

OBSAH

ZOZNAM RECENZENTOV	5
ŠTÚDIUM MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ STROJNÝCH SÚČIASTOK S MALOU HUSTOTOU VNÚTORNEJ VÝPLNE VYROBENÝCH METÓDOU 3D TLAČE, 2. ČASŤ	6
<i>Jozef Harušinec, Andrej Suchánek, Pavol Šťastniak</i>	
VEHICLE PASSAGE OVER AN UNEVEN ROAD	11
<i>Ján Dižo, Miroslav Blatnický, Oleksandr Kravchenko, Peter Gasper</i>	
CHYBY INGOTOV A MOŽNOSTI ICH ELIMINÁCIE	15
<i>Elena Kantoríková, Ján Moravec</i>	
NÁVRH BRZDOVÉHO VÝSTROJA VAGÓNA S REDUKOVANÝM POČTOM SPOJOV: 2. VARIANT	22
<i>Sebastián Solčanský, Jozef Harušinec</i>	
KONŠTRUKCIA STĽPOVÉHO ŽERIAVA PRE MANIPULÁCIU S KALOVÝMI ČERPADLAMI A MATEMATICKÝ OPIS ZÁVISLOSTI TIAŽE BREMENA A OVLÁDACEJ SILY	26
<i>Miroslav Blatnický, Miloš Brezáni, Ján Dižo</i>	
HODNOTENIE PÓROVITOSTI ODLIATKU VYRÁBANÉHO VYSOKOTLAKOVÝM ODLIEVANÍM	30
<i>Marek Matejka, Radka Podprocká</i>	
BLECHSCHNEIDEN MIT WÄRMEANWENDUNG	36
<i>Ján Moravec</i>	
TEORETICKÁ ANALÝZA PREMENY SLNEČNEJ ENERGIE NA TEPLLO S APLIKÁCIOU PRE RODINNÝ DOM	38
<i>Alexander Čaja, Bronislava Hrnková, Andrej Kapjor, Martin Vantúch</i>	
SHEET METAL BENDING PROCESS AT THREE DIFFERENT TEMPERATURES	44
<i>Ján Moravec, Borislav Melo</i>	
REAKCIA HLINÍKA V PROSTREDÍ ZVÝŠENÉHO pH	49
<i>Elena Kantoríková</i>	
ANALÝZA VIACFÁZOVÝCH MODELOV TRANSPORTU TEPLA V PROGRAME ANSYS FLUENT	53
<i>Natália Holešová, Richard Lenhard, Andrej Klačko, Branislav Zvada</i>	
FATIGUE PROPERTIES OF WELDED HIGH-STRENGTH STEELS	59
<i>Peter Kopas, Milan Vaško, Milan Sága, Marián Handrik, Pavol Novák</i>	
ENERGETICKÉ ZHODNOCOVANIE KOMUNÁLNEHO ODPADU NA SLOVENSKU	63
<i>Andrej Klačko, Michal Holubčík, Natália Holešová, Branislav Zvada</i>	
PREVODOVÉ POMERY PRI OVLÁDANÍ MECHANIZMU DÁVKOVAČA RÚROK	68
<i>Jozef Kul'ka, Martin Mantič, Silvia Maláková</i>	

KONCEPČNÝ NÁVRH BEZDRÔTOVÉHO MONITOROVACIEHO SYSTÉMU EMISÍ PRE VYKUROVACIE ZARIADENIA NA TUHÉ PALIVÁ	72
<i>Miriám Nicolanská, Michal Holubčík, Natália Holešová</i>	
ANALÝZA VPLYVU TVARU TELESA ODLIEVANÝCH ČELNÝCH OZUBENÝCH KOLIES NA DEFORMÁCIU OZUBENIA	79
<i>Silvia Maláková, Samuel Sivák, Daniela Harachová</i>	
KONVENČNÉ SPÔSOBY VÝROBY VODÍKA Z FOSÍLNYCH PALÍV	83
<i>Branislav Zvada, Radovan Nosek, Natália Holešová, Andrej Klačko, Zdenko Šavrnoch</i>	
HODNOTENIE VYBRANÝCH VLASTNOSTÍ HLINÍKOVEJ ZLIATINY AlSi5Cu2Mg LEGOVANEJ ZIRKÓNOM	88
<i>Lukáš Šíranec, Dana Bolibruchová</i>	
TRENDY V ZNIŽOVANÍ REOXIDAČNÝCH PROCESOV VO VTOKOVEJ SÚSTAVE POČAS ODLIEVANIA Al ZLIATIN	94
<i>Marek Galčík, Marek Brůna, Richard Pastirčák</i>	
PRÍSTREŠOK NAD TERASOU - KONŠTRUKČNÝ NÁVRH A PEVNOSTNÁ ANALÝZA	98
<i>Lenka Jakubovičová, Peter Kopas</i>	
PERSPEKTÍVY UPLATNENIA MODULARITY PRI NÁVRHU POHONNÝCH SYSTÉMOV V MECHANICKÝCH TERAPEUTICKÝCH ZARIADENIACH	102
<i>Daniela Harachová, Silvia Maláková, Samuel Sivák</i>	
HEAT SOURCES FOR ELECTRON BEAM WELDING	107
<i>Pavol Novák, Peter Kopas, Milan Sága, Milan Vaško, Marián Handrik</i>	
VPLYV METÓD A TECHNOLOGIÍ RIADENIA VÝROBNÝCH PROCESOV NA MARKETINGOVÚ STRATÉGIU SPOLOČNOSTI	111
<i>Olha Kolesnyk, Peter Bubeník, Miroslav Rakyta, Juraj Čapek</i>	
VPLYV TEPELNÉHO SPRACOVANIA NA MORFOLÓGIU INTERMETALICKÝCH FÁZ V ZLIATINÁCH Al-Si-Cu-Mg	117
<i>Martina Sýkorová, Dana Bolibruchová</i>	
VPLYV ZMENY STRATÉGIE NA RIADENIE PODNIKOVÝCH PROCESOV	121
<i>Juraj Čapek, Peter Bubeník, Miroslav Rakyta, Vladimíra Biňasová</i>	
ŽIVOTNÉ JUBILEUM: Dr.h.c. prof. Ing. KAROL VASILKO, DrSc.	126

ZOZNAM RECENZENTOV PRÍSPEVKOV

- doc. Ing. **Dalibor BARTA**, PhD.
doc. Ing. **Miroslav BLATNICKÝ**, PhD.
Ing. **Miloš BREZÁNI**, PhD.
doc. Ing. **Marek BRŮNA**, PhD.
Ing. **Alexander ČAJA**, PhD.
doc. Ing. **Vladimír DEKÝŠ**, PhD.
doc. Ing. **Ján DIŽO**, PhD.
doc. Ing. **Peter ĎURČANSKÝ**, PhD.
doc. Ing. **Karel GRYC**, PhD.
doc. Ing. **Andrej KAPJOR**, PhD.
Ing. **Peter KOPAS**, PhD.
doc. Ing. **Kateryna KRAVCHENKO**, PhD.
Ing. **Borislav MELO**, PhD.
doc. Ing. **Ján MORAVEC**, PhD.
prof. Ing. **Radovan NOSEK**, PhD.
doc. Ing. **Richard PASTIRČÁK**, PhD.
Ing. **Marek PATSCH**, PhD.
doc. Ing. **Alexander SCHREK**, PhD.
doc. Ing. **Ladislav SOCHA**, PhD.
Ing. **Roman STROKA**, PhD.
prof. Ing. **Pavol ŠVEC**, PhD.

Štúdium mechanických vlastností strojných súčiastok s malou hustotou vnútornej výplne vyrobených metódou 3D tlače, 2. časť

Jozef Harušinec, Ing., PhD.*

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline.
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: jozef.harusinec@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2570

Andrej Suchánek, Ing., PhD.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline.
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: andrej.suchanek@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2554

Pavol Šťastniak, Ing., PhD.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline.
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: pavol.stastniak@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2562

Study of mechanical properties of machine components with a low internal density produced by means of the 3D printing method, 2nd part

Abstract: The article is focused on study of mechanical properties of machine components produced by the 3D printing on *FDM (FUSED DEPOSITION MATERIAL)* devices by means of a computational model. The article brings details of results of performed tests and a created model for strength analysis using the finite element method. Components of machine produced by means of the 3D printing technology allow to reduce them weight. Currently, this technology is applied not only for production of plastic components, but it is possible to apply it for metal components even other kind of materials.

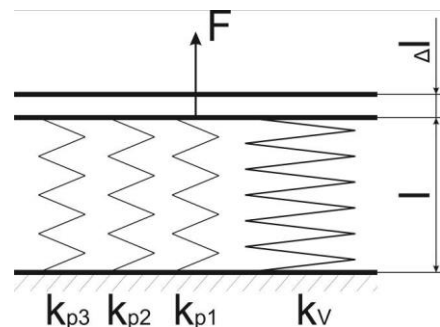
ÚVOD

Na Katedre dopravnej a manipulačnej techniky sú používané tlačiarne *PRUSA i3* na tlač silovo namáhaných súčiastok (adaptéry, držiaky a časti mechanizmov) [2, 3], preto vznikla úvaha ako takto namáhané súčiastky dimenzovať tak aby bola zabezpečená prevádzková spoľahlivosť [3]. Preto bolo vytvorených niekoľko typov vzoriek, ktoré mali pri ťahovej skúške preukázať, aký vplyv má na pevnosť vzorky riedke jadro vzorky a obalové vrstvy tzv. perimetre. Vzorky boli vytvorené v troch sériách, kde pre každú sériu bola použitá iná výplň. V sérii sa nachádzali štyri varianty s rôznym počtom vonkajších vrstiev.

1 VÝPOČTOVÝ MODEL

Podľa obr. 1 je výtlačok v princípe sada pružín medzi dvoma pevnými doskami, ktorá bráni ich vzájomnému posunutiu. V tomto prípade je možné definovať tuhosť celej sústavy podľa vzorca (1):

$$k = \frac{F}{\Delta l} \quad (1)$$

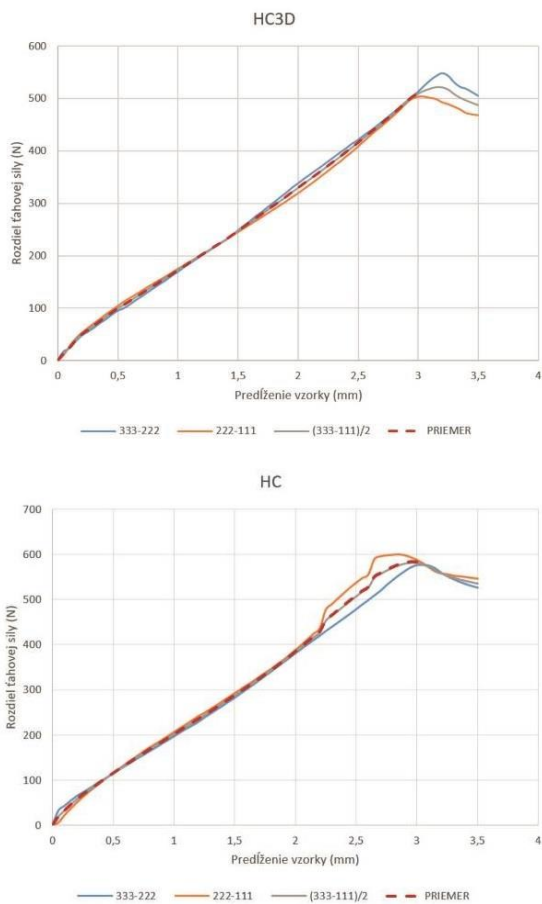


Obr. 1. Model vzorky

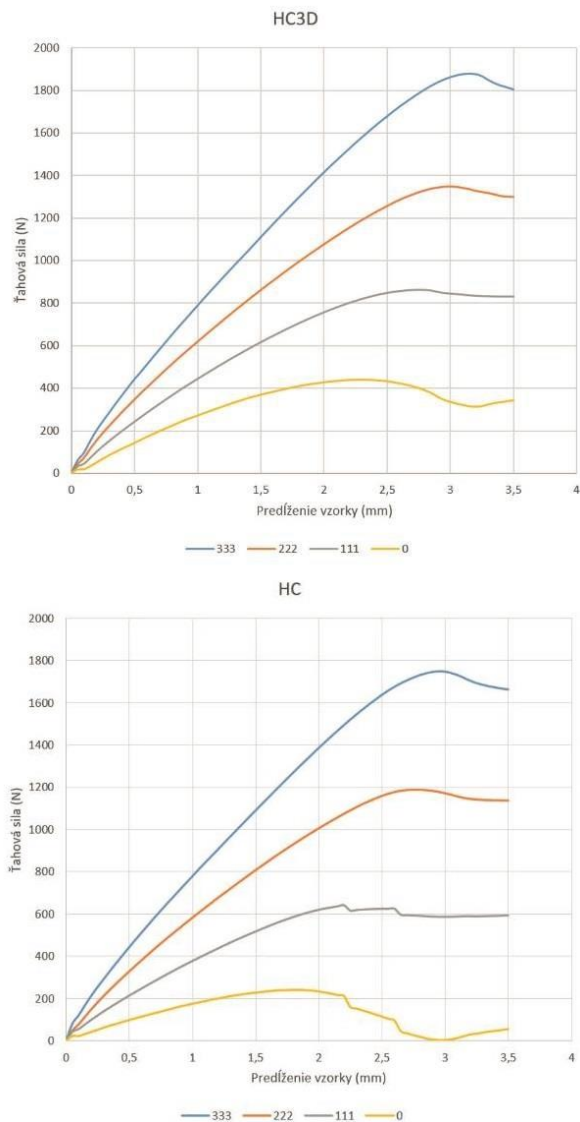
Pre celkovú tuhosť platí podľa vzorca (2) pravidlo že tuhosť celej sústavy sa skladá z čiastkových tuhostí.

$$k = k_{p1} + k_{p2} + k_{p3} + k_v \quad (2)$$

V makroskopickom pohľade možno považovať plochu perimetrov za veľmi podobnú a pre prvý odhad ako rovnakú. Teda sila odporu vyvolaná od jednotlivých perimetrov bude rovnaká a teda tuhosti k_1 až k_3 budú rovnaké:



Obr. 2. Priebeh rozdielov charakteristík pre rozdiely výsledkov vzoriek s rôznym počtom perimetrov



Obr. 4. Priebeh priemerných hodnôt závislosti sily na predĺžení s charakteristikou jadra

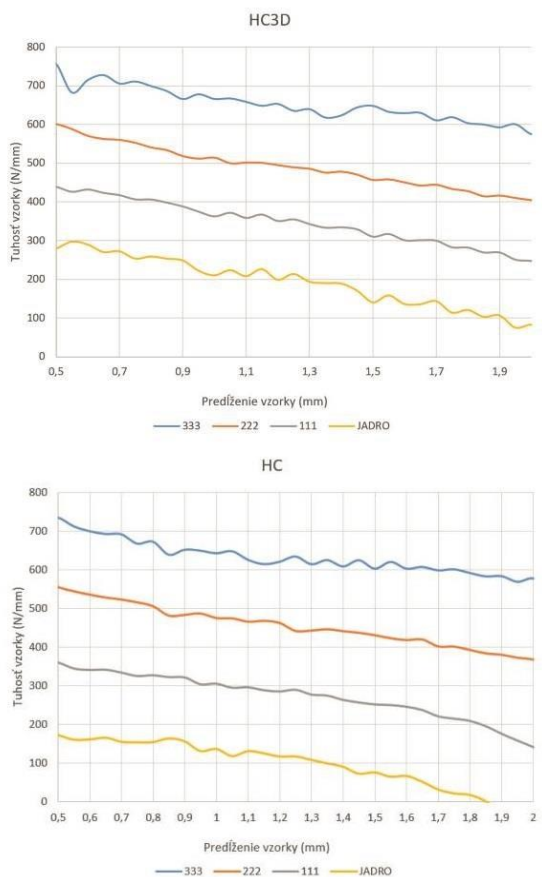
$$F = F_{P1} + P_{P2} + P_{P3} + P = n \cdot F_p + F_v \quad (3)$$

