Najprv sa vykoná vyplnenie hlavičky a následne sa po jednom pridávajú všetky riadky. Princíp doplnenia údajov môžeme vidieť na obr. 9.

```
for (i = 1; i <= Form1.Udaje.Tables[0].Columns.Count; i++)
{
    worksheet.Cells[1, i] = Form1.Udaje.Tables[0].Columns[i - 1].ColumnName;
    //prečo 1 a i? riešime iba prvý riadok a i iba prehadzujeme
}
// prevod už priamo údajov (čísel) z VS tabuľky do Excelu
i = 2;

foreach (DataRow pr in Form1.Udaje.Tables[0].Rows)
{
    try
    {
        for (j = 0; j < Form1.Udaje.Tables[0].Columns.Count; j++)
        {
            worksheet.Cells[i, j + 1] = Convert.ToDouble(pr[j]);
        }
        //worksheet.Cells.NumberFormat = "General";
    }
    catch
    {
    }
    i++; // koniec prevodu čísel
}

i--;
```

Obr. 9 Načítanie údajov do tabuľky v Microsoft Exceli

Fig. 9 Loading data into a spreadsheet in Microsoft Excel

Po načítaní všetkých stĺpcov a riadkov do tabuľky v Microsoft Exceli na základe počtu stĺpcov a riadkov určíme rozsah celej tabuľky pomocou príkazu „range“. Pomocou tohto rozsahu potom vieme zabezpečiť orámovanie celej tabuľky (viď obr. 10).

```
Range RozsahUdaje = worksheet.get_Range("a2", String.Format("m{0}", i));
rámik = RozsahUdaje.Borders; // nastavenie orámovania
rámik[XlBordersIndex.xlEdgeLeft].LineStyle = XlLineStyle.xlContinuous;
rámik[XlBordersIndex.xlEdgeRight].LineStyle = XlLineStyle.xlContinuous;
rámik[XlBordersIndex.xlEdgeTop].LineStyle = XlLineStyle.xlDouble;
rámik[XlBordersIndex.xlEdgeBottom].LineStyle = XlLineStyle.xlContinuous;
rámik[XlBordersIndex.xlInsideVertical].LineStyle = XlLineStyle.xlContinuous;
rámik[XlBordersIndex.xlInsideHorizontal].LineStyle = XlLineStyle.xlContinuous;
RozsahUdaje.HorizontalAlignment = XlHAlign.xlHAlignRight;
RozsahUdaje.VerticalAlignment = XlVAlign.xlVAlignCenter;
```

Obr. 10 Orámovanie celej tabuľky

Fig. 10 Framing the entire table

Následne prichádza rad na vygenerovanie grafov z už vytvorenej tabuľky. Pomocou príkazu „range“ získame potrebné stĺpce podľa toho, aký graf chceme vytvoriť (viď obr. 11).

```
Range Temp = worksheet.get_Range("i2", String.Format("i{0}", i)); // temperature - x-ová os!!!
Range Vis = worksheet.get_Range("d2", String.Format("d{0}", i)); // viscosity - y-ová os!!!
Range Dens = worksheet.get_Range("j2", String.Format("j{0}", i)); // density - y-ová os!!!
Range KinVis = worksheet.get_Range("l2", String.Format("l{0}", i)); // kin.viscosity - y-ová os!!!
Range Fluid = worksheet.get_Range("m2", String.Format("m{0}", i)); // tekutost - y-ová os!!!
```

Obr. 11 Získanie rozsahu hodnôt pre osy x a y

Fig. 11 Obtaining range of values for the x and y axes

Za x-ovú os si vždy zvolíme stĺpec s hodnotami teploty a budeme meniť iba y-ovú os. V našom prípade budeme sledovať pomer medzi dynamickou viskozitou a teplotou, hustotou a teplotou, kinematickou viskozitou a teplotou a tekutosťou a teplotou. Princíp vytvorenia grafov môžeme sledovať na obr. 12 a obr. 13.

```
var missing = Type.Missing;

Chart chartPage = worksheet.Shapes.AddChart(180, 30, 300, 300).Chart;
chartPage.ChartWizard(Vis, xlChartType.xlXYScatterSmoothNoMarkers, missing,
missing, missing, missing, false, "Pomer: Dynamická viskozita / Teplota", "Teplota", "Dynamická viskozita", missing);
oSeries = (Series)chartPage.SeriesCollection(1);
oSeries.XValues = Temp;

var yAxis = (Axis)chartPage.Axes(XlAxisType.xlValue, XlAxisGroup.xlPrimary);
yAxis.MaximumScale = 45.00;
yAxis.MinimumScale = 20.00;
yAxis.AxisTitle.Orientation = XlOrientation.xlUpward;

Axis xAxis = (Axis)chartPage.Axes(XlAxisType.xlCategory, XlAxisGroup.xlPrimary);
xAxis.MaximumScale = 45.00;
xAxis.MinimumScale = 20.00;
chartPage.Refresh();

Chart chartPage2 = worksheet.Shapes.AddChart(180, 330, 300, 300).Chart;
chartPage2.ChartWizard(Dens, xlChartType.xlXYScatterSmoothNoMarkers, missing,
missing, missing, missing, false, "Pomer: Hustota / Teplota", "Teplota", "Hustota", missing);
oSeries = (Series)chartPage2.SeriesCollection(1);
oSeries.XValues = Temp;

var yAxi2 = (Axis)chartPage2.Axes(XlAxisType.xlValue, XlAxisGroup.xlPrimary);
yAxi2.MaximumScale = 1000.00;
yAxi2.MinimumScale = 0.00;
yAxi2.AxisTitle.Orientation = XlOrientation.xlUpward;

Axis xAxi2 = (Axis)chartPage2.Axes(XlAxisType.xlCategory, XlAxisGroup.xlPrimary);
xAxi2.MaximumScale = 45.00;
xAxi2.MinimumScale = 20.00;
chartPage2.Refresh();
```

Obr. 12 Vytvorenie grafov č. 1 a 2 (Pomer medzi dynamickou viskozitou a teplotou a pomer medzi hustotou a teplotou)

Fig. 12 Creating graphs number 1 and 2 (ratio between dynamic viscosity and temperature and ratio between density and temperature)

```
Chart chartPage3 = worksheet.Shapes.AddChart(180, 630, 300, 300).Chart;
chartPage3.ChartWizard(KinVis, xlChartType.xlXYScatterSmoothNoMarkers, missing,
missing, missing, missing, false, "Pomer: Kinematická viskozita / Teplota", "Teplota", "Kinematická viskozita", missing);
oSeries = (Series)chartPage3.SeriesCollection(1);
oSeries.XValues = Temp;

var yAxi3 = (Axis)chartPage3.Axes(XlAxisType.xlValue, XlAxisGroup.xlPrimary);
yAxi3.MaximumScale = 25.00;
yAxi3.MinimumScale = 0.00;
yAxi3.AxisTitle.Orientation = XlOrientation.xlUpward;

Axis xAxi3 = (Axis)chartPage3.Axes(XlAxisType.xlCategory, XlAxisGroup.xlPrimary);
xAxi3.MaximumScale = 45.00;
xAxi3.MinimumScale = 20.00;
chartPage3.Refresh();

Chart chartPage4 = worksheet.Shapes.AddChart(180, 930, 300, 300).Chart;
chartPage4.ChartWizard(Fluid, xlChartType.xlXYScatterSmoothNoMarkers, missing,
missing, missing, missing, false, "Pomer: Tekutost / Teplota", "Teplota", "Tekutost", missing);
oSeries = (Series)chartPage4.SeriesCollection(1);
oSeries.XValues = Temp;

var yAxi4 = (Axis)chartPage4.Axes(XlAxisType.xlValue, XlAxisGroup.xlPrimary);
yAxi4.MaximumScale = 25.00;
yAxi4.MinimumScale = 0.00;
yAxi4.AxisTitle.Orientation = XlOrientation.xlUpward;

Axis xAxi4 = (Axis)chartPage4.Axes(XlAxisType.xlCategory, XlAxisGroup.xlPrimary);
xAxi4.MaximumScale = 45.00;
xAxi4.MinimumScale = 20.00;
chartPage4.Refresh();
```

Obr. 13 Vytvorenie grafov č. 3 a 4 (Pomer medzi kinematickou viskozitou a teplotou a pomer medzi tekutost'ou a teplotou)

Fig. 13 Creating graphs number 3 and 4 (ratio between kinematic viscosity and temperature and ratio between fluidity and temperature)

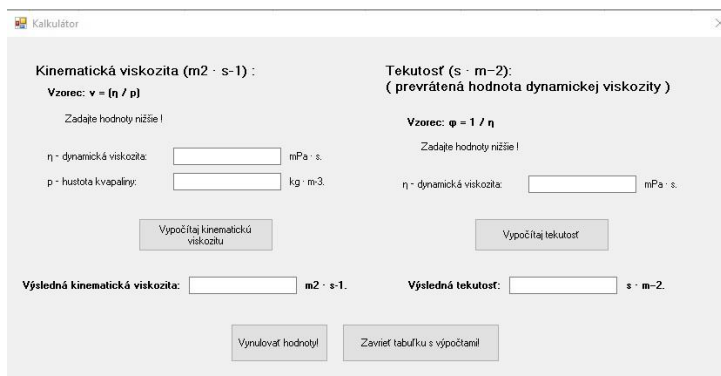
3 Výsledky a diskusia

Výsledkom tohto projektu je plne automatizovaný program navrhnutý pre merací prístroj viskozimeter DV2T, ktorý slúži na prekonvertovanie výsledkov z merania do formátu xlsx (Microsoft Excel).



Obr. 14 Základné pozadie programu po spustení
 Fig. 14 Basic program background after startup

Na obr. 14 môžeme vidieť program v stave po spustení, keď ešte nie sú načítané žiadne hodnoty. V ľavom hornom rohu môžeme vidieť možnosť „import/export“, ktorá po otvorení umožňuje import daného CSV súboru, ktorú poskytuje merací prístroj po uskutočnení merania, ďalej umožňuje možnosť exportu už načítaných odmeraných hodnôt do prostredia Microsoft Excelu. Ďalej je tam pridaná možnosť vynulovania tabuľky, ak by sa náhodou stalo, že sa načítala zlá tabuľka. Na základnej ploche aplikácie môžeme taktiež vidieť tlačidlo s názvom „Výpočty“. Po kliknutí na toto tlačidlo sa nám otvorí nové okno, ktoré slúži ako kalkulačka na výpočet kinematickej viskozity a tekutosti ručne (viď obr. 15).



Obr. 15 Kalkulátor na dodatočné výpočty kinematickej viskozity a tekutosti
 Fig. 15 Calculator for additional kinematic viscosity and fluidity calculations

Tabuľku s načítanými hodnotami po vykonaní importu môžeme vidieť na obr. 7. Po úspešnom načítaní hodnôt a vytvorení tabuľky v aplikácii prichádza rad na export. Po stlačení tlačidla export v menu Import/Export v ľavom hornom rohu aplikácie sa nám automaticky otvorí Microsoft Excel a prebehne vytvorenie tabuľky, načítanie hodnôt, orámovanie celej tabuľky a následne sa vytvoria grafy. Rýchlosť vytvorenia tabuľky a grafov závisí na hardvéri daného počítača, na ktorom je spustená aplikácia.

	A	B	C	D	E	F
	Krok, #	Bod, #	Čas, s	Dyn. viskozita, mPa.s	Krútiaci moment, %	Rýchlosť otáčok, RPM
1						
2	1	1	2	41,34	68,9	10
3	1	2	4	42,66	71,1	10
4	1	3	6	42,84	71,4	10
5	1	4	8	43,02	71,7	10

Obr. 16 Vytvorená tabuľka v Microsoft Exceli po exporte údajov (1. časť)

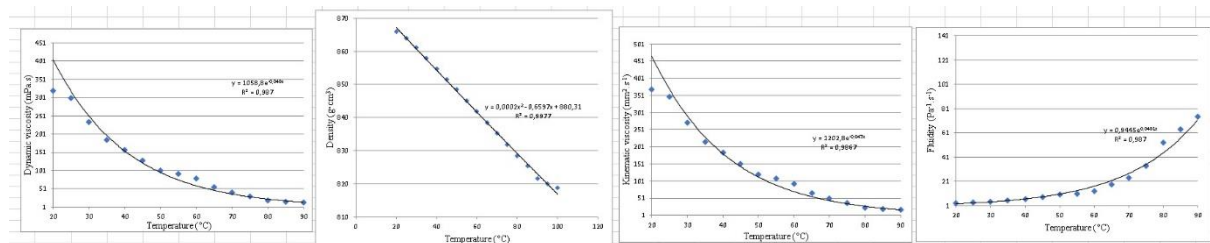
Fig. 16 Already created table in Microsoft Excel after exporting the data (part 1)

G	H	I	J	K	L	M
Šmykové napätie, N/m	Miera šmyku, #	Teplota, °C	Hustota, kg/m ³	Presnosť, +/-mPa.s	Kin. viskozita, m ² · s ⁻¹	Tekutosť, s · m ⁻²
0,51	12,23	23,4	980	0,6	0,04218367	23,70585584
0,52	12,23	23,4	975	0,6	0,04375385	22,85513161
0,52	12,23	23,4	960	0,6	0,044625	22,40896359
0,53	12,23	23,4	950	0,6	0,04528421	22,08275246
0,53	12,23	23,5	940	0,6	0,04576596	21,85030097

Obr. 17 Vytvorená tabuľka v Microsoft Exceli po exporte údajov (2. časť)

Fig. 17 Already created table in Microsoft Excel after exporting the data (part 2)

Vo väčšine prípadov meraní majú závislosti medzi jednotlivými hodnotami podobné priebehy, na základe čoho vieme posúdiť na prvý pohľad, či sme meranie vykonali správne. Príklad závislostí vytvorených v prostredí Microsoft Excel môžete vidieť na obr. 18



Obr. 18 Vytvorené grafy v prostredí Microsoft Excel

Fig. 18 Graphs created in Microsoft Excel

Program je plne automatizovaný, to znamená, že aj keď sa počet riadkov v súbore CSV, ktorý nám poskytne merací prístroj zmení, t.j. nebude konštantný, nebude to znamenať žiadny problém, keďže nemáme vopred zadaný počet riadkov, ale všetko zisťujeme pomocou poľa „kdejeeto“. Výsledok, t.j. vytvorená tabuľka so všetkými hodnotami merania a následne aj vytvorené grafy si potom následne už v prostredí Microsoft Excelu vieme uložiť a vieme aj s údajmi manipulovať, ak je treba.

