

A
F
T
ACTA
FACULTATIS
TECHNICAE



TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE

1

ROČNÍK: XXII

ZVOLEN 2017

Medzinárodný poradný zbor / International Advisory Editorial Board

Pavol Božek (SK)

Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Materials Science and Technology in Trnava

Peter Demeč (SK)

Technical University of Košice

Jiří Fries (CZ)

VŠB — Technical University of Ostrava

Faud Hadžikadunić (BiH)

University of Zenica

Vladimír Jurča (CZ)

Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Engineering

Radomír Klvač (CZ)

Mendel University in Brno, Faculty of Forestry and Wood Technology

Dražan Kožak (HR)

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Mechanical Engineering Faculty

Antonín Kříž (CZ)

University of West Bohemia, Faculty of Mechanical Engineering

Stanisław Legutko (PL)

Poznan University of Technology

Aleksandar Makedonski (BG)

Technical University of Sofia

Nataša Náprstková (CZ)

UJEP in Ustí nad Labem, Faculty of Production Technology and Management

Alena Očkajová (SK)

Matej Bel University, Faculty of Natural Sciences

Marián Peciar (SK)

Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Mechanical Engineering

Evgeny Razumov (RU)

Volga State University of Technology

Krzysztof Zbigniew Rokosz (PL)

University of Technology

Pavel V. Rudak (BY)

Belarusian State Technological University

Ruslan Safin (RU)

Kazan National Research Technological University

Marian Šušniar (HR)

University of Zagreb, Faculty of Forestry

Zdenko Tkáč (SK)

Slovak University of Agriculture in Nitra, Faculty of Engineering

Paweł Tylek (PL)

University of Agriculture in Krakow, Faculty of Forestry

Medzinárodný zbor recenzentov / International Reviewers Board

Medzinárodný zbor recenzentov / International Reviewers Board

Alexander A. Bartashevich (BY)

Belarusian State Technological University

Jiří Dvořák (CZ)

Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Forestry and Wood Sciences

Ladislav Dzurenda (SK)

Technical University in Zvolen, Faculty of Wood Sciences and Technology

Karel Janák (CZ)

Mendel University in Brno, Faculty of Forestry and Wood Technology

Radek Knoflíček (CZ)

Brno University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering)

Milan Malcho (SK)

University of Zilina, The Faculty of Mechanical Engineering

Stanislav Marchevský (SK)

Technical University of Košice, Faculty of Electrical Engineering and Informatics

Ján Mihalík (SK)

Technical University of Košice, Faculty of Electrical Engineering and Informatics

Miroslav Müller (CZ)

Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Engineering

Jindřich Neruda (CZ)

Mendel University in Brno, Faculty of Forestry and Wood Technology

Sergey Spiridonov (RU)

State Institution of Higher Professional Education, Saint Petersburg State Forest Technical University

Miroslav Rousek (CZ)

Mendel University in Brno, Faculty of Forestry and Wood Technology

Juraj Ružbarský (SK)

University of Zilina, Faculty of Mechanical Engineering

Sergej V. Shetko (BY)

Belarusian State Technological University

Vladimír Štollmann (SK)

Technical University in Zvolen, Faculty of Forestry

OBSAH

VEDECKÉ ČLÁNKY

SEMI-DEŠTRUKTÍVNA METÓDA PILODYN 6J PRE MERANIE HUSTOTY SMREKOVÉHO DREVA SEMI-DESTRUCTION METHOD PILODYN 6J FOR MEASURING WOOD DENSITY OF SPRUCE WOOD Alena Rohanová – Ondrej Bajza	9
ANALÝZA MIKROPOČÍTAČA ARDUINO MEGA 2560 AKO A/D PREVODNÍKA NA MERANIE POLOHY PRE OBRÁBACIE CNC STROJE ANALYSIS MICROCOMPUTER ARDUINO 2560 AS A/D CONVERTERS FOR MEASUREMENT OF THE POSITION OF CNC MACHINE Romuald Mozdík – Emil Škultéty – Ľubomír Naščák	19
KRÍZOVÝ MANAŽMENT PODNIKU CRISES MANAGEMENT IN THE ENTERPRISE Svetlana Frisova, Vladislav Sviatskii, Vanessa Prajová	29
NÁVRH DÁVKOVO SPÚŠŤANÉHO BIOREAKTORA PRE VÝROBU ETANOLU POMOCOU SACCHAROMYCES CEREVISIAE PLAN OF BATCH STIRRED REACTOR TO PRODUCE ETHANOL BY SACCHAROMYCES CEREVISIAE Mohammad Emal Qazizada.....	35

VEDECKÉ ČLÁNKY

SEMI-DEŠTRUKTÍVNA METÓDA PILODYN 6J PRE MERANIE HUSTOTY SMREKOVÉHO DREVA

SEMI-DESTRUCTION METHOD PILODYN 6J FOR MEASURING WOOD DENSITY OF SPRUCE WOOD

Alena Rohanová – Ondrej Bajza

ABSTRACT: Density of wood has a significant impact on the assessment of construction wood quality. It is determined by various direct or indirect methods. Semi-destruction method based on PILODYN 6J device works with the dynamic stiffness. The principle is based on the penetration of steel pin into the wood by constant force (6 Joule or Nm). Moreover, penetration pin perpendicular to growth rings is required.

Interaction between wood density and depth of penetration has been examined on spruce boards. Also the impact of boards side (inner, outer) has been tested. The significant statistical dependence has been identified between the depth of pin penetration on the inner and outer side and the density of wood. More significant result has been identified on the inner side of boards. The knowledge allows increasing the reliable identification of wood density by PILODYN 6J device in situ based on the consideration of the board side.

Keywords: spruce wood, density wood, pin penetration, board, outer side, inner side

INTRODUCTION

Wood is one of the elementary building materials. It can be used in a wide range of applications, historically and of course actually as construction or supplementary material. Wood is anisotropic material, and therefore the detection of its properties is difficult from the methodical and experimental point of view. The most reliable results can be obtained from the ideal test specimens by using gravimetric method. The current trend of wood testing is focusing on the application area using wide range of test devices.

Bending strength, modulus of elasticity and wood density are considered significant parameters influencing the wood quality in wooden constructions. Testing of these properties is established in the standards STN and EN. Wood density can be tested using various methods. The dynamical hardness can be used to detect the approximate values of wood density. The device PILODYN 6J uses this principle, as well. Steel pin is shot into wood by constant force and the depth of penetration is measured. This non-destructive or semi-destructive method can be used to predict the indicative wood density in constructions elements or standing tree in situ.

Authors HANSEN 2000, MAKIPAA & LINKOSALO 2011 describe the universal use of the PILODYN 6J device. At the beginning, 20 years ago, the Technical Note NO.55 – July 2000 by Ch. P. Hansen mentioned the use of device on living trees only, later the use also on wooden poles was added. A pioneer of non-destructive testing of the timber was GÖRLACHER (1987). He tested the average wood density using spruce wood segments (33-36 x 110-210 x 450 mm) n = 208. 16 measurements were carried out on every segment of timber (6 measurements on the inner side, 6 on the outer side and 2 on edges). The results of the average penetration depths were assessed at different levels with different correlation coefficients. However, the author considered the detection of the dependence of penetration depth on wood density as a promising method.

Sophisticated non-destructive methods evaluate the penetration depth into construction wood in situ, e.g. TRIOMATIC CBS-CBT device (EN 14 081-4). When using non-destructive methods, the local density and moisture content of wood are tested by two pins shot into the wood. Measured results are used in timber grading (Sandoz – Benoit 2007, Triomatic CBS-CBT).

Differentiation of the board side is taken into account in assessing construction wood quality by visual method (all board sides). Side with the highest occurrence of wood defects (knots, cracks) predetermines the final quality class of board.

Depth of penetration depends on the wood structure (summer wood and spring wood), wood quality (fresh wood, old wood, reaction wood, degraded wood) (REINPRECHT 2009, RIENPRECHT – HRIVNÁK 2010). Moisture content also affects the depth of penetration. This knowledge was described by the following authors GÖRLACHER (1987), HANSEN (2000), DUBOVSKÝ – ROHANOVÁ (2007), ROHANOVÁ (2013). Authors GÖRLACHER (1987), HANSEN (2000) describe the interaction between penetration depth and the angle of shooting; however, significant influence was not confirmed.

The aim of this paper is to predict the density of spruce using PILODIN 6J device. Penetration perpendicular to growth rings on any side of the board is required. The side of the board has to be described in terms of the growth rings orientation to pith (inner, outer). Interaction between the wood density and the penetration depth considering the side has to be evaluated. Measured parameters have to be evaluated by multiple correlations and determination of significance of dependencies. The approximate value of spruce wood density in situ is established according to the linear model and the recommended side of board (inner, outer) for pin penetration is selected. This study follows the experiments ROHANOVÁ (2008) that were modified after analysis and evaluation of the results to the reference conditions according to the standard EN 384 (density and moisture content of wood).

PILODYN 6J

The device is used to establish the approximate density of wood. Its advantages are simple manipulation and possibility of using in situ. There are two types of devices, PILODYN 6J for construction timber and PILODYN 6J Forest for measuring on standing trees, alternatively on line poles.

The device uses the principle of shooting a steel pin into the wood with differentiated energy. Depth of the pin penetration, which can be easily established on the device scale, predicts the wood quality or extend of decay. The device provides alternative parameters

of shooting energy, 6, 12 or 18 Joule, with pin diameter scale from 2.0 to 3.0 mm. Penetration of the pin must be perpendicular to growth rings (Fig. 2). Fig. 1 shows PILODYN 6J device with accessories.

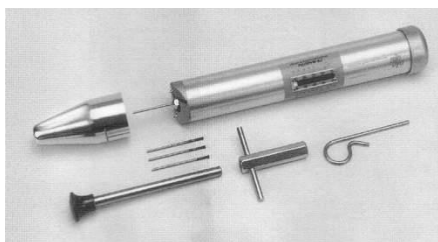


Fig. 1 PILODYN 6J – impact device with the scale and pin, loading rod, protective cap

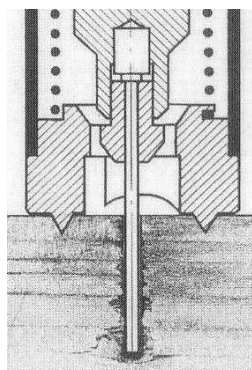


Fig. 2 System of penetration of working pin into wood in PILODYN 6J

MATERIAL AND METHODICS

Board timber (*Picea abies* Karst. L.) selected randomly were used for the experimental testing. Board dimensions:

40 x 200 x 2500 mm – 5 pcs.

Model of pin penetration was designed in order to represent following points:

- Distribution of wood density along the board (across segments and test specimens),
- Impact of penetration side (inner, outer) on the depth of penetration.

Board side marking – outer (A)

- inner (B) closer to pith.

Preparation of test specimens (the marking and cutting of board) illustrated in Fig. 3. MÄKIPÄÄ – LINKOSALO (2011) present a similar procedure for dry and wet wood (3 measurements).

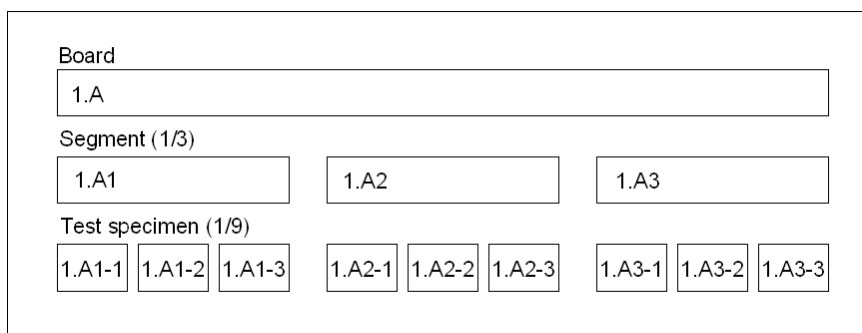


Fig. 3 Scheme of dividing the board into segments and specimens (1/9)

The test specimens were conditioned at standard conditions, i.e. at the temperature $20 \pm 2^\circ \text{C}$, relative air humidity $65 \pm 5\%$, and the equilibrium moisture content of 12% (reference humidity).

Pilodyn 6J

In the experiment PILODYN 6J device with pin diameter $\phi = 2.5 \text{ mm}$ was used. The lower surface of PILODYN 6J is pressed onto the test specimen surface. Subsequently 6 Nm spring shoots the steel pin into the wood. Process starts by the impact of operator's palm on the top of the device. The scale of device shows the depth of the pin penetration in mm.



Fig. 4 PILODYN 6J – application

Place for pin penetration was chosen as a place with an angle $\alpha = 90^\circ$ on the inner and outer side of board (it is necessary to determine the place for testing as the most accurate for perpendicular penetration of pin to growth rings, Fig. 5).

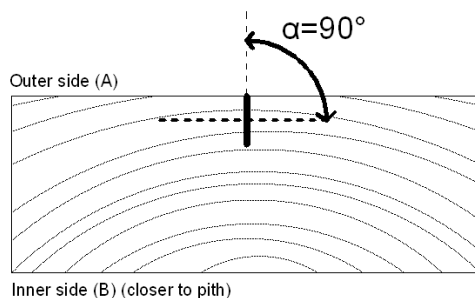


Fig. 5 Measuring of the angle between the penetration pin and the growth ring

On the test specimens (1/9 boards – Fig. 3) wood density was tested by gravimetric method (2 measurements) according to EN 408 standard.

RESULTS AND DISCUSSION

The results of the experiments are summarized in Tab. 1, which provides basic statistical characteristics. There are the average values of all the boards.