A teda tuhosť výplne bude:

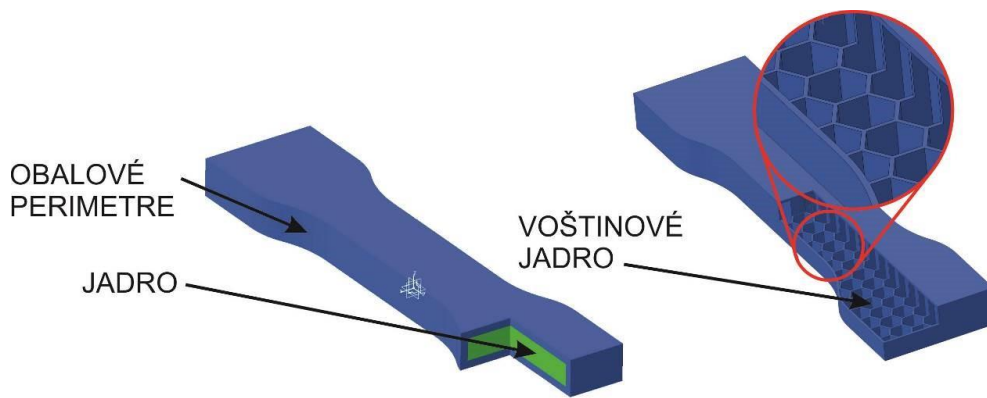
$$k_v = k - n \cdot k_p = \frac{F - n \cdot F_p}{\Delta l} \quad (4)$$

Pre toto tvrdenie je potrebné zistiť či je závislosť je rozdiel síl pri zmene počtu perimetrov rovnaký. Boli postupne od seba odrátané priebehy priemerných síl pri skúške ťahom. Boli odrátavané priebehy 222 od 333, 111 od 222 a 111 od 333, ktorý bol následne predelený dvomi. Výsledok na obr. 3 potvrdzuje že rozdiel medzi susednými vzorkami je v rámci tolerancie rovnaký a blízky po celej dráhe skúšky blízky ku lineárnemu.

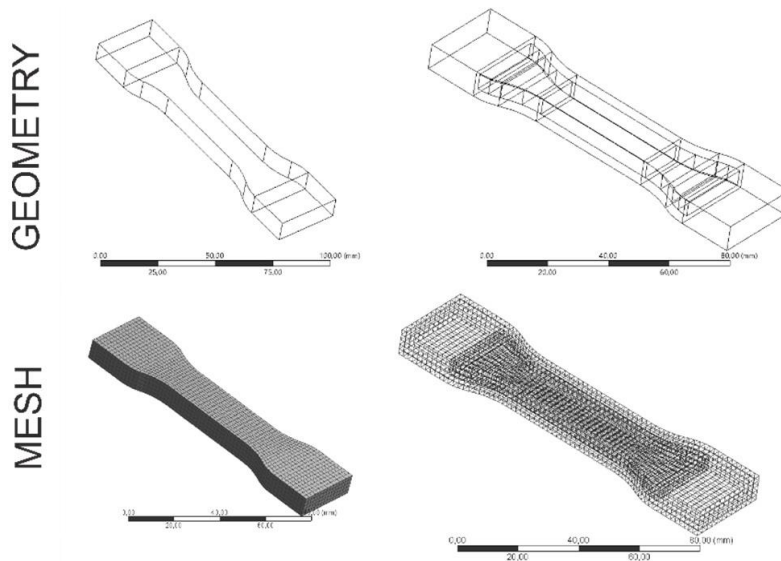
Nasledovne bolo potrebné zistiť priebeh tuhosti pri rôznom natiahnutí vzorky. Na obr. 3 je vidieť že jadro sa podieľa určitým percentuálnym podielom na pevnosti vzorky. U serie označenej HC je vidieť že jadro prenáša v danom smere silu len do určitej hodnoty predĺženia.



Obr. 3. Zmena tuhosti vzorky počas skúšky počas predlžovania vzorky



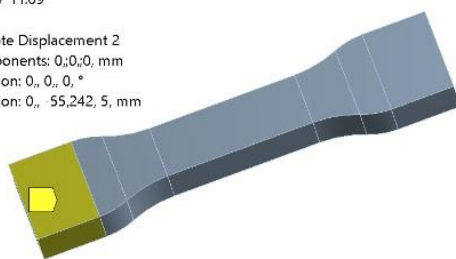
Obr. 5. Konštrukcia porovnávacieho modelu: plnotelesový (vľavo) a škrupinový (vpravo)



Obr. 6. Geometria a osieťovaný model. Vzorka s vyplneným jadrom (vľavo), vzorka s prázdny jadrom (vpravo)

C: Copy of Static Structural
Remote Displacement 2
Time: 1, s
11.10.2017 11:09

Remote Displacement 2
Components: 0,0,0, mm
Rotation: 0, 0, 0, °
Location: 0, -55,242, 5, mm

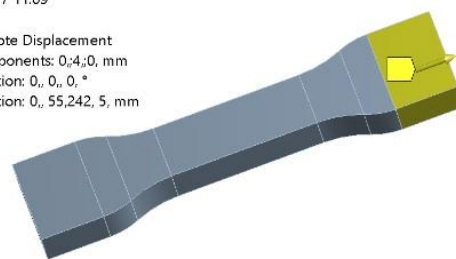


0,00 30,00 60,00 (mm)
15,00 45,00



C: Copy of Static Structural
Remote Displacement
Time: 1, s
11.10.2017 11:09

Remote Displacement
Components: 0,4,0, mm
Rotation: 0, 0, 0, °
Location: 0, 55,242, 5, mm



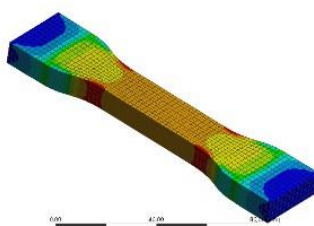
0,00 30,00 60,00 (mm)
15,00 45,00



Obr. 7. Okrajové podmienky

C: Copy of Static Structural
Equivalent Stress
Time: 1, s
11.10.2017 11:09

0,000 MPa
0,000
0,000
0,000
0,000
0,000
0,000
0,000
0,000
0,000
0,000 MPa

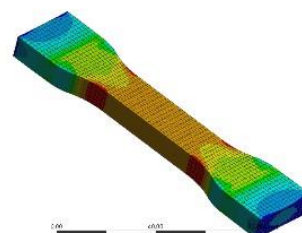


0,00 20,00 40,00 60,00 (mm)



D: Static Structural
Equivalent Stress
Time: 1, s
11.10.2017 11:09

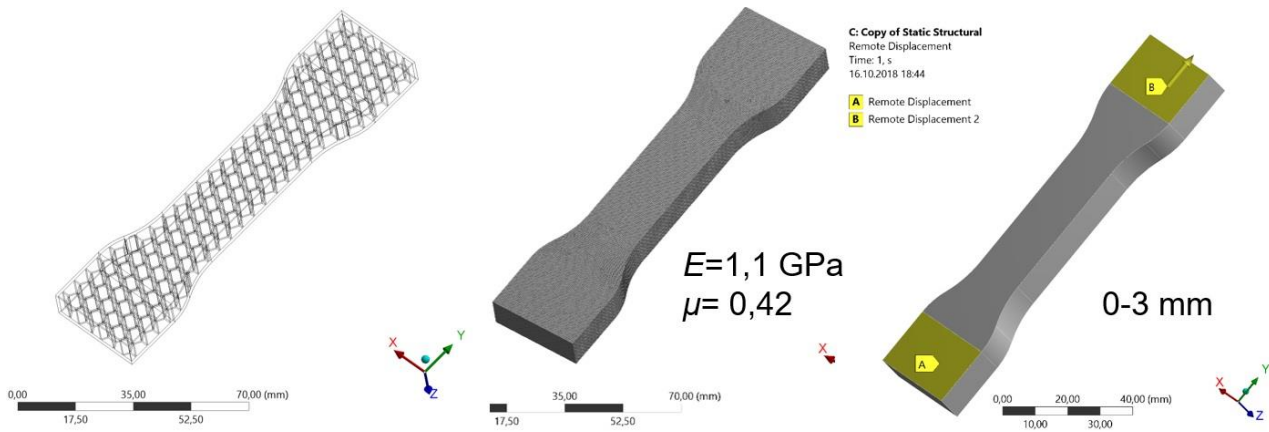
0,000 MPa
0,000
0,000
0,000
0,000
0,000
0,000
0,000
0,000
0,000
0,000 MPa



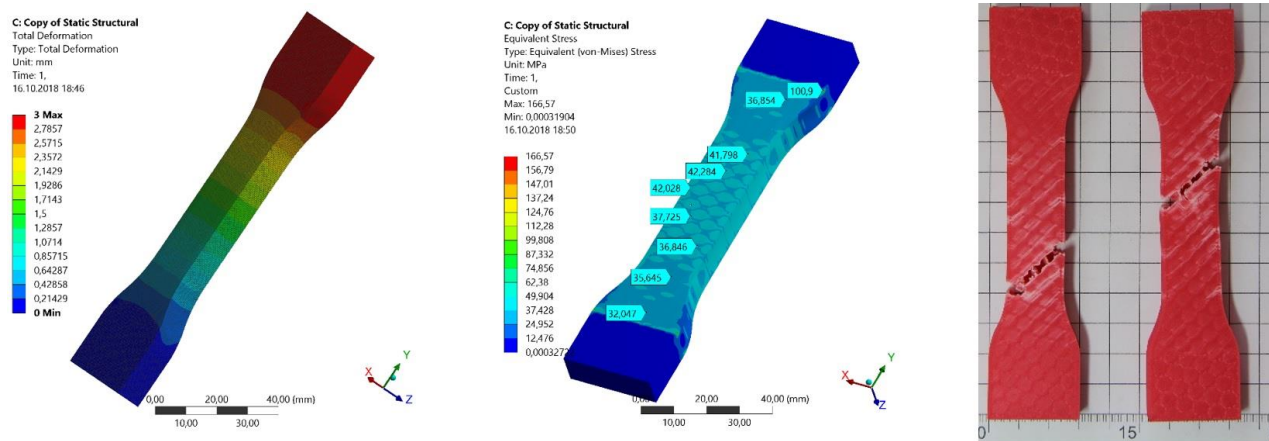
0,00 20,00 40,00 60,00 (mm)



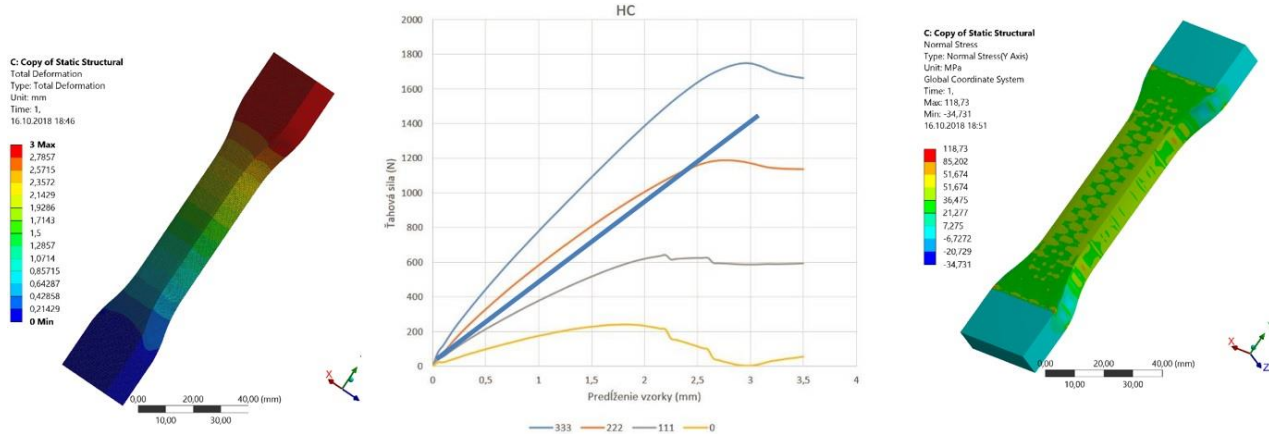
Obr. 8. Priebeh redukovaného napätia podľa hypotézy HMM



Obr. 9. Okrajové podmienky modelu s reálnou výplňou



Obr. 10. Porovnanie rozložení napätí na výpočtovom modeli a skúšobnej vzorke



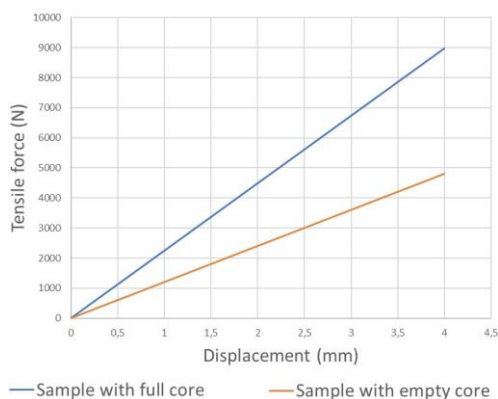
Obr. 11. Porovnanie tuhosti skúšanej vzorky a odpovedajúceho modelu vzorky v MKP programe

To je vidieť aj na obr. 5, kde je vidieť že predpokladaná tuhosť jadra je nulová. Aj keď po preskúmaní vzoriek bolo rozhodnuté, že po prerušení materiálu, ktorý tvoril perimetre došlo ku sploteniu *honeycomb* buniek a následne ešte ku ich vlastnému trhaniu.

Ako porovnávací model boli zvolené dva druhy konštrukcií. V prvom prípade bude súčiastka rozdelená na obalovú časť vytvorenú vo zvolenej hrúbke okolo obalovej plochy a vnútro vyplnené vnútornou výplňou (jadrom).

V druhom prípade je rovnako ako v prvom prípade vytvorená obalová oblasť, len jadro nie je vytvorené ako výplň, ale je vytvorená priamo voštinová konštrukcia výplne. Oproti predchádzajúcemu modelu bude po prevedení do konečno prvkového programu definovaný ako škrupinový model. Bude teda jednoduchšie definovanie počtu perimetrov pri tlači.

Porovnávací výpočet je zobrazený na obr. 7 a obr. 8, kde je jeden koniec vzorky uchytený v pevnej čelusti a druhému je predpísané posunutie v smere osi vzorky. Napätie je porovnateľné na oboch vzorkách.