4 Záver

Cieľom tohto projektu bolo prekonvertovanie tabuľky s výsledkami merania z formátu CSV, ktorú nám poskytuje merací prístroj viskozimeter DV2T, do formátu xlsx (Microsoft Excel) spolu aj s vytvorenými grafmi priebehov závislostí medzi hodnotami, ktoré boli súčasťou merania. Na vyhotovenie programu sme si zvolili programovací jazyk C#, lebo je rýchly a ľahko sa ovláda. Prostredie, v ktorom sme programovali sme vybrali Microsoft Visual Studio a to z toho dôvodu, lebo sa v ňom programátor dokáže ľahko zorientovať a hlavne aj kvôli tomu, lebo sa výsledok projektu zobrazí v prostredí Microsoft Excelu, ktorý je tiež produkt spoločnosti Microsoft a tým pádom je komunikácia medzi našou aplikáciou a Excelom jednoduchšie zrealizovateľné. Pri importovaní sme sa snažili o to, aby sa všetky hodnoty bez výnimiek načítali do tabuľky v aplikácii a to presne do tých buniek, do ktorých patria. Pri exporte sme sa snažili nastaviť si tabuľku tak, aby bola čitateľná a aby sa v nej používateľ vedel ľahko navigovať. Podotkol by som na záver možné prepísanie zdrojového

kódu v časti, kde sa vytvárajú grafy. V momentálnej podobe má táto aplikácia vopred nastavený rozsah hodnôt od daného minima po dané maximum. Nastavenie osí na základe údajov z tabuľky z prvého riadku, čo by predstavovalo minimum a z posledného riadku, čo by predstavovalo maximum by spôsobilo to, že by bol graf o niečo lepšie čitateľný.

5 Literatúra

HANÁK, J. 2009. Praktické objektové programování v jazyce C# 4.0. Brno: Artax, 2009. ISBN 978-80-87017-07-4

HANÁK, J. 2009. C# 3.0 - Programování na platformě .NET 3.5. Brno: Zoner Press, 2009. ISBN 9788074130465

[URL 1] Object-Oriented Programming (C# and Visual Basic). [online].[cit2014-03-02] Dostupné na internete: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/dd460654.aspx>

[URL 2] Bindig Class. [online].[cit 2014-03-25] Dostupné na internete: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/system.windows.data.binding.aspx>

PETZOLD, Charles. 2006 Programování Microsoft Windows Forms v jazyce C#. Brno: Computer Press, a.s., 2006, 306 s. ISBN 80-251-1058-3

SHARP, John. 2010. Microsoft Visual C# 2010 Krok za krokem. Brno: Computer Press, a.s., 2010, 700 s. ISBN 978-80-251-3147-3

CVIKLOVIČ, Vladimír. 2013. Aplikovaná elektronika. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita. 136 s. ISBN 978-80-552-1089-6.

[URL 3]GOGOLÁKOVÁ, Adriana. 2013. Základy objektového programovania v jazyku C#. [online] Dostupné na: http://download.microsoft.com/download/3/b/1/3b14e99f-da88-470b-8ee3-e6797d2b3ea9/zaklady_oop_v_jazyku_cs.pdf

[URL 4]BĚHÁLEK, Marek. Programovací jazyk C#. [online] Dostupné na: <http://www.cs.vsb.cz/behalek/vyuka/pcsharp/text.pdf>

Súhrn

Tento projekt sa zaoberá vytvorením aplikácie na vyhodnotenie merania viskozity na viskozimetri DV2T. Metóda, ktorú sme použili v sebe zahŕňa spracovanie súboru vo formáte CSV, ktorú nám poskytne merací prístroj po uskutočnení merania, načítanie spracovaného súboru do aplikácie a následné vytvorenie tabuľky v aplikácii už spolu s vypočítanými hodnotami kinematickej viskozity a tekutosti na základe odmeraných hodnôt, ktorá sa potom prenesie (exportuje) do prostredia Microsoft Excelu vo formáte xlsx a následne prebehne vyhotovenie aj grafickej podoby žiadaných závislostí.

Kľúčové slová: Viskozimeter DV2T, Microsoft Visual Studio 2019, typy formátov, import, export, C#, dynamická viskozita, hustota, kinematická viskozita a tekutosť

Na záver chcem poďakovať školiteľovi Ing. Jánovi Csillagovi za cenné rady a poskytnutie výsledkov merania, keďže v danej situácii nebolo možné, aby som tie merania vykonal osobne v priestoroch školských laboratórií. Ďalej by som chcel poďakovať doc. Ing. Vladimírovi Cviklovičovi, PhD za cenné rady, pripomienky a informácie ohľadom samotného programovania, ktorými prispel k vypracovaniu práce.

HODNOTENIE VPLYVU HRÚBKY STENY OPTICKÝCH ŠOŠOVIEK NA KVALITU PROCESU ICH VÝROBY EVALUATION OF EFFECTS OF WALL THICKNESS ON QUALITY OF PRODUCTION OF OPTICAL LENSES

MARTIN ŠINKORA - MIROSLAV ŽITŇÁK

Abstract

This work evaluates the effects of extreme wall thickness in plastic optical lenses on stability of injection molding process. We have used two comparable lenses, with only major difference being their maximum wall thickness. We have run several experiments simulating conditions of varying pressure and injection speed. We have used normal process parameters as a baseline of 100% and then changed injection speed and afterpressure to 102%, 105%, 98% and 95%, respectively. The results of these experiments were evaluated by comparing varying amounts of scrap parts in each experiment. We have demonstrated that lenses with greater wall thickness, have narrower process window than thinner lenses. We therefore recommend that additional measure be taken, especially in area of organizing production of these components. Research was conducted in facilities of ZKW Slovakia s.r.o., in their production plant in Krušovce.

Key words: optical lens, process stability, quality, injection molding

1 Úvod

Vysokotlakové vstrekovanie je štandardne definované ako „metóda vytvárania plastových dielov tak, že zahrejeme formovací materiál aby bol schopný tečenia a následne ho vstrekneme do formy“ (Merriam-Webster, 2020). Samotný vstrekovací proces rozdeľujeme na tri základné časti. Prvá je samotné vstreknutie plastu do formy (plnenie). Počas tejto fázy je vyplnených 95-99% objemu kavity. Druhou fázou je takzvaný dotlak, kde dôjde k vyplneniu zvyšných priestorov kavity a k dotlačeniu materiálu. Poslednou fázou je chladenie, počas ktorého diel stuhne a stane sa rozmerovo stálym.

Nevyhnutnou podmienkou kvalitnej výroby je, aby bol stroj v kombinácii s formou schopný vyrábať pri nadstavených parametroch identické za sebou idúce diely. Počas vstrekovania môže dochádzať k miernym zmenám vstrekovacích parametrov ktoré sú spôsobené náhodnými vonkajšími vplyvmi. Jedná sa o vplyvy ako : zmena teploty okolitého vzduchu, kolísanie napätia v elektrickej sústave, otrasy stroja, nedokonalá homogénnosť použitého materiálu a podobne.

Schopnosť stroja a formy vyrábať identické diely v rade za sebou, pri pôsobení náhodných vonkajších vplyvov, nazývame stabilitou procesu. Túto stabilitu je možné otestovať tak, že zámerne zmeníme niektoré parametre procesu (napríklad teplotu materiálu, alebo vstrekovací tlak) o malé hodnoty a sledujeme či stále dokážeme vyrábať identické diely.

Ak áno, znamená to, že proces je stabilný aj pri náhodnej zmene parametrov o nejakú

percentuálnu hodnotu (najčastejšie 2%, 5% a podobne). Rozpätie procesných parametrov pri ktorých je stroj schopný vyrábať vhodné diely označujeme ako procesné okno (Rosato, 2004).

Optické šošovky sa v automobilových aplikáciách používajú v kombinácii s LED žiarovkami. LED žiarovka, alebo častejšie sada žiaroviek, fungujú ako zdroj svetla. Optická šošovka potom zbiera svetlo vyrábané týmito LED žiarovkami a mení jeho smer tak, aby bolo dosiahnuté požadované rozloženie svetla. (Auer-lighting, 2021) Tieto vlastnosti sa dosahujú s použitím špecifickej geometrie šošovky. Strana z ktorej vstupuje svetlo musí byť rovná a hladká, naopak strana ktorá svetlo sústreďuje a kde vystupuje má tvar sférickej šošovky.

Výsledkom požadovaného zakrivenia a veľkosti samotnej šošovky (výška a šírka), je potom určená hrúbka šošovky. Z hľadiska výroby plastových dielov je táto požiadavka na tvar veľkým problémom, kvôli výskytu chýb výroby známych ako sink – prepadnutie materiálu a tvorbe bublín. Pri návrhu plastových dielov sa pokúšame vyhnúť prílišným koncentráciám materiálu, naopak pri navrhovaní optických šošoviek je koncentrácia materiálu nevyhnutná (Autodesk, 2016).

Existuje niekoľko možností ako riešiť tento problém. Všetky sa zväčša aplikujú súčasne keďže sa navzájom podporujú vo svojich benefitoch, avšak prinášajú aj niektoré negatíva. Z hľadiska procesu vstrekovania sa všeobecne prepadliny riešia predlžovaním doby dotlaku a doby chladenia. Dôvodom je zabezpečenie konsolidácie rozmerov počas dotlaku a následne sa dlhým chladením docieli postupné vyrovnanie teplôt v celkom objeme šošovky, inak by došlo k deformáciám po vybratí dielu z formy.

Úpravami na forme sa tiež dá dosiahnuť isté zlepšenie tohto stavu. Prvým krokom býva zväčšovanie prierezu brány vtokového kanála. Cez tento prierez sa totiž prenáša do kavity tlak a jeho zväčšenie zabezpečuje rovnomernejšie rozloženie dotlaku v celom objeme dielu. Ďalšou možnosťou ako uľahčiť výrobu je zabezpečenie optimálneho chladenia kavity. To je možné dosiahnuť umiestnením kavity ďaleko od horúceho vtokového systému, tak aby mohlo byť chladenie rovnomerne rozmiestnené okolo každej strany dielu. Poslednou možnosťou ako riešiť problém s prepadávaním je vytvorenie protideformácie vo forme. Ide o zväčšenie kavity tak, aby sa šošovka prepadla do požadovaného tvaru.

Ak je to možné, dajú sa tieto problémy takmer úplne odstrániť rozdelením šošovky na viac vrstiev materiálu, pričom tieto sa na seba nabaľujú postupne (Hopmann, 2015). Táto metóda ale nie je použiteľná pri menších šošovkách vzhľadom na to, že požadovaná dávka materiálu na jednu vrstvu malej šošovky je príliš malá a dochádzalo by k jeho degradácii.

Cieľom práce je dokázať závislosť medzi hrúbkou steny optickej šošovky a stabilitou výrobného procesu.

Zatiaľ čo percento odpadu, čas cyklu a ďalšie parametre sa zvažujú a kvantifikujú už vo fáze dizajnu dielu, stabilita procesu zatiaľ kvantifikovaná nie je. Ak sa nám podarí dokázať závislosť medzi vyššie spomenutými javmi, umožní nám to lepšie predpokladať stabilitu procesu nových dizajnov šošoviek.

2 Materiál a metódy

2.1. Výber sledovaných dielov.

Cieľom práce je porovnanie stability procesu pri dvoch typoch optických šošoviek, v závislosti od ich hrúbky. Pri výbere šošoviek sme sa snažili nájsť také, ktoré budú čo najviac zhodné vo všetkých vlastnostiach a líšiť sa budú iba hrúbkou steny. Následne sme vykonali merania, ktoré simulovali náhodné výkyvy v zadaných parametroch procesu a porovnali sme, ako sa zmení podiel nezhodných výrobkov na celkovej produkcii na základe týchto zmien.

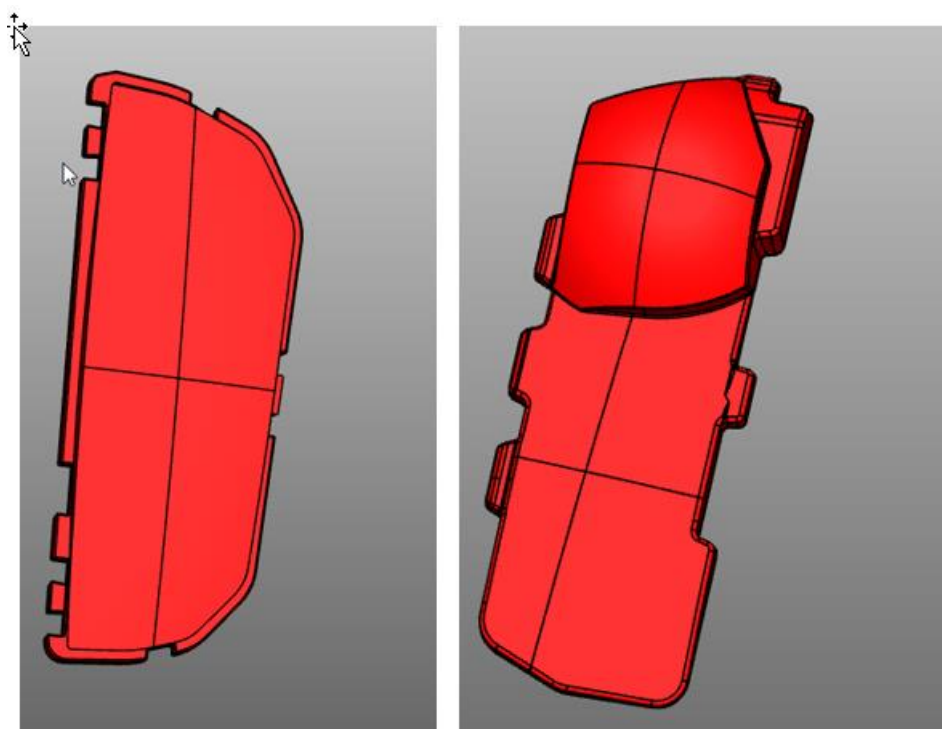
Vybrané šošovky sme označili ako „šošovka A“ – hrubostenná šošovka a „šošovka B“ – tenkostenná šošovka. Obe sú vyrobené z materiálu typu PMMA , konkrétny obchodný názov: *Plexi 8N SuPure clear*.