Tab. 1 Basic statistical characteristics of tested parameters – depth of the pin penetration h and the density ρ_{12} ($w = 12\%$) of the board and their faces (outer side, inner side and together) n – number of specimens, \bar{x} – mean, x_{\max} – maximum value, x_{\min} – minimum value, V – coefficient of variation

Parameter		Statistical characteristics				
		n	\bar{x}	x_{\max}	x_{\min}	V%
Wood density ρ_{12} (kg.m ⁻³)		90	390	438	341	7
Depth of penetration (mm)	$h_{\text{togeth.}}$	170	14,6	23	7	23
	h_{outer}	85	12,8	20	7	21
	h_{inner}	85	16,4	23	11	18

Since the choice of spruce boards was random, characteristics were analyzed separately for each board (Tab. 2).

Tab. 2 The average wood density values ρ_{12} , depth of penetration for the boards 1–5

Number of board	Wood density ρ_{12} (kg.m ⁻³)	Depth of penetration (mm)					
		Together (inner+outer)		Inner side of board		Outer side of board	
		n	h_{togeth}	n	h_{inner}	n	h_{outer}
1	363	36	18,6	18	20,5	18	16,7
2	369	32	12,9	16	15,3	16	10,5
3	400	34	12,9	17	14,6	17	11,2
4	400	36	14,4	18	16,1	18	12,8
5	426	32	14,1	16	15,4	16	12,7

The variability of wood density in the boards (Fig. 6)

In the density of wood some differences were detected among individual boards. The distribution of wood density was tested along the board. ANOVA test confirmed that there were no extreme differences between segments and test pieces on boards, so it is supposed that the depth of penetration is approximately the same along the board.

Depth of penetration (Fig. 7) – following the tests we found out that there were different average values in individual boards. Regardless the board side (together) the highest value was detected on board no.1, which has the smallest density $\rho_{12} = 363$ kg.m³. In the case of other boards, the values were balanced (h_{togeth} , h_{outer} , h_{inner}).

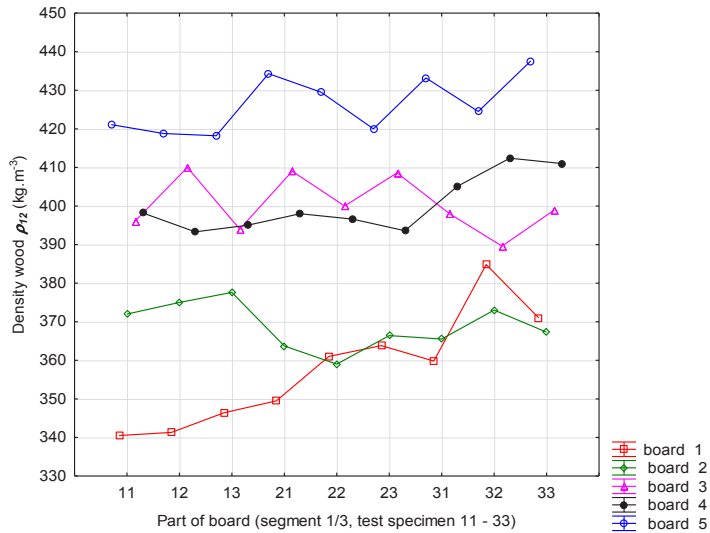


Fig. 6 Variability of wood density in boards (segment 1/3, test specimen 11– 33)

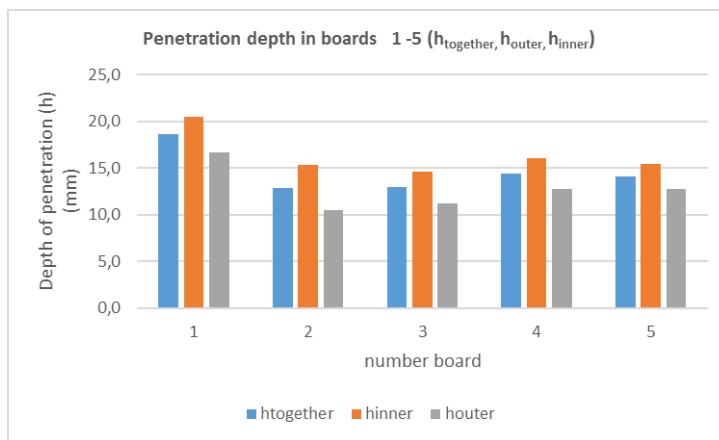


Fig. 7 Comparison of penetration depth in boards 1 -5 ($h_{together}$, h_{outer} , h_{inner})

When considering the board side the following findings in all boards were determined:

- outer side – values h_{outer} are 10–15% lower then $h_{together}$,
- inner side – values h_{inner} are 10–15% higher then $h_{together}$.

Depth of penetration is an indicator for measuring the approximate wood density. It is supposed that higher values of the penetration depth can predict the assessed characteristics more reliably.

Depth of penetration ~ wood density (Fig.8)

(together $n = 170$, $r = -0.34$, outer side $n = 85$, $r = -0.30$, inner side $n = 85$, $r = -0.51$)

Dependence consider measuring of penetration depth on the both side of board (together). Dependence of wood density on the penetration depth is only 12%, $P = 0.000$. When comparing these findings with literature (GÖRLACHER 1987, HANSEN 2000) where the selection of test specimens was ideal regarding the radial growth rings, the correlation coefficient determined in our study is significantly lower. Side of the board was not taken into account during the experimental pin penetration. It can be assumed that our result – lower correlation – was caused by e.g. random selection of boards, different wood structure of the boards, inaccuracy of perpendicularity of shooting, different density of spring wood in pith parts of board, the position of the board in prism.

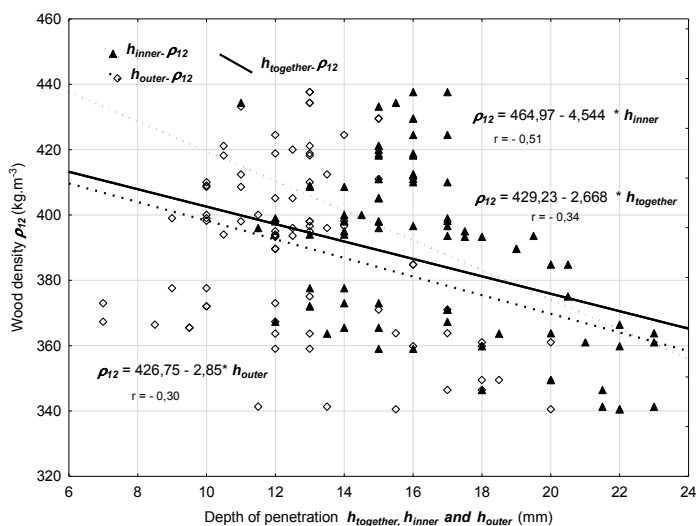


Fig. 8 Dependence of wood density ρ_{12} on the penetration depth according to side of penetration ($h_{together}$, h_{outer} , h_{inner})

Differentiation of the outer and inner sides of the pin penetration demonstrated that a higher correlation is on the inner side of board (Fig. 9). The density of the wood on the inner side depends to 26% on the depth of penetration, $P = 0.000$. On the other hand, on the outer side the dependence is only 9%, $P = 0.006$, i.e., reliability is 99.4%.

CONCLUSION

Density of wood is a significant parameter for timber quality grading. The device PI-LODYN 6J can be used for predicting the approximate wood density in situ. Device measures the depth of steel pin penetration. Correlation between the depth of penetration and wood density has been identified.

This study presents the application of PILODYN 6J device on spruce timber (boards).

In the first part of the experiment the depth of penetration and density of wood along the boards were measured. The course of wood density variability along the board was balanced or increasing. Different densities of wood among the individual boards were measured. In group of 5 boards the relationship between depth of penetration and wood density of the wood was studied with correlation $r = 0,34$. Dependence was decreasing slightly. Boards with higher densities featured the penetration depth from 10 to 17 mm; with lower densities this is quite a wide range. Experiment results of spruce timber were in conformity with authors GÖRLACHER 1987, HANSEN 2000. Furthermore, experiments reflected the impact of side of the board (inner, outer) on the depth of penetration.

Conclusions of the results are as follows:

- penetration depths on the inner side are 10–20% deeper than on the outer side, in every specimen,
- dependence of penetration depth on wood density is 26% higher on inner side than on the outer side, correlation factor $r = -0.51$, $P = 0.000$,
- dependence of penetration depth on the growth rings width low correlation factor on sides $r = -0,33 \sim 0,44$. It can be assumed that wood structure (spring and summer wood – growth rings) has significant impact in these experiments. The results show the expected impact on the position regarding the pith side.

Experiment results show the possibility of using equipment PILODYN 6J in identifying wood density in situ. The method should be applied mainly to the inner side of the board, which reflects more significant interaction between penetration depth and wood density.

ACKNOWLEDGMENT

This study was supported by VEGA agency of Ministry of Education, Science, Research and Sport of the Slovak Republic, project No. 1/0395/16.

REREFERENCES

- DUBOVSKÝ, J., ROHANOVÁ, A. 2007. Static and dynamic hardness of chosen wood species. university of Zagreb, Technical university in Zvolen, WOODWORKING Technique 2nd International Scientific Conference. Zalesina, Croatia, Faculty of Forestry, Zagreb, Croatia, s.27 32, ISBN 953-6307-94-4.
- GÖRLACHER, R. 1987. Non destructive testing of wood: an in – situ method for determination of density. Holz as Roh – und Werkstoff Vol. 45, s. 273 – 278.
- HANSEN, CH. P. 2000. Application of the pilodyn in forest tree improvement. (Replaces Technical Note No. 2) Forest Seed Centre, Humlebaek, Denmark.
- MÄKIPÄÄ, R. – LINKOSALO, T. 2011. A Non-Destructive Field Method for Measuring Wood Density of Decaying Logs. Silva Fennica 45(5) Research notes. ISSN 0037-5330.
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M. 1997. Štruktúra a vlastnosti dreva. Príroda, a.s., Bratislava, 485 s., ISBN 80-07-00960-4.00.

- REINPRECHT, L. 2009. Diagnostic of the degraded zones of fir beam situated in the st. Egidius' basilica in Bardejov. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Forestry and Wood Technology* No 69, 2009: Ann. WULS-SGGW, For and Wood Technol. 67, 2009. p. 201-207. ISSN 1898- 5912.
- RIENPRECHT, L., HRIVNÁK, J. 2010. Stanovenie hniloby i iných defektov v drevených prvkoch ultrazvukom a odporovým vrtákom – v kostole v Trnovom a v nedokončenom zrube. In: sanace a rekonstrukce staveb 2010. Vedeckotechnická spoločnosť pro sanace staveb a péči o památky, WTA CZ Brno – Česká republika, p. 33-40.
- ROHANOVA, A. 2008. Interakcia hustoty a hĺbky zarazenia kolika do smrekového dreva pri aplikácii prístroja PILODYN 6J. In: Interakcia dreva s rôznymi formami energie. TU Zvolen 2008, TU Zvolen, ISBN 978-80-228-1927-5, 179-183.
- ROHANOVA, A., KÚDELA, J. 2011. Drevo na stavebné konštrukcie – skúšanie a kvalita. In: Konferencie zkoušení a jakost ve stavebnictví. Brno : Fakulta stavební VUT v Brně, 2011, s. 325– 341, ISBN 978-80- 214-4338-9.
- ROHANOVA, A. Predikcia parametrov kvality smrekového konštrukčného dreva. Vedecká monografia. Technická Univerzita vo Zvolene, 2013. 79 s. ISBN: 978-80-228-2631-0.
- SANDOZ, J. – L. BENOIT, Y. 2007: Timber grading machine using multivariate parameters based on ultrasonic and density measurement. COST E 53 Conference – Quality Control for Wood and Wood Products. 15th – 17th October 2007, Warsaw, Poland.
- EN 384: 2010 Structural timber. Determination of characteristics values of mechanical properties and density.
- EN 408: 2011 Timber structures. Structural timber and glued laminated timber. Determination of some physical and mechanical properties.
- EN 14081-1, 2011 Timber structures. Strength graded structural timber with rectangular cross section. Part 1: General requirements.
- EN 14 081-4, 2009 EN 14081-1, 2011 Timber structures. Strength graded structural timber with rectangular cross section. Part 4: Machine grading – Grading machine settings for machine controlled systems.
- STN 49 1531:2001 Drevo na stavebné konštrukcie. Časť 1: Vizuálne triedenie podľa pevnosti. Commercial device guide: PILODYN. Proceq. 4 s.
- Group CBS-CBT, www.cbs-cbt.com

Author addresses

Doc. Ing. Alena Rohanová, PhD.
Ing. Ondrej Bajza
Department of Wooden Construction
Faculty of Wood Sciences and Technology,
Technical University in Zvolen,
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen, Slovakia
rohanova@tuzvo.sk
bajza.ondrej@gmail.com

ANALÝZA MIKROPOČÍTAČA ARDUINO MEGA 2560 AKO A/D PREVODNÍKA NA MERANIE POLOHY PRE OBRÁBACIE CNC STROJE

ANALYSIS MICROCOMPUTER ARDUINO 2560 AS A/D CONVERTERS FOR MEASUREMENT OF THE POSITION OF CNC MACHINE

Romuald Mozdík¹ – Emil Škultéty² – Ľubomír Naščák³

^{1,2,3}*Katedra riadenia strojov a automatizačnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická Univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 96001, Zvolen, Slovenská republika, romuald.mozdik@gmail.com, emilxskultety@gmail.com, lubomir.nascak@tuzvo.sk*

ABSTRACT: This article discusses the use hardware platform Arduino Mega 2560 microcontroller as for position measurement of the distance machining CNC machine. Machine slide position is detected by a laser sensor that is connected to the Arduino control PC. Measurements, the slide position at frame with respect to the stationary test milling shape. The values of distance to be covered by the reference calliper. Deviations from the reference position are shown in the tables that are part of the article. Conclusion the article deals with the evaluation of the data measured debate about the application of the information obtained.