Obr. 12. Zobrazenie priebehu reakčnej sily v závislosti od predĺženia vzorky

No ako je vidieť na obr. 12, je pri rovnakom posunutí sila vyvolaná v reakcii menšia pri vzorke, ktorá nemá jadro. Priebeh hodnotovo nekorešponduje s meranými vzorkami, nakoľko je v tomto prípade predpokladaná hrúbka povrchovej vrstvy 2 mm, čo zodpovedá asi 10-tim perimetrom. Pre čo najbližšie priblíženie sa výsledkov výpočtového a experimentálneho modelu bola vykonaná ešte jedna analýza. V nej bol vytvorený model škrupinový podľa obr. 5 vpravo. Tento model rešpektuje geometriu vzorky vyhotovenia s dvomi vonkajšími perimetrami a výplňou *honeycomb* (HC). Ako hrúbka škrupiny bola zvolená hodnota 0,4 mm, čo je zodpovedajúca hrúbka dvoch perimetrov pri tlači s hrúbkou vrstvy 0,2 mm. Zátťaž bola vykonaná ako pri predchádzajúcej analýze a zároveň ako pri ťahovej skúške. Okrajové podmienky sú znázornené na obr. 9. Na obr. 9 je znázornené rozloženie posunutí (vľavo) a napätí (v strede) a vzorky po ťahovej skúške (vpravo). Ako z obrázka vidieť, stopy na virtuálnom modeli a skúšobnej vzorke si vzájomne odpovedajú. Na obr. 11 je vidieť aj zhodu výstupu z ťahovej skúšky (oranžová čiara) a vypočítanej charakteristiky (hrubá modrá úsečka).

ZÁVER

V článku boli prezentované výsledky výskumu materiálových vlastností strojných súčiastok vyrobených pomocou 3D tlače na tlačiarňi Prusa i3 využívajúcu pre tlač FDM metódu. Tento príspevok je pokračovaním prác a aktivít prezentovaných v prvej časti rovnomenného článku. Na základe dosiahnutých výsledkov je možné zhodnotiť možnosti vytvárania konštrukcií vyrobených pomocou ešte stále nekonvenčnej metódy - 3D tlače. Získané vedomosti umožnia optimalizovať konštrukcie, ktorých pomer pevnosti a hmotnosti by bol v prípade výroby konvenčnými metódami a technológiami len ťažko dosiahnuteľný alebo dokonca vôbec nedosiahnuteľný. Prezentované skúšky boli vykonané len v jednom smere namáhania. Preto v nasledujúcom kroku bude potrebné overiť relevantnosť predpokladaných typov

modelov a v prípade potvrdenia funkčnosti materiálových parametrov vytvoriť zariadenie, ktoré bude schopné testovať vytlačené súčiastky podobne ako by boli namáhané v prevádzke.

Pod'akovanie

Táto práca vznikla vďaka podpore projektu KEGA 023ŽU-1/2020: „Vývoj pokročilých virtuálnych modelov pre štúdium a vyšetovanie prevádzkových charakteristík dopravných prostriedkov.“

Táto práca vznikla vďaka podpore projektu KEGA 036ŽU-4/2021: „Implementácia moderných metód počítačovej a experimentálnej analýzy vlastností komponentov vozidiel do vzdelávania konštruktérov dopravných prostriedkov budúcnosti.“

LITERATÚRA

- [1] HARUŠINEC, J. - LOULOVÁ, M. - SUCHÁNEK, A. - STRÁŽOVEC, P. (2017): *Využitie 3D tlačiarne PRUSA I3 na Katedre dopravnej a manipulačnej techniky*. In: *Dynamika tuhých a deformovateľných telies*, [elektronický zdroj], CD-ROM, 10 s. ISBN 978-80-7561-083-6.
- [2] PRUSA RESEARCH (2021): *3D printers* [online]: www.prusa3d.com.
- [3] REPAP (2021): [online]: <http://reprap.org/>.
- [4] MATWEB (2021): *Your Source for Materials Information* [online]: <http://www.matweb.com/index.aspx>.
- [5] MAKELTFORM (2021): *Polylactic Acid (PLA, Polylactide)*. [online]: <https://www.makeitfrom.com/>
- [6] CANTRELL J. et al. (2017): *Experimental Characterization of the Mechanical Properties of 3D Printed ABS and Polycarbonate Parts*. In: Yoshida S., Lamberti L., Sciammarella C. (eds) *Advancement of Optical Methods in Experimental Mechanics*, Volume 3.
- [7] DIŽO, J. - BLATNICKÝ, M. (2016): *Príspevok k modelovaniu viazanej mechanickej sústavy koľajového vozidla s poddajným telesom*. In: *Železničná doprava a logistika*. Roč. 12, č. 1, online, s. 15-19. ISSN 1336-7943.
- [8] GERLICI, J. - LACK, T. (2007): *An analysis of springs and bumpers parameters influence on the ride comfort* (In Slovak). In: *PRORAIL 2007: súčasné problémy v koľajových vozidlách*, Žilina, 2007, Slovensko, Diel I. Žilina: Vedeckotechnická spoločnosť pri Žilinskej univerzite, 2007. ISBN 978-80-89276-06-6, S. 145-154.
- [8] BLATNICKÁ, M. - SÁGA, M. - BLATNICKÝ, M. - DIŽO, J. (2018): *Analysis of adaptive gripper effector*. In: *Transport means: proceedings of the international scientific conference*. 1. vyd., Kaunas: Kauno Technologijos Universitetas, s. 522-526, ISSN 1822-296X.

Vehicle passage over an uneven road

Ján Dižo, doc. Ing., PhD.*

Department of Transport and Handling Machines, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Žilina.
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovak Republic.
E-mail: jan.dizo@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2560

Miroslav Blatnický, doc. Ing., PhD.

Department of Transport and Handling Machines, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Žilina.
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovak Republic.
E-mail: miroslav.blatnický@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2570

Oleksandr Kravchenko, prof., DScTech.

Department of Automobiles and Automobile Economy, Faculty of Computer-Integrated
Technologies, Mechatronics and Robotics,
Zhytomyr Polytechnic State University.
103, Chudnivska str., 10005 Zhytomyr, Ukraine.
E-mail: avtoap@ukr.net, Tel.: + 38 050 91 38 228

Peter Gasper, Ing.

Continental Matador Rubber, s.r.o.
Continental Matador Truck Tires s.r.o.,
Terézie Vansovej 1054, 020 01 Púchov, Slovak Republic.

Abstract: Evaluation of mechanical vibration of a vehicle is still up to date. Mechanical vibrations influence dynamic properties of vehicles. They are raised during vehicle driving over an uneven road. Practically, vibrations are deflections of individual components of vehicles. They can lead to slight oscillations or even to significant shocks, which can cause adverse passenger ride comfort, decreased driving safety and extraordinary loading of a road. This article is focused on analysing of vehicle running through an individual road irregularity by means of a mathematical approach as well as on presentation of results of dynamic analysis of a passenger car using a computational model.

INTRODUCTION

A vehicle represents a mechanical system, which consists of bodies connected by coupling elements. During the running, large number of external factors (roadway surface quality, vehicle running speed, road profile etc.) and internal factors (weight, location of the centre of gravity, dimension of a vehicle etc.) effect to the vehicle running behaviour [1-3]. In the reality, a vehicle also includes other components, such as a drive-train system, a cabin, etc., which increase system complexity [4-6]. Then, large number of equations of motion are needed for the description of the vehicle motions in a space. If the simulation software is used, the vehicle mechanical system can be modelled more complex and more phenomena related with the vehicle running of a road can be evaluated [7-9].

1 A MATHEMATICAL DESCRIPTION OF A PROBLEM

For analytical description of vertical vehicle dynamics, we can consider a simplified planar model of a vehicle with 2 *DOF*. Such a model consists of

two masses linked by springs and dampers. This vehicle passes through an uneven road [10-12].

A mass m_1 represents unsprung masses (a wheel, a part of a vehicle suspension), m_2 are sprung masses (a car body), k_1 , k_2 , b_1 and b_2 are stiffness and damping coefficient of tyres and suspension system, respectively. Deflections z_1 and z_2 are measured from an equilibrium state.

The road irregularity is described by the formulation $s = s(\xi)$ and for a constant speed v $\xi = v \cdot t$. The function $s = s(v \cdot t)$ represents a kinematic excitation of the vehicle mechanical system [13, 14].

The system of equations of motions describing its behaviour are as following:

$$m_1 \cdot \ddot{z}_1 + (b_1 + b_2) \cdot \dot{z}_1 - b_2 \cdot \dot{z}_2 + (c_1 + c_2) \cdot z_1 - c_2 \cdot z_2 = c_1 \cdot s(v \cdot t). \quad (1)$$

$$m_2 \cdot \ddot{z}_2 - b_2 \cdot \dot{z}_1 + b_2 \cdot \dot{z}_2 - c_1 \cdot z_1 - c_2 \cdot z_2 = 0$$

The function (1) has a special form for a particular road irregularity. Examples are shown in Fig. 1b-f) to f). If we will solve the case in Fig. 1b) damping

will be neglected, the *Laplace* transform as following:

$$L\{f(t)\} = \int_0^{\infty} f(t) \cdot e^{-pt} \cdot dt = F(p). \quad (2)$$

will be considered and the simplified equations of motion (for $b_1 = b_2 = 0$) will be processed by the *Laplace* transform, for zero initial conditions, we get:

$$\begin{aligned} m_1 \cdot p^2 \cdot X_1(p) + (c_1 + c_2) \cdot X_1(p) - c_2 \cdot X_2(p) &= \\ &= c_1 \cdot h \cdot \frac{1}{p}. \end{aligned} \quad (3)$$

$$m_2 \cdot p^2 \cdot X_2(p) + c_2 \cdot X_2(p) - c_2 \cdot X_1(p) = 0$$

It is (3) a system of two algebraic equations for unknown functions $X_1(p)$ and $X_2(p)$. We write a determinant of the system (3) using the angular eigenfrequencies Ω_1 and Ω_2 .

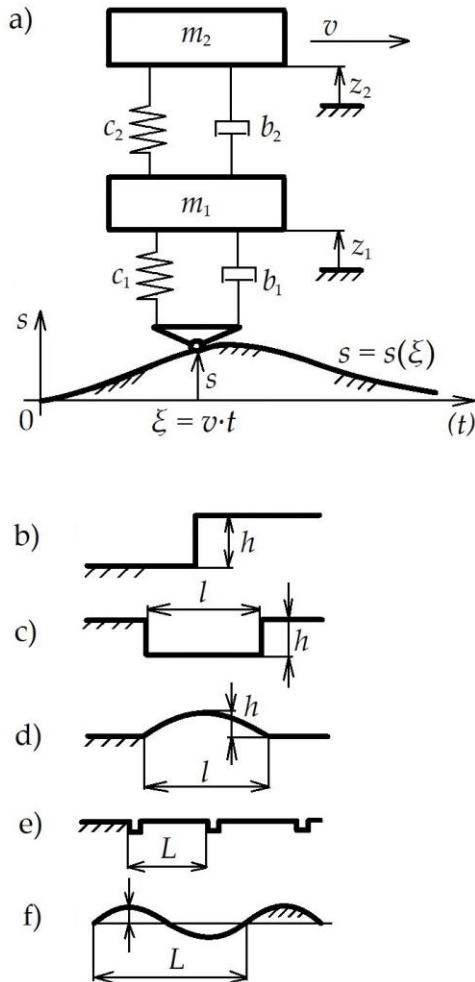


Fig. 1. Passage of a simplified 2-DOF model of a vehicle through an individual road irregularity (a), various kind of road irregularities (b, c, d, e, f)

Searched functions $X_1(p)$ and $X_2(p)$ we get using the *Cramer's* rule. Then, we perform the inverse *Laplace* transform by means of decompositions to partial fractions, and finally, using the operators, we determine deflections as time functions:

$$\begin{aligned} z_1(t) &= \frac{h \cdot c_1}{m_1 \cdot m_2} \cdot \left[\frac{c_2}{\Omega_1^2 \cdot \Omega_2^2} + \frac{c_2 - m_2 \cdot \Omega_1^2}{\Omega_1^2 \cdot (\Omega_1^2 - \Omega_2^2)} \cdot \cos(\Omega_1 \cdot t) \right] \\ &\quad + \frac{h \cdot c_1}{m_1 \cdot m_2} \cdot \left[\frac{m_2 \cdot \Omega_2^2 - c_2}{\Omega_2^2 \cdot (\Omega_1^2 - \Omega_2^2)} \cdot \cos(\Omega_2 \cdot t) \right], \quad (4) \\ z_2(t) &= \frac{h \cdot c_1 \cdot c_2}{m_1 \cdot m_2} \cdot \left[\frac{1}{\Omega_1^2 \cdot \Omega_2^2} + \frac{1}{\Omega_1^2 \cdot (\Omega_1^2 - \Omega_2^2)} \cdot \cos(\Omega_1 \cdot t) \right] \\ &\quad + \frac{h \cdot c_1 \cdot c_2}{m_1 \cdot m_2} \cdot \left[\frac{1}{\Omega_2^2 \cdot (\Omega_1^2 - \Omega_2^2)} \cdot \cos(\Omega_2 \cdot t) \right] \end{aligned}$$

2 SIMULATIONS AND RESULTS

Simulation computations were performed in a commercial simulation package *Simpack*. This software allows to set up mechanical systems of various types, from simplified model of vehicles (road, railway) [15], their construction units [16, 17], to quite complicated vehicle combination, such as an articulated truck train, train-set etc. [18, 19]. In our case, we have created a multibody model (*MBS*) of an off-road vehicle. There is so-called a full-vehicle model, i.e. a spatial vehicle model. The *MBS* vehicle model consists of rigid bodies, which are connected to each other by means of mechanical couplings (joints), kinematic couplings (constraints) and force elements (coil springs, dampers). The vehicle is equipped by an independent front axle and a solid rear axle.

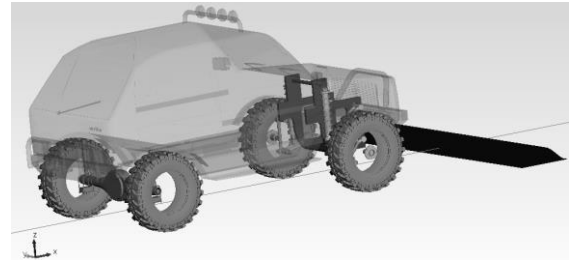


Fig. 2. An illustration of a *MBS* model of the investigated off-road vehicle in the *Simpack* software

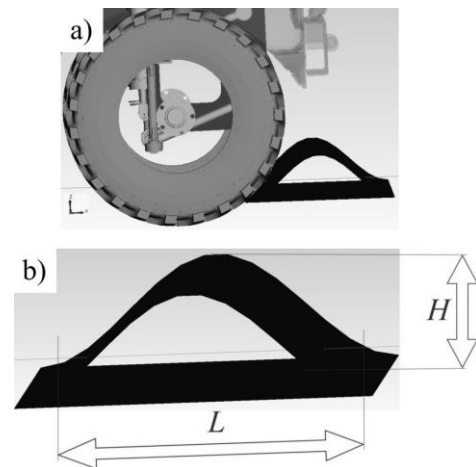


Fig. 3. The detail of the off-road vehicle passage through an individual road irregularity a), parameters of an individual road irregularity b)

Figure 2 shows the investigated vehicle model created in the *Simpack* software. A detail of a vehicle front axle, when it is passing through an individual road irregularity is shown in Fig. 3a and parameters of the considered road irregularity are depicted in Fig. 3b.

There have been performed number of simulations for various combinations of vehicle speeds and road irregularity dimensions, from which, only some illustrative results are selected. The obtained results are shown in Fig. 4. It includes graphs of the total vertical wheel forces, which are arranged as following: the first row consist of waveforms for the height of the road irregularity H of 100 mm and the second row for the height of 200 mm. The length of the road irregularity L has always been of 300 mm. Three driving speeds of the vehicle have been selected for evaluation of results, namely for $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ and $80 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

even road. The force on the even road has the value of 3.696 kN and this value correspond to the wheel static load. As we can observe on all six graphs, the value of 3.696 kN is valid for all investigated cases. In case of the irregularity height of 200 mm, the vertical wheel force is increasing up to the value of 44.7 kN, which is practically twice previous value.