Šošovky A a B majú charakteristiky uvedené v tabuľke 1.

Tab. 1 Charakteristiky vybraných šošoviek A a B
 Tab. 1 Properties of selected optical lenses A and B

	Plocha povrchu (cm ²)	Objem (cm ³)	Povrchová úprava	Použitie vo svetle	Typ vtoku	Počet kavít vo forme	Použitý vstrekolis	Najväčšia hrúbka steny (mm)
A	36,6	6,2	High Gloss	High Beam Lens	Film	4	Engel victory 80t	12,39
B	37,5	4,8	High Gloss	High Beam Lens	Film	4	Engel victory 50t	3,88

Pre lepšiu vizualizáciu, Obr. 1 zobrazuje 3D modely oboch šošoviek. Ako je zrejmé z Tab 1 a z vizualizácie na Obr. 1, zvolené šošovky vyhovovali našej požiadavke na podobnosť vo všetkom okrem hrúbky steny.



Obr. 1 Šošovka B (v ľavo) a šošovka A (v pravo), vizualizácia v programe Kisters
 Fig. 1 Lens B (left) and lens A (right), visualization made in Kisters

2.2. Podmienky experimentov

Prvou podmienkou pri experimente skúmajúcom stabilitu a procesné okno bolo zabezpečiť, aby proces bežal tak ako beží za normálnych okolností, pred tým ako ho podrobíme experimentu. V prípade oboch šošoviek sme určili či ide o normálnu výrobu na základe dlhodobého pozorovania podielu nezhodných výrobkov na celkovej výrobe. Ak sa pred začiatkom experimentovania nachádzalo pozorované percento nezhodných výrobkov na úrovni blízkej dlhodobému priemeru nezhodných výrobkov, mohli sme povedať, že proces beží normálne.

Forma pre výrobu šošoviek A vyrábala od začiatku roka 2021 na vstrekolise č. 49 (Engel victory 80T) celkom päť krát. Tabuľka 2 zobrazuje priebeh výroby a podiel nezhodných výrobkov pri jednotlivých výrobách.

Tab. 2 Priebeh výroby šošovky A od začiatku roka 2021
 Tab. 2 Production of lenses A from beginning of 2021

Číslo výroby	1	2	3	4	5	Spolu
Dátum	9-14.01.	21-25.01.	29-03.02	16-18.02.	1.-10.03.	
Počet vyrobených kusov	7000	2720	5556	4108	7409	26793
Nezhodné výrobky, kusy	356	128	96	276	483	1339
Nezhodné výrobky, %	5,086	4,706	1,728	6,719	6,519	4,998

Použili sme stredný 50% interval na určenie rozsahu nezhodných výrobkov pri ktorom možno povedať že výroba prebieha v norme. Hodnota intervalu je 2,495, čo znamená že ak bude podiel odpadu na výrobe v rozmedzí od 2,503 % po 7,493%, môžeme túto výrobu považovať za normálnu.

Forma pre výrobu šošoviek B vyrábala od začiatku roka 2021 na vstrekolise č 53 (Engel victory 50T) celkom štyri krát. Tabuľka 3 zobrazuje priebeh výroby a podiel nezhodných výrobkov pri jednotlivých výrobách.

Tab. 3 Priebeh výroby šošovky B od začiatku roka 2021
 Tab. 3 Production of lenses B from beginning of 2021

Číslo výroby	1	2	4	5	Spolu
Dátum	13-16.01.	24-28.01.	12-15.02.	1-8.03.	
Počet vyrobených kusov	4867	5209	3600	10500	24176
Nezhodné výrobky, kusy	74	103	41	188	406
Nezhodné výrobky, %	1,520	1,977	1,139	1,790	1,679

Aplikovali sme rovnaký stredný interval. Pre šošovku B bude mať hodnotu 0,419 % . To znamená že ak bude podiel odpadu na výrobe v rozmedzí od 1,260 % po 2,098%, môžeme túto výrobu považovať za normálnu.

Pre určenie stability procesu a porovnanie výsledkov sme vykonali v prípade oboch šošoviek štyri rovnaké zásahy do procesu.

V experimente 1 sme nastavili dotlakový tlak a tlak vstrekovania na 102% hodnoty, ktorá je určená v technickom liste pre formu.

V experimente 2 sme nastavili tieto hodnoty na 105%.

Experiment 3 hodnoty sme nastavili opačným smerom na 98%.

V poslednom experimente 4 sme obe tieto hodnoty nastavili na 95%.

V priebehu každého experimentu sme vyrobili 10 sád šošoviek. Obe formy pre šošovku A aj B majú štyri kavity, takže na vyhodnotenie jedného experimentu sme mali 40 dielov. Diely boli hodnotené vizuálne, zaškolenou operátorkou.

3 Výsledky a diskusia

Experimenty na šošovke A prebehli dňa 16.03. v čase od 11:00 do 13:45. Od začiatku smeny o 6:00 vyrobil vstrekolis 72 sád optických šošoviek, čo znamená 288 kusov. Z toho nevyhovujúcich bolo 15 kusov. Nezhodných výrobkov bolo na úrovni 5,208 % čo bolo v intervale znamenajúcom normálnu výrobu. Všetky experimenty sme vykonali bez prerušenia výroby. Ich výsledky sú zachytené v Tab. 4.

Tab. 4 Výsledky experimentov na optickej šošovke A
 Tab. 4 Experiment results on optical lens A

Číslo experimentu	1	2	3	4
Vy vyrobených kusov	40	40	40	40
Nezhodné výrobky, kusy	1	17	4	11
Nezhodné výrobky, %	2,5	42,5	10	27,5

Pri prvom experimente, s dotlakom a vstrekovacím tlakom na hodnote 102%, sme pozorovali iba jeden kus šošovky, ktorý bol označený ako nezhodný výrobok.

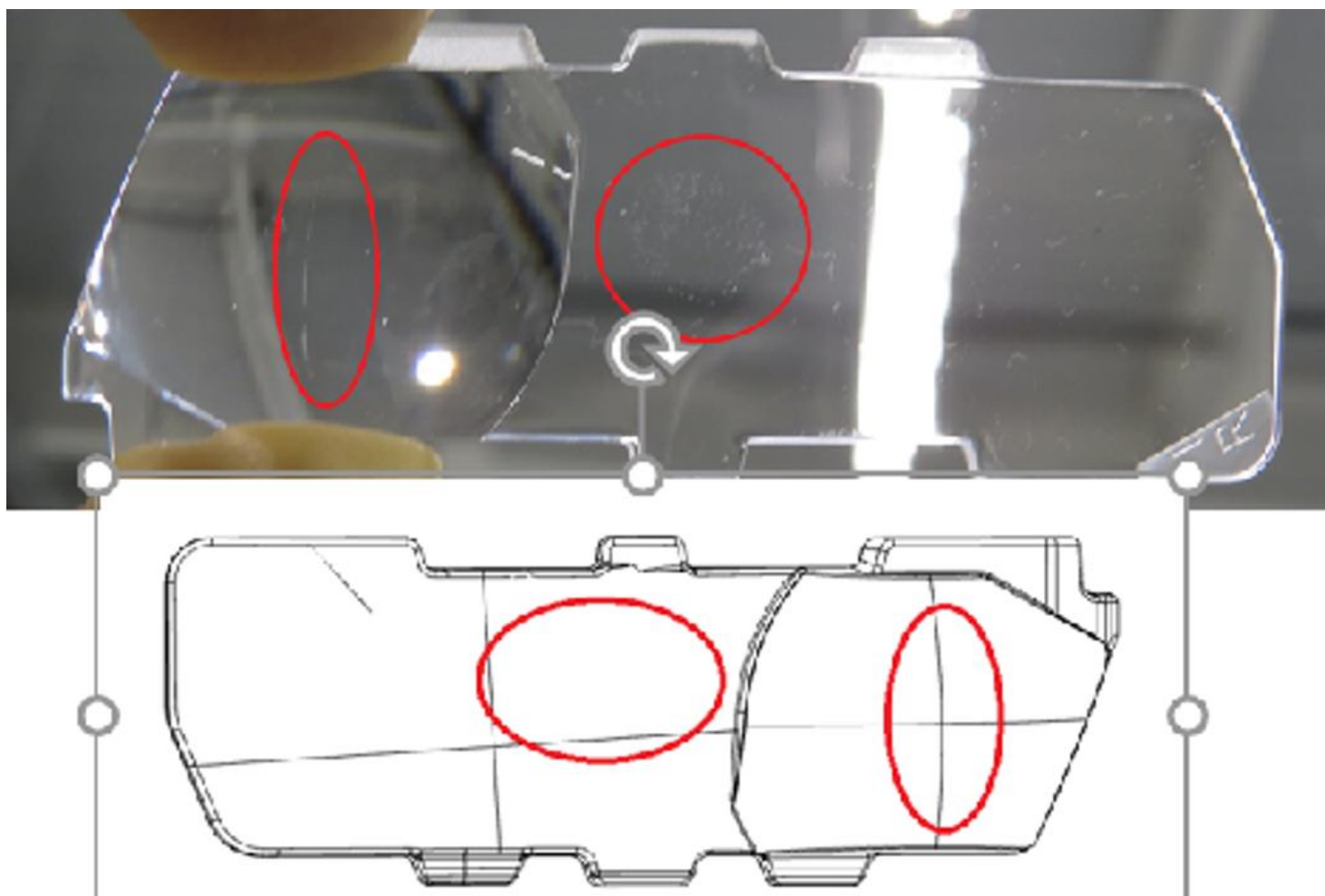
Pri druhom experimente s hodnotami na úrovni 105% sme pozorovali rozsiahle chyby na celom povrchu dielov. Zvýšený tlak síce nezmenil rozmerové vlastnosti dielu avšak mal za následok vytváranie škrabancov a stôp po tečení na povrchu dielu. Chyby, ktoré vznikali pri experimente 2 sú zobrazené na Obr. 2 a 3.

Kavita č. 2 vo forme bola najviac zasiahnutá touto zmenou a počas experimentu 2 všetky diely z nej vykazovali škrabance (Obr. 2 a 3). Je možné, že plnenie vo forme je zvlášť nevyvážené práve v tejto kavite.

Pri treťom experimente sme v oblasti pozorovali dva rovnaké škrabance ako na Obr. 2 a 3. V kavite 2 sme nepozorovali žiadne škrabance ako sme videli pri experimente 2 ale objavil sa jeden nový, ktorý vidíme na Obr. 4.

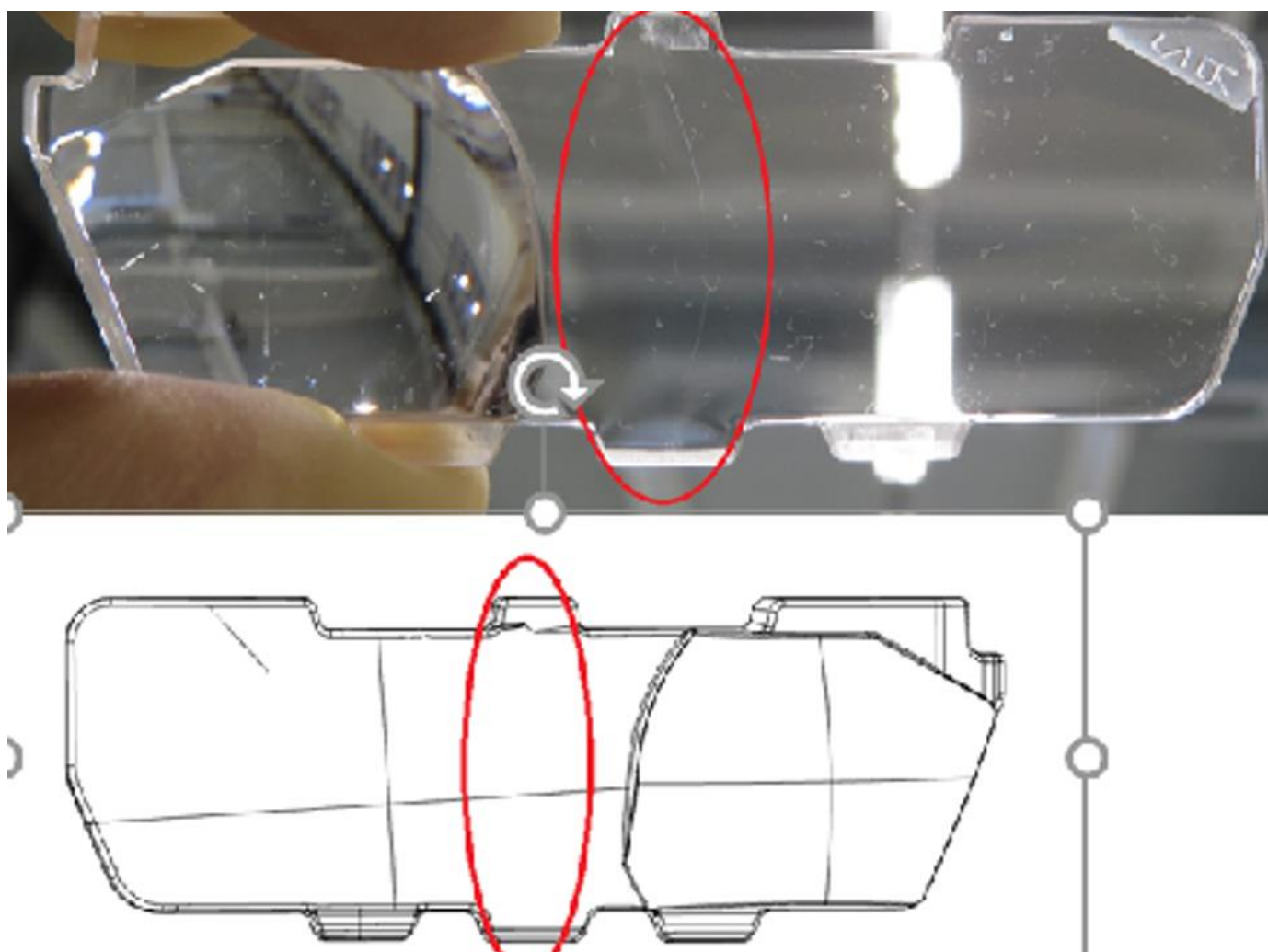
Pri poslednom experimente sa objavil jeden škrabanec z Obr 4, avšak vznikol nový problém s prepadlinami v oblasti šošovky. Prepadliny sme sa pokúsili zachytiť na Obr. 5.