Key words: Arduino, location, measurement, A/D converter, open-source

ABSTRAKT: Tento článok sa zaoberá využitím hardwarovej platformy Arduino Mega 2560 ako mikropočítača pre meranie polohy a vzdialenosti obrábacieho CNC stroja. Poloha suportu stroja je snímaná laserovým snímačom, ktorý je pripojený s Arduinom a riadiacim PC. Meraná bola poloha suportu voči nepohyblivému rámu pri frézovaní skúšobných tvarov. Hodnoty vzdialenosti boli porovnané s referenčným posuvným meradlom. Odchýlky od referenčnej polohy sú znázornené v tabuľkách, ktoré sú súčasťou článku. Záver článku sa zaoberá vyhodnotením nameraných údajov a diskusií o aplikácii získaných informácií.

Kľúčové slová: arduino, poloha, meranie, A/D prevodník, open-source

ÚVOD

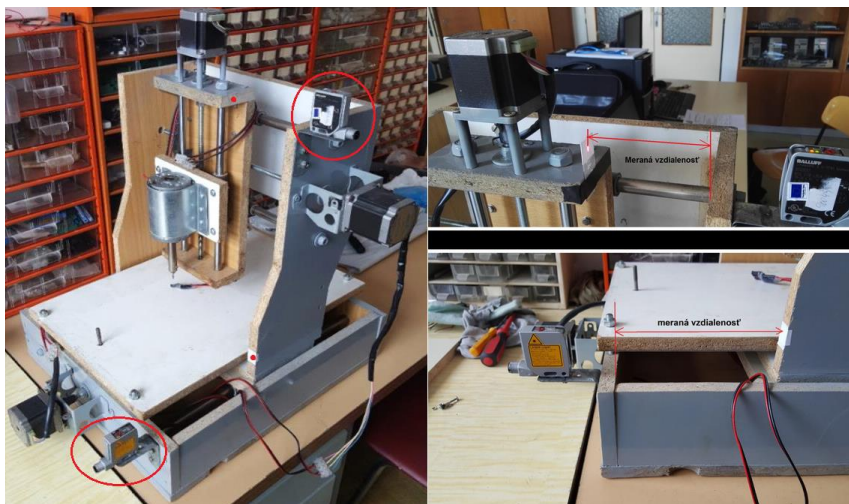
V súčasnosti sa na trhu vyskytuje veľký počet mikropočítačov. Sú to elektronické platformy, ktoré v štandarde obsahujú mikroprocesor a IDE (Integrated Drive Electronics). Našou úlohou je analyzovať platformu Arduino Mega 2560. Arduino je open-source platforma založená na mikrokontroléri ATMega od firmy Atmel a grafickom vývojovom pro-

stredí, ktoré vychádza z prostredia Wiring. Programuje sa pomocou jazyka C a C++ vo vlastnom užívateľskom rozhraní. V našom prípade sme sa rozhodli testovať funkciu A/D prevodníka pre meranie polohy suportu CNC obrábacieho stroja. Z nameraných údajov vieme vyhodnotiť odchýlku od referenčnej hodnoty polohy a posúdiť vhodnosť Arduina ako A/D prevodníka pre obrábacie CNC stroje s obmedzenou mechanickou presnosťou.

MATERIÁL A METÓDY

Pre návrh meracej zostavy sme vychádzali z dostupných zdrojov a preto sme zvolili optoelektronický snímač polohy Baluff BOD 21M. Na meranie sme použili zariadenia: CNC Frézovačka, riadiaca doska TB6560, stabilizovaný zdroj napätia, Arduino Mega 2560, 2x laserový snímač polohy Baluff BOD 21M, riadiaci počítač a pomocný spojovací materiál. Model experimentálneho CNC stroja (Obr.1) je navrhnutý, aby umožňoval posuv v osiach x, y a z. Ako materiál bola použitá drevotrieska s hrúbkou steny 16mm. Na konštrukcii sú pripevnené 3 krokové motory značky Sanyo Denki a 2 optoelektronické laserové snímače od firmy Balluff, konkrétne typ BOD21M.

Model bol zhotovený modulárne, čo znamená, že každý pohon je schopný samostatnej prevádzky. Na začiatku bol spracovaný spodný suport, na ktorý sa vo finálnej fáze pripevnil aj stredný a vrchný suport spolu s vretenom.



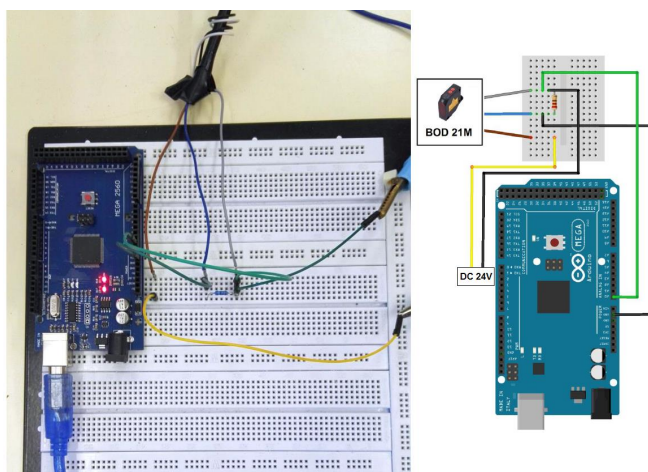
Obr. 1 Model experimentálneho CNC stroja

Arduino Mega 2560

Ako riadiacu jednotku sme zvolili platformu Arduino, ktorá sa skladá z mikroprocesormi Atmel a softwarového prostredia Arduino IDE.

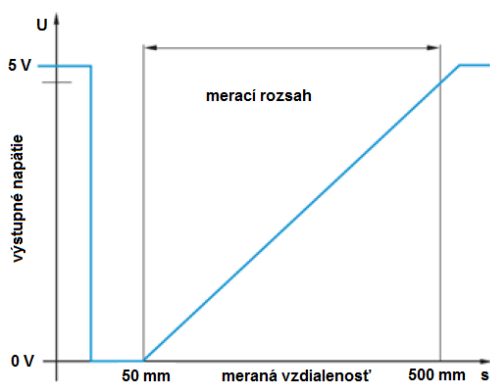
Arduino (Obr.2) je doska, ktorej hlavná časť je mikroprocesor založený na ATmega 2560. Je vyrobená pre náročnejších užívateľov potrebuje ovládať veľké množstvo

periférnych zariadení. Arduino Mega disponuje s 54 digitálnych a 16 analógových pinov. Každý z 54 digitálnych pinov pracuje ako vstup alebo výstup s využitím jednotlivých funkcií. Napájanie je adaptérom zo siete s napätím 5V. Každý pin predstavuje port, ktorý môže poskytovať alebo prijímať prúd o hodnote max. 40mA a má k dispozícii vnútorný rezistor s hodnotami od 20 do 50k Ω . ATmega 2560 má k dispozícii 256KB flash pamäte pre uloženie kódu. Disponuje tiež s 8KB SRAM pamäte.



Obr. 2 Zapojenie Arduina so snímačom Balluff BOD 21M

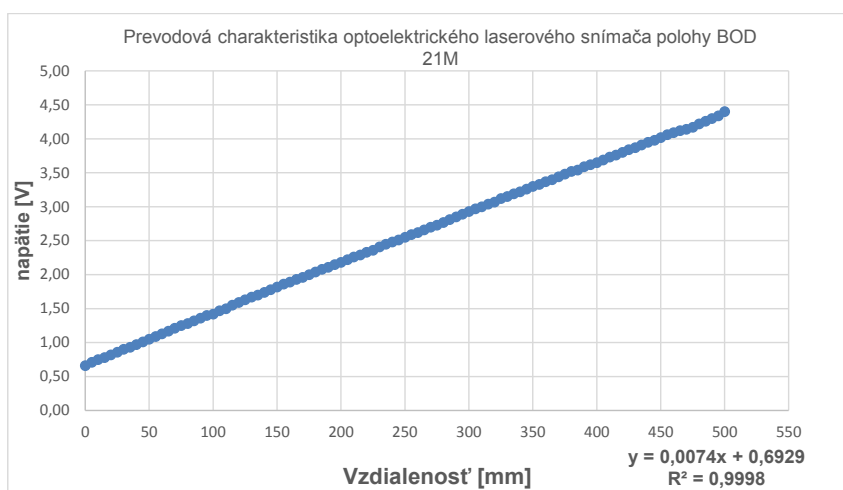
Na začiatku každého merania je nutné poznať prevodovú charakteristiku snímača, aby sme dokázali vykonať prepočet výstupnej hodnoty zo snímača na vstupnú hodnotu do Arduina. Vstupná hodnota do Arduina je napätie prijímané na analógovom pine v rozsahu od 0 do 5V. Tomuto rozsahu zodpovedá najmenšia a najväčšia meraná vzdialenosť, pre ktorú je snímač kalibrovaný (Obr.3). Prevodovú charakteristiku zvyknú výrobcovia uvádzať v datasheetoch, ale pre naše meranie je dobré ju zmerať resp. overiť údaje výrobcu.



Obr. 3 Prevodová charakteristika od výrobcu BOD 21M

Namerané hodnoty sa môžu líšiť od prevodovej charakteristiky výrobcu a preto treba vykonať dodatočnú kalibráciu na naše podmienky merania. Prevodová charakteristika sa merala za ustáleného zdroja svetla, ktoré môže mať pri optoelektronických snímačoch výrazný vplyv. Snímač bol pevne uchopený na nepohyblivý rám a oproti bola odrazka na mobilnom stojane. Merané bolo napätie z kontaktného poľa po každých 5mm od odsadenia 50mm po maximálnu hodnotu 500mm. Z nameraných hodnôt sme v Exceli vytvorili graf závislostí. Na tomto grafe sme pridali lineárnu trendovú čiaru, ktorej rovnica bola vstup do programu na výpis teploty. Na konci merania sa bude vyhodnocovať chyba merania voči referenčnému posuvnému meradlu.

Na Obr.4 sa nachádza nameraná prevodová charakteristika laserového snímača Balluff BOD 21M, ktorá má lineárny priebeh.



Obr. 4 Prevodová charakteristika snímača Balluff BOD21M

Po zapojení snímačov na konštrukciu experimentálneho modelu CNC obrábacieho stroja bolo treba vytvoriť aplikáciu na meranie prejdenej vzdialenosti pre suporty X a Y. Snímač bol pri montáži odsadený na minimálnu vzdialenosť od odrazky 50mm, čo zároveň vyhovuje jeho prevodovej charakteristike podľa výrobcov.

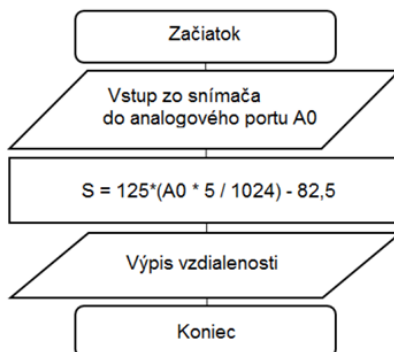
Kompatibilitu s riadiacou jednotkou je nutné nastaviť v rozhraní programu, v ktorom sa zároveň programuje aplikácia.

Pre vytvorenie aplikácie musíme zdefinovať zdrojové kódy (Obr.5). Pred vytvorením zdrojového kódu bolo treba vyhotoviť vývojový diagram, ktorý blokovo krok za krokom ukazuje, ako bol výpočet tepla realizovaný. Na začiatku sa zdefinujú premenné, ktoré sa budú vypočítavať. Druhý krok je čítanie analógového vstupu zo snímača do portu A0. Tretí krok je prepočet napätia na vzdialenosť podľa rovnice regresnej analýzy. Štvrtý krok je vypísanie vypočítanej vzdialenosti do COM monitora. Posledný krok je definovanie času vypisovania, tzv. funkcie delay.