The running speed of $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ leads to different waveforms of the vertical wheel force. While the maximal values of the forces are almost the same with the speed of $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, in this case, we can recognize greater excitation of the wheel (i.e. also the vehicle) after the passage of the road irregularity. However, there is more important the fact, that the minimal value of the vertical wheel forces for both heights of 100 mm and 200 mm at the speed of $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ equal to zero. This is the negative effect of the observed driving conditions, because zero vertical wheel force means impossibility of

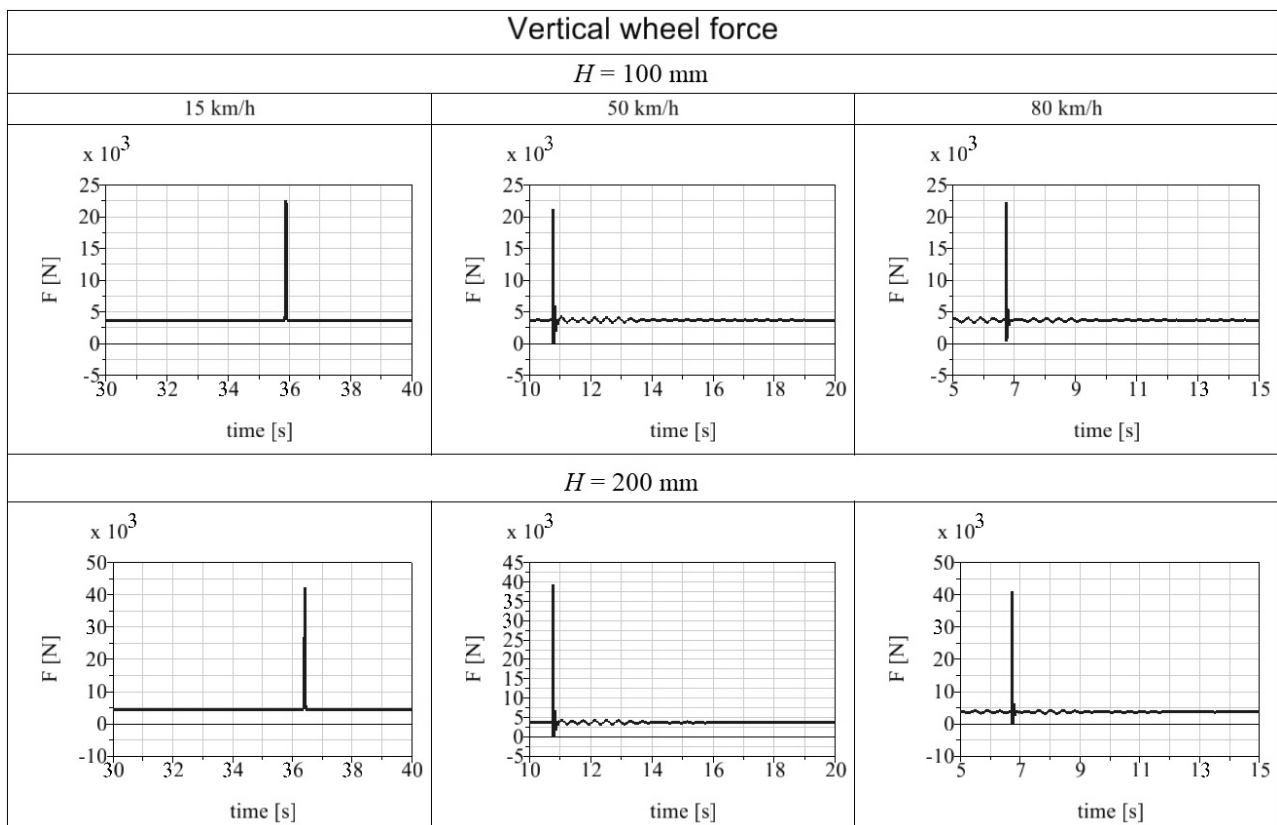


Fig. 4. Waveforms of the vertical wheel forces for different driving speeds (15 km/h, 50 km/h, 80 km/h) and for two height of the road irregularity (100 mm, 200 mm)

Let's to evaluate the results of the full-vehicle model through the individual road irregularity.

When the vehicle runs through the road irregularity at the speed of $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, in the moment of passage, the total vertical force is increasing. This phenomenon occurs for all running cases. The maximal value of the total vertical wheel force for the irregularity height of 100 mm is about 22.6 kN, which represents more than six times the force on the

transmission of driving forces, but mainly the lateral and braking forces. If the vehicle would be in such a situation in the reality, it would lose handling and steerability.

Finally, we evaluate the results for the running speed of $80 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. This speed is quite high and is considered for comparing with a vehicle running at lower speeds. As we can see, higher running speed leads to more significant excitation of the vehicle in

the transition area of the vehicle through the irregularity. Regarding to maximal and minimal values, the maximal values are similar to the previous investigated running cases. The maximal and minimal values of the vertical wheel force for the running speed of $80 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ also equal to zero.

CONCLUSION

The vehicle dynamics is an important field and still current topic, which has to be still investigated. It is influenced mainly by running speed and road quality. Lower road quality in combination with high running speed contribute to deterioration of handling and steerability of a vehicle. It is caused by the fact that vertical wheel force of a vehicle directly depends on the mentioned parameters. The decreased vertical wheel force relates with low ability to transmit drive, lateral and braking forces and negatively influences the vehicle safety.

Acknowledgment

This work was supported by the Cultural and Educational Grant Agency of the Ministry of Education of the Slovak Republic in the project No. KEGA 023ŽU-4/2020: Development of advanced virtual models for studying and investigation of transport means operation characteristics.

REFERENCES

- [1] VLK, F. (2006): *Chassis of engine vehicles* (In Czech). Brno: František Vlk Publishing. ISBN: 80-239-6464-X.
- [2] BRÁT, V. - STEJSKAL, V. - VOTÍPKA, F. (1980): *Fundamentals of dynamics of machines and structures* (In Czech). Praha: Vydavatelství ČVUT.
- [3] SHABANA, A. A. - ZAAZAA, K. E. - UGIYAMA (2007): *Railroad Vehicle Dynamics: A Computational Approach*. Boca Raton: Taylor & Francis Group, CRC Press. ISBN 978-1420-0458-19.
- [4] SOUKUP, J. - SKOČILAS, J. - SKOČILASOVÁ, B. - DÍŽO, J. (2017): *Vertical vibration of two axle railway vehicle*. Procedia Engineering, Vol. 177, pp. 25-32.
- [5] DÍŽO, J. - BLATNICKÝ, M. (2016): *Use of multibody system dynamics as a tool for rail vehicle behaviour diagnostics*. Diagnostyka, Vol. 17, No. 2, pp. 9-16. ISSN 1641-6414.
- [6] JAZAR, R. N. (2008): *Vehicle Dynamics. Theory and Application*. New York: Springer Science+Business Media, LLC. ISBN 978-80-8070-662-3.
- [7] VLK, F. (2001): *Exercises of the engine vehicles dynamics*. Brno: František Vlk. ISBN 80-238-6574-9.

- [8] LOVSKAYA, A. - GERLICI, J. - FOMIN, O. - KRAVCHENKO, K. - FOMINA, J. V. - LACK, T. (2020): *Special aspects of determining the dynamic load of the tank container during its transportation in an integrated train set by a railway ferry*. In: TRANSBALTICA 11: transportation science and technology: proceedings of the international conference, 1. vyd., Cham: Springer Nature, pp. 581-590, ISBN 978-3-030-38665-8.
- [9] GERLICI, J. - FOMINA, J. V. - KRAVCHENKO, K. (2021): *The dependence of the brake disc aerodynamic drag on the rolling stock motion speed*. In: 14th International scientific conference on sustainable, modern and safe transport. 1. vyd., Amsterdam: Elsevier, pp. 723-730, ISSN 2352-1465.
- [10] GORBUNOV, M. I. - GERLICI, J. - KRAVCHENKO, K. - BUREIKA, G. - STEIŠŪNAS, S. - LACK, T. (2019): *Theoretical and practical aspects of development second stage spring suspension*. In: Visnyk schidnoukrajinskoho nacional'noho universytetu imeni Volodymyra Daľa, č. 3, pp. 9-20, ISSN 1998-7927.
- [11] SUCHÁNEK, A. - KNAP, S. - MORAVČÍK, M. - ŠTASTNIAK, P. (2021): *Analysis of wagon's ability to safely pass through selected curves on the track*. In: Technológ, Roč. 13, č. 3, pp. 74-79, ISSN 1337-8996.
- [12] HARUŠINEC, J. - SUCHÁNEK, A. - ŠTASTNIAK, P. - STRÁŽOVEC, P. (2018): *Brake actuator optimization of the brake test stand as a tool for improvement railway safety*. In: Horizons of Railway Transport 2018, 1. vyd., Londýn: Édition Diffusion Presse Sciences, pp. 1-6, ISSN 2261-236X.
- [13] SUCHÁNEK, A. - HARUŠINEC, J. - ŠTASTNIAK, P. (2015): *Zisťovanie štruktúrnych vlastností brzdeného železničného kolesa nákladného vagóna*. In: Inovácie v koncepcii, konštrukcii, výrobe a skúšaní nákladných vagónov II: 29.-30. Január, Žilina: zborník prednášok, Žilinská univerzita v Žiline, pp. 81-86, ISBN 978-80-554-0980-1.
- [14] GREGA, R. - JAKUBOVIČOVÁ, L. - SÁGA, M. (2020): *The requirements for the design of dual-mass flywheels*. In: 24th Slovak-Polish International Scientific Conference on Machine Modelling and Simulations, roč. 776, 1. vyd., Bristol: IOP Publishing, pp. 1-7, ISSN 1757-8981.
- [15] KRAJŇÁK, J. - GREGA, R. - MANTIČ, M. - SÁGA, M. - JAKUBOVIČOVÁ, L. (2019): *Application of flexible elements in technological equipment and the temperature impact on their function*. In: Technológ, Roč. 11, č. 3, pp. 21-26, ISSN 1337-8996.

Chyby ingotov a možnosti ich eliminácie

Elena Kantoríková, Ing. PhD.*

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: elena.kantorikova@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2763

Ján Moravec, doc. Ing., PhD.

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: jan.moravec@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2764

Ingot errors and possibilities of their elimination

Abstract: The paper deals with the production of forging ingots. The basic and necessary data that shed light on the issue are given. The text of the paper presents some selected errors arising in the production of ingots and the possibility of their elimination. The text of the paper is supplemented by pictures and the necessary mathematical relations describing the process.

ÚVOD

V technologickej praxi sú hľadané také metódy a spôsoby, ktoré dokážu zabezpečiť porovnateľne využiteľné parametre pre reálny proces získané pri experimentoch.

V nasledujúcom texte je pozornosť venovaná jednému zo spôsobov umožňujúcich objasniť vznik stiahnutiny v tele ingotu a tiež štúdium procesu tuhnutia a zmrašťovania. Takisto je pozornosť venovaná tvorbe šupín a problematike veľkosti stratenej hlavy ingotu.

Už dávnejšie boli urobené experimentálne práce využívajúce ľahko tavitelné materiály, o čom píšeme v kapitole experimentálne práce. Práce publikované v minulosti venujúce sa tomuto fenoménu sú uvedené v knihe od autora Šmrha, L.: *Tuhnutí a krystalizace ocelových ingotů* z roku 1983. Takisto aj Šmrha, L. - Chvojka, J.: *Hutnické listy* 63/9 a tiež Šmrha, L.: *Slévarenství* 10/62, č. 7 s. 245-249. James, W. - Middleton, R.: *British Foundryman*, January /58, pp. 36-46 [4]. Rovnako publikoval tieto príspevky o preberanej problematike: Moravec, J.: *Overovanie tvorby stiahnutiny v ocelovom ingote v laboratórnych podmienkach*, *Ocelári Steelcon 2016, Rožnov pod Radhoštěm* 31. 3.-1.4., strany 48-54., *Odlievanie ingotov z modelového materiálu v laboratórnych podmienkach*, *Ocelári Steelcon 2017, Rožnov pod Radhoštěm* 30. 3.-31.3., strany 48-54, *Verification of Shrinkage Formation in Steel Ingots in Laboratory Conditions, Communications*, volume 19, No. 2A/2017, pp. 15-22, ISSN 1335-4205.

Uvádzanej problematike sa venujeme z pohľadu odberateľa hotového ingotu. Je neodškriepiteľným faktom, že jestvuje priama závislosť medzi kvalitou

polovýrobku a výsledným produktom. Aj z tohto dôvodu sme napísali uvedený príspevok a veríme, že pomôže záujemcom pochopiť nerozlučiteľnosť tohto reťazca kvality.

1 VŠEOBECNE

Zovšeobecnenie vzťahov pre určenie rastu tuhej kôry ocele v kokile kruhového prierezu uskutočnil na základe uverejnených prác a vlastných výsledkov B. Guljajev [9] ktorý vychádza ako väčšina bádateľov zo všeobecného riešenie *Fourierovej* rovnice pre nestacionárne vedenie tepla. Konštatuje, že ak má byť riešenie prakticky použiteľné, vyžaduje korekčné členy na konečné rozmery kokily (v teoretickom riešení predpokladá nekonečný alebo polokonečný rozmer), ďalej na nestálosť teploty rozhrania medzi ingotom a kokilou a nakoniec na prenos tepla v tavenine prúdením. Pre priebeh tuhnutia ingotu uvádza parabolický vzťah medzi hrúbkou stuhnutej ocele ξ a dobou τ , ktorý platí až do vzdialenosti $0,75 \cdot R$ (od povrchu kokily):

$$\xi = k \cdot \sqrt{\tau}, \quad (1)$$

kde k je konštanta tuhnutia $2,6 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-\frac{1}{2}}$.

Priebeh tuhnutia kruhového ingotu sa určí z nasledujúcej úvahy:

- Pri tuhnutí vrstvy s hrúbkou a jednotkovej výšky sa uvoľní teplo Q_1 :

$$Q_1 = L \cdot \rho \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2) \text{ [J]}, \quad (2)$$

kde R je polomer ingotu,

r je polomer tekutého jadra ingotu,

L - skupenské teplo tuhnutia,

ρ - hustota ocele.

- Z povrchu sa odvedie teplo Q_2 :

$$Q_2 = \pi \cdot R \cdot c \cdot \rho \cdot (t_p - t_0) \cdot \psi \cdot (F_0 - B_i) \quad [J], \quad (3)$$

kde t_p je teplota povrchu ingotu,

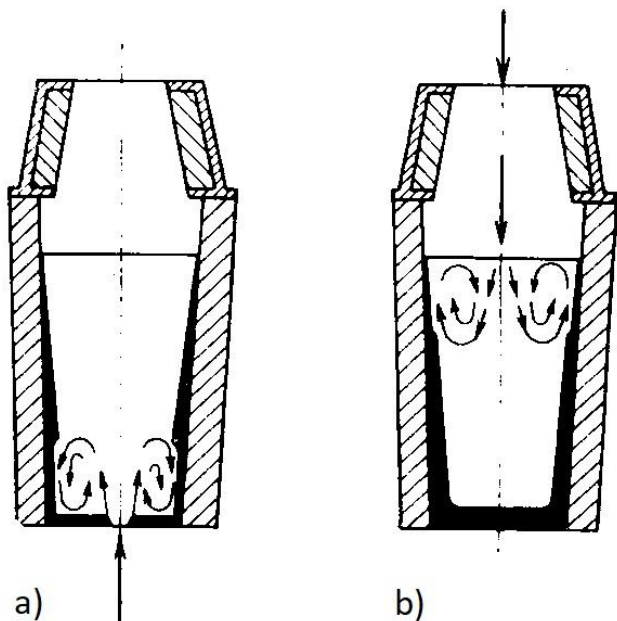
t_0 - teplota okolitého prostredia.