Po ukončení experimentov forma pokračovala vo výrobe počas ďalšej smeny s nastavením nominálnych parametrov na úrovni 100%. Do konca smeny dosiahol počet nezhodných výrobkov úroveň 4,860 % .

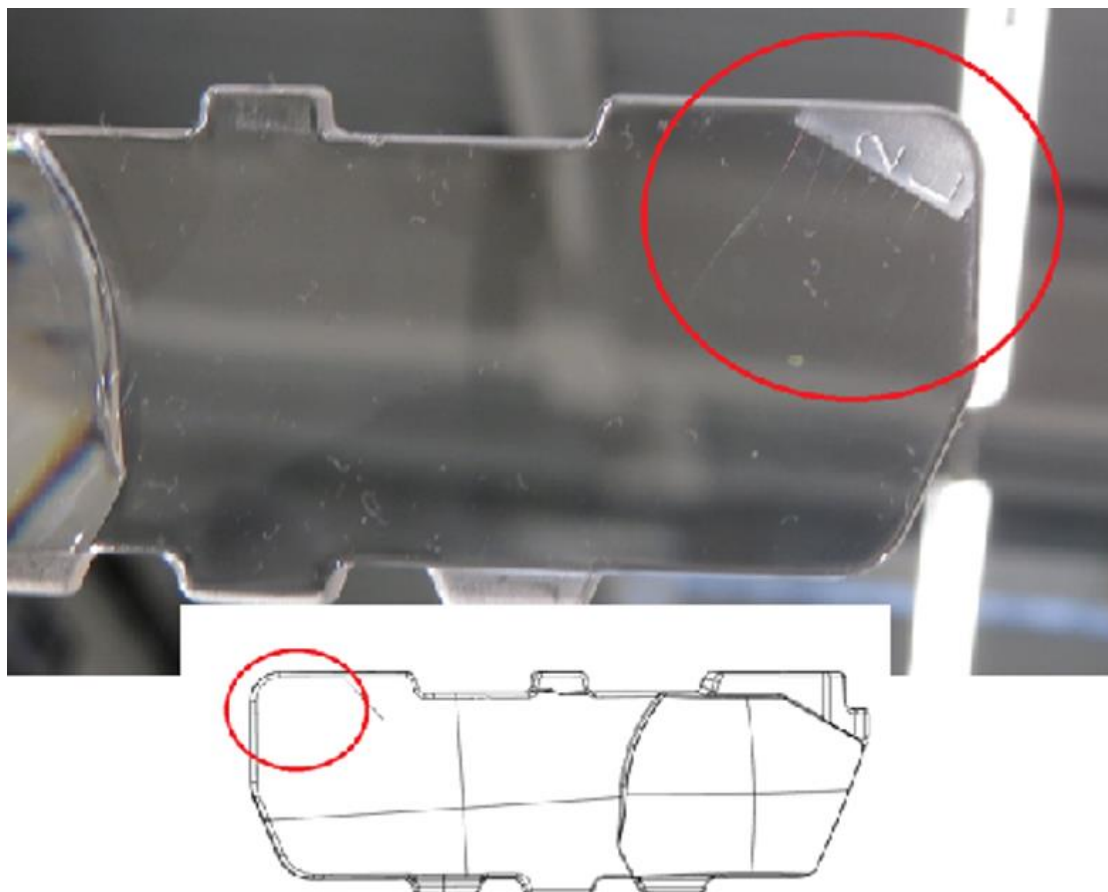


Obr. 2 Škrabanec v oblasti šošovky a stopa po tečení v oblasti sklíčka

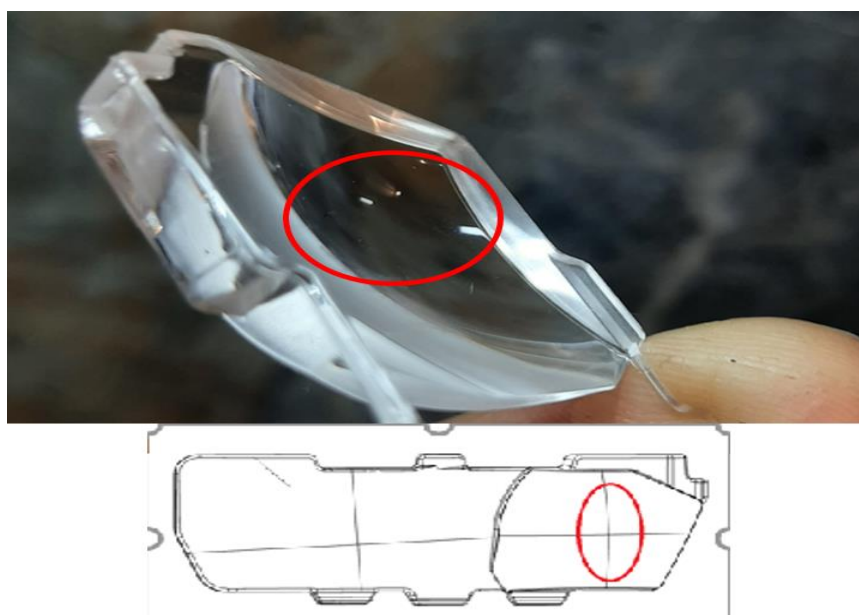
Fig. 2 Scratch in lens area and flow line in auxilliary area



Obr. 3 Výrazná stopa po tečení v oblasti sklíčka
Fig. 3 Significant flow line in auxiliary area



Obr. 4 Škrabanec v pravom hornom rohu sklíčka
 Fig. 4 Scratch in upper right corner of auxiliary area



Obr. 5 Prepadlina oproti zakriveniu šošovky
 Fig. 5 Sink, opposite of lens curvature

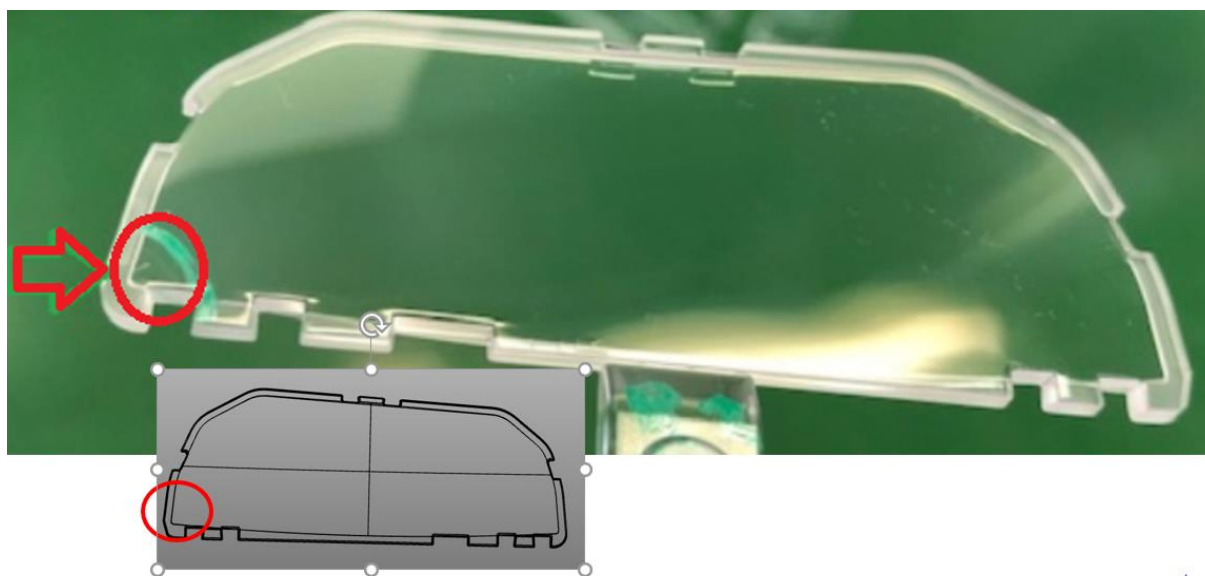
Experimenty na šošovke B prebehli dňa 26.03. v čase od 9:00 do 10:15. Od začiatku smeny o 6:00 vyrobil vstrekolis 55 sád optických šošoviek, čo znamená 220 kusov. Z toho nevyhovujúcich bolo 7 kusov. Nezhodné výrobky boli na úrovni 1,272 % čo bolo v intervale značiacom normálnu výrobu. Všetky experimenty sme vykonali bez prerušenia výroby. Ich výsledky sú zachytené v Tab. 5.

Tab. 5 Výsledky experimentov na Optickej šošovke B
 Tab. 5 Experiment results for optical lens B

Číslo experimentu	1	2	3	4
Vyrobených kusov	40	40	40	40
Nezhodných výrobkov, kusy	1	4	0	1
Nezhodné výrobky, %	2,5	10	0	2,5

Pri prvom experimente, sme pozorovali jeden kus, kde sa objavil škrabanec v rohu dielu z kavity 1.

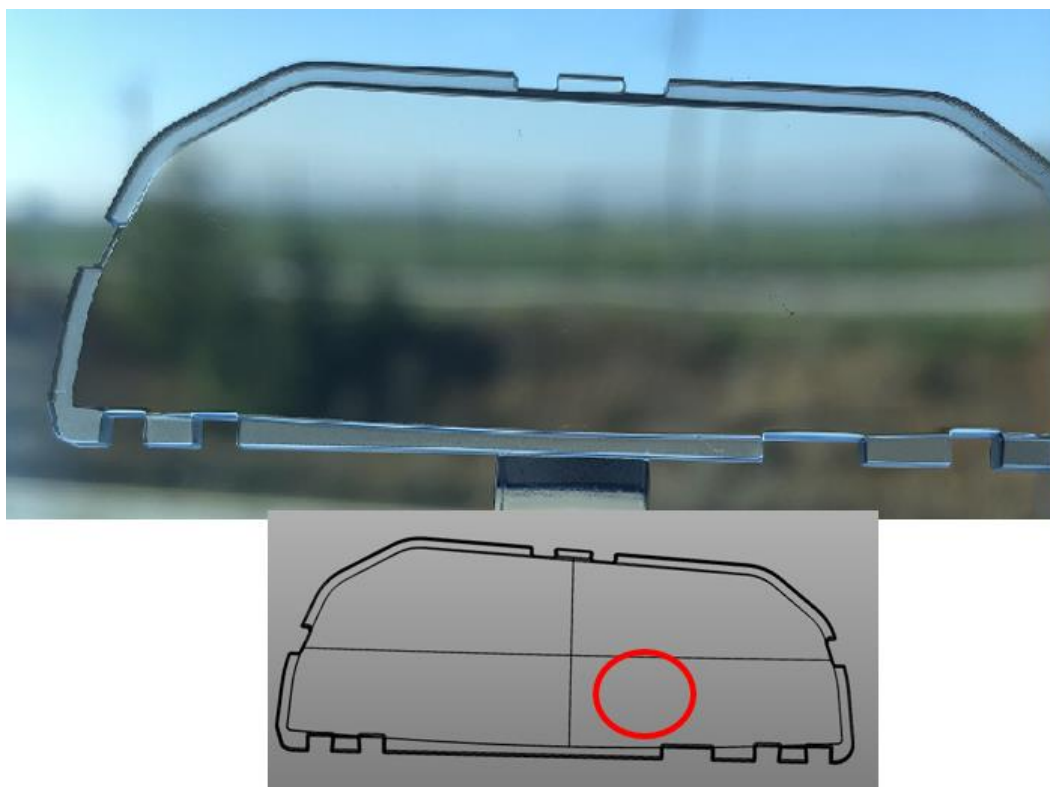
Pri druhom experimente sa počet defektov v rohu zvýšil. Všetky sa vyskytli na kavity 1 v ľavom dolnom rohu. Pre ilustráciu viď Obr. 6.



Obr. 6 Škrabanec v rohu dielu v kavity 1
 Fig. 6 Scratch in corner of the part, cavity 1

Pri treťom experimente sme nezaznamenali žiadne diely s defektami. Pri štvrtom experimente sme zaznamenali jeden diel s defektom. Pôvodne sme si ho vôbec nevšimli a odhalili sme ho až pri skúške presvietením. Jediný spôsob ako ho odfotografovať bolo oproti oknu, ako vidieť na Obr. 7. Tento diel pochádzal z kavity 4.

Po ukončení experimentov výroba pokračovala a do konca poobednej zmeny dosiahla 1,307 % nezhodných výrobkov.



Obr. 7 Škrabanec stredovej časti šošovky
 Fig. 7 Scratch in middle of lens

4 Záver

Cieľom práce bolo porovnanie stability procesu pri dvoch typoch optických šošoviek, v závislosti od ich hrúbky. Mohli by sme skonštatovať, že namerané výsledky boli v zhode s očakávaniami. Obzvlášť pri šošovke A sa prejavil veľký vplyv dotlaku na tvorbu škrabancov pri prekročení nominálnych hodnôt. Tvorba prepادلín sa prejavila menej než bol predpoklad.