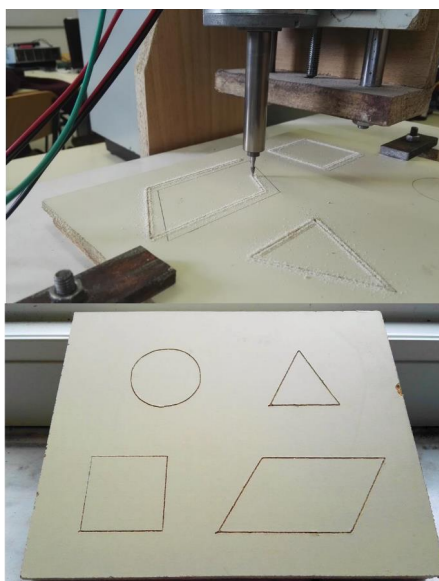
```

// definovanie premennej na vstupe
float VstupX = A0;
float VstupY = A1;
double NapatieX;
double NapatieY;
double VzdialenostX;
double VzdialenostY;
// samotný program
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Program na výpis aktuálnej hodnoty pre suporty X a Y");
  Serial.println("Hodnoty sú v milimetroch");
  Serial.println("Hodnoty sú vypisované po 1 sekunde");
  Serial.println("");
}
void loop()
// nacitame hodnotu z AD prevodnika
{
  // nacitame hodnotu z AD prevodnika
  VstupX = analogRead(A0);
  VstupY = analogRead(A1);
  NapatieX = (VstupX * 5.0) / 1024.0;
  NapatieY = (VstupY * 5.0) / 1024.0;
  VzdialenostX = (125 * NapatieX - 82.5);
  VzdialenostY = (125 * NapatieY - 82.5);
  Serial.print("X = ");
  Serial.print(VzdialenostX);
  Serial.print(" ");
  Serial.print("Y = ");
  Serial.print(VzdialenostY);
  Serial.println("");
  delay(1000);
}

```



Obr. 5 Zdrojový kód programu a vývojový diagram merania vzdialenosti



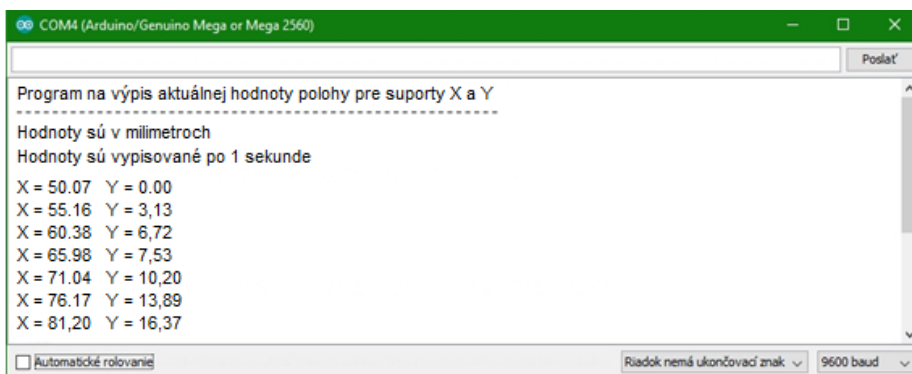
Obr. 6 Meranie polohy pri frézovaní skúšobných vzorov

Na meranie vzdialenosti sme mali skúšobné vzorky, do ktorých sa povrchovo frézovala drážka s určitým tvarom a počas obrábania sa zo snímačov prenášajú signály do počítača,

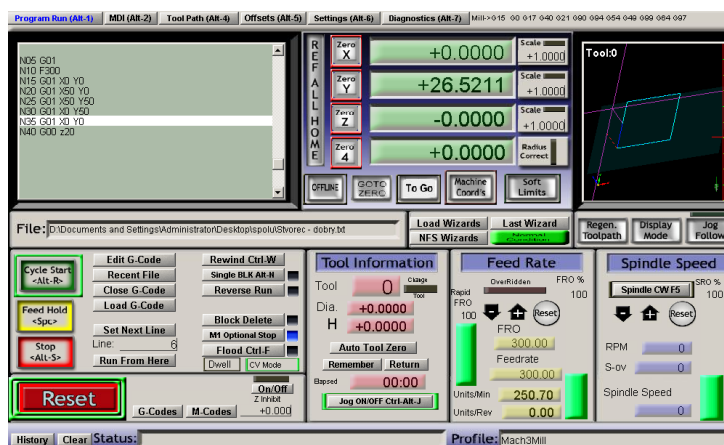
kde sa vypisuje aktuálna hodnota polohy s možnosťou archivácie výpisu. Pre univerzálnosť sme použili štyri geometrické tvary, ktoré sme frézovali (Obr.6). Po obrábaní sme ich merali posuvným meradlom, porovnali s nameranou hodnotu zo snímačov a vyhodnotili chybu merania a presnosť.

Každá skúšobná vzorka sa frézovala na samostatný kus, aby sa vhodne nastavila rezná rýchlosť a rezný posuv. Po optimalizácii podmienok frézovania sa všetky štyri skúšobné vzorky vyfrézovali na jeden kus dosky z drevotriesky. Na tomto kuse boli realizované merania presnosti vyrobených kusov podľa predlohy.

Počas procesu frézovania boli zapnuté oba snímače a odčítavané boli konečné hodnoty vzdialeností prejdenej na jednotlivých suportoch. Po nahraní zdrojového kódu do programu Mach3, nám ukázal vizualizáciu, kde vidíme, aký tvar sa bude obrábať (Obr.8). Po kontrole sme spustili frézovanie a sledovali vypisovanie hodnôt do monitora sériového portu, z ktorého sme potom kopírovali hodnoty do tabuľky nameraných hodnôt. Program na výpis aktuálnej hodnoty polohy vidíme na Obr.7.



Obr. 7 Program na výpis aktuálnej vzdialenosti

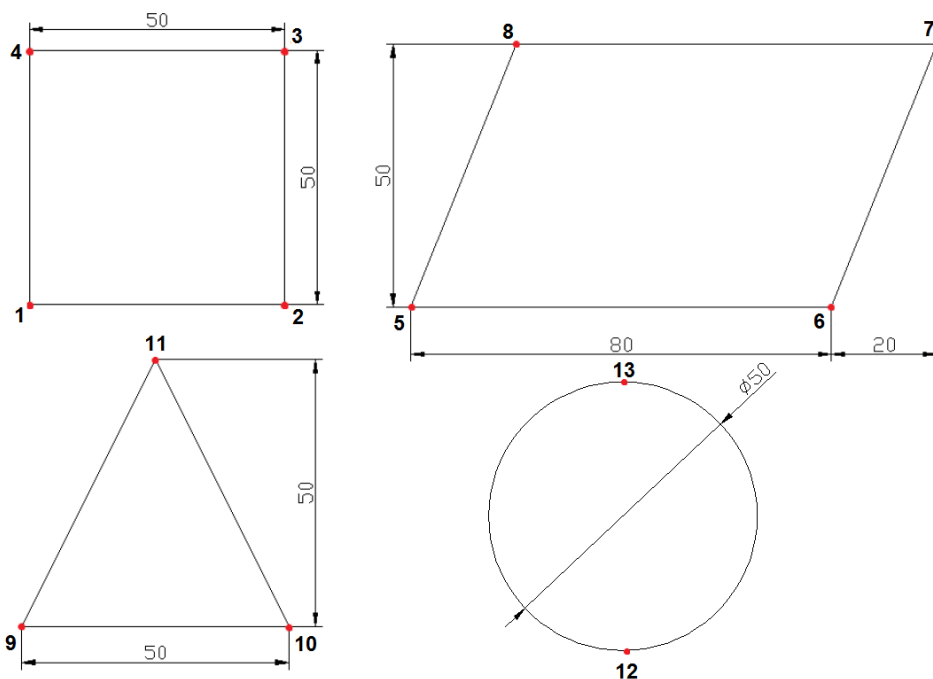


Obr. 8 Riadiace rozhranie programu Mach3

Na Obr.8 vidíme rozhranie programu Mach3. Vpravo na obrázku vidíme aktuálne prejdenú dráhu nástroja a vedľa vľavo vidíme aktuálne hodnoty polohy v mm. Vľavo v programe sa nachádza zdrojový kód na frézovanie programovaný v G-kóde.

VÝSLEDKY

Meranie polohy pomocou optoelektrického laserového snímača polohy Balluff BOD 21M a použitého mikropočítača Arduino boli realizované a porovnávané s posuvným meradlom, ktoré považujeme za referenčné meradlo. Hlavným cieľom je získať hodnotu aktuálnej polohy v čase. To znamená, že v presne stanovenom časovom intervale nám program vypisuje hodnoty vzdialeností pre osi x a y. V Tabuľke 1 vidíme namerané hodnoty pri frézovaní skúšobných vzoriek. Vľavo sú štyri frézované tvary: štvorec, kosodĺžnik, trojuholník a kružnica (Obr. 9). Pre každú vzorku bol napísaný program, po vyfrézovaní sa odmerali tvary posuvným meradlom a porovnali s hodnotou zo snímačov polohy.



Obr. 9 Meracie body a rozmery skúšobných tvarov

Tabuľka 1. Merané hodnoty polohy (vzdialenosť suportu od rámu)

Pozícia		Vzdialenosť [mm]		
		ZADANÁ	POSUVNÉ MERADLO	BOD 21M
štvorec	1	50	49,4	50,23
	2	50	49,5	50,29
	3	50	49,6	50,42
	4	50	49,5	50,04
kosodĺžnik	5	80	79,2	79,96
	6	55	49,7	50,18
	7	80	79,4	80,13
	8	55	49,6	50,31
trojuholník	9	50	49,8	50,18
	10	55	49,2	49,65
	11	55	49,3	49,87
kružnica	12	50	49,7	49,92
	13	50	49,8	50,11

V Tabuľke 2 vidíme odchýlku snímača BOD 21M od referenčnej hodnoty posuvného meradla. Odchýlka posuvného meradla od zadanej hodnoty nám ukazuje presnosť použitého CNC zariadenia.

Pri meraniach polohy suportu laserovým snímačom bola najmenšia odchýlka 0,22mm a najväčšia až 0,83mm, čo sa dá považovať za chybu merania spôsobenú nedostatočnou rozlišovacou schopnosťou A/D prevodníka, ktorý má len 10 bitov (1024), pričom výrobcovia v manuáli odporúčajú aspoň 12 až 14 bitový A/D prevodník. Najväčšia mechanická odchýlka suportu od zadanej hodnoty meraná posuvným meradlom bola 0,8mm. Najväčšia chyba CNC stroja bola 0,8mm, čo je spôsobené vŕľou medzi závitovou tyčou a vodiacou maticou. Najväčšia absolútna chyba merania bola 0,83mm, čo je o 0,03mm viac ako najväčšia mechanická chyba CNC stroja, ktorá bola meraná posuvným meradlom. Relatívna chyba je v tomto prípade v rozsahu od min. 0,44% do max. 1,68%.

Ak snímač pracuje správne, tak väčšiu nameranú ako mechanickú chybu spôsobuje práve nevhodný A/D prevodník (Arduino).

Tabuľka 2. Chyby posuvného meradla a laserového snímača

Pozícia	Zadaná poloha [mm]	Aritmetický priemer z 3 meraní posuvným meradlom [mm]	Mechanická chyba CNC stroja [mm]	Absolútna chyba snímača [mm]	Relatívna chyba snímača [%]
1	50	49,4	0,6	0,83	1,68
2	50	49,5	0,5	0,79	1,60
3	50	49,6	0,4	0,82	1,65
4	50	49,5	0,5	0,54	1,09
5	80	79,2	0,8	0,76	0,96
6	50	49,7	0,3	0,48	0,97
7	80	79,4	0,6	0,73	0,92
8	50	49,6	0,4	0,71	1,43
9	50	49,8	0,2	0,38	0,76
10	50	49,2	0,8	0,45	0,91
11	50	49,3	0,7	0,57	1,16
12	50	49,7	0,3	0,22	0,44
13	50	49,8	0,2	0,31	0,62

DISKUSIA

Z výsledkov vieme povedať, že použitie zariadenia Arduino Mega 2560 ako 10 bitového A/D prevodníka pri meraní polohy neposkytuje požadovanú presnosť, ktorá je v prípade meracích zariadení pre CNC stroje menšia ako 0,05mm. V priemyselnej praxi sa v meracích zostavách používajú 12, 14 a viac bitové prevodníky, ktoré dokážu rozpoznať jemnejší výstup z použitého snímača polohy. Arduino dokáže rozpoznať obmedzených 1024 hodnôt na analógovom vstupe. Laserový snímač Baluff BOD21M má od výroby definované rozlíšenie 0,1mm, čo sa použitím nášho zariadenia nedá dosiahnuť.

Týmto vieme povedať, že riadiaca jednotka Arduino Mega 2560 s 10 bitovým A/D prevodníkom nie je dostatočne kompatibilná s laserovým snímačom Balluff BOD 21M z dôvodu slabého rozlíšenia a nízkej presnosti nameraných hodnôt.

Niektoré rozmery boli presnejšie zmerané posuvným meradlom, čo znamená, že na využitie najvyššieho rozlíšenia použitého snímača je treba výkonnejšiu riadiacu jednotku s minimálne 12 bitovým A/D prevodníkom, aby sa dal snímač využiť na meranie presných polôh v CNC strojoch a zariadeniach.

ZÁVER

Predkladaný článok sa zaoberá využitím hardwarovej platformy Arduino Mega 2560 ako mikropočítača pre meranie polohy obrábacieho CNC stroja. Poloha suportu stroja

bola snímaná laserovým snímačom Baluff BOD21M, ktorý bol prepojený s Arduinom a kontrolným PC. Bola navrhnutá a realizovaná blokovaná schéma merania polohy spolu s elektronickým zapojením použitých snímačov. Regresnou analýzou bola získaná aj trendová čiara a rovnica trendovej čiary, ktorá tvorí prepočet napätia na vzdialenosť.

Stanovené boli štyri geometrické tvary v 2D, ktoré sa na testovacej vzorke frézovali a súčasne sa merala poloha laserovým snímačom upevnenom na ráme stroja. Samotné meranie bolo realizované počas frézovania skúšobnej vzorky a zapisované do textového súboru. Po vyfrézovaní sa odmerali referenčným posuvným meradlom. Následne sa vyhodnotili odchýlky nameraných hodnôt od zadaných v programe. Z výsledkov môžeme prehlásiť, že riadiaca jednotka Arduino Mega 2560 s 10 bitovým A/D prevodník nie je dostatočne vhodná s laserovým snímačom Balluff BOD 21M z dôvodu slabého rozlíšenia a nízkej presnosti nameraných hodnôt. Niektoré rozmery boli presnejšie zmerané posuvným meradlom, čo znamená, že na využitie najvyššieho rozlíšenia použitého snímača je treba výkonnejší A/D prevodník s minimálne 12 bitovým rozlíšením, aby sa dal snímač využiť na meranie presných polôh v CNC strojoch a zariadeniach.

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia vedeckého grantového projektu KEGA 003TU Z-4/2016 „Výskumné a výučbové laboratórium robotiky“.