Z pohľadu teórie tuhnutia a kryštalizácie je najvýhodnejšie odlievanie rozmerovo najmenších ingotov. Je to vtedy, ak je cieľom dosiahnuť optimálnu homogenitu - chemickú aj štruktúrnú. Praktická výroba ocelových ingotov je náročný technicko-organizačný proces a problém, závislý od viacerých činiteľov, ako sú napr.:

1. Základný druh odlievanej ocele (upokojenej a neupokojenej).
2. Požadovaný tvar ingotu pre ďalšie spracovanie.
3. Chemické zloženie materiálu.
4. Veľkosť výrobného agregátu.
5. Cyklus prípravy kokilových súprav.
6. Spôsob odlievania ingotov (spodkom, vrchom).
7. Počet typov ingotov.
8. Výrobná kapacita (kováčne).

1.1 Liatie ocele do kokíl

Existujú tri základné využívané spôsoby liatia ocele do kokily (obr. 1).



Obr. 1. Schematické znázornenie postupu tuhnutia kôry ingotu pri odlievaní zospodu a) a pri odlievaní vrchom b).

Sú to tieto spôsoby:

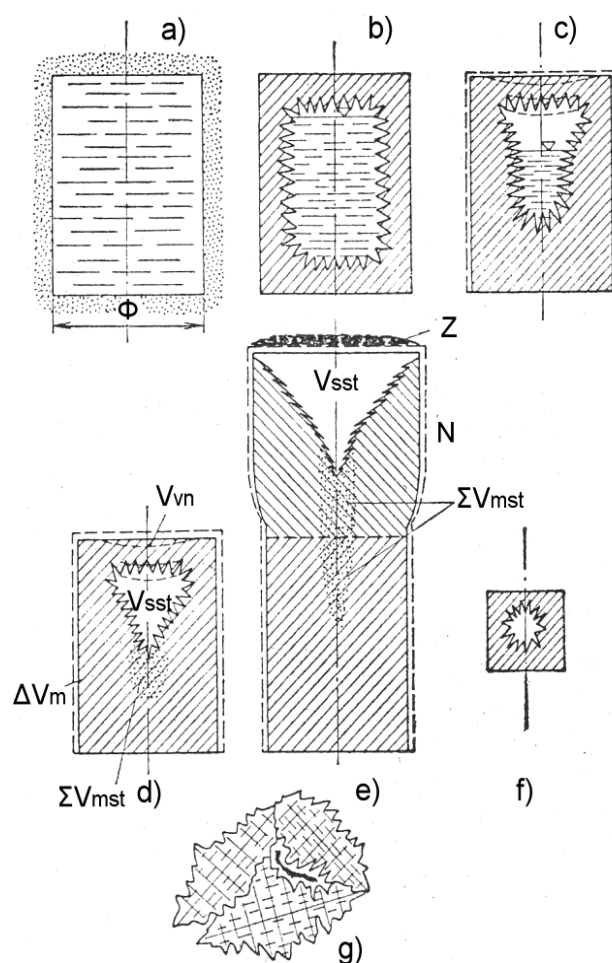
1. Vrchom - do kokily sa leje roztavená oceľ priamo z liacej panvy. Kvalita výsledného ingotu je nižšia, pretože pri odlievaní oceľ strieka, čím sa okysličuje, rozstreknutá oceľ padá naspäť do kokily.

2. Spodkom - je to komplikovanejší a drahší spôsob vyžadujúci liaciu sústavu kanálov. Takto vyrobená oceľ je po stuhnutí čistejšia. Metóda je preto používaná pri liatí kvalitných ocelí.
3. Kontinuálne liatie - oceľ sa odlieva do chladeného zariadenia bez dna, tzv. kryštalizátora. Z druhého konca vychádza už stuhnutá, ale ešte tvárna oceľová tyč. Následne sa delí na požadovanú dĺžku.

2 TECHNOLOGICKÉ PODMIENKY

2.1 Mechanizmus tvorby stiahnutiny

Tvorba stiahnutiny sa dá vysvetliť podľa obr. 2, ktorý predstavuje osový rez odliatkom plného valca bez náliatku (štádia na obr. 2a obr. 2d) a na plnom valci s náliatkom (obr. 2e).



Obr. 2. Mechanizmus postupu sťahovania objemu

Štádium a: Zachytáva stav v okamihu odlitia: dutina formy je vyplnená taveninou.

Štádium b: Tavenina chladne od formy, preto pri povrchu odliatku je už vytvorená stuhnutá kôra a vo vnútri kôry je tavenina. Začína sa prejavovať prevaha úbytku objemu $\Delta V_I + \Delta V_{II}$ nad ΔV_{III} , preto sa na vrchu oddeľuje hladina taveniny od hornej stuhnutej kôry.

Štádium c: Hrúbka hornej kôry nepribúda, v miestach styku kôry s taveninou naďalej pribúda. Nesúlad medzi $\Delta V_I + \Delta V_{II}$ na jednej strane a ΔV_{III} na strane druhej sa prehĺbuje, preto má dutina už väčší objem. Na hornú vodorovnú doposiaľ žeravú kôru pôsobí z vnútra podtlak, z vonku atmosférický tlak, preto sa kôra môže prehnúť dovnútra.

Štádium d: Koniec rastu stiahnutiny. Tavenina vymizla, v telese zostáva dutina - stiahnutina. Vonkajšia svetlosť odliatku sa znateľne zmenšila oproti pôvodnému naliatemu objemu taveniny. Je nutné pripomenúť, že celkový objem stiahnutiny V_{ST} sa má rozlišovať od objemu sústredenej stiahnutiny alebo makrostiahnutiny V_{sst} , od objemu vonkajšej stiahnutiny V_{vn} a súčtového objemu rozptýlenej zmrašťovacej pórovitosti ΣV_{mst} ktorá sa tvorí v určitej oblasti pod stiahnutinou. Prítom platí:

$$V_{st} = V_{sst} + V_{vn} + \Sigma V_{mst} \quad (4)$$

Aby sa predišlo vytvoreniu stiahnutiny v odliatku, pripojí sa k odliatku náliatok N s určitým objemom taveniny a s modulom väčšom, než je modul odliatku (obr. 2e) Odleje sa teda odliatok i s náliatkom a hladina kovu v náliatku sa zasype exotermickým prostriedkom, aby čo najdlhšie vydržala tekutá („netuhnúca hladina“). Sústredená stiahnutina V_{sst} sa potom vytvorí v náliatku a pod ňou je oblasť zachvátená zmrašťovacou pórovitosťou ΣV_{mst} .

Poloha stiahnutiny v hornej časti liateho útvaru je výsledkom účinku gravitácie, ktorej podlieha premiestňovanie taveniny pri tuhnutí a sťahovaní. Jej vplyv prevláda, ak ide o makroobjem taveniny. V tom prípade ustupuje vplyv kapilárnych síl do pozadia.

2.2 Podstata vzniku trhlín

2.2.1 Voľné zmrašťovanie materiálu

Tuhá fáza ocelí ihneď od svojho vzniku znižuje svoj objem pri chladnutí, pričom jej nepatrné predzmrašťovacie rozťahnutie nemá v podstate význam. Priebeh zmrašťovania zliatin od odliatia až do vychladnutia sa dá zisťovať zlievarenským dilatometrom. Táto skúška sleduje skracovanie skúšobnej odliatej tyče a poskytuje závislosti $t-\tau$ (zmena teploty tyče s časom) a $\Delta l-\tau$ (zmena mernej dĺžky tyče s časom). Z týchto závislostí sa dá podľa *J. Příbyla 1986, str. 347* vytvoriť závislosť $t-\Delta l$. [9]

Z týchto dvoch závislostí je vytvorená závislosť $t-\Delta l$ (*Příbyl, J. 1986 s. 347, obr. 157*) [6]. Závislosť $t-\Delta l$ u uhlíkových ocelí s rôznym obsahom C je v [6], s. 348. Každéj teplote odpovedá určitá voľná dĺžka tyče (t. j. bez napätia). Z tejto závislosti by sa dali vytvoriť závislosti $t-\tau$ a $\Delta l-\tau$ v zmysle obr. 157 cit. diela aj pre ďalšie druhy ocelí.

Vznik pnutí sa podrobne vysvetľuje v práci od citovaného autora. Dĺžka tyče v liatom stave je l . Jej brzdené (skutočné) zmrašťovanie prebieha podľa krivky b (brzdené zmrašťovanie). V zvolenom okamihu τ_1 je rozdiel v dĺžke voľného a brzdeného zmrašťovania tyče l_b-l_v , t. j. $\Delta l_b-\Delta l_v$. Od tohto rozdielu je nutné odpočítať zodpovedajúce plastické predĺženie (ťažnosť) tyče Δl_p v okamihu τ_1 . Všeobecný vzťah pre zmrašťovacie pnutia (exogénne) v ťahu σ_t je možné napísať:

$$\sigma_t = \frac{l_b - l_v - \Delta l_p}{l} \cdot E = \frac{\Delta l_v - \Delta l_b - \Delta l_p}{l} \cdot E, \quad (5)$$

príčom E je modul pružnosti pri zodpovedajúcej teplote.

Nekonvenčne vyjadrený čitateľ zlomku prihliada k podielu pružných (l_p-l_v) i plastických (Δl_p) deformácií. Zo vzťahu vyplýva, že čím väčšie je Δl_p , tým viac sa znižuje hodnota pnutia. Keď $l_b-l_v-\Delta l_p=0$, vychádza nulové pnutie a krivka c sa stotožňuje s krivkou b . Z tepelného hľadiska platí:

$$\varepsilon = \alpha \cdot \Delta t, \quad (6)$$

príčom ε je pomerné pružné predĺženie:

$$\varepsilon = \frac{l_b - l_v}{l}, \quad (7)$$

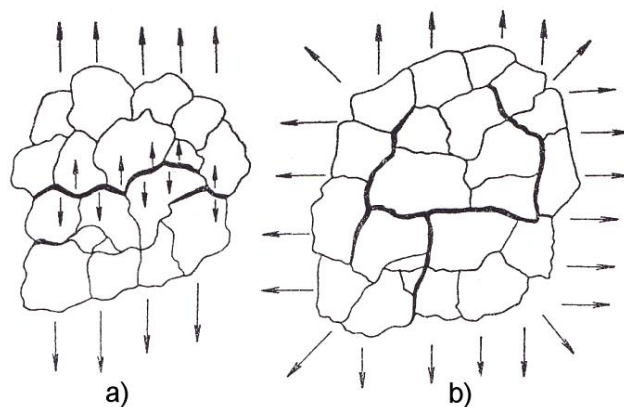
kde α - teplotný súčiniteľ dĺžkovej rozťažnosti,

Δt - rozdiel teplôt (vyjadruje nehomogenitu teplotného poľa).

Dosadením týchto hodnôt do rovnice (3) vychádza:

$$\sigma_t = \left(\alpha \cdot \Delta t - \frac{\Delta l_p}{l} \right). \quad (8)$$

Rovnica je vhodná pre stanovenie vlastného pnutia. Modul pružnosti E v oboch rovniciach je problematický, pretože jeho hodnota sa pri solide nedá stanoviť, ale iba veľmi nahrubo predpokladať. Napriek tomu je z vzťahov možná predstava o kvantitatívnej stránke pnutia. Na obr. 3 je priebeh trhlín v súvislosti so smerom ťahového napätia.



Obr. 3. Priebeh trhlín v súvislosti so smerom ťahového napätia

Bol sledovaný proces tuhnutia ingotu v modelovej kokile pri uložení danej kokily v dvoch polohách. Na grafe sa dá pozorovať priebeh teplôt snímaných tromi snímačmi počas 40 minút. Pri odlievacej teplote stearínu (58 °C) vidieť, že, vnútorná stiahnutina je menšia. Úplné odstránenie stiahnutiny by bolo možné náliatkovaním. Materiál do procesov tvárnenia (kovanie) je dodávaný práve vo forme odliatkov, čiže toho sa tvárnenie bytostne dotýka a je potrebné sa venovať tomuto fenoménu, ktorý už v prvom vstupe ovplyvní výslednú kvalitu výtvarkov [10-15].

3 CHYBY A NEDOSTATKY KVALITY PRODUKOVANÝCH INGOTOV

3.1 Mechanizmus vzniku šupín

Šupiny (pleny) sú veľmi rozšírenou chybou ingotu, i keď to nie je vždy dôvod zmätkovať ingot. Najmä u ingotov odlievaných zhora je táto vada príčinou zvýšeného odpadu pri valcovaní ingotov, alebo príčinou vyšších nákladov na čistenie ingotov alebo vývalkov. Pri odlievaní kováčskych ingotov, kde sa spravidla nad váhou ingotov asi 5·t odlieva vrchom, bežný výskyt šupín väčšinou neprekáča, pretože časť povrchových šupín sa odstráni väčším zokujením povrchu a hĺbka šupín nebýva väčšia ako hrúbka kováčskeho prídavku pre mechanické obrábanie výkovku. Odlievanie ingotov vrchom je sprevádzané rozstretom dopadajúceho prúdu ocele. Veľkosť rozstretu je daná kinetickou energiou dopadajúceho prúdu ocele, tvarom prúdu ocele a tvarom spodnej časti kokily. Kvapky ocele, ktoré prilnú na stenu kokily, rýchlo tuhnú a ich povrch sa môže oksyločovať. Časť kvapiek vznikajúcich rozstretom, ktorá je najbližšie k hladine ocele, nemá čas sa za krátku dobu letu oksyločovať a opäť sa v oceli rozpustí. Množstvo týchto kvapiek je tým menšia, čím pomalšie je stúpanie hladiny ocele. S väčšou rýchlosťou liatia množstvo týchto rozpustených kvapiek síce rastie, zvyšuje sa však zároveň i rozstrek ocele.

Pre výpočet rozpustenia kvapiek ocele a tvorbu šupín v závislosti od rýchlosti liatia pri liati vrchom možno použiť tento vzťah:

$$H = R \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$\omega = \frac{R \cdot \operatorname{tg} \alpha}{z}, \quad (9)$$

kde ω je rýchlosť stúpania hladiny ocele v kokile [$\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$],

h - výška vystrekovania kvapiek [cm],

R - polomer kokily [cm],

α - uhol smeru kvapiek k hladine oceli, závisí od konštrukcie kokily a od kinetickej energie prúdu ocele,

z - doba oksyločenia ocele [min].

Ak sa dosadí hodnota pre dobu oxidácie ocele z uvedenej rovnice do rovnice pre rýchlosť oksyločenia tuhnucej ocele bude α [$\text{g} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$]:

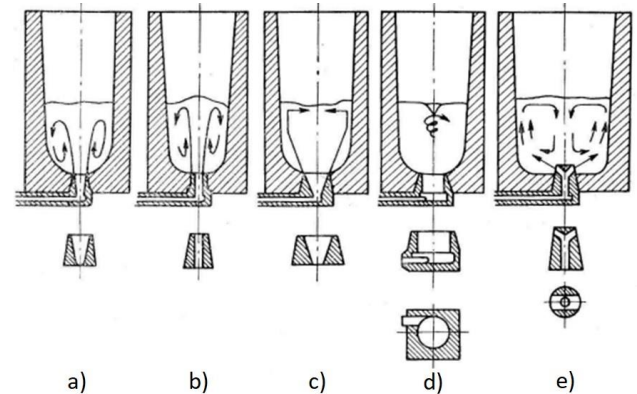
$$\alpha = \frac{6,3 \cdot \sqrt{z}}{7,8 \cdot e \cdot \frac{9000}{T}} = \frac{6,3 \cdot \sqrt{R \cdot \operatorname{tg} \alpha}}{7,8 \cdot e \cdot \frac{9000}{T} \cdot T \cdot \sqrt{W}}, \quad (10)$$

kde T je teplota ochladzovanej ocele.