Veľká časť škrabancov a optických defektov sa prejavila pri šošovke A v oblasti sklíčka a teda mimo oblasti s najväčšou hrúbkou steny. Je možné predpokladať, že to bolo spôsobené veľkým prechodom v hrúbke steny medzi týmito dvoma oblasťami, čo malo za následok, že dotlak pôsobil cez šošovku na už stuhnutú stenu sklíčka a tvoril praskliny. V kavitě 2 kde došlo k najväčšiemu počtu chýb môže byť problém aj s nevyváženým plnením. Ak je plnená prvá, vstrekovací tlak tu spôsobí väčšiu rýchlosť prúdenia materiálu ako v iných kavitách, čo má za následok stopy po tečení. Pri dizajne tohto dielu sa dajú tieto chyby samozrejme očakávať, preto aj bežný odpad tejto šošovky je väčší ako pri tenkostenných šošovkách.

V prípade optickej šošovky B sa potvrdila jej väčšia stabilita procesu. Celková hodnota nezhodných výrobkov počas štyroch experimentov dosiahla 3,75% čo je iba o niečo vyššie ako bežný odpad na tejto šošovke.

Môžeme skonštatovať, že sa nám podarilo dokázať súvislosť medzi hrúbkou steny šošovky a stabilitou procesu. Aj keď pri hrubostenných šošovkách sa počíta s vyšším celkovým odpadom, poznatky o stabilite procesu pri výrobe šošoviek sa zatiaľ nezhrmáďujú. Pritom sú dôležitým indikátorom pre plánovanie výroby. Ak totiž vieme, že pri týchto typoch dielov môžeme očakávať nižšiu stabilitu procesu vychádzajúcu z dizajnu,

vieme prijať opatrenia na elimináciu tohto rizika a tým aj znížiť celkový odpad a iné negatívne dopady na výrobu.

Medzi tieto opatrenia môžeme zahrnúť preventívne odladenie formy pre viac lisov pre prípad potreby zmeny lisu, umiestňovať prednostne takéto diely na novšie vstrekolisy, kde je menšia pravdepodobnosť kolísania parametrov a vystríhať sa presunom takýchto foriem na lisy pre ktoré neboli odladené, ak to nie je nevyhnutne potrebné.

V ďalšom skúmaní stability procesu by bolo vhodné vykonať podobné experimenty na viacerých dvojiciach dielov, a z tejto databázy kvantifikovať o koľko percent sa zníži stabilita procesu pri zväčšovaní maximálnej hrúbky steny, pričom tento parameter by sa mohol zahŕňať do fázy kalkulácie nákladov na jednotlivé diely.

5 Literatúra

Merriam-Webster, "Injection molding." *Merriam-Webster.com* Slovník, <https://www.merriam-webster.com/dictionary/injection%20molding>, Citované 27.02. 2021.

Rosato V. Dominick – Rosato V. Donald - Rosato V. Matthew. 2004. Plastic Product Material and Process Selection Handbook. [online]. Elsevier Science. [cit. 2021-03-14]. 618 s. ISBN 978-1-85617-431-2. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-431-2.X5000-2>

Aure-Lighting. 2021. LED Lenses [online]. © 2021 [cit. 2021-03-14]. Dostupné na: <https://www.aure-lighting.com/en/products/lenses/led-lense>

Autodesk. 2016. Missing the Mark: How to avoid or camouflage marks in injection-molded parts. In *Resource Center* [online], pp. 1-6 [cit. 2021-03-15]. Dostupné na: <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/mech-eng-ressource-center/cae-analyst/assets/fy17-mold-engineer-sink-marks-report-en.pdf>

Hopmann, Ch et al. 2015 Multilayer injection moulding of thick-walled optical plastics parts. In *AIP Conference Proceedings*, pp. 1-5 [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné na: <https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.4873752>

Súhrn

Práca hodnotí efekty vyvolané použitím veľmi hrubých stien v plastových optických šošovkách vyrábaných procesom injekčného vstrekovania. Použili sme dve porovnateľné šošovky, kde jediným významným rozdielom medzi nimi bola maximálna hrúbka steny. Vykonali sme niekoľko experimentov, kde sme simulovali podmienky meniaceho sa tlaku a vstrekovacej rýchlosti. Normálne procesné parametre sme použili ako základ a následne sme menili dotlak a vstrekovací tlak na úroveň 102%, 105%, 98% a 95%. Výsledky týchto experimentov boli vyhodnotené porovnaním podielu nezhodných výrobkov, ktoré vznikli pri výrobe každého z nich. Preukázali sme, že šošovky s väčšou hrúbkou stien majú užšie procesné okno ako tenšie šošovky. Na základe týchto zistení sme navrhli prijatie organizačných opatrení pri výrobe týchto dielov. Výskum prebehol v spoločnosti ZKW Slovakia s.r.o. v ich výrobnom závode v Krušovciach..

Kľúčové slová: Optická šošovka, injekčné vstrekovanie, stabilita procesu, kvalita

Rád by som poďakoval Ing. Martinovi Červenému za technické a odborné rady, pani Ľubomíre Chrenkovej za spracovanie fotodokumentácie a Ing. Tomášovi Potočnému za pomoc s vypracovaním správnej metodiky. V neposlednom rade, ďakujem tiež spoločnosti



ZKW za poskytnutie priestorov, materiálového a technického vybavenia na realizáciu výskumu.

RIADIACI OBVOD DOPRAVNÍKOVÉHO SYSTÉMU CONVEYOR SYSTEM CONTROL CIRCUIT

MICHAL VÁNIK – GABRIELA ČURGALIOVÁ – JÁN KOSIBA

Abstract

In this article we focused on the control of the sorting line using PLC. The theoretical part introduces us to the use of PLC in various fields and then their development environment, types of languages used and a description of the pneumatic and electrical elements used. In the practical part of the work, we already design, construct, and program a sorting line. The aim of our work was to build and operate a functional sorting line using a PLC and STEP 7 MicroWin development environment. We can use this device as a training model in teaching.

Key words: PLC, Step 7, Sorting line

1 Úvod

PLC sú riadiace jednotky ktoré sa využívajú oblasti automatizácie a robotizácie. Majú za úlohu riadiť prevádzku dopravníkových systémov, manipulátorov a robotov na mieru vytvoreným programom. Výhodou je hlavne jednoduché preprogramovanie danej jednotky, čím vieme následne program upravovať podľa našich potrieb a meniacich sa parametrov v prevádzke.

Cieľom práce bolo navrhnuť, skonštruovať a naprogramovať funkčnú triedičku objektov ktorá má za úlohu prenášanie a triedenie kociek podľa ich tvaru. Návrh pozostával z dvoch dopravníkových pásov a manipulátora. Podľa návrhu dopravníkov a manipulátora sme vyhládali a zvolili elektromotory, elektrické a pneumatické prvky s požadovanými parametrami. Na ovládanie triedičky sme použili PLC typu Siemens Simatic S7-200. PLC vyžíva programovací jazyk Ladder diagram, ktorým programujeme vo vývojovom prostredí STEP7 MicroWIN od spoločnosti Siemens.

2 Materiál a metódy

Pri riadení dopravníkového systému sme využili pneumatické a elektrické prvky, ktorými po zapojení do obvodu môžeme riadiť, prenášať a kontrolovať dopravované kocky.

Hardware

Notebook HP Probook 4225s

- CPU AMD Phenom II Triple-Core P840 1,8 GHz,
- RAM 4GB

Na prácu sme použili dva dvojčinné pneumatické piesty IMI NORGREN typu:

Tab. 1 Parametre použitých pneumatických piestov

Tab. 1 Parameters of used pneumatic pistons

Typ piestu	Priemer piestu $\varnothing$	Priemer piestnice $\varnothing$	Pracovný výsuv piestnice	Pracovný tlak
RM/8020/M/100	20 mm	8 mm	100 mm	100 – 1000 kPa
RM/8020/M/40	20 mm	8 mm	40 mm	100 – 1000 kPa

Elektrický ventil 3/2, Norgen Minisol 09-311-103-21

- 3cestný/2polohový elektrický ventil riadený elektricky s vratnou pružinou ,
- EDC 24/18,
- pracovným tlakom 0 – 4000 kPa

Vákuový ejektor VPiINLINE Mini SI 0122025

- optimálny tlak 600 kPa pri prítoku vzduchu 26,4 l.min⁻¹,

Optický snímač IDEC SA1E-DP2,

- reflexný snímač, PNP výstup,
- spínanie za tmy, napájanie 10 – 30V,
- prevádzkový prúd 30mA,
- dosah 0,7m,
- reakčná doba 1 ms - 3kusy.

Magnetické snímače FESTO SME-8 K 150855 M613

Indukčný snímač Datalogic IS-12-H1-03

Elektromotory s prevodovkou DOGA 316 2761 3000

Vákuový ejektor PI INLINE Mini SI 0122025

Relé Phoenix contact No.2961192

Štandardná prísavka $\varnothing = 21\text{mm}$,

Kompresor so zásobníkom a jednotkou na úpravu vzduchu Scheppach HC 53DC

Regulovaný zdroj Voltcraft DPPS – 32-20 1-32V $I_{\text{max}} = 20\text{A}$

Škrtiace ventily

DC/DC menič napätia

Siemens S200

Riadiaca jednotka Siemens CPU 222 AC/DC Relay,

- výstupy Q = 6,
- vstupy I=8,

- ROM 4 kB
- RAM 2 kB
- Komunikačné rozhranie 1 x RS 485.

Rozšiřovací modul Siemens EM 223 DC Relay,

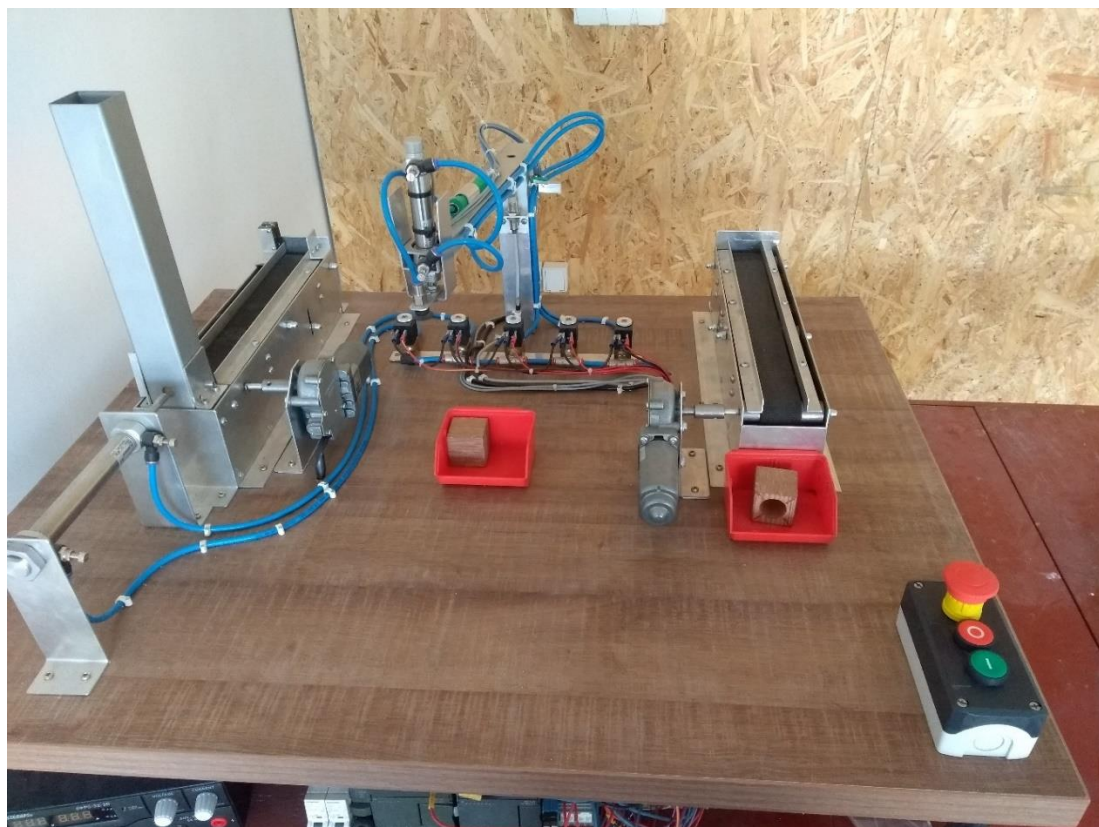
- výstupy Q=8,
- vstupy I=8

Software

- Siemens Step 7 microwin
 - Program na programovanie PLC 222,
 - umožňuje prácu v programovacom jazyku Ladder Diagram.
- Fluid Draw P6
 - Program na tvorbu pneumatickej schémy,

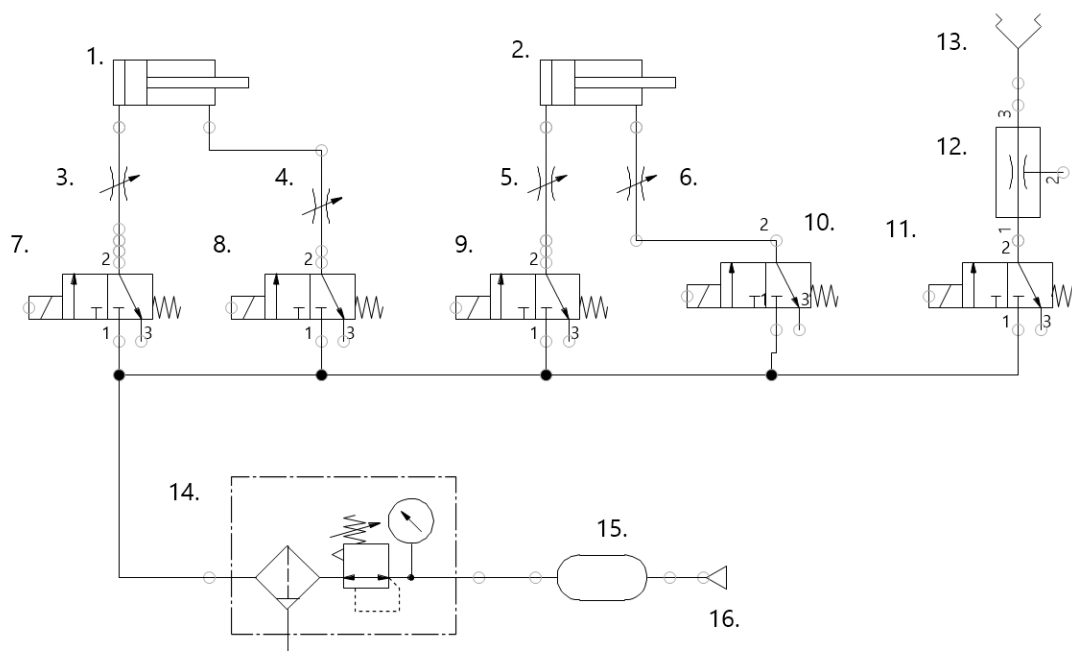
3 Výsledky a diskusia

Na obrázku je naša dopravníková sústava (obr. 1). Sústavu sme navrhli z troch hlavných častí a to dopravníkového pásu zo zásobníkom, dopravníkového pásu na odvoz dierovej kocky a manipulátora.