LITERATÚRA

- KOLEDA, P. – HRČKOVÁ, M. – ADAMÍK, M. Identification of pendulum oscillation parameters using mems accelerometer. Prague : In MM science journal. 2016. No. October, s. 1134-1140. KEGA 003TU Z-4/2016. ISSN 1803-1269
- KOLEDA, P. – KOLEDA, P. GRÚBEL, S. Analysis of temperatures in the mould area during the process of engine cylinder heads casting. In Acta facultatis technicae : vedecký časopis Fakulty environmentálnej a výrobnjej techniky. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2016. Roč. 21, č. 1 (2016), s. 31-40. ISSN 1336-4472
- MOZDÍK, R. - KOLEDA, P. - VANČO, M. Analysis of wireless control of mechatronic CNC system by measuring feedback intensity and control signals. In CER Comparative European Research 2015: proceedings / research track. 2015. zv. Issue 2 (2015), s. 138--141. ISBN 978-0-9928772-8-6
- NAŠČÁK, Ľ – KOLEDA, P. 2014. Riadiace systémy strojov a zariadení. Zvolen: Vydavateľstvo TUZVO, 2014. 173 s. ISBN 978-80-228-2667-9
- PIVARČIOVÁ, E. - CSONGRÁDY, T. Tracer robot with a proportional control. In MM science journal. 2016. s. 1277--1286. ISSN 1803-1269 .KEGA 003TU Z-4/2016
- SINHA, K. 2015. CNC Programming Skills: Program Entry and Editing on Fanuc Machines. CreateSpace Independent Publishing. ISBN: 1511979097
- ŠTULPA, M. 2006. CNC obráběcí stroje a jejich programování. BEN - technická literatura. ISBN: 8073002078
- WIRING. 2016. Programovací jazyk Wiring [online].[cit. 23.1.2017]
Dostupné na internete: www.wiring.org.com

Kontaktná osoba:

Ing. Romuald Mozdík, tel.: +421 45 5206 566, romuald.mozdik@gmail.com

KRÍZOVÝ MANAŽMENT PODNIKU

CRISES MANAGEMENT IN THE ENTERPRISE

Svetlana Frisova¹, Vladislav Sviatskii², Vanessa Prajová^{3*}

¹ Department of Finance and Credit, Engineering and Economics Faculty, Izhevsk state technical university of the name M.T.Kalashnikov, Izhevsk, Russia, e-mail: firsova_sveta@mail.ru

² Department „Technology o mechanical engineering and instrument making“ Votkinsk Branch of Izhevsk state technical university, Izhevsk, Russia, e-mail:svlad-2000@yandex.ru

^{3*} Slovak University of Technology, Faculty of Materials Science and Technology, Institute of Industrial Engineering and Management, J. Bottu 25, Trnava 91724, Slovakia, e-mail:vanessa.prajova@stuba.sk, tel. +421 949 157 893

ABSTRACT: Management is a systematic response to unexpected events that threaten people, property, as well as financial and operational stability of companies. In a turbulent business environment the crisis management becomes an increasing part of routine management work. In a broader sense, the crisis management is a control tool designed to cope with a crisis situation. Perceived classically, it begins by identifying the company crisis potential and continues by setting the processes of crisis prevention, next by the action and efficient management of the crisis and ends by the elimination of the crisis consequences. According to the procedural approach the crisis management represents a still present and never-ending process of corporate control of companies, which is the part of business management. The utilization of the conclusions and insights of one crisis is the beginning of the next cycle of the new corporate crisis. The life cycle of a business crisis is a continuous process consisting of three stages and six phases. (Jirásek, 2005; Ulmer, 2006)

Key words: management, crises management, enterprise

INTRODUCTION

The crisis management is the summary of control activities of the crisis management focused on the analysis and evaluation of risks and threats, planning, adoption of preventive measures, organizing, carrying out and control of the activities carried out in the preparation to the crisis situation in the enterprises as well as by their solutions.

The crisis management represents the management of business operations during the company crisis in the extent, in which it is possible to manage such events. The crisis management is also represented by a series of measures to minimize the potential for damage resulting from the crisis. It is efficient, both in preventive elimination of the possible crisis as well as in coping with the crisis. It is built on two pillars formed by (Šefčíková, 2000):

- plan of crisis management,
- plan of crisis communication.

The crisis management is not a set of mechanical rules, procedures and activities, but a set of sophisticated processes and the successive steps aiming at the prediction of the complex nature of the crisis. This substance, depending on the point of view, has its real, but also its perceived form. (Ulmer, 2006)

In general, the crisis management has four objectives:

- reduce the tension during the crisis event,
- demonstrate corporate commitment and expertise,
- control the flow and accuracy of information,
- manage resources efficiently.

Management techniques necessary to manage the crisis management are inherently different from those necessary ones for the dynamic development of the company. If the crisis manager can brilliantly manage and deal with the crisis, it does not mean that s/he can successfully manage the company stabilization and development stages. The crisis managers need the crisis for their professional lives in order to train. If there is no crisis available, a the crisis manager should create such a crisis by him/herself. In practice, this means that the crisis manager still acts as s/he is used to the times of crisis. S/he applies the dictatorial approach, refuses to delegate the authority and does not operate in favor of the release of creativity and creative potential workers at the slightest, which constitutes an essential imperative for successful business development. The implication that the same manager who can handle the demanding crisis management has to cope with the seemingly less ambitious stabilization and development management. (Vincúr, 2000; Wilhalm, 2004)

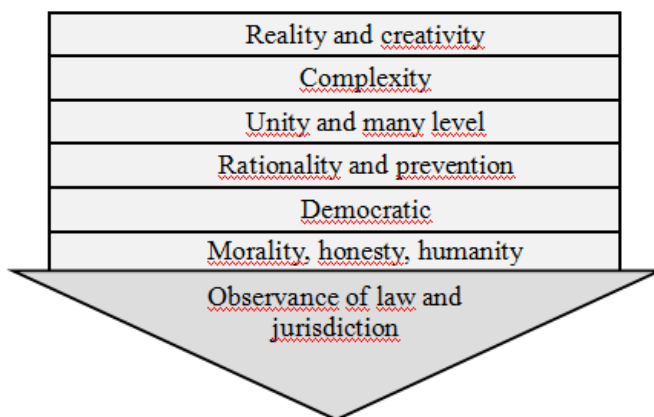


Figure 1. Main features of crisis management (Vincúr, 2000)

The crisis management in the course of time, has transformed into the scientific discipline, which is part of study programmes in a series of economic and management tutorials-oriented colleges and universities. For the managerial procedures in emergency situations empirical techniques are derived, while some of the recommendations are close to the normative models.

MODELS OF CORPORATE CRISIS CONTROL

The crisis management deals with the crisis phenomena in the particular time and in defined stages, which can be described in detail and the links can be explained. The basic theoretical model of the crisis management is given in Figure 2.

Stages of prevention and crisis planning intersect. The more complex and more effective prevention, the less extensive contingency planning must be. The absolutely effective prevention prevents the occurrence of crisis and the crisis planning loses its importance. The immediate and effective response to the crisis is a tool for reducing the damage and losses. The system restoration is not only the task of the crisis management. Crucially, a legal person that has been damaged or threatened by the crisis, has to participate. The crisis management has to evaluate the course of crisis in detail and adopt conclusions to modify the preventive measures also for the crisis planning. (Šefčíková, 2008; Tománek, 2006)

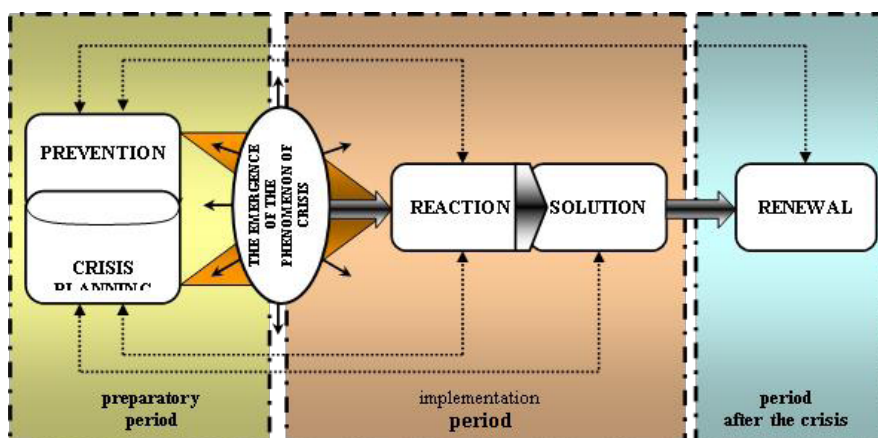


Figure 2. The basic model of crisis management

The individual components of the basic model of the crisis management from the perspective of an event can be described as follows (Wilhelm, 2004):

- **Prevention:**
 - is the dominant idea of crisis management
 - responds to analyzed risks and uses the tools to minimise them,
 - increases the level of security systems,
 - creates a system of monitoring and evaluation of risk factors,
 - reduces the likelihood of the emergence of crises,
 - reduces the cost of removing the negative impact of the crisis.
- **Crisis planning:**
 - creates the conditions for the processing of detailed emergency plans to deal with the crisis,

- prepares to all foreseeable crisis events and the crisis management creates the conditions for the crisis at a given time and space,
 - summarises the needs and requirements necessary for dealing with the crises and confronts them with the capabilities of an enterprise,
 - determines the forces, means and resources needed to address the crisis.
- **Responding to the crisis and its solution:**
 - assumes the introduction of an effective system of warning and alert,
 - has a character of a unique and ongoing process carried out on the basis of a qualified decision and without the problems,
 - requires centralization and coordination of process management during the crisis to the nearest and most appropriate level,
 - is carried out via the rescue, location and liquidation work,
 - is characterized by personal responsibility, courage and determination of executive and managerial crisis management staff.
- **Recovery:**
 - aim of recovery is to return the company to the stable condition,
 - majority of it is done in several stages,
 - crisis management contributes only partially,
 - allows returning to the conditions existing before the crisis.

The process approach to the crisis development in the company perceives the crisis as global and never-ending.

MODEL OF CRISIS MANAGEMENT

As already mentioned, every business goes through at a certain stage in its development of the crisis. If it can handle it, its existence goes on and the company further develops. The use of the conclusions of one crisis should help the company handle the next crisis in future. The utilization of the conclusions and insights of one crisis is the beginning of the next cycle of the new corporate crisis. The life cycle of a business crisis is a continuous process consisting of three stages and six phases (Šefčíková, 2008; Ulmer, 2006):

I. Stage before the crisis consists of the following phases:

1. **Avoiding the crisis**, which is based on knowledge of the financial and economic situation of the company and its subsequent implementation of prevention. The analysis of the company is focused on the prognosis of the future status and trends.
2. **Preparing for the crisis**, which aims at identifying the hazards and risks and the company activities. The preparedness to a potential crisis is associated with the following advantages:
 - the company reduces the number of calamities and crises that need to be addressed,
 - enterprise life cycle is longer,
 - company achieves better financial results.

II. The crisis stage includes the following phases:

- 3. *Recognition of the crisis*** from the normal fluctuation in the company's performance is a challenging process. Only the enterprise is considered healthy if there are no doubts about its future.
- 4. *Stabilization of the crisis*** consists of the identification process, by which the company realizes that it is in crisis and the process that responds to the crisis and adapts to changes.
- 5. *Resolution of the crisis*** occurs when by the diagnosis the state of crisis in the company is confirmed. The intensity of interventions and measures taken by the firm to address the crisis must reflect the seriousness of the problems in the company.

III. Phase of post-crisis phase consists of:

- 6. *Use of the crisis*** is a prerequisite for successful following problems and crisis situations in the company.

CRISIS MANAGEMENT TASKS IN VARIOUS STAGES OF CORPORATE CRISIS

The crisis management should not be initiated but by the crisis itself. A comprehensive view of the crisis management in professionally controlled companies include the elements of prevention of crisis situations.

Mitroff, a leading world expert in crisis management, puts the emphasis on preventive measures designed to anticipate the crisis situations. Based on the premise that the crises are an inevitable and permanent attribute of modern society life, it is necessary to identify and evaluate the current warning signals, which are heralding the upcoming crisis. Consequently, it is possible to manage and deal with the crisis situation more efficiently. Powerful tools for managing the crisis situations are especially soft forms of control, such as the moral quality, corporate culture and unconventional ways of thinking. (Jirásek, 2005; Vicúr, 2000)

Mitroff consistently distinguishes pre-crisis stage, as a precursor and the crisis stage, as a consequence, while for both stages defines the individual files of crisis management measures and recommendations, thus creating a normative model for the crisis management.

In various periods of the crisis management in the enterprise, the crisis management tasks differ. In principle, they can be divided into three groups according to the life stages of the crisis, the tasks to be carried out before the crisis, during the crisis and post-crisis business. The tasks are performed at different stages by the crisis management executives, whose work specifies in particularities, and which have to meet other requirements than the corporate managers. (Šeřčíková, 2000; Jurásek, 2005; Ulmer, 2006)

The tasks of the crisis management are different in nature, scope and importance of the various levels of control and in the individual solutions to the crisis situation.

ACKNOWLEDGEMENT

The contribution is sponsored by VEGA MŠ SR No 1/0367/15 prepared project „Research and development of a new autonomous system for checking a trajectory of a robot“ and project KEGA MŠ SR No 006STU-4/2015 prepared project „University textbook „The means of automated production“ by interactive multimedia format for STU Bratislava and Kosice“.

This publication is the result of implementation of the project: „UNIVERSITY SCIENTIFIC PARK: CAMPUS MTF STU – CAMBO“ (ITMS: 26220220179) supported by the Research & Development Operational Program funded by the EFRR.

The reported study was partially supported by Russian President’s grant for the implementation of the project „Development of theoretical bases of complex technical systems modeling using fuzzy networks and genetic algorithms“.

The study on the subject No 1705 “Development of theoretical foundations of modeling and prediction of the development strategy of complex production facilities in view of the possible heterogeneity of production systems and ensure their uncopyable whereas” has been made with financial support from the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the governmental task.