Táto závislosť ukazuje, že zmenšenie oksyločenia kvapiek ocele na stenách kokily a zníženie množstva šupín na ingote je priaznivejšie pri vyššej rýchlosti liatia a pri zmenšení prierezu ingotu, ak neuvažujeme zástrek stien kokily priamym dopadom kvapiek rozštiepeného prúdu ocele. Rýchlosť odlievania, pri ktorej sa rozpúšťajú kvapky dopadajúce na stenu kokily, je daná vzorcom:

$$W = \frac{40 \cdot R \cdot \operatorname{tg} \alpha}{60 \cdot a^2 \cdot s \cdot \frac{1800}{T}} \quad [\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}]. \quad (11)$$

Na tvorbu šupín má vplyv stav stien kokíl, predovšetkým ich náter. Náter kokily tvorí izolujúcu vrstvu, tým spomaľuje tuhnutie kvapiek, umožňuje odrážanie kvapiek ocele a rozstretu na hladinu ocele a umožňuje tak ich rozpustenie a vytvorená redukčná atmosféra spomaľuje ich oxidáciu.



Obr. 4. Rôzne druhy vtokov pri odlievaní ocele spodom do uzavretých kokíl. a) difúzny vtok, b) valcovitý vtok, c) difúzny vtok s väčším uhlom sklonu, d) tangenciálny vtok e) rozvetvený vtok

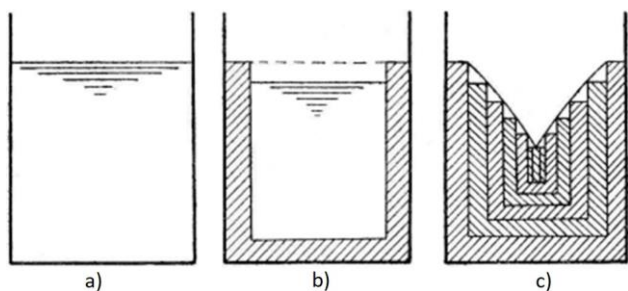
3.2 Vznik stiahnutí a osových riedin

Vznik stiahnutiny súvisí so zmenšovaním objemu ocele už pri znižovaní teploty z teploty liatia na teplotu likvidu, a predovšetkým v intervale tuhnutia v oblasti medzi likvidom a solidom.

Mechanizmus vzniku stiahnutiny býva schematicky znázornený ako postup, ktorý predpokladá chladiaci vplyv iba stien kokily a priebeh tuhnutia sa znázorňuje v jednotlivých časových úsekoch, po ktorých sa vždy hladina zvyšovacieho kovu zníži, až vznikne dutina približne kužeľovitého tvaru.

Stiahnutina v ingote vzniká vždy v mieste, kde sa kov udržuje najdlhšie tekutý. Najdlhšie sa tekutá oceľ udržuje v tzv. teplom centre ingotu a z tohto

miesta sa tekutá oceľ ako zo zásobníka dostáva do miest, kde pri tuhnutí nastal úbytok objemu. Tepelné centrum ingotu leží obvykle v hornej časti ingotu.



Obr. 5. Schematicky znázornený vznik stiahnutí a) kokila naplnená oceľou, b) počiatok tuhnutia ingotu, c) koniec tuhnutia ingotu

Stiahnutina a riediny v ingote zaujímajú pri uhlíkovej oceli priemerne 3,0 ÷ 3,5 %, teda menej, ako je skutočné zmrštenie ocele. Časť zmenšenia objemu ocele zmršťovaním pripadá na celkové zmrštenie ingotu a časť tiež na vznikajúce medzidendritické mikrodutiny. Okolo stiahnutiny a predovšetkým v jej pokračovaní v osi ingotu pri neovplyvnenom tuhnutí ingotu vznikajú riediny a pórovitosť. Riediny pod stiahnutinou vznikajú podobne ako stiahnutiny pri tuhnutí posledných zvyškov ocele, kedy sa už nedostáva tekutej ocele k vyplneniu vnútorných dutín. Úlohou zlievača je dosiahnuť usmernené tuhnutie v pozdĺžnom smere, a tým vytvoriť v ingote stiahnutinu, ktorá tvorí iba jedinou dutinu, je sústredená v najvyššej časti ingotu a zasahuje do čo najmenej hĺbky tak, aby ingot bol ňou bez riedin a pórovitosti. Aby bolo možné toto dosiahnuť, bolo vyvinuté niekoľko spôsobov, ako udržať oceľ v hornej časti ingotu čo najdlhšie tekutú.

Ak sa má zabrániť tomu, aby stiahnutina zasahovala do tela ingotu, je potrebné poznať zákonitosti, ktorými sa vytváranie stiahnutiny riadi. Veľkosť a tvar stiahnutiny závisí od veľa vplyvov. Rozdeľujú sa na vplyvy dané pecnou technológiou - dezoxidácia ocele, teplota ocele - a na vplyv daný technológiou liatia - geometria a tvar ingotu, rýchlosť odlievania, spôsob liatia, spôsob ošetrenia hlavy ingotu a pod., ako aj vplyv chemického zloženia ocele. Vymenovaním len niektorých hlavných činiteľov ukazuje zložitosť pri stanovení veľkosti stiahnutiny.

K hlavným vplyvom, ktoré sa uplatňujú pri tvorbe stiahnutiny, sa prihliada pri výpočte tzv. kritickej hlavy, t. j. hlavy, pri ktorej siaha stiahnutina k rozhraniu kokila - hlavový nastavec. Niektoré rovnice pre výpočet hlavy ingotov sú nesprávne, pretože zanedbávajú výmenu tepla medzi základnou hlavou a telom ingotu. Ak sa uvažuje aj táto časť tepla odvedeného z hlavy ingotu, potom je celkové odvedené teplo z hlavy ingotu:

$$Q = (q_1 \cdot S_1 + q_2 \cdot S_2 + q_3 \cdot S_3) \cdot \sqrt{T_i}, \quad (12)$$

kde S_1 je plocha hornej základnej hlavy [cm²],
 S_2 - plocha spodnej základnej hlavy [cm²],
 S_3 - bočná plocha hlavy [cm²],

q_1, q_2, q_3 - súčinitele odvádzania tepla cez jednotlivé povrchy hlavového nastavca [kcal·cm⁻²·min^{-1/2}],

T_i - doba tuhnutia ingotu [min].

Množstvo odvedeného tepla Q sa rovná teplu vybavenému tuhnutím ocele v hlavovom nastavci, teplu prehriatia ocele nad likvidom a fyzikálnemu teplu odvádzanému zo stuhnutej vrstvy ocele v hlavovom nastavci. Výsledná rovnica má potom tvar:

$$\frac{V_n}{V_i} = \frac{\left[\alpha \cdot \gamma_1 \cdot c_1 \cdot \left(\frac{L \cdot \gamma_0}{\gamma_1 \cdot c_1} + l_k - l_p \right) \right] \cdot \left(1 - \frac{V_1}{V_i} \right)}{\gamma_0 \cdot L \cdot \left[(1 - \alpha) + \frac{\Delta T \cdot c}{L} \right] + \gamma_1 \cdot c_1 \cdot \left[l_k \cdot (1 - \alpha) \right] - \frac{q_{ef}}{k_{ef}}}, \quad (13)$$

$$\text{kde } e = \frac{D}{2} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{T_1}{T_2}} \right),$$

$$V_1 = \pi \cdot H \cdot (D \cdot e - e^2), \quad (14)$$

kde V_n je objem hlavy po odliatí [cm³],

V_i - objem tela ingotu po odliatí [cm³],

e - hrúbka zatuhnutej vrstvy ocele počas odlievania [cm],

H - výška ingotu [cm],

D - max. priemer ingotu [cm],

T_1 - max. doba odlievania [min],

T_2 - doba tuhnutia tela ingotu [min],

A - súčiniteľ zmrštenia ocele,

L - latentné teplo tuhnutia ocele,

T - prehriatie nad likvidom [°C],

γ_0 - merná hmotnosť tekutej ocele [g·cm⁻³],

γ_1 - merná hmotnosť ocele pod teplotou solidu [g·cm⁻³],

c - merné teplo tekutej ocele [cal·g⁻¹·°C⁻¹],

c_1 - merné teplo ocele pod teplotou solidu [cal·g⁻¹·°C⁻¹],

t_k - teplota kryštalizácie ocele [°C],

t_p - teplota na vnútornom povrchu hlavového nastavca [°C],

q_{ef} - súčiniteľ zahrňujúci súčinitele q_1, q_2, q_3 [cal·cm⁻²·min^{-1/2}],

k_{ef} - súčiniteľ tuhnutia ocele v hlavnom nastavci [cm·min^{-1/2}],

V_1 - objem ocele stuhnutej počas odlievania [cm³].

Uvedená rovnica pre výpočet kritickej hlavy ingotu je jedna z radu používaných rovníc. Rovnica platí pre ingoty so štvorcovým a kruhovým prierezom

a pre kováčske ingoty, pre bočníkové ingoty je nutné rovnicu doplniť vplyvom šírky bočníkového prierezu. V rovnici nie je uvažované s vplyvom rozmeru hlavy ingotu, a preto sa pri väčšom úkose hlavy a väčšom rozdiel prierezu spodnej časti hlavy a hornej časti tela, musia sa pre presnejší výpočet doplniť do rovnice aj tieto rozmerové parametre.

Pri určení súčiniteľa q_1 , q_2 , a q_3 je možné vychádzať zo staršej práce G. Fentona [16], ktorý stanovil rozdelenie tepelného toku Q pri liati ocele do hlavového nástavca so šamotovou výmurovkou. Pri hlave zasypanej izolačným zásypom je tepelný tok cez hornú plochu hlavy (Q_1), dolnú plochu hlavy (Q_2) a bočnú plochu hlavy (Q_3):

$$Q_1 = 5,3 \% \quad Q_2 = 8,0 \% \quad Q_3 = 86,7 \% \quad (15)$$

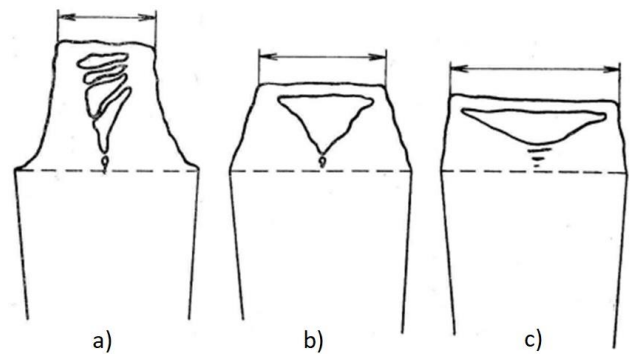
Tieto hodnoty ukazujú, že pri dobrej tepelnej izolácii hornej hladiny hlavy vznikajú tepelné straty prevažne výstelkou hlavového nástavca. Ak nie je povrch hlavy zasypaný, potom sa smer tepelných strát podstatne mení zväčšovaním Q_1 na hodnotu danou rozmerovými parametrami hlavy ingotu.

3.3 Malá veľkosť a nepriaznivý tvar hlavového nástavca

Obrázok 6 názorne ukazuje, že pre stanovenie kritickej hlavy je nepriaznivé zúženie priečného prierezu hlavy proti hornej časti tela ingotu a tiež zväčšenie jeho úkosu. Niektoré praktické výsledky tieto závery potvrdzujú. Pretože vplyv tvaru hlavy je kompenzovaný spravidla predimenzovaním hlavy proti tzv. kritickej hlavy, pri ktorej končí stiahnutina na rozdelení hlava – telo, prejavajú sa nesprávne rozmery hlavy až pri väčšom nedodržaní stanovených zásad. Na skúšobných ingotoch bolo dokázané, že rozmedzie pomeru dolnej časti hlavy k hornej časti tela ingotu 0,75 až 0,95 a tiež úkos hláv v rozmedzí -5 až +20 % nemajú výrazný vplyv na potrebnú veľkosť hlavy. Tieto výsledky sa dajú vysvetliť tým, že priaznivejší tvar širokej hlavy z hľadiska priaznivejšieho pomeru povrchu k objemu je podľa výsledkov výskumných prác citovaného Fentona kompenzovaným zvýšeným odvodom tepla do tela ingotu. Ak neklesne pomer priemeru spodnej časti hlavy k priemernému hornej časti tela pod 0,7, neprejaví sa výraznejšie ani rôzny úkos hlavy (bežne sa úkos hláv pohybuje medzi 10 ÷ 15%). Ak je tento pomer nižší, potom sa môže stať, že hlava ingotu stuhne skôr ako telo ingotu, čo má za následok vznik sekundárnej stiahnutiny. Z hľadiska priaznivejšieho vplyvu na štruktúru podhlavovej časti ingotu je nutné, aby aspoň pri náročnej výrobe sa priemer hlavy čo najviac priblížil k priemeru tela ingotu.

Vo všetkých prípadoch, kedy sa sleduje, aby stiahnutina nezasahovala do tela ingotu, je nutné ovládať teplotné a silové pole ingotu tak, aby sa dosiahlo usmernené tuhnutia. Ak nie je silové

a teplotné pole tuhnúceho ingotu usmernené, nastáva v záverečných etapách tuhnutie ingotu nepriaznivé rozdelenie taveniny, prebieha záporne usmernené tuhnutie a vznikajú sekundárne stiahnutiny vo vnútri ingotu.



Obr. 6. Znáznornenie vplyvu tvaru hlavy ingotu na tvar stiahnutiny. a) segmentové stiahnutiny, b) trojuholníková stiahnutina, c) plochá stiahnutina

Podiel objemu tekutej ocele v nástavci z celkového objemu ingotu sa pohybuje pri rôznych ingotoch a v rôznych oceliarniach v širokom rozmedzí - medzi 12 ÷ 23 %. Na veľkosť potrebnej hlavy ingotu pôsobí veľa vplyvov. Preto pri stanovení potrebnej veľkosti hlavy môžu slúžiť výpočty hláv k hrubej orientácii, k presnejšiemu stanoveniu najlepšie poslúžia prevádzkové skúšky. Ak sa stane, že hlava ingotu bola nedostatočne dimenzovaná a tento nepriaznivý vplyv bol zosilnený niektorým z ďalších zmienených nepriaznivých vplyvov, zasahuje stiahnutina až do tela ingotu. Tiež priečny prierez hlavy sa dá v niektorých prípadoch zlepšiť. Tak napr. skôr sa hlavy ingotov konštruovali s malým polomerom zaoblených rohov. Novšie konštrukcie s väčším polomerom alebo úplne kruhový prierez umožňujú menší odvod tepla a tým úsporu ocele. Na funkciu hlavy ingotu má tiež vplyv osadenie hlavového nástavca na kokile. Ak je nástavec osadený excentricky, môže sa tiež vytvoriť stiahnutina v tele ingotu a môžu vzniknúť aj bočné drobné stiahnutiny.