Obr. 1 Funkčný model triediacej linky
 Fig. 1 Functional model of the sorting line

Konštrukčné celky sme zhotovili podľa návrhu z hliníkových profilov. Valce dopravníkového pásu sme si nechali vysústružiť na požadovaný rozmer a stredom sme prevrtali dieru kvôli upevneniu ku kostre dopravníka a následne pripojením hnacieho valca k motoru za pomoci spojky. Dva optické snímače sme pripevnili na koniec dopravníkového pásu pri ktorom jeden snímač deteguje kocku a druhý snímač určuje typ kocky. Jeden optický snímač je pri zásobníku na kocky a kontroluje či je v zásobníku kocka. Pneumatický piest sme upevnili pred zásobník na posuv kocky a na žeriav pre zdvih kocky pomocou prísavky, ktorá je pripevnená k piestu. Prísavka je spojená s vákuovým ejektorom na vytvorenie podtlaku. Magnetické snímače sme pripevnili na pneumatický piest žeriava aby sme vedeli určiť koncové polohy piesta. Na zistenie koncových polohy žeriava sme použili koncové spínače. Indukčný snímač na žeriave nám slúži na určenie jedného z dvoch vykladacích miest. Nakoniec sme dopojili tlačidlá a elektrické ventily na ovládanie pneumatických prvkov. Elektromotory nám slúžia ako pohonné ústrojenstvo. Po zhotovení konštrukčnej časti sme zapojili pneumatické prvky podľa nami navrhutej schémy (obr. 2).



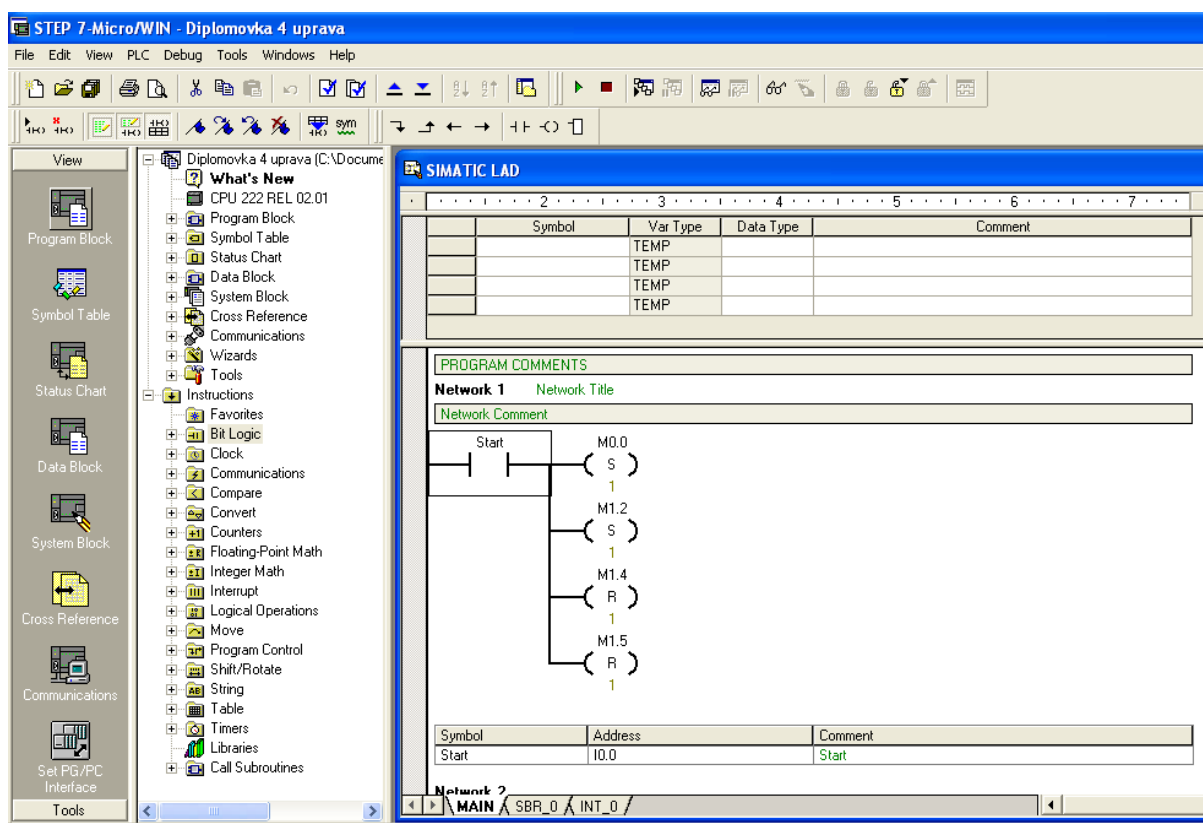
Obr. 2 Schéma pneumatického zapojenia triediacej linky
 (1. Pneumatický piest na posuv kocky zo zásobníka, 2. Pneumatický piest na manipulátory, 3. 4. 5. 6. škrtiaci ventil, 7. 8. 9. 10. 11. elektrický solenoid 3/2, 12. Vákuový ejektor, 13. Prísavka, 14. jednotka na upravu vzduchu, 15. zásobník, 16. kompresor)

Fig. 2 Pneumatic circuit diagram of the sorting line
 (1. Pneumatic piston for sliding cubes from the magazine, 2. Pneumatic piston for manipulators, 3. 4. 5. 6. throttle valve, 7. 8. 9. 10. 11. electric solenoid 3/2, 12. Vacuum ejector, 13. Suction cup, 14. air handling unit, 15. tank, 16. compressor)

Na riadenie elektrických a pneumatických prvkov sme použili PLC. Pre našu triediacu linku nám postačuje PLC od firmy Siemens triedy S7-200. Daný typ PLC programujeme vo vývojovom prostredí Siemens Step7 MicroWin, kde za pomoci príkazov bitových operácií programujeme naše PLC. V programe si vieme zvoliť funkciu aj pozorovanie prebiehajúceho programu, kde môžeme kontrolovať a vylepšovať nedostatky pri

programovaní. Pomocou reálnej zostavy vidíme priamo prebiehajúce procesy programu triedičky.

Prvotný krok pre použitie počítača s PLC bolo pripojenie počítača a PLC pomocou PC/PPI kábla. Do počítača sme museli následne nainštalovať driver a nastaviť komunikačnú rýchlosť sériovej linky. Na začiatku programovania sme si určili a zapísali do prehľadovej tabuľky vstupy a výstupy z PLC a jeho rozširovacieho modulu pre lepšiu orientáciu v programe. V programovom bloku sme začali programovať podmienky čo sa stane, ak sa zopne tlačidlo Štart (obr.3). Tlačidlo štart zopne pamäťové miesta M0.0 a M1.2 pre funkciu triediacej linky.



Obr. 3 Vývojové prostredie STEP 7
 Fig. 3 STEP 7 development environment

Pamäťové miesto M0.0 zopne Motory na pohon dopravníkových pásov a keď snímač zaznamená kocku spustí pamäťové miesto M1.3. Následne sú splnené všetky podmienky na to aby PLC zoplo elektrický ventil Q0.4 t.j. výsuv piesta na dobu časovača T37 a vysunie kocku zo zásobníka na dopravný pás, vynuluje výstup Q0.4. Následne sa piest zasunie a vynuluje sa pamäťové miesto M1.2 a aktivuje sa pamäťové miesto M0.1, čo nám signalizuje že kocka je na páse. Následne sa môže vykonávať ďalší proces. Dopravníkový pás dopraví kocku na koniec dopravníka kde zaznamenajú kocku dva snímače. Prvý snímač I0.3 má za úlohu detegovať kocku na konci pásu a druhý snímač I0.4 ju následne zaznamená kocku vrtnú alebo plnú. Ak oba snímače I0.3 a I0.4 sa zopnutú, aktivuje sa pamäťové miesto M0.2. Aktivované pamäťové miesto M0.2 spustí výstup Rele_1 a zopne motor manipulátora. Ak manipulátor zopne Spínač_1 a vypne motor manipulátora. Ak sa zopne Spínač_1 a je spustené pamäťové miesto M0.2 zopne elektrický ventil pre vákuový ejektor ,vysunie piestnicu s prísavkou na dobu 1,5 sekundy a následne sa vráti piestnica do zasunutého stavu. Ak sa vykonajú predchádzajúce úkony správne, budú platiť podmienky a zopne sa výstup Rele_2

ktorý začne otáčať manipulátor k miestu vyloženia. Pri podmienky M0.2 koncový optický snímač na manipulátory. Manipulátor sa zastaví aktivuje sa pamäťové miesto M0.5 ktorého funkciou je spustenie piestnice na požadované miesto vypne vákuový ejektor a objekt položí do nádoby.

Po skončení tohto procesu sa vypnú pamäťové miesta sa cyklus zapakuje. Pri opätovnom procese ak sa snímač I0.3 zopne a spínač I0.4 bude rozpojený, aktivuje sa pamäťové miesto M0.3. Aktivované pamäťové miesto M0.3 zopne motor manipulátora a to vykoná proces privolania manipulátora a zdvihnutie kocky z dopravníku. Následne motor manipulátora vypne koncový spínač pri odvozovom dopravníku. Zopnutý spínač aktivuje aj pamäťové miesto M0.5 a objekt začne klásť na dopravníkový pás. Zopnutie snímača koncovej polohy piesta vypne motor daného dopravníka z dôvodu menšieho namáhania prísavky pri kladení objektu na pás. Ak sa preruší snímanie koncovej polohy piesta zopne sa motor dopravníka a dopraví objekt na požadované miesto. Po ukončení tohto cyklu sa vypnú dodatočné pamäťové miesta a celý cyklus sa zopakuje. Ak počas cyklu sa stlačí tlačidlo Stop najskôr sa zastaví dopravníkový pás so zásobníkom, dokončí sa cyklus a vypne sa aj dopravník na odvoz objektu. Pre opätovné spustenie linky do prevádzky je potrebné stlačiť tlačidlo Štart. Pri stlačení tlačidla Emergency Stop sa okamžite zastaví činnosť linky ale keď je kocka v preprave na manipulátory ostane zapnutá len prísavka aby objekt nespadol.

4 Záver

Hlavným cieľom našej práce bolo navrhnuť, zostrojiť a naprogramovať funkčný model dopravníkovú sústavu ako triediacu linku ovládanej za pomoci PLC. Triediaca linka má za úlohu porovnávať optickými snímačmi parameter kocky a následne vytriediť za pomoci manipulátora kocky podľa toho či je jednotlivá kocka je vrtaná alebo plná. Túto prácu vieme použiť ako model pri učení programovania PLC v jazyku Ladder Diagram.

5 Literatúra

Datasheet Norgen Minisol 09-311-103-21. 2021. [online]. aktualizované 2021 [cit. 2021-03-26]. Dostupné na <http://cdn.norgren.com/pdf/en_5_2_060_MINISOL.pdf>

Datasheet Siemens CPU. 2021. [online]. [cit. 2021-03-26]. Dostupné na <<https://docs.rs-online.com/e4da/0900766b803ea642.pdf>>

Datasheet IDEC SA1E-DP2. 2021. [online]. aktualizované 2021 [cit. 2021-03-26]. Dostupné na <https://www.mouser.sk/datasheet/2/650/idec_SA1ESeries-1894021.pdf>

Programming with STEP 7. 2021. In Siemens Simatoc na siemens.com [online]. update 2021 [cit. 2021-03-26]. Dostupné na <https://cache.industry.siemens.com/dl/files/056/18652056/att_70829/v1/S7prv54_e.pdf?fbclid=IwAR1P22mXqitp5dh1oY-cQBV7CPQm0v01blVP67j0S2Qg5C3mOKgMcZCU7UA>

Rozdelenie optoelektrických snímačov. 2021. In Rozdelenie optoelektrických snímačov na senzortech.sk [online]. aktualizované 2021 [cit. 2021-03-28]. Dostupné na <<https://senzortech.sk/neo/tree.php?stranka=eshop2info#sB1>>

Princíp PLC . 2021. In Základy PLC na dailyautomation.sk [online]. aktualizovane 2021 [cit. 2021-03-28]. Dostupné na <<https://www.dailyautomation.sk/005-zakladny-princip-plc/>>

Súhrn

V diplomovej práci sme sa zamerali na riadenie triediacej linky s použitím PLC. Teoretická časť nám uvádza využitia PLC v rôznych oblastiach a následne ich vývojové prostredie, typy používaných jazykov a popis používaných pneumatických a elektrických prvkov. V praktickej časti práce už navrhujeme, konštruujeme, a programujeme triediacu linku. Cieľom nasej práce bolo zostrojenie a z prevádzkovanie funkčnej triediacej linky za pomoci PLC. Toto zariadenie môžeme použiť ako cvičný model vo výučbe.

Kľúčové slová: PLC, Step 7, triediaca linka

Touto cestou by som sa chcel poďakovať vedúcemu práce Ing. Jánovi Kosibovi, PhD. za pomoc, pripomienky a odborné rady pri tvorbe práce.