REFERENCES

- JIRÁSEK, J.: Návrat k prosperitě – Turnaround. (Return to Prosperity – Turnaround) Grada Publishing, Praha 2005. ISBN 80–7169–114–3
- ŠEFČÍKOVÁ, Miriam. Postup stanovenia likvidačnej hodnoty podniku. Procedure of the company liquidating value determination. In *CO-MAT-TECH 2000 : 8. medzinárodná vedecká konferencia. Časť 3.: Manažment priemyselných podnikov a kvalita*. Bratislava : STU v Bratislave, 2000, s.277-282. ISBN 80-227-1413-5
- ŠEFČÍKOVÁ, Miriam. Manažérske kompetencie v rámci riadenia nehmotného majetku podniku. Managerial competences within corporation intangible assets managing = Managerial competences within corporation intangible assets managing. In *Obchod, jakost a finance v podnikách - determinanty konkurenceschopnosti VI. : Sborník příspěvků z mezinárodní vědecké konference*, 16-17.dubna 2008, Praha. 1. vyd. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008, s.218-220. ISBN 978-80-213-1774-1
- TOMÁNEK, J.: Sborník managementu změn a reengineeringu.(Proceedings of change management and reengineering) Computer Press, Praha 2004. ISBN 80–7226–428–1
- ULMER, R.: Effective Crisis Communication: Moving From Crisis to Opportunity. Sage Publications, Inc. London 2006. ISBN 1–4129–1418–3
- VINCÚR, P. a kol.: Transformácia ekonomiky Slovenskej republiky. (The transformation of the Slovak economy) SPRINT v.fra, Bratislava 2000. ISBN 80–88848–75–X
- WILHAM, I. et al.: Podnikový manažment.(Enterprise Management) Redilem Modul 2. Vydavateľstvo Ekonóm, Bratislava 2004. ISBN 80–225–1895–6

NÁVRH DÁVKOVO SPÚŠŤANÉHO BIOREAKTORA PRE VÝROBU ETANOLU POMOCOУ SACCHAROMYCES CEREVISIAE

PLAN OF BATCH STIRRED REACTOR TO PRODUCE ETHANOL BY SACCHAROMYCES CEREVISIAE

Mohammad Emal Qazizada

Technical University in Zvolen, Faculty of Environmental and Manufacturing Technology, Department of Machinery Control and Automation Technology, Masarykova 24, 960 53 Zvolen, Slovakia, tel.: +421 944156592, e-mail:m.emalqazizada@yahoo.com

ABSTRACT: This paper described the batch stirred bioreactor design for ethanol production with yeasts *Saccharomyces cerevisiae* under anaerobic conditions. System of ordinary differential equations (solved numerically using the Athena Visual Workbench software) was used for calculation of concentration time profiles. A large, appropriate – sized fermenter was supposed 70 m³. The operating volume was 52,5 m³. Batch fermentation was performed with 200 g.l⁻¹ glucose concentration. Fermentation time was 11,4 hours with ethanol stripping 69,1 g.l⁻¹ and 12 hours 75,9 g.l⁻¹ without stripping. Computing was stopped when glucose alteration obtained 97 %. The kinetic constants (K_s , K_p , μ_{max}) of batch fermentation were 2,0 kg.m⁻³, 97,9 kg.m⁻³, 0,476 h⁻¹ respectively. Output per a batch was 3 623 kg and a single fermenter can produce 514 batches per year. From it follows that the year vintage is close to the actual 1 862 222 kg. Therefore, the number of 70 m³ fermenters required 4 bioreactor. Whole heat exchange and heat surface area estimated 338437 J.s⁻¹ and 40 m² respectively. The maximum yield of biomass on substrate ($Y_{x/s}$) and the maximum yield of product on substrate ($Y_{p/s}$) in batch fermentation were 82 % and 35,5 % respectively. The present research has shown that high sugar concentration (200 g.l⁻¹) in the batch stirred bioreactor was successfully converted to ethanol. The achieved results in batch stirred bioreactor with high substrate concentration are promising for scale up operation. The proposed model can be used to design a larger scale batch stirred bioreactor for production of high ethanol concentration.

Key words: Batch stirred bioreactor design, metabolic processes, and bioreactor scale-up

ABSTRAKT: Príspevok popisuje navrhnutý dávkovo spúšťaný bioreaktor pre výrobu etanolu s kvasinkami *Saccharomyces cerevisiae* za anaeróbnych podmienok. Na výpočet koncentračných časových profilov bol použitý systém diferenciálnych rovníc (riešené numericky pomocou softvéru Athena Visual Workbench). Veľkosť fermentora sa predpokladal 70 m³, prevádzkový objem bol 52,5 m³. Vsádka fermentácie sa vykonala s 200 g.l⁻¹ koncentráciou glukózy. Doba kvasenia bola 11,4 hodiny s rozloženým etanolom 69,1 g.l⁻¹ a 12 hodín 75,9 g.l⁻¹ bez odizolovania. Výpočet bol zastavený, keď premena glukózy dosiahla 97 %. Kinetické konštanty fermentácie (K_s , K_p , μ_{max}) boli 2,0 kg.m⁻³, 97,9 kg m⁻³, 0,476 h⁻¹. Výstup pre dávku bol 3 623 kg a jeden fermentor môže produ-

kovať 514 dávok ročne. Z toho vyplýva, že ročne sa získa 1 862 222 kg. Preto sú pre objem 70 m³ fermentora požadované 4 bioreaktory. Celú výmenu tepla a plochy tepla odhadujeme na 338 437 J.s⁻¹ a 40 m². Maximálny výnos biomasy na substráte ($Y_{x/s}$) a maximálny výťažok produktu na substráte ($Y_{p/s}$) v sádke fermentácie bol 82 % a 35,5 %. Súčasný výskum ukázal, že koncentrácia s vysokým obsahom cukru (200 g.l⁻¹) v dávke miešanej v bioreaktore bola úspešne premenená na etanol. Dosiahnuté výsledky v dávke miešanej v bioreaktore s vysokou koncentráciou substrátu sú sľubné pre optimalizovanie prevádzky. Navrhovaný model môže byť použitý pre návrh vo väčšom meradle vsádky miešacieho bioreaktora na výrobu vysokej koncentrácie etanolu.

Kľúčové slová: návrh bioreaktora; metabolické procesy; zväčšovanie rozmerov bioreaktora

ÚVOD

Biochemické inžinierstvo sa venuje vykonávaniu biologických procesov v priemyselnom meradle. Táto oblasť spája biologické vedy (genetika, mikrobiológia, kultúra živočíchov, buniek, molekulárna biológia, biochémia, embryológia, bunková biológia, technológia enzýmov) a technické vedy. Vzhľadom na prudký vývoj biotechnológií v posledných rokoch sa úloha biochemického inžinierstva stáva stále dôležitejšia (Dutta, 2008).

Bioproses je výrobný dej, pri ktorom vplyvom pôsobenia mikroorganizmov (kvasinky, baktérie) dochádza ku vzniku alebo k premene látok. Bioprosesy sa používajú v mnohých výrobných procesoch, napr. v potravinárstve (výroba etanolu, piva, vína, destilátu, pekárskoho droždia), medicíne (výroba antibiotík, enzýmov, organických kyselín, aminokyselín, vitamínov), atď. Bioproses prebieha v bioreaktore, ktorý udržiava podmienky potrebné pre rast a vývoj organizmov. Bioreaktory majú vnútorné a vonkajšie chladenie, ohrievanie, miešacie zariadenie, prívod vzduchu, odvod plynov, odpeňovanie, zariadenie na odber vzoriek, meranie a reguláciu teploty, PH, meranie koncentrácie rozpusteného kyslíka, oxidu uhličitého, koncentrácie biomasy, atď. V súčasnosti sa v bioinžinierskych aplikáciách používa viac druhov bioreaktorov. Medzi najpoužívanejšie bioreaktory patrí pravdepodobne reaktor s mechanickým miešaním, kvôli dobre známym opisom jeho vlastností a jeho scale-up charakteristikám. Existujú aj iné typy bioreaktorov, ktoré sú miešané pneumaticky a sú šetrnejšie k mikroorganizmom (Mihal', Markoš, 2013). Etanol ($CH_3 - CH_2 - OH$) je bezfarebná kvapalina ostrého zápachu. Je ľahší ako voda a aj skôr vri ako voda. Molekula etanolu je polárna a keďže voda je polárne rozpúšťadlo, alkohol je s ňou miešateľný. Etanol sa používa ako rozpúšťadlo, dezinfekčné činidlo, palivo, nápoj. Veľké množstvá etanolu sú využívané ako rozpúšťadlo ale hlavne ako vstupný produkt v mnohých priemyselných odvetviach. Pred niekoľkými rokmi bolo značné množstvo priemyselného etanolu vyrábané katalytickou konverziou etylénu, v súčasnej dobe sa výskum v tejto problematike skôr prikláňa k výrobe etanolu fermentačnými technológiami z rôznych obnoviteľných zdrojov (biomasy) surovín. Hlavnými producentmi etanolu fermentačnou cestou sú Brazília, Čína, USA a Japonsko. K výhodám etanolu patria hlavne dostupnosť surovín pre jeho výrobu, pomerne dobre zvládnuté procesy jeho prípravy a purifikácie, malá ekologická záťaž prostredia samotnou výrobou, a v porovnaní s inými náhradami fosilných palív, jeho nízka toxicita voči človeku a ostatnej biosfére. Použitie etanolu ako paliva znižuje tvorbu oxidov dusíka a prchavých organických látok, tvorbu

ozónu a smogu, a taktiež neprispieva ku vzniku skleníkového efektu (Bafmcová, 1999). K alkoholovému (etanolovému) kvaseniu dochádza v dôsledku činnosti kvasiniek rodov *Saccharomyces* a *Torula*, prípadne niektorých mikroskopických húb rodu *Mucor* a občas aj v dôsledku činnosti niektorých druhov baktérií. Alkoholové kvasenie sa využíva vo vinárstve, pivovarníctve, liehovarníctve a pekárstve. Kvasinky etanolového kvasenia sa rozdeľujú na kultúrne a divoké na základe ich kvasnej mohutnosti a schopnosti prekvasiť koncentrovanejšie cukorné roztoky až na nepatrný zvyškový cukor. Hlavnými pôvodcami etanolového kvasenia sú práve kvasinky *Saccharomyces ellipsoideus* (kvasenie ovocných štiav) a *Saccharomyces cerevisiae* (pivovarníctvo, liehovarníctvo, vinárstvo). V týchto potravinárskych odvetviach sa využíva činnosť kvasiniek na výrobu etanolu (Linkešová, 2007). Ako bolo uvedené vyššie, jedna z možností výroby etanolu je aj anaeróbna fermentácia pomocou kvasiniek *Saccharomyces cerevisiae*:

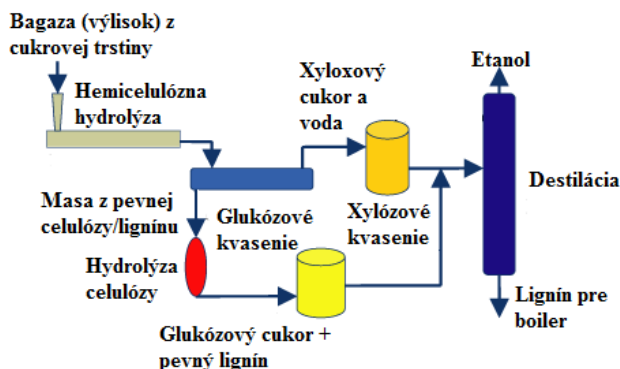


Z vykvasenej zmesi sa etanol získava destiláciou. Pri destilácii sa najskôr odparuje alkohol, pary sa kondenzujú a skvapalnený sa zachytáva. Treba dávať pozor na veľmi toxický metanol, ktorý tiež vzniká pri kvasení a má nižšiu teplotu varu, takže sa odparí ako prvý.

MATERIÁL A METÓDY

Zväčšovanie rozmerov bioreaktora (scale-up proces)

Vo všeobecnosti, zväčšovanie mikrobiálneho procesu zahŕňa prenos nového alebo vylepšeného procesu z laboratórnych podmienok do výrobných. Zväčšovanie rozmerov reaktora (scale-up proces) je veľmi komplikovanou úlohou, pretože je nutné vziať do úvahy mnohé inžinierske a ekonomické hľadiská. Výsledný návrh priemyselného bioreaktora je v podstate kompromisom medzi protikladnými a žiadanými charakteristikami, lebo je prakticky nemožné zabezpečiť rovnaké podmienky procesu v laboratórnom, poloprevádzkovom bioreaktore a bioreaktore priemyselných rozmerov (Nielsen et al, 2002). Príčinou je fakt, že fyzikálne procesy (miešanie, prestup tepla a prestup látky) sú priamo závislé od rozmerov zariadenia. Metabolické procesy (stechiometria a termodynamika bunkových kultivácií, mikrobiálna kinetika) sú síce teoreticky nezávislé od rozmerov zariadenia, ale prakticky, vplyvom napr. nedostatočného miešania, sa vytvárajú koncentračné a teplotné gradienty v rôznych miestach bioreaktora. Tieto „mikroprostredia“ obklopujúce bunky, môžu v mikroorganizmoch vyvolať metabolické zmeny. Z uvedeného vyplýva, že pravdepodobne ani jeden parameter procesu nebude rovnaký pri rôznych rozmeroch zariadenia a nakoniec môže byť dokonca navrhnutý úplne iný typ bioreaktora. Kroky pri návrhu bioreaktora priemyselných rozmerov (scale-up proces) sú schematicky znázornené na Obr. 1 (Nielsen et al, 2002).