ZÁVER

V predloženom príspevku sa autori snažili poukázať na problematiku kvalitne vyrobených kováčskych ingotov a podmienky, ktoré ovplyvňujú celý výrobný proces. Z uvedeného je vidieť, že problematika je veľmi široká a v budúcnosti bude potrebné zamerať pozornosť na malú oblasť celého procesu a tú detailne preskúmať, hoci sa to nedá robiť izolovane. Dôležité bude správne nastaviť okrajové podmienky procesu.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporená projektom KEGA 022ŽU-4/2021 Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva Slovenskej republiky.

LITERATÚRA

- [1] ŠMRHA, L. (1983): *Tuhnutí a krystalizace ocelových ingotů*. Praha: STNL.
- [2] MORAVEC, J. (2017): *Odlievanie ingotov z modelového materiálu v laboratórnych podmienkach*, Oceláři Steelcon 2017, Rožnov pod Radhoštěm 30. 3.-31.3., pp. 48-54, ISBN 978-80-87294-65-9.
- [3] MORAVEC, J. (2017): *Verification of Shrinkage Formation in Steel Ingots in Laboratory Conditions*, Communications, Vol. 19, No. 2A, pp. 15-22, ISSN 1335-4205.
- [4] MORAVEC, J. (2016): *Overovanie tvorby stiahnutiny v ocelovom ingote v laboratórnych podmienkach*, Oceláři Steelcon 2016 , Rožnov pod Radhoštěm 31.3. - 1.4.2016, pp. 48-54, ISBN 978-80-87294-65-9.
- [5] ŠMRHA, L. - CHVOJKA, J. (1991): *Hutnické listy*, 63/9.
- [6] ŠMRHA, L. (1962): *Slévarenství*, č. 10, s. 245-249.
- [7] JAMES, W. - MIDDLETON, R. (1987): *British Foundryman*, January 58, pp. 36-46.
- [8] KIESEL, L. - SMUIN, K. - PABST, W. (1967): *Freiberger Forschungshefte*, 6, B137, pp. 79-92.
- [9] PŘIBYL, J. (1986): *Řízené tuhnutí ocelových odlitků*. Praha: STNL.
- [10] CHVORINOV, N. (1975): *Giesserei*, No. 10, pp. 177-186, No. 11 pp. 201-208.
- [12] NECHENEDZI, J. (1982): *Litejnoje proizvodstvo* č. 3, s. 14-19 Moskva.
- [13] GULJAJEV, B. B. (1986): *Zatverdevanije i neodrodnost stali*, Metallurgizdat, Moskva.
- [14] KUBIČÁR, L. (1988): *Rýchla metóda merania základných fyzikálnych parametrov*, VEDA Bratislava 1988, s. 165.
- [16] FENTON, G. (1957): *Heat Flow in Ingot Hot-tops*. Journal of The Iron a. Steel Institute, v. 186, p. IV, 1957, s. 396-405.

Návrh brzdového výstroja vagóna s redukovaným počtom spojov: 2. variant

Sebastián Solčanský, Ing.*

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline.
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: sebastian.solcansky@fstroj.uniza.sk

Jozef Harušinec, Ing., PhD.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline.
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: jozef.hrusinec@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2570

Design of a wagon brake system with reduced number of connections: 2nd variant

Abstract: This paper deals with the problem of compactization of braking equipment i.e. reduction of pipe joints. The first part contains general look of division of train brakes. The second part contains descriptions of each component of pneumatic part of brake equipment such as, distributor valve, limiting valve etc. The third part deals with descriptions of individual design solutions. The main goal is construction solution in order to reduce pipe joints of brake equipment. This paper represents a continuation of the research presented in the previous number of the journal.

ÚVOD

Prvá železničná trať v *Rakúsko-Uhorsku* na našom území bola z *Českých Budějovic* do *Linzu*. Prvá kónská železnica na Slovensku bola v roku 1840 z Bratislavy do Jura a prvý parný rušeň na trati z Břeclavi do Brna v roku 1839. Od tej doby dochádza k postupnému rozvíjaniu železničnej siete a priemyslu rýchlosťou aká bola predtým nevídaná.

Brzdového výstroja vagóna je dôležitý z dôvodu zvyšovania bezpečnosti na železnici, pretože pri dnešných požiadavkách na rýchlosť prepravy je potrebné dokonalé a bezchybné brzdenie. Kompaktizáciou brzdového výstroja sa redukuje počet potrebných potrubných spojov, ktoré predstavujú potenciálne miesto netesností a úniku vzduchu. Zároveň sa zjednoduší montáž brzdového výstroja a z ekonomického hľadiska výroby vagóna dôjde k úsporám.

1 BRZDY KOĽAJOVÝCH VOZIDIEL

Úlohou brzdy je zvyšovať jazdný odpor vozidla za účelom regulovania rýchlosti jazdy, zastavenia na predpísanom mieste a v danej vzdialenosti a zaistenia stojaceho vozidla alebo vlaku pred samovoľným rozbehnutím.

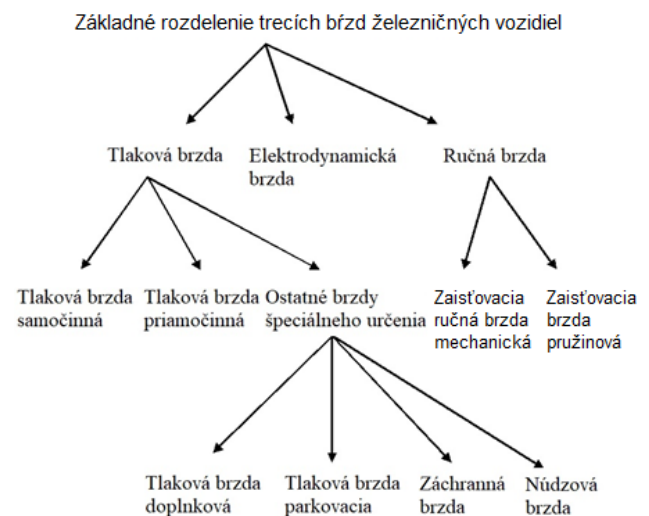
Brzdením sa marí časť alebo celá kinetická energia E . Veľkosť kinetickej energie je daná hmotnosťou vlaku alebo vozidla M a jeho rýchlosťou v . Je potrebné brať do úvahy aj účinky rotujúcich hmôt

ako sú dvojkolesia, rotory na elektromotoroch a podobne rovnica (1).

$$E = \frac{M \cdot v^2}{2} \cdot (1 + k). \quad (1)$$

1.1 Rozdelenie brzdových systémov

Moderné koľajové vozidlá sú vybavené rôznymi typmi brzd. Výber konkrétneho druhu závisí najmä od určenia vozidla. V nákladnej doprave sa využívajú najmä trecie brzdy (obr. 1).



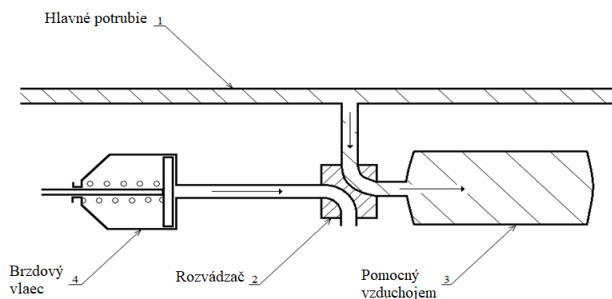
Obr. 1. Rozdelenie trecích brzd železničných vozidiel

1.2 Samočinná tlaková brzda

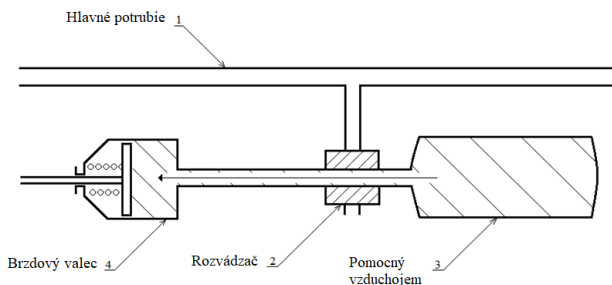
Vzduch slúži pri priebežnej samočinnej brzde ako nositeľ energie, ale aj informácie na riadenie brzdy. Stlačený vzduch je vedený hlavným potrubím pozdĺž vlaku, ktoré sa nachádza na každom železničnom vozidle.

Na každom vozidle vybavenom samočinnou tlakovou brzdou sa musí nachádzať aj pomocný vzduchojem, ktorý je v odbrzdenej polohe spojený pomocou rozvádzača s hlavným potrubím (obr. 2).

Pri brzdení dochádza k poklesu tlaku v hlavnom potrubí, pričom rozvádzač musí veľmi citlivo na túto zmenu reagovať, aby mohol zaistiť prerušenie spojenia pomocného vzduchojemu a hlavného potrubia. Zároveň dôjde aj k uzavretiu odvetrávania brzdového valca a jeho spojeniu s pomocným vzduchojem, prostredníctvom rozvádzača, čím dochádza k zvýšeniu tlaku v brzdovom valci (obr. 3).



Obr. 2. Odbrzdená poloha nepriamočinnej brzdy



Obr. 3. Brzdíca poloha nepriamočinnej brzdy

1.3 Brzdenie nákladných vlakov

Podľa medzinárodných predpisov by nemalo brzdné spomalenie prekročiť hodnotu $a_b = 0,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Prekročenie tejto hodnoty by sa mohlo negatívne prejaviť na bezpečnosti železničnej prevádzky, pretože by mohlo dôjsť k posunutiu nákladu. Následkom tohto posunutia by došlo k zmene zaťaženia jednotlivých náprav a preto je potrebné aby brzdné spomalenie bolo v súlade s brzdným percentom. Taktiež by mohlo dôjsť k vzniku plochých miest na dvojkolesí pri jazde za zlých adhézných podmienok.

Brzdenie nákladných vlakov v železničnej prevádzke je možné dvoma spôsobmi:

- Brzdenie v nákladnom režime, kedy sa zvyčajne jedná o dlhé a ťažké vlaky s maximálnou rýchlosťou $90 \div 100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.
- Brzdenie v režime osobnom, kedy ide o vlaky kratšie a ľahšie spravidla s maximálnou rýchlosťou $100 \div 120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

2 BRZDOVÝ VÝSTROJ NÁKLADNÝCH VOZŇOV

Brzdový výstroj inštalovaný v nákladných železničných vozňoch je zložitý systém, ktorý zahŕňa tieto komponenty:

- Hlavné potrubie - rozvádza stlačený vzduch pozdĺž vlaku.
- Spojkové kohúty - ovláda sa ním brzdová sústava.
- Brzdové spojky - spájajú hlavné potrubie medzi vozidlami.
- Prachojem - zachytáva nečistoty zo vzduchu a kondenzáty.
- Brzdový rozvádzač - riadiaci orgán brzd.
- Prídavný ventil - mení prítlak zdrží podľa zaťaženia.
- Limitný ventil - automaticky redukuje brzdový účinok vagóna.
- Vzduchojemy - zásobuje brzdovú sústavu stlačeným vzduchom.
- Brzdový valec - vykonávací člen brzdového výstroja.

3 KOMPAKTIZÁCIA BRZDOVÉHO VÝSTROJA

Druhý návrh spočíva v modifikácii stávajúceho nosiča, ktorý umožní pripojenie združeného vzduchojemu.

Nosič sa odlieva zo zliatiny hliníka. Potom je potrebné ho opracovať.

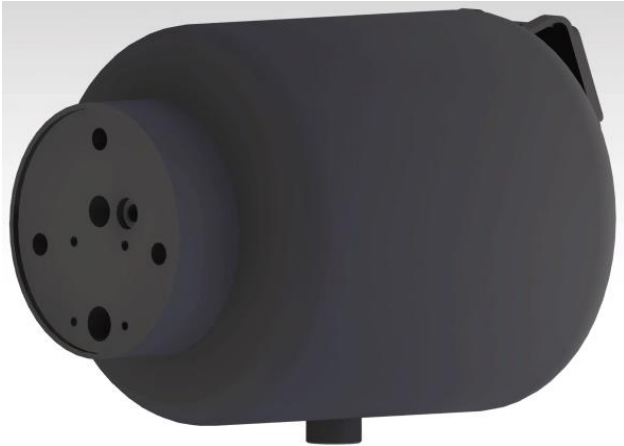
3.1 Združený vzduchojem

Návrh využíva združený vzduchojem (obr. 4), ktorý sa skladá z dvoch vzduchojemov umiestnených v sebe a to riadiaceho a rozvodového.

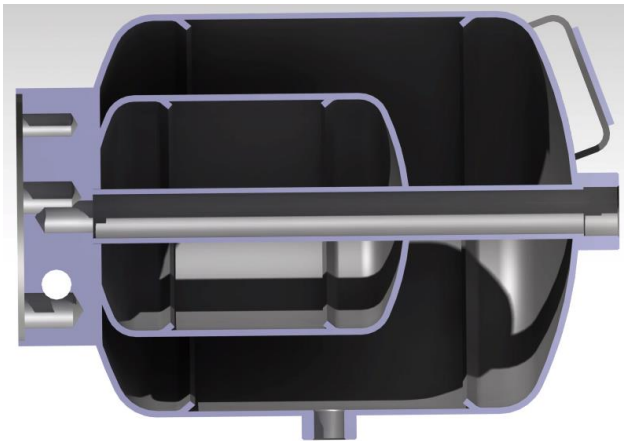
Riadiaci vzduchojem, ktorý má objem 2,5 l je umiestnený vo väčšom rozvodovom vzduchojeme, ktorý má predpísaný objem 9 l, čo môžeme vidieť na obr. 5. Na prepojenie pomocného vzduchojemu, ktorý sa musí nachádzať na vozidle, s hlavným potrubím slúži kanál, ktorý prechádza priamo cez združený vzduchojem. Rozvodový vzduchojem

je potrebný k činnosti rozvádzačov DAKO. Riadiaci vzduchojem je súčasťou brzdy s prídavnými ventilmi.

Vzduchojemy sa umiestňujú tak, aby vypúšťacia zátka bola najnižším miestom Medzikus privarený na vzduchojeme slúži na správne vedenie výstupov zo vzduchojemu na nosič, keďže ich vzájomná poloha je rôzna.



Obr. 4. Zdužený vzduchojem



Obr. 5. Pozdĺžny rez zduženým vzduchojemom

3.2 Návrh nosiča

Na (obr. 6) je zobrazený návrh nosiča pre kompaktný brzdový výstroj.

Návrh je v podstate totožný s predchádzajúcim návrhom. Všetky rozmery nosiča zostávajú totožné a rovnako aj priemery a umiestnenie jednotlivých kanálov. Jedinou zmenou je pozícia výstupov riadiacich tlakov T , ako ukazuje (obr. 7).

V tomto návrhu sú výstupy riadiaceho tlaku T rovnako umiestnené v konzole ale nachádzajú sa na opačnej strane ako príslušný prídavný ventil. To do značnej miery uľahčuje samotný návrh, pretože je potrebné vytvoriť menej otvorov ale takéto usporiadanie je menej logické.

Fialová vetva je vedená od rozvodového vzduchojemu do rozvádzača.

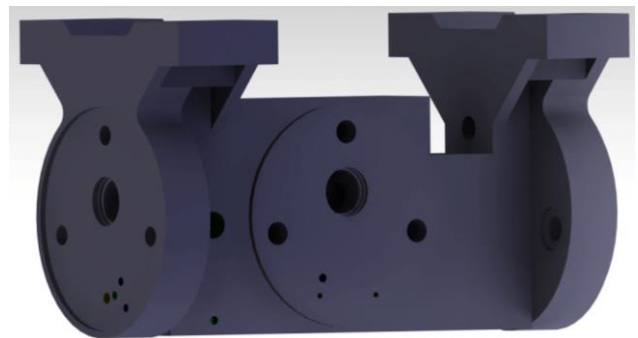
Modrá vetva predstavuje hlavné potrubie vedené z rozvádzača cez nosič a prídavné ventily až do limitných ventilov.