NÁSTROJE RIADENIA KVALITY VO VÝROBNEJ ORGANIZÁCIÍ

MANAGEMENT TOOLS FOR QUALITY CONTROL IN A PRODUCTION ORGANIZATION

VLADIMÍR ŽITNÝ – MIROSLAV PRÍSTAVKA

Abstract

The presented paper deals with the issue of resolving complaints using statistical methods. The statistical methods we used are referred to as SPC - statistical process control. Use methods 5 Why we investigated the causes of the problem, which were identified on the basis of a complaint from the customer. Corrective measures related to the actual pressing tool are used to resolve the complaint. With the help of control SPCs, we ascertained whether the production process is under statistical control, although it is eligible.

Key words: statistical methods, SPC, 5 Whys, control preparation

1 Úvod

Kvalita je miera, s akou súbor vlastných charakteristík spĺňa požiadavky zákazníkov a iných zainteresovaných strán. Termín kvalita sa môže používať s prívlastkami, ako sú zlá, dobrá, alebo výborná. (Korenko, Krčálová, Mareček, 2019)

V súčasnej dobe sú kladené stále vyššie nároky na kvalitu výrobkov. Prvoradým záujmom každej organizácie je v rámci konkurenčného boja uspokojovať potreby zákazníka, znižovať náklady na výrobu, zvyšovať produktivitu a predovšetkým zvyšovať kvalitu svojich výrobkov a služieb. Záujem o kvalitu narastá po celom svete a zákazníci sa stávajú stále náročnejšími. Výrobné organizácie si preto uvedomujú, že investovanie do kvality je jedna z najvýhodnejších investícií, ktorú je možné previesť. (Andrejiová, 2016)

Kvalita výrobku v organizácii sa môže dosiahnuť zlepšením a riadením výroby a to tak, že sa vykonávajú rôzne techniky na zlepšenie kvality alebo metódy typu FMEA, 8D, 5 Whys a pod. FMEA, čiže analýza možných spôsobov a dôsledkov porúch je všeobecne platná analytická metóda v riadení kvality a v súčasnosti je v mnohých organizáciách považovaná za štandardnú metódu. Slúži na vyhľadávanie chýb v produktoch, skôr ako sa vyskytnú. Následne sa vykonávajú príslušné opatrenia, ktoré zabránia výskytu týchto potenciálnych chýb. (<https://www.babtec.de/en/knowledge/fmea>).

Podľa Munroa, Ramua a Zrymiaka (2015) si metóda 5 Whys väčšinou kladie tieto otázky: „Prečo tento problém existuje?“ alebo „Prečo došlo k tejto udalosti?“ Otázky podobného charakteru sa opakujú päťkrát, až kým sa nedospeje k hlavnej príčine problému. Hlavná príčina je často spätá s procesom alebo systémom. Tento proces sa nazýva 5 Whys, pretože hodnotiteľ môže prísť na hlavnú príčinu otázkou „prečo“ zvyčajne päťkrát (občas aj viac). Duffy a Furtere (2020) uvádzajú, že metóda 5 Whys pomáha identifikovať hlavnú príčinu problému a ukáže, ako môžu príčiny problému medzi sebou súvisieť. Na to aby sa dosiahlo zlepšenie kvality, tak organizácie zavádzajú vybrané štatistické nástroje na riadenie kvality.

Reklamácia výrobkov je problémom každej organizácie a neexistuje organizácia, ktorá by nedostala reklamáciu od zákazníka. Preto pokiaľ vznikne reklamácia zamestnanci organizácie sa ju snažia, čo najrýchlejšie vybaviť, pretože v hre je strata zákazníka a dobré meno organizácie. Zamestnanci, ktorí vykonávajú túto činnosť sú tzv. riešitelia problémov.

Walker, Benbow a Elshennawy (2018) definujú zase, že v každej organizácii sú potrební riešitelia problémov. Ich prácou je identifikovať problémy a navrhnúť čo najlepšie riešenia týchto problémov. Niektoré problémy dokáže riešiteľ vyriešiť aj sám, no na niektoré potrebuje tímovú spoluprácu ľudí s rôznymi vedomosťami a zručnosťami. Väčšina organizácií si vyžaduje alebo považuje za užitočné za pravidelné písanie správ o identifikácii problémov a ich vyriešení.

Pri vybavovaní reklamácie má zákazník samozrejme aj nárok vedieť, že kde a za akých príčin vznikla chyba. Preto sa mu zasielajú informácie o vykonávaní týchto štatistických nástrojov, nápravných opatrení a rôznych iných metód vykonávaní kontroly a zlepšenia kvality.

2 Materiál metódy

V súčasnej dobe majú štatistické nástroje v organizáciách výrazný vplyv na výrobu výrobkov. Štatistické nástroje však nie sú jediné, ktoré dopomôžu pri zlepšení výroby a riešení problémov. Na zlepšenie výroby a riešení problémov sa používajú taktiež metódy ako sú FMEA, 5Whys, 8D reporty a mnohé iné. Cieľom príspevku je preverenie výrobkov pomocou štatistických nástrojov, riešenie zákazníckej reklamácie, odstránenie jej problémov a nedostatkov. Navrhnutie a aplikovanie nápravných opatrení, ktoré je organizácia schopná vykonať. V záverečnej fáze práce bolo hlavným cieľom preveriť, či výrobky po odstránení chyby sú štatisticky spôsobilé a či môže byť ďalej vyrábané a dodávané pre zákazníka. Odstránenie reklamačných nedostatkov, problémov a ich preverenie sa uskutočňovalo pomocou jednoduchých štatistických nástrojov SPC.

SPC

Podľa Munroa, Ramua a Zrymiaka (2015) je štatistické riadenie procesov (SPC) pozostávajúce z nástrojov a úkonov, ktoré prispievajú k dosiahnutiu požadovaného cieľa. Na dosiahnutie cieľov sa požaduje:

- monitorovanie procesov v reálnom čase,
- identifikácia, či procesy fungujú podľa očakávaní,
- identifikácia, či sa procesy zmenili a sú požadované nápravné opatrenia,
- vykonávať štatisticky platné rozhodnutia,
- určenie kedy majú byť a kedy nemajú byť vykonané úkony v procese,
- určenie typu úkonu, ktorý má byť vykonaný (úkon, ktorý je potrebný vylúčiť aby proces viedol k celkovému zlepšeniu alebo naopak),
- kvalifikácia a zredukovanie variácie,
- zlepšenie chápania produktu a procesu,
- zlepšenie návrhu produktu a procesu,
- monitorovanie neustáleho zlepšovania a potvrdzovanie, že zmeny boli efektívne.

Na vykonanie SPC sa používajú nástroje, ktoré využíva organizácia na získavanie výsledkov ako sú regulačné diagramy a histogramy. Na zostrojenie regulačných diagramov a histogramov sa vychádza z nameraných hodnôt. Na definovanie regulačných medzí a centrálnej priamky sa vychádzalo z požiadaviek, ktoré určil zákazník. Po vyhodnotení sa postupovalo k riešeniu spôsobilosti procesu indexami C_p a C_{pk} .

Indexy spôsobilosti procesu C_p , C_{pk}

Index spôsobilosti C_p definuje aký by proces mohol byť a index spôsobilosti C_{pk} aký proces je.

Na výpočet indexu spôsobilosti sa postupuje podľa vzorca:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (1)$$

Kde hornú predpísanú toleranciu predstavuje LSL, dolnú predpísanú toleranciu USL a smerodajnú odchýlku σ .

Korigovaný index spôsobilosti C_{pk} , je to vlastne spôsobilosť procesu, ktorý nám hovorí o tom ako je proces schopný vytvárať výstupy v požadovanom tolerančnom poli. Na rozdiel od C_p zohľadňuje aj polohu vzhľadom k priemernej hodnote a tolerančným hraniciam.

$$C_{pk} = \min \left[\left(\frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right); \left(\frac{USL - \mu}{3\sigma} \right) \right] \quad (2)$$

Hodnota μ predstavuje strednú hodnotu sledovaného znaku.

Ak hodnota C_p a C_{pk} je väčšia alebo rovná ako 1,33 znamená to, že proces je spôsobilý.

Výpočet smerodajnej odchýlky:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \quad (3)$$

Kde:

- XI - jprvok merania
- x_m (x_1) - hodnota merania
- N- počet meraní
- i - sumačný index

(<http://manazmentprocesov.blogspot.com/2016/03/ukazovatel-sposobilosti-procesov-proces.html>)

Metóda 5 Whys

Metóda 5 Whys je založená na sérii otázok. Cieľom tejto metódy je zistiť skutočnú príčinu poruchy. Použitie je jednoduché: neustále opakovanie otázkou „prečo“, kým prideme k skutočným príčinám príznaku, ktorý vyplýva zo skúmaného problému. Otázka „prečo“ by sa mala opakovať 5 krát alebo tak dlho, ako je potrebné. 5 je len ľubovoľné číslo. Odpoveď na otázku „Prečo...“ vedie k ďalšej otázke „Prečo...“. Nie je však vždy možné okamžite položiť otázku alebo na ňu odpovedať. (<https://www.system-kanban.pl/definicja/metoda-5-why/>)

Sledovaný výrobok je časť automobilu Land Rover Defender. Jedná sa o hliníkovú časť, ktorá sa nachádza v strešnej časti vozidla. Je jedným z konštrukčných hlavných častí, ktorá zodpovedá za bezpečnosť a stabilitu vozidla.



Obr. 1 Vylisovaný výrobok
 Fig. 1 Pressed product

Výroba dielu sa uskutočňuje technológiou lisovania, lisom typu S-4-2000-250-LDE značky Arisa. Jedná sa o transferový kľukový lis, ktorého technológia lisovania je automatická. Priebeh výroby začína podávaním polotovaru z odvíjaného pásu a jeho vyrovnávacím zariadením do lisu. Následným krokom je lisovanie polotovaru pomocou viacerých lisovacích nástrojov v lisovacom zariadení. Podávanie materiálu v lise je automatické, čiže nie je potrebná ľudská pomoc. Finálny vylisovaný výrobok vychádza z lisu a dopadá na pásový dopravník, z ktorého operátori uložia výlisok do skladovacích kontajnerov.



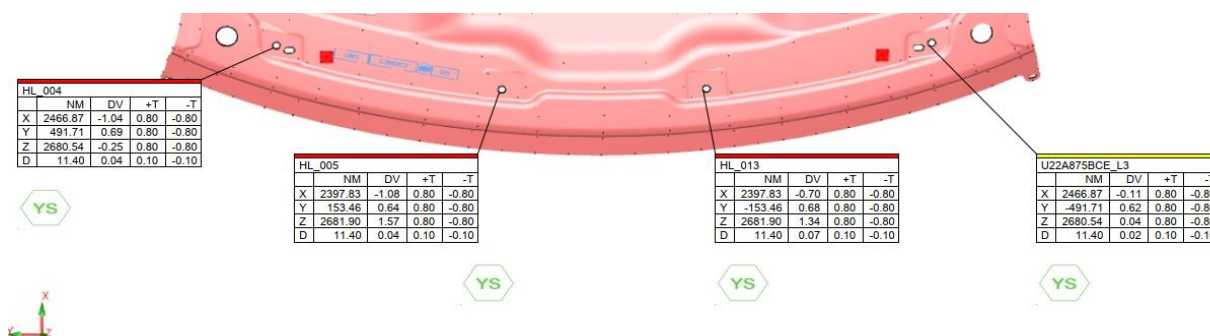
Obr. 2 Priebeh lisovania, nástroj v lise
 Fig. 2 Process pressing, tool in the press

3 Výsledky a diskusia

Na 3D meracom zariadení boli diely merané počas každej výroby lisovania dielu kvôli SPC za obdobie 02.09.2020-15.01.2021. Meranie bolo zrealizované upnutím dielu na merací prípravok, ktorý bol umiestnený na pracovný stôl 3D meracieho zariadenia. Následne zariadenie pomocou meracej sondy premeriavalo chybné otvory. Súradnicové meracie zariadenie výsledky zaznamenalo do softvérového programu PC-Dmis. Jedná sa o metrologický softvér, ktorý slúži na 3D zobrazenie výrobku s nameranými hodnotami. Ako vidno na obrázku z výsledkov merania 3D sú zmerané hodnoty otvorov vyznačené červenou farbou, takže sú neakceptovateľné.