Obr. 1. Proces výroby etanolu z biomasy proces (John, 2004)
 Fig. 1. From biomass process flowsheet for ethanol production

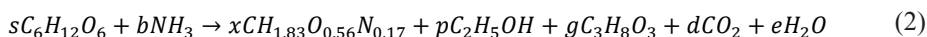
METABOLICKÉ PROCESY

Živá bunka je zložitý chemický reaktor, v ktorom prebieha viac ako tisíc reakcií katalyzovaných príslušným enzýmom. Je veľmi ťažké ich identifikovať kvalitatívne a prakticky nemožné kvantitatívne. Z týchto dôvodov sa používajú zjednodušené štruktúrne alebo neštruktúrne modely mikrobiálnej kinetiky (vzťahy medzi koncentraciami reaktantov a produktov), v ktorej kvantitatívny opis zohráva kľúčovú úlohu pri návrhu a spoľahlivej prevádzke bioreaktora (Bales et al, 2003). Avšak samotnému zmysluplnému skúmaniu mikrobiálnej kinetiky musí predchádzať úspešné vyšetrenie stechiometrie a termodynamiky bunkovej kultivácie (Nielsen et al, 2002). Chemické reakčné aktivity sú metabolizmus, materiálová a energetická výmena v bunke (Bailey, Ollis, 1986).

STECHEMETRIA BUNKOVEJ KULTIVÁCIE

Na opis stechiometrie produkcie etanolu kvasinkami *Saccharomyces cerevisiae* za anaeróbných podmienok je aplikovaný neštruktúrny model „čiernej skrinky“. Len jedna celková stechiometrická rovnica reprezentuje premenu kľúčových substrátov na produkty, ktoré sú pomerne ľahko merateľné v kultivačnom médiu. Značne zjednodušený, v praxi však často používaný prístup. Produkcia etanolu fermentačnou cestou je typickým príkladom (Bafrcová, 1999) typu kultivácie buniek, keď vznik produktu je priamo spojený s rastom biomasy (Bales et al, 2003). Kľúčovým (limitujúcim) substrátom je glukóza. Počas miernych pracovných podmienok, kontinuálne bioreaktory so *Saccharomyces cerevisiae* môžu vykazovať trvalé oscilácie (Sharifian, Fanaei, 2009).

Celková stechiometrická rovnica má tvar:



Na výpočet stechiometrických koeficientov b , x , p , g , d , e , sa môže použiť bilancia atómov (3–6), bilancia „voľných elektrónov“ (7) a pomocné vzťahy (8–9), $s = 1$.

$$C: 6s = 1x + 2p + 3g + 1d \quad (3)$$

$$H: 12s + 3b = 1,82x + 6p + 2e \quad (4)$$

$$O: 6s = 0,5x + 2p + 3g + 2d + 1e \quad (5)$$

$$N: 1b = 0,2x \quad (6)$$

$$e^-: se^-_s = xe^-_x + pe^-_p + ge^-_g \Rightarrow e^-: sC_s\gamma_s = xC_x\gamma_x + pC_p\gamma_p + gC_g\gamma_g \quad (7)$$

$$Y_{x/s} = 0,126 \frac{g}{g} \Rightarrow x = Y_{x/s} \frac{M_s}{M_x} = 0,826 \quad (8)$$

$$Y_{G/s} = 0,079 \frac{g}{g} \Rightarrow g = Y_{G/s} \frac{M_s}{M_G} = 0,155 \quad (9)$$

Stechiometrické koeficienty S, B, X, P, G, D, E , výtťažkové faktory ($\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$) a výtťažkové faktory ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), $Y_{S/S}, Y_{A/S}, Y_{B/S}, Y_{X/S}, Y_{D/S}, Y_{E/S}$, sú zhrnuté v Tab. 1.

Tabuľka 1. Bioreaktorové geometrické charakteristiky

Table 1. Bioreactor geometric characteristics

Menovitý objem V_R [m^3]	70
Objem pracovnej nádrže V_L [m^3]	52,5
Rýchlosť miešadla N [$1\cdot\text{s}^{-1}$]	2,5
Celková výška nádoby h_R [m]	9,29
Šírka nádoby d_R [m]	3,10
Typ miešadla	Rushtonova turbína
Priemer miešadla d_s [m]	0,97
Počet miešadiel n_i	4
h_R/d_R	3/1

TERMODYNAMIKA BUNKOVEJ KULTIVÁCIE

Bunky používajú chemickú energiu zo živín celkom efektívne, ale rovnako ako v iných procesoch, niektoré energie v substrátoch sa uvoľňujú vo forme tepla. Bunková produkcia tepla je primárnym výsledkom metabolizmu. V dôsledku toho je rozumné očakávať približne úmerný vzťah medzi generovaným teplom a využitou energiou substrátu (Bales, et al 2003).

Mólové metabolické (reakčné) teplo q_R sa vypočíta z rovnice:

$$q_R = (-\Delta_r h) = \sum_{j=1}^n Y_{S_j}^{mol} (-\Delta_c h_j) - \sum_{i=1}^n Y_{P_i}^{mol} (-\Delta_c h_j) \quad (10)$$

kde $Y_{S_j}^{mol}$ sú výtťažkové faktory (stechiometrické koeficienty) na ľavej strane a $Y_{P_i}^{mol}$ na pravej strane stochiometrickej rovnice. Hodnoty stochiometrických koeficientov a štandardných spaľovacích entalpií zložiek sú uvedené v Tab 2.

Tabuľka 2. Výťažkové faktory Y_{ij} pri produkcii etanolu
 Table 2. The yield coefficients ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), $Y_{i/j}$ for the ethanol fermentation

komponent	$Y_{i/j} [\text{g}\cdot\text{g}^{-1}]$
S:	1
B:	0,013
X:	0,126
P:	0,391
G:	0,079
D:	0,403
E:	0,025

$$q_R = (-\Delta_r h) = 45,1 [\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}] \quad (11)$$

MIKROBIÁLNA KINETIKA

Spracovaná biomasa extrahovaná z mikroorganizmov by mohla byť využitá ako potenciálny zdroj proteínu potravinového doplnku (Yazdian, et al 2009).

Neštruktúrny model, ktorý opisuje mikrobiálnu kinetiku produkcie etanolu kvasinkami *Saccharomyces cerevisiae* je typickým príkladom inhibície špecifickej rýchlosti rastu biomasy produktom (Nielsen et al, 2002)

$$\mu = \mu_{max} \frac{c_s}{K_s + c_s} \left(1 - \frac{c_p}{K_p}\right) \quad (12)$$

kde μ je špecifická rýchlosť rastu biomasy, μ_{max} je maximálna špecifická rýchlosť rastu biomasy, K_s je saturačná konštanta glukózy, C_s je koncentrácia glukózy, K_p je inhibičná konštanta, C_p je koncentrácia etanolu.

Hodnoty kinetických parametrov μ_{max} , K_s , K_p sú získané z literatúry (Nielsen et al, 2002):

$$K_s = 2,0 [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}] \quad \mu_{max} = 0,476 [\text{h}^{-1}] \quad K_p = 97,9 [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}] \quad (13)$$

FYZIKÁLNE PROCESY

Fyzikálne procesy (transportné javy) sú závislé od rozmerov zariadenia a na ich kvantitatívny opis sa používajú matematické modely rozdielnej zložitosti. V našom prípade sme použili zjednodušený prístup aplikácie vhodných korelačných vzťahov.

MIEŠANIE A PRÍKON NA MIEŠADLO

Účelom miešania je dosiahnuť homogénne prostredie (rovnakú koncentráciu a teplotu v každom mieste fermentačného média v danom časovom okamihu). Dobré miešanie podporuje efektívny prenos substrátov a tepla k mikroorganizmom (Keshtkar et al 2003).

V laboratórných, intenzívne miešaných bioreaktoroch, sa to dá dosiahnuť do niekoľkých sekúnd, v priemyselných bioreaktoroch to môže trvať aj niekoľko desiatok sekúnd, čo negatívne ovplyvňuje priebeh mikrobiálneho procesu. V chemickom priemysle sa používa viacfázové obežné koleso, ktoré môže zlepšiť miešanie (Gorji, et al 2007). Príkon na miešadlo býva často najväčším prevádzkovým nákladom. Príkon na miešadlo v neaerovanom systéme sa vypočíta zo vzťahu (Nielsen et al, 2002):

$$P = n_l N_p \rho_L N^3 d_s^5 = 4 \cdot 5,2 \cdot 1000 \cdot 2,5 \cdot 0,97^5 = 276256 \text{ [J} \cdot \text{s}^{-1}\text{W]} \quad (14)$$

Obvodová rýchlosť lopatiek miešadla v_t , by nemala prekročiť hodnotu 7,62 [m.s⁻¹], lebo môže dôjsť k mechanickému poškodeniu buniek (Lydersen et al, 1994):

$$v_t = \pi N d_s = \pi \cdot 2,5 \cdot 0,97 = 7,618 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]} \quad (15)$$

V bioreaktoroch priemyselných rozmerov je z ekonomického hľadiska odporúčaný pomer príkonu a objemu kvapalného média v hraniciach 1 – 5 [kW.m⁻³] (Nielsen et al, 2002):

$$\frac{P}{V_L} = \frac{261728}{52,5} = 5260 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-3}\text{]} \quad (16)$$

PRECHOD TEPLA Z FERMENTAČNÉHO MÉDIA DO CHLADIACEJ VODY

Rýchlostná rovnica prechodu tepla (17) prezentuje transport tepla z fermentačného média do chladiacej vody:

$$Q = K_A A (t_h - t_s) \quad (17)$$

Toto množstvo tepla je možné vypočítať:

$$Q = Q_R + Q_P \quad (18)$$

Teplu vytvorené pri miešaní $Q_P = P_G = 276256 \text{ [J} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$.

V biochemickom procese sa vytvorí rekčné teplo:

$$Q_R = n_s^R q_R \quad (19)$$

Hmotnosť spotrebovanej glukózy počas jednej fermentácie; $t_f = 11,4 \text{ [h]}$:

$$m_s^R = V_L (C_{s0} - C_s) = 52,5 \cdot (200 - 6) = 10185 \text{ [kg]} \quad (20)$$

Látkové množstvo spotrebovanej glukózy počas jednej fermentácie je nasledujúce:

$$n_s^R = \frac{m_s^R}{M_s} = \frac{10185}{180} = 56,583 \text{ [kmol]} \quad (21)$$

Tok tepla vytvorený reakciou Q_R [$J \cdot s^{-1}$] sa potom rovná:

$$Q_R = n_s^R q_R = \frac{56,583 \cdot 10^3 \cdot 45,1 \cdot 10^3}{11,4 \cdot 3600} = 62181 \quad [J \cdot s^{-1}] \quad (22)$$

Hmotnostný tok vody m_c [$kg \cdot S^{-1}$], vypočítaný z entalpickej bilancie fermentora je:

$$m_c = \frac{Q}{c_{pc}(t_{2c}-t_{1c})} = \frac{Q_R+Q_P}{c_{pc}(t_{2c}-t_{1c})} = \frac{62181+261728}{4190 (25-15)} = 7,731 [kg \cdot s^{-1}] \quad (23)$$

Teplovýmenná plocha A_H , sa vypočíta z rýchlostnej rovnice prechodu tepla:

$$A_H = \frac{Q}{K_A (t_h-t_c)} \quad (24)$$

Úhrnný koeficient prechodu tepla sa vypočíta zo vzťahu:

$$K_{AH} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_h} + \frac{d_{vonk}}{2\lambda} \ln \frac{d_{vonk}}{d_{vnut}} + \frac{d_{vonk}}{\alpha_s d_s}} \quad (25)$$

Koeficient prestupu tepla prúdením na strane chladiacej vody α_c sa vypočíta zo vzťahu:

$$\alpha_c = \frac{Nu_c \lambda_c}{d_{in}} \quad (26)$$

Vhodná kritériálna rovnica na výpočet Nusseltovho kritéria má tvar:

$$Nu_c = 0,023 Re_c^{0,8} Pr_c^{0,4} \quad (27)$$

kde Re_c je Reynoldsovo a Pr_c Prandtlovo kritérium pre chladiace médium.

Reynoldsovo číslo sa vypočíta:

$$Re_c = \frac{d_c w_c \rho_c}{\mu_c} = \frac{0,127 \cdot 0,659 \cdot 998,2}{1,005 \cdot 10^{-3}} = 83127 \quad (28)$$

Prandtlovo číslo je:

$$Pr_c = \frac{c_{pc} \cdot \mu_c}{\lambda_c} = \frac{4190 \cdot 1,005 \cdot 10^{-3}}{0,599} = 7,03 \quad (29)$$

Hodnota Nusseltovho kritéria je potom nasledujúca:

$$Nu_c = 0,023 Re_c^{0,8} Pr_c^{0,4} = 0,023 \cdot 83127^{0,8} \cdot 7,03^{0,4} = 432,8 \quad (30)$$

Koeficient prestupu tepla na strane chladiacej vody:

$$\alpha_c = \frac{Nu_c \lambda_c}{d_{in}} = \frac{432,8 \cdot 0,599}{0,127} = 2041 [W m^{-2} K^{-1}] \quad (31)$$

Koeficient prestupu tepla miešaním na strane fermentačného média, α_h sa vypočíta zo vzťahu (32) (fyzikálne vlastnosti fermentačného média sú z praktických dôvodov aproxi-mované fyzikálnymi vlastnosťami vody):

$$\alpha_h = \frac{Nu_h \lambda_h}{d_{out}} \quad (32)$$

Vhodná kritériálna rovnica na výpočet Nusseltovho čísla má tvar (Nielsen et al, 2002):

$$Nu_h = 0,17 Re_h^{0,67} Pr_h^{0,37} \left(\frac{d_s}{d_R}\right)^{0,1} \left(\frac{d_h}{d_R}\right)^{0,5} \quad (33)$$

kde Re_h je Reynoldsovo a Pr_h Prandtlovo kritérium pre fermentačné médium. Reynoldsovo číslo sa vypočíta:

$$Re_h = \frac{d_s^2 N \rho_h}{\mu_h} = \frac{0,997^2 \cdot 2,5 \cdot 1000}{1,2 \cdot 10^{-3}} = 1960208 \quad (34)$$

Prandtlovo číslo je:

$$Pr_h = \frac{c_{p_h} \cdot \mu_h}{\lambda_h} = \frac{4000 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3}}{0,56} = 8,57 \quad (35)$$

Hodnota Nusseltovho čísla sa vypočíta z kritériálnej rovnice:

$$Nu_h = 0,17 Re_h^{0,67} Pr_h^{0,37} \left(\frac{d_s}{d_R}\right)^{0,1} \left(\frac{d_h}{d_R}\right)^{0,5} = 0,17 \cdot 1960208^{0,67} \cdot 8,57^{0,37} \cdot \left(\frac{0,97}{3,1}\right)^{0,1} \cdot \left(\frac{0,139}{3,1}\right)^{0,5} = 1164 \quad (36)$$

Koeficient prestupu tepla miešaním na strane fermentačného média α_h je:

$$\alpha_h = \frac{Nu_h \lambda_h}{d_{out}} = \frac{1164 \cdot 0,56}{0,139} = 4688 \text{ [W m}^{-2} \text{ K}^{-1}] \quad (37)$$

Úhrnný koeficient prestupu tepla K_{AH} je:

$$K_{AH} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_h} + \frac{d_{out}}{2\lambda} \ln \frac{d_{out}}{d_{in}} + \frac{d_{out}}{\alpha_c d_{in}}} = \frac{1}{\frac{1}{4688} + \frac{0,139}{2 \cdot 15} \ln \frac{0,139}{0,127} + \frac{0,139}{2041 \cdot 0,127}} = 846,6 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2} \text{ K}^{-1}] \quad (38)$$

Teplovýmenná plocha A_H je potom nasledujúca:

$$A_H = \frac{Q}{K_{Ah} \cdot (t_h - t_s)} = \frac{338437}{846,6 \cdot (30 - 20)} = 40,0 \text{ [m}^2] \quad (39)$$

MATEMATICKÝ MODEL

Materiálová bilancia uvažovaných zložiek (biomasa X , glukóza S , etanol P , glycerol G) v kvapalnej fáze je vyjadrená ako systém obyčajných diferenciálnych rovníc (40–43):

$$X: \frac{dc_X}{dt} = \mu_{max} \frac{C_s}{C_s + K_s} \left(1 - \frac{C_p}{K_p}\right) C_x \quad (40)$$

$$S: \frac{dc_s}{dt} = -\frac{1}{Y_{x/s}} \mu_{max} \frac{C_s}{C_s + K_s} \left(1 - \frac{C_p}{K_p}\right) C_x \quad (41)$$

$$P: \frac{dc_p}{dt} = Y_{p/x} \cdot \mu_{max} \frac{C_s}{C_s + K_s} \left(1 - \frac{C_p}{K_p}\right) C_x - (K_L a)_p (C_p - C_p^g) \quad (42)$$

$$G: \frac{dc_G}{dt} = Y_{G/x} \mu_{max} \frac{C_s}{C_s + K_s} \left(1 - \frac{C_p}{K_p}\right) C_x \quad (43)$$

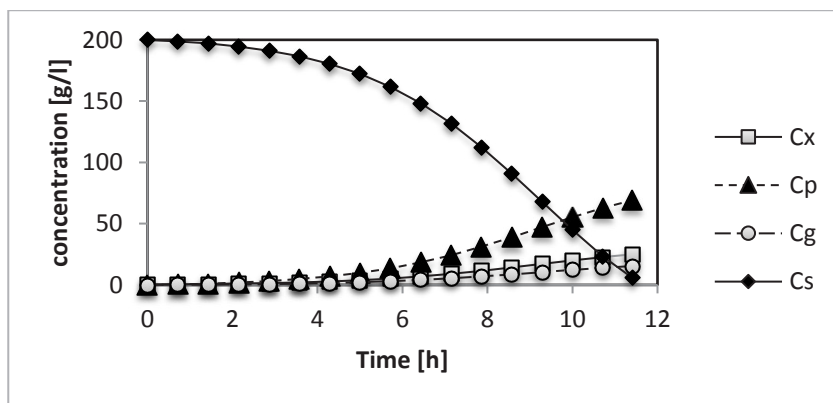
A materiálová bilancia etanolu, ktorý vyprchal z kvapalnej do plynnej fázy:

$$P^g: \frac{dc_p^g}{dt} = -(K_L a_d)_p (C_p^g - C_p) \frac{V_L}{V^g} \frac{R}{TH_p} \quad (44)$$

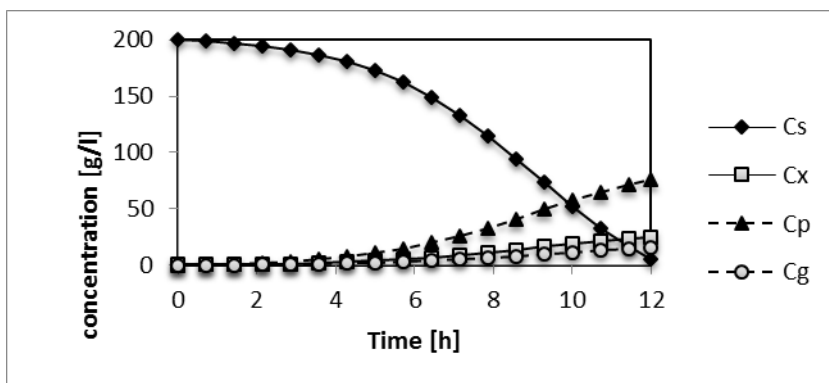
Matematický model sa použije pri výpočte zmeny koncentrácie uvažovaných zložiek v čase. Kritériom optimalizácie je vysoká koncentrácia žiadaného produktu – etanolu. Výpočet sa ukončí, keď sa premení 97 percent z pôvodného množstva kľúčového substrátu – glukózy, kedy koncentrácia etanolu dosiahne hodnotu 69,1 [g.l⁻¹]. Tým je zároveň definovaný aj čas samotnej fermentácie ($t_f = 11,4$ h).

DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY A DISKUSIA

Na obrázkoch Obr. 2 a Obr. 3 sú znázornené koncentračno-časové profily glukózy, biomasy, etanolu a glycerolu v prípade že buď uvažujeme vyprchanie časti etanolu do plynnej fázy alebo nie.



Obr. 2 Koncentrácie glukózy, biomasy, etanolu a glycerolu v tekutej podobe v čase s vyprchaním etanolu
Fig. 2. Concentrations of glucose, biomass, ethanol and glycerol in the liquid phase versus time with ethanol stripping



Obr. 3 Koncentrácie glukózy, biomasy, etanolu a glycerolu v tekutej podobe v čase bez vyprchania etanolu

Fig. 3. Concentrations of glucose, biomass, ethanol and glycerol in the liquid phase versus time without ethanol stripping

DISKUSIA

Ako bolo uvedené v úvode, *saccharomyces cerevisiae* sa používajú v dávkovej fermentácii pri premene glukózy na etanol. V príspevku bol popísaný navrhnutý matematický model, ktorý kombinuje poznatky strojárskych úvah a mikrobiálny jav, ktorý zahŕňa stechiometriu, termodynamiku bunkovej kultivácie, mikrobiálnu kinetiku a fyzikálne procesy (transportné javy) ako zmiešavanie, spotreba energie, prenos tepla a hmoty. Hodnoty kinetických parametrov μ_{\max} , K_S , K_P pre opis mikrobiálnej kinetiky aplikovaný v matematickom modelovaní boli odvodené na základe informácií z literatúry. Nanešťastie je fyzikálne nemožné udržať rovnaké podmienky procesu pre laboratóriá ako v priemyselných bioreaktoroch, pretože fyzikálne procesy sú priamo a metabolické procesy nepriamo závislé na veľkosti. Z výpočtu sme získali dávkovú výrobu etanolu $3\,623\text{ kg.l}^{-1}$ celkovo, ročná produkcia etanolu $1\,806\,991\text{ kg.rok}^{-1}$ a pre štyri dávky $7\,228\text{ ton.rok}^{-1}$. S výťažnosťou $3\,623\text{ kg.dávku}^{-1}$ je produkcia na rok $1\,862\,222\text{ kg.rok}^{-1}$, ale bez vyprchania etanolu $3\,982\text{ kg.dávku}^{-1}$ a produkcia na rok $1\,971\,151\text{ kg.rok}^{-1}$, čas pre jednu dávku je 15,4 hodín s vyprchaním etanolu a bez vyprchania je to 16 hodín. Boli odhadnuté investičné náklady 2 105 dolárov na hlavné medzisúčtové vybavenie a pre celkový kapitál fermentácie 8 946 250 dolárov. So zmenou objemu reaktora alebo objemu tekutej fázy, proporcionálne zvyšovanie alebo znižovanie produkcie etanolu napr. ak objem reaktora predpokladal 60 m^3 proporcionálnu dávkovú produkciu etanolu, $m_p = 3105\text{ kg.l}^{-1}$, ročnú produkciu etanolu $1\,548\,849\text{ kg.rok}^{-1}$, a pre štyri dávky $6\,195\text{ ton.rok}^{-1}$. Ventiláčny pomer $V_G = 0,225$. Koficient prenosu etanolovej hmoty ($k_L a_D$) je $0,076\text{ s}^{-1}$. Znižovanie úvodnej koncentrácie glukózy zo 150 g.l^{-1} proporcionálne vplýva na tok hmoty chladiacej vody na $7,70\text{ kg.s}^{-1}$, mólové množstvo spotrebovanej glukózy počas produkcie etanolu 42 kmol , reakčné teplo $46\,635\text{ J.s}^{-1}$.

ZÁVER

V technologickej praxi sa s rozvojom informačných technológií v súčasnosti stále viac využíva matematické modelovanie a simulácia rôznych procesov a zariadení, kvôli ich lepšiemu pochopeniu a optimalizácii ich fungovania (Mihal', Markoš, 2013). Matematickému modelovaniu sa venuje aj tento príspevok. Výsledky tejto štúdie poskytujú náhľad na výkonnosť, optimalizáciu procesu a pomôžu pri návrhu procesov pre výrobu etanolu veľkého rozsahu pomocou kvasiniek *Saccharomyces cerevisiae* v anaeróbných podmienkach. Výsledné matematické modely je možné použiť na predikciu plánovaných fermentácií v prípade scale-up zariadenia, hľadania optimálnych prevádzkových podmienok v závislosti na požadovanej produkcii. Simulácie je možné využiť pre analýzu nákladov, s cieľom optimálneho návrhu bioreaktora (Acai, 2007). V ďalšom výskume je možné zamerať sa na vizualizáciu a analýzu popísaných procesov pomocou holografickej interferometrie (Černecký, Pivarčiová, 2013).

LITERATÚRA

- [1] ACAI, P., POLAKOVIC, M., 2007. Design of a large-scale surface-aerated bioreactor for biomass production using a VOC substrate.
- [2] BAFRNCOVÁ, P., ŠMOGROVIČOVÁ, D., 1999. Inovačné trendy pri výrobe etanolu. *Chem. Listy* 93, 512–517
- [3] BAILEY, J., OLLIS, D. 1986. *Biochemical Engineering Fundamentals*. USA: McQraw-Hill Book Company, 1986. ISBN 13: 9780070032125
- [4] BALES, V., MESZÁROŠ, A., MUNTEAN, O., POLAKOVIC, M., ŠTEFUCA, V. 2003. *Biochemické technológie*. Bratislava: AB-ART, 128 s., ISBN 80-89006-75-2
- [5] ČERNECNÝ, J., PIVARČIOVÁ, E., 2013. Vizualizácia a analýza difúzných procesov na fázovom rozhraní minerál – voda. *Chem. Listy* 107, 298–303
- [6] DUTTA, R., 2008. *Fundamentals of Biochemical Engineering*. Springer: Ane Books India, 292 s., ISBN 978-3-540-77900-1
- [7] GORJI, M., BOZORGMEHRY, B. R., KAZEMEINI, M., 2007. CFD Modeling of Gas-Liquid Hydrodynamics in a Stirred Tank Reactor *Iran. J. Chem. & Chem. Eng.* roč. 26, č. 2, s. 85–96
- [8] JOHN, D., 2004. Cellulose Ethanol (Cellulosic Ethanol), Michigan, [cit. 2016-02-09]. Dostupné na internete: <<http://zfacts.com/p/85.html>>
- [9] KESHTKAR, A. R., ABOLHAMD, G., MEYSSAMI, B., GHAFORIAN, H., 2003. Modeling of Anaerobic Digestion of Complex Substrates. *Iran. J. Chem. & Chem. Eng.* roč. 22, č. 2, s. 61–74.
- [10] LINKEŠOVÁ, M., PAVELEKOVÁ, I., 2007. *Vybrané kapitoly z chemickej a potravinárskej technológie*. Trnava, 237 s, ISBN 978-80-8082-170-8
- [11] LYDERSEN, B., D'ELIA, N., NELSON, K., 1994. *Bioprocess engineering: systems equipment and facilities*. New York: John Wiley & Sons, Inc, 832 s. ISBN 978-0-471-03544-2
- [12] MIHAL, M., MARKOŠ, J., 2013. *Matematické a experimentálne modelovanie hybridných reaktívne-separačných procesov*. STU Bratislava, 145 s, ISBN 978-80-89597-14-7
- [13] NIELSEN, J., VILLADSEN, J., LINDEN, G., 2002. *Bioreaction engineering Principles*, second edition, 528 s., ISBN 0-306-47349-6

- [14] SHARIFIAN, M., FANAEEI, M. A., 2009. Dynamic Simulation and Control of a Continuous Bioreactor Based on Cell Population Balance Model. *Iran. J. Chem. & Chem. Eng.* roč. 28, č. 2, s. 15–27
- [15] YAZDIAN, F., SHOJAOSADATI, S. A., NOSRATI M., PESARAN, H. M., MALEK, K. K., 2009. On-Line Measurement of Dissolved Methane Concentration during Methane Fermentation in a Loop Bioreactor. Iran: *Iran. J. Chem. & Chem. Eng.* roč. 28, č. 4, s. 85–93.