Obr. 3 3D meracie zariadenie
 Fig. 3 3D measuring device



Obr. 4 Výsledky z merania 3D
 Fig. 4 3D measurement results

SPC pre diery HL_004 a osi X

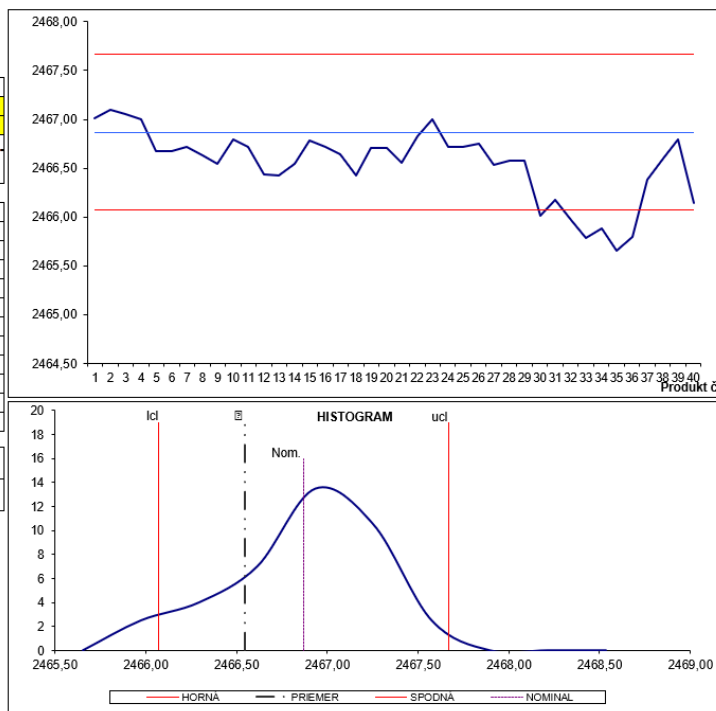
Výsledky SPC ukázali, že hodnoty sú kolísavé a v niektorých prípadoch prekračujú medze čo pre zákazníka je neprípustné a znamená to, že proces nie je pod štatistickou kontrolou. Horná predpísaná tolerancia a spodná predpísaná tolerancia bola stanovená zákazníkom, takže sme museli vychádzať podľa jeho očakávaní. Zákazník očakáva, že výrobok bude vyrobený v predpísaných toleranciách a teda nebude problém pri zástavbe. Indexy spôsobilosti C_p a C_{pk} ukazujú, že proces je nespôsobilý a sú potrebné nápravné opatrenia

SPC pred nápravnými opatreniami



Process Capability Study

Názov dielu:	Strešná časť
Číslo dielu:	L8B2-57462
Dátum:	02.09.2020-15.01.2021
Merací bod:	LOC460 - "Dimension Location (HL_004)" Axis: X
Nominal:	2466,87
Tolerancia +:	0,80
Tolerancia -:	-0,80
Horná medza:	2467,67
Dolná medza:	2466,07
Priemer:	2466,54
Maximálny výsledok:	2467,10
Minimálny výsledok:	2465,66
Mimo hornej tolerancie:	OK
Mimo dolnej tolerancie:	-0,41
Rozsah:	1,44
Štandardná odchýlka:	0,36
Cp:	0,74
Cpk:	0,44



Obr. 5 SPC pre dieru HL_004

Fig. 5 SPC for hole HL_004

Zistenie príčiny problému metódou 5 Whys

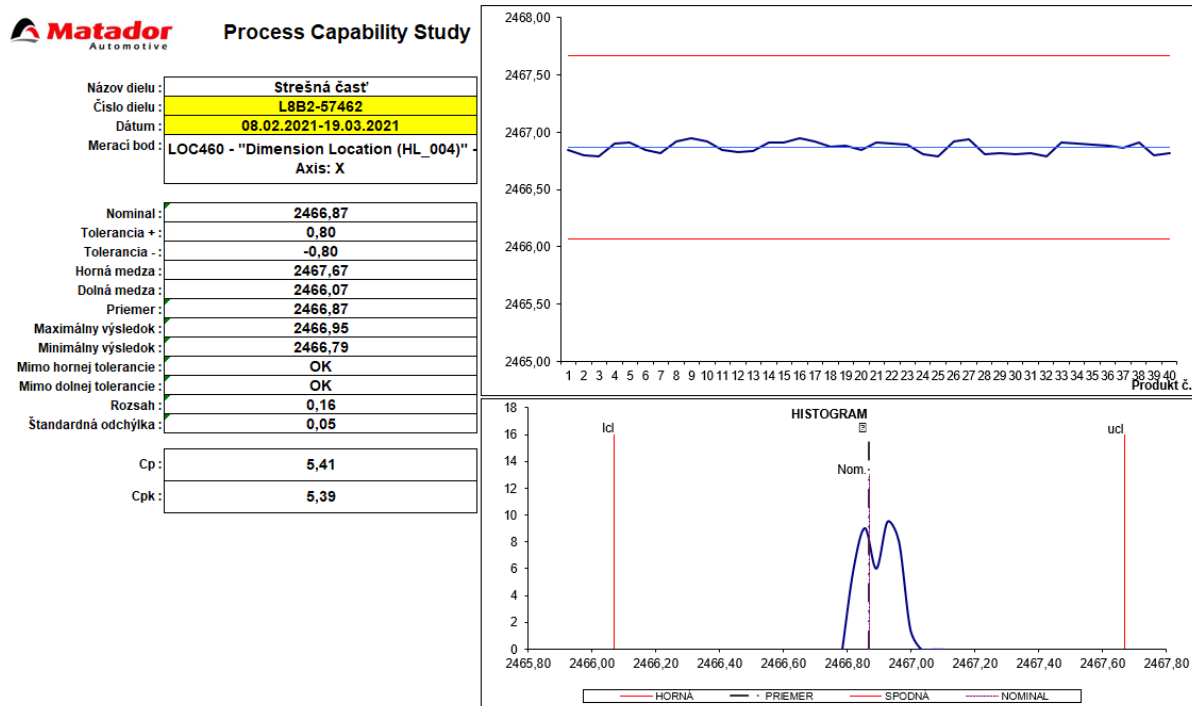
Na základe výsledkov SPC bolo prístupné k analýze koreňovej príčiny metódou 5 Whys. Je to jedna z metód, ktorú organizácia využíva na zistenie koreňovej príčiny. Ako koreňová príčina prečo sa diel vyrobil bolo, že pri konštrukcii nástroja nebolo dostatočne zahrnuté odpruženie materiálu v nástroji.

Tab. 1 5 Whys – dôvod problému
 Tab. 1 5 Whys – reason of the problem

Dôvod problému
1st Why / 1x Prečo
Nemontovateľnosť dielu u zákazníka
2nd Why / 2x Prečo
Nesprávne vylišovanie dielu
3rd Why / 3x Prečo
Nesprávna pozícia otvorov
4th Why / 4x Prečo
Nesprávna plocha dielu v okolí otvorov
5th Why / 5x prečo
Nevhodná konštrukcia nástroja

SPC po nápravných opatreniach

Po implementácii nápravných opatrení, ktoré boli zistené na základe metódy 5 Whys boli zrealizované kontrolné merania na 3D meracom zariadení a vykonané SPC za obdobie 08.02.2021 - 19.03.2021. Finálne výsledky z 3D meraní sa vyznačili zelenou farbou, čo značí vyhovujúce hodnoty výsledkov merania. Zrealizované SPC ukazujú, že hodnoty sú v predpísanej tolerancii a neprekračujú medze, čiže výroba výrobku pre zákazníka môže ďalej prebiehať bezproblémovo. Výsledné hodnoty C_p a C_{pk} v každom meraní pre jednotlivé diery nie sú pod 1,33, čo značí, že proces je spôsobilý.



Obr. 6 Nové SPC pre diery HL_004
 Fig. 6 New SPC for hole HL_004

Aplikácia štatistických metód má široké uplatnenie pri riešení reklamácií od zákazníkov. Takýto typ využitia sa podarilo aplikovať na aktuálnu reklamáciu od zákazníka, kde pomocou SPC a 5 Whys sa nám podarilo identifikovať nezhody, príčiny problému a následne vyriešiť ich.

Neustálím zavádzaním SPC počas doby výroby organizácií dopomôže k skoršej identifikácii nezhôd v procese výroby a zabráni stratám zisku organizácie.

4 Záver

Cieľom príspevku bolo riešenie reklamácií od zákazníka a odstránenie nezhodností pomocou štatistických metód. Aby sme odstránili príčiny problémov, ktoré zákazník reklamoval, tak sa preveril celý výrobný proces výroby dielov.

Ako prvé pri riešení reklamácie sa vychádzalo z predpokladu, že chyba vznikla vo výrobe. Na zistenie, či výroba prebieha podľa plánu sa zostrojil vývojový diagram v dobe plánovania výroby. Na zostrojení vývojového diagramu sa podieľal tím odborníkov, ktorý preveruje možnosti identifikácie chybovosti výrobného procesu. Na základe zistených informácií sa zostrojil vývojový diagram, v ktorom je stručne popísaný celý výrobný proces výroby. Pomocou neho vieme identifikovať približný odhad vzniku chyby.

Ďalším krokom práce bolo odobratie vzoriek výrobkov počas doby výroby. Pomocou kontrolného prípravku sme preverili výrobky, či spĺňajú svoje rozmery. Tieto rozmery sme vedeli skontrolovať pomocou kontrolných kalibrov, ktoré sú súčasťou kontrolného prípravku. Nasledovala kontrola pomocou SPC a to tak, že sa odobrali vzorky výrobkov z výroby. Výrobky následne postupovali na pracovisko 3D meraní, kde sa kompletne premerali. Meranie prebiehalo na 3D meracím zariadení, ktoré mala organizácia k dispozícii. Softvér 3D zariadenia na základe získaných nameraných dát vyhodnotil, že výrobky nie je pod štatistickou kontrolou, čo viedlo aj k potvrdeniu prečo bola podaná reklamácia. Následne sa postupovalo k riešeniu problému pomocou metódy 5 Whys. Po zistených príčinách problému a ich odstránení sa postupovalo ku kontrolnému prevereniu výrobkov pomocou SPC.

5 Literatúra

5 Whys: The ultimate root cause analysis tool. 2020. In *kanbanize.com* [online]. © 2021 [cit. 2021-02-10]. Dostupné na: <<https://kanbanize.com/lean-management/improvement/5-whys-analysis-tool>>.

ANDREJIOVÁ, Miriam. 2016. *Štatistické metódy v praxi*. Košice : Technická univerzita v Košiciach. 318 s. ISBN 978-80-553-3078-5.

DUFFY, Grace L. – FURTERER, Sandra L. 2020. *ASQ Certified Quality Improvements Associate Handbook (4th Edition)*. [online]. B. m. : American Society for Quality (ASQ) [cit. 2021-02-07]. 339 s. ISBN 978-1-5231-3231-7. Dostupné na: <https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpASQCQIA1/viewerType:toc//root_slug:asq-certified-quality/url_slug:scatter-diagram?b-q=scatter%20diagram&b-subscription=true&b-group-by=true&b-sort-on=default&b-content-

type=all_references&include_synonyms=no&issue_id=kt012DXW9X&hierarchy=>.

FMEA. 2021. In *babtec.de* [online]. © 2021 [cit. 2021-02-12]. Dostupné na:
<<https://www.babtec.de/en/knowledge/fmea>>.

HRUBEC, Jozef – CSERVENÁKOVÁ, Judita. 2018. *Inžinierstvo kvality produkcie*. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita. 174 s. ISBN 978-80-552-1793-2.

KAMISKE, Gerd F. – BRAUER, Jörg-Peter. 2011. *Qualitätsmanagement von A bis Z – Wichtige Begriffe des Qualitätsmanagements und ihre Bedeutung*. München : Carl Hanser. 420 s. ISBN 978-3446425811.

KORENKO, Maroš – KRČÁLOVÁ, Eva – MAREČEK, Ján. 2019. *Komplexné manažérstvo kvality*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita. 117 s. ISBN 978-80-552-2084-0

Ľubomír Žifčák. 2016. *Manažment procesov* [online]. © 2021 [cit. 2021-02-25]. Dostupné na:
<<http://manazmentprocesov.blogspot.com/2016/03/ukazovatel-sposobilosti-procesov-proces.html>>.

MADŽÍK, Peter. 2017. *Nástroje systematického riešenia problémov*. Ružomberok : VERBUM. 157 s. ISBN 978-80-561-0478-1.

MUNRO, Roderick A. – RAMU, Govindarajan – ZRYMIAK, Daniel J. 2015. *Cerfified six sigma green belt handbook* [online]. B. m. : American Society for Quality (ASQ) [cit. 2021-02-11]. 630 s. ISBN 978-1-68015-775-8. Dostupné na:
<https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpCSSGBHE1/viewerType:toc//root_slug:certified-six-sigma-green/url_slug:is-is-not-comparative?b-q=five%20why%20method&b-subscription=true&b-group-by=true&b-sort-on=default&b-content-type=all_references&include_synonyms=no&issue_id=kt00UOKZSF&hierarchy=>>.

NENADÁL, Jaroslav a kol. 2012. *Moderní management jakosti* [online]. Praha : Management Press [cit. 2021-02-02]. 380 s. ISBN 978-80-7261-186-7. Dostupné na:
<https://books.google.sk/books?id=MODqCwAAQBAJ&pg=PA13&dq=Crosby+Jakost&hl=sk&sa=X&ved=2ahUKEwjKj_z63bHuAhVDw4sKHUscAoIQ6AEwAHoECAQQA#v=onepage&q=Crosby%20Jakost&f=false>.

SPC Charts History. 2019. In spcchartsonline.com [online]. © 2021 [cit. 2021-02-08].

Dostupné na: <<http://spcchartsonline.com/index.php/online-spc-control-charts/spc-charts-background/>>.

Súhrn

Predkladaný príspevok sa zaoberá problematikou riešenia reklamácie pomocou štatistických metód. Štatistické metódy, ktoré sme využili sú označované pod skratkou SPC - statistical process control. Pomocou metódy 5 Whys sme zisťovali príčiny vzniku problému, ktoré boli identifikované na základe reklamácií od zákazníka. Na vyriešenie reklamácie sa použili nápravné opatrenia, ktoré súvisia s opravou lisovacieho nástroja. V závere práce sme pomocou kontrolných SPC zisťovali, či výrobný proces je pod štatistickou kontrolou a či je spôsobilý.

Kľúčové slová: štatistické metódy, SPC, 5 Whys, PFMEA, kontrolný prípravok

Názov publikácie: Najnovšie trendy v poľnohospodárstve, v strojárstve a v odpadovom hospodárstve
Name of publication: Recent Advances in Agriculture, Mechanical Engineering and Waste Policy

Autori publikácie: Kolektív autorov
Authors of publication: Team of authors

Zborník zostavili a redakčne upravili - Editors: doc. Ing. Ján Kosiba, PhD.
Ing. František Adamovský, PhD.
Ing. Martin Baráth
Ing. Dušan Marko

Vydavateľ: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
Published by: Slovak University of Agriculture in Nitra
Vydanie: prvé
Edition: first
Form of publicaion: online

Rok vydania - Year: 2021

TEXTY NEPREŠLI JAZYKOVOU ÚPRAVOU
THE CONTRIBUTIONS WERE NOT LANGUAGE ADAPTED

ISBN 978-80-552-2326-1

Graphic Design and Creation

RECENT ADVANCES IN AGRICULTURE, MECHANICAL ENGINEERING AND WASTE POLICY

doc. Ing. Ján Kosiba, PhD.
Ing. František Adamovský, PhD.
Ing. Martin Baráth
Ing. Dušan Marko

April, 2021