Žltá vetva predstavuje kanály, ktoré vedú z riadiaceho vzduchojemu do rozvádzača a po oboch stranách konzoly sú vyvedené a napájajú sa na prídavné ventily a cez tieto až do limitných ventilov. Na prepojenie časti zo vzduchojemu s časťou do rozvádzača je potrebný prepojovací technický otvor, ktorý sa napája na výstup na ventil a tento výstup využíva na spojenie.

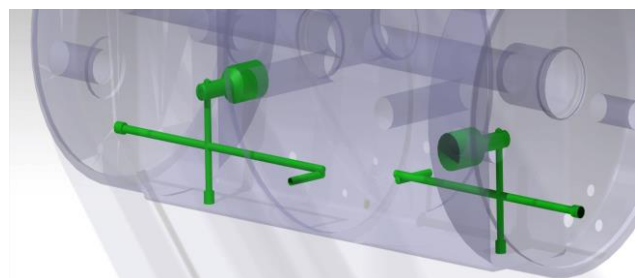
Červená vetva je kanál, ktorý slúži na prepojenie pomocného vzduchojemu s rozvádzačom a s ventilmi po oboch stranách konzoly. Napája sa na prídavné ventily a cez tieto je vedený až do limitných ventilov.

Zelená vetva predstavuje kanály pre riadiaci tlak T . Ako je vidieť, výstup pre riadiaci tlak presunutý do nosiča. Výstup sa nachádza na rovnakej strane ako príslušný prídavný ventil. Aby bolo možné dosiahnuť takéto usporiadanie, sú potrebné štyri technické prepojovacie otvory, ktoré bude nutné následne zaslepiť, pretože je potrebné sa vyhnúť žltej vetve a to na každej strane, tzn. spolu osem technických otvorov. Priemer všetkých otvorov zelenej vetvy je $\varnothing 4$ mm, okrem výstupného na boku nosiča. Otvory, ktoré budú zaslepené, sú navyše zahĺbené priemerom $\varnothing 6$ mm s hĺbkou 6 mm, čo umožní umiestnenie záslepky s expanderom. Výstupný otvor má priemer $\varnothing 8,5$ mm a rozširuje sa na $\varnothing 19$ mm s hĺbkou 20 mm, do ktorého bude zaskrutkovaná závitová vložka s vnútorným závitom $Rp1/2$.

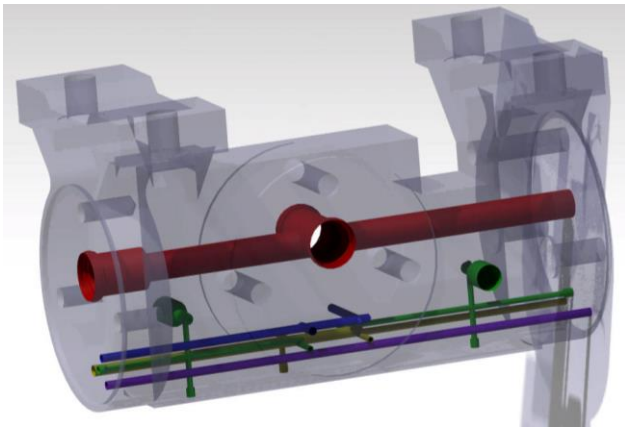
Vedenie kanálov v konzole je možné vidieť na obr. 8.



Obr. 6. Návrh nosnej konzoly pre kompaktný brzdový systém



Obr. 7. Potrubie riadiaceho tlaku



Obr. 8. Kanály v nosnej konzole

ZÁVER

Návrhom nosiča a využitím združeného vzduchojem sa podarilo odstrániť potrubné spoje riadiaceho a rozvodového vzduchojem. Zároveň sa združený vzduchojem umiestnil priamo na prírubu nosiča, vďaka čomu ho nie je nutné prepájať pomocou potrubí. Došlo tak k odstráneniu štyroch potrubných spojov a ich celkový potrebný počet sa tak zredukoval na šesťnásť. Na danom systéme je v budúcnosti možná aj ďalšia kompaktizácia, ktorá by v súčasnosti bola ekonomicky náročná. Niektoré spoje však nie je možné odstrániť a preto je pravdepodobnejší ďalší rozvoj systému vo forme znižovania rozmerov a hmotnosti.

Pod'akovanie

Tento príspevok bol vytvorený realizáciou projektu „Nová generácia nákladných železničných vozidiel“ (Kód projektu v ITMS2014+: 313010P922), na základe podpory operačného programu Výskum a inovácie financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



EURÓPSKA ÚNIA
Európsky fond regionálneho rozvoja
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO
DOPRAVY A VÝSTAVBY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

LITERATÚRA

[1] SOLČANSKÝ, S. - HARUŠINEC, J. (2021): *Návrh brzdového výstroja vagóna s redukovaným počtom spojov: 1. variant*. In: Technológ, Vol. 13,

No. 4, pp. 59-62. ISSN 1337-8996.

[2] DIŽO, J. - BLATNICKÝ, M. (2016): *Príspevok k modelovaniu viazanej mechanickej sústavy koľajového vozidla s poddajným telesom*. In: Železničná doprava a logistika. Roč. 12, č. 1, online, s. 15-19. ISSN 1336-7943.

[3] GERLICI, J. - LACK, T. (2007): *An analysis of springs and bumpers parameters influence on the ride comfort* (In Slovak). In: PRORAIL 2007: súčasné problémy v koľajových vozidlách, Žilina, 2007, Slovensko, Diel I. Žilina: Vedeckotechnická spoločnosť pri Žilinskej univerzite, 2007. ISBN 978-80-89276-06-6, S. 145-154.

[4] BLATNICKÁ, M. - SÁGA, M. - BLATNICKÝ, M. - DIŽO, J. (2018): *Analysis of adaptive gripper effector*. In: Transport means: proceedings of the international scientific conference. 1. vyd., Kaunas: Kauno Technologijos Universitetas, s. 522-526, ISSN 1822-296X.

[5] GERLICI, J. - FOMINA, J. V. - KRAVCHENKO, K. (2021): *The dependence of the brake disc aerodynamic drag on the rolling stock motion speed* [electronic]. In: 14th International scientific conference on sustainable, modern and safe transport [electronic]. 1. vyd. - Amsterdam: Elsevier, pp. 723-730 [online], ISSN 2352-1465.

[6] GERLICI, J. - KRAVCHENKO, K. - HAUSER, V. - GORBUNOV, M. I. (2019): *Air resistance and heat problem of a brake disc*. In: Technológ. Roč. 11, č. 1, s. 7-10, ISSN 1337-8996.

[7] SUCHÁNEK, A. - KURČÍK, P. - ŠŤASTNIAK, P. (2019): *Design of a testing equipment experimental research of railway brake systems*. In: Dynamics of rigid and deformable bodies: proceedings abstracts. - 1. vyd. - Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, ISBN 978-80-7561-209-0.

[8] DIŽO, J. - BLATNICKÝ, M. - KRAVCHENKO, A. (2018): *Modification of the freight wagon bogie by installing disc brakes*. In: Transport i logistyka: problemy ta rišenňa: zbirnyk naukovych prac. - 1. vyd. - Odesa: Kuprienko, s. 6-6, ISBN 978-617-7414-37-6.

Konštrukcia stĺpového žeriava pre manipuláciu s kalovými čerpadlami a matematický opis závislosti tiaže bremena a ovládacej sily

Miroslav Blatnický, doc. Ing., PhD.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: miroslav.blatnicky@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2659

Miloš Brezáni, Ing., PhD.*

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: milos.brezani@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2556

Ján Dižo, doc. Ing., PhD.

Katedra dopravnej a manipulačnej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: jan.dizo@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2560

Design of a column crane for manipulation with sludge pumps and a mathematical description of the dependence of a burden and a control force

Abstract: The article brings a technical description of a suspension for manipulation with sludge pumps. It serves for using in the power plant in *Jaslovské Bohunice*. It is the object for chemical treatment of water belonging to the V2 block. The suspension is used in regular revisions checks of sludge pumps, the *Type 80 KDFU150 9.5-A0-03* and for the needed manipulation with them during their operation. This suspension is designed for the maximal load of 120 kg and it was damaged during operation, because it was not designed for all consequences during operation with a sludge pump. It was causing gradual sedimentation of sludge around suction valves of the pump. It has led to the fact, that the pump was stuck to the tank bottom. Then, the lifting of the pump needed even four-times higher force in comparison with the ideal state. Hence, the suspension was not dimensioned for such the great load. Therefore, an optimization is important.

ÚVOD

O človeku sa vraví, že je tvor rozumný, ale taktiež pohodlný. Pohodlnosť a snaha uľahčiť si život sú vlastnosti ľudí, ktoré majú už celé tisícročia za následok množstvo vynálezov a inovácií. Vďaka tomu už dávno neľaháme bremená po zemi, ale používame fúrik, nešliapeme po schodoch pešo, ale vezieme sa na výťah a jedlo si neohrievame na ohni, ale na sporáku. Túžba uľahčiť si život v ľuďoch vždy bola aj bude. Táto túžba síce má obrovský vplyv na to, aby človeku vnukla nápad či myšlienku, ale to nestačí. Na to, aby človek niečo vytvoril, potrebuje dávku kreativity, technického zmysľania a poznania pôvodného stavu.

Vynálezy ako ich poznáme z kníh sú častokrát výsledkom náhody, inšpirácie z pozorovania prírody alebo inovácie niečoho existujúceho. Vynálezy a kreatívna činnosť budú stále v ľuďoch, pretože

okrem toho, že je človek pohodlný, je aj veľmi zvedavý. A práve zvedavosť vedie ľudí k objavovaniu a vytváraniu niečoho nového, nepoznaného. Toto platí vo všetkých smeroch a oblastiach, manipulačnú techniku nevynímajúc [1].

Medzi základné prostriedky, ktoré sa využívajú v dopravnej a manipulačnej technike, sú žeriavy. Žeriav vo všeobecnosti je typ stroja slúžiaci na manipuláciu s určitým bremenom vo viacerých osiach. V závislosti od hmotnosti bremena a požiadaviek na jeho premiestňovanie následne žeriavy delíme na viacero typov. Rozdelenie žeriavov môžeme vykonať na základe celkového tvaru (mostové, portálové a poloportálové, stĺpové a vežové, konzolové, vozidlové, plávajúce, lanové), druhu pohonu (elektrický, hydraulický, pneumatický, spaľovacím motorom, ručný), druhu pohybu (nepohyblivé, pohyblivé, otočné, plávacie, so

združenými pohybmi) alebo druhu práce (dielenské, stavebné) a miesta použitia (prístavné, železničné) [2].

Stĺpové a vežové žeriavy patria k najstarším druhom žeriavov. Princíp týchto žeriavov spočíva v pohyblivom (otočnom) alebo nepohyblivom stĺpe (veži), na ktorom je uložený pevný alebo nastaviteľný výložník, po ktorom sa môže pohybovať žeriavová mačka. Pod nastavením výložníka rozumieme vztyčovanie a sklápanie voľného konca výložníka. Z tohto hľadiska vyplýva, že stĺpové a vežové žeriavy dokážu obsluhovať plnú alebo čiastočnú kruhovú pracovnú plochu, ktorej priemer závisí od nastavenia výložníka a pohybu mačky po výložníku.

V zásade vieme teda stĺpové a vežové žeriavy rozdeliť na žeriavy s otočným stĺpom (nástenné, žeriavy typu derrick, žeriavy s vysokým stĺpom uloženým v prútovej vežovej konštrukcii) a žeriavy s nepohyblivým stĺpom (žeriavy s nízkym jednoduchým stĺpom kotveným v základe, žeriavy s vysokou priehradovou vežou) [3].

Na stĺpe stĺpového žeriavu je pripevnený spravidla otočný výložník. Výložník môže byť v rôznych vyhotoveniach, s čím sa mení aj plocha, ktorú dokáže žeriav obslúžiť. Výložníky poznáme vodorovné a šikmé. Šikmé výložníky bývajú bez možnosti zmeny vyloženia s pevnou kladkou na konci výložníka. Vodorovné výložníky sú vo väčšine prípadov riešené tak, aby bola možná zmena vyloženia, najčastejšie pomocou mačky. Pri väčších parametroch sa používa aj protizávažie (vyvažovacia záťaž) [2, 3]. Jedným z možných konštrukčných riešení moderných stĺpových žeriavov je podobné moderným konzolovým žeriavom. Rozdiel je v tom, že výložník, ktorý je pri konzolových umiestnený na stene, je v prípade týchto žeriavov uchytený na neotočnom stĺpe žeriava. Stĺp môže byť buď pevne ukotvený v základe (najčastejšie riešenie) alebo ukotvený v mobilnom podvozku, ktorý zároveň slúži ako protizávažie. Stĺp je väčšinou ocelový, plný alebo dutý s rôznymi priermi. Konštrukcia výložníka pozostáva najčastejšie z dobre známych *I* profilov, ktoré sú výnimočné svojimi výbornými pevnostnými charakteristikami hlavne pri ohybe. Vďaka charakteristickému tvaru *I* profilu je možné v jeho spodnej časti zavesiť pohyblivý kladkostroj. Ďalším profilom používaným na konštrukciu výložníkov je tzv. *KBK* profil [4]. Tento profil je vyrábaný valcovaním za studena, čím vznikne charakteristický členitý tvar s dutinou a hladkým povrchom. Profil má veľmi dobré pevnostné charakteristiky a nízku hmotnosť. Ak ide o *KBK* profily používané na kratšiu operačnú vzdialenosť, využíva sa na vedenie vozíka s kladkostrojom vnútorná časť profilu (dutinou), kde sú spolu s

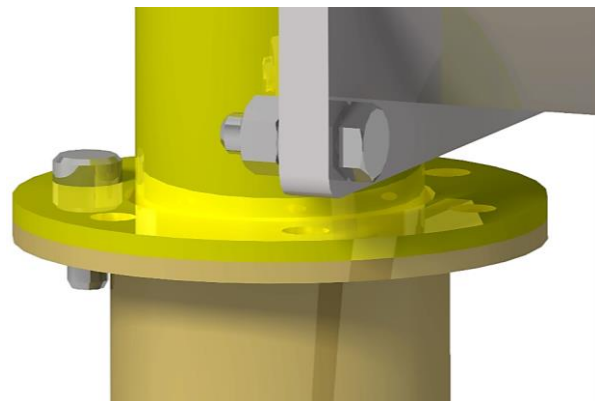
pojzdom vedené aj vodiče napájania. Pri väčších operačných vzdialenostiach sa využíva vonkajšia časť profilu. Ďalej sú používané rôzne špeciálne profily navrhnuté na základe konkrétnych požiadaviek, *XM* profily, profily kruhového prierezu, atď. [5]. Uchytenie výložníka býva riešené pomocou valivého uloženia, čím sa zabezpečí ľahká manipulácia pri otáčaní. Otáčanie výložníka potom môže byť buď ručné alebo na elektrický pohon, napríklad pomocou elektromotora a závitkovkej prevodovky.

1 KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE, POUŽITIE ZÁVESU A PROBLÉMY SPOJENÉ S JEHO POUŽÍVANÍM

Záves (obr. 2) je možné z konštrukčného a funkčného hľadiska zaradiť do kategórie stĺpových žeriavov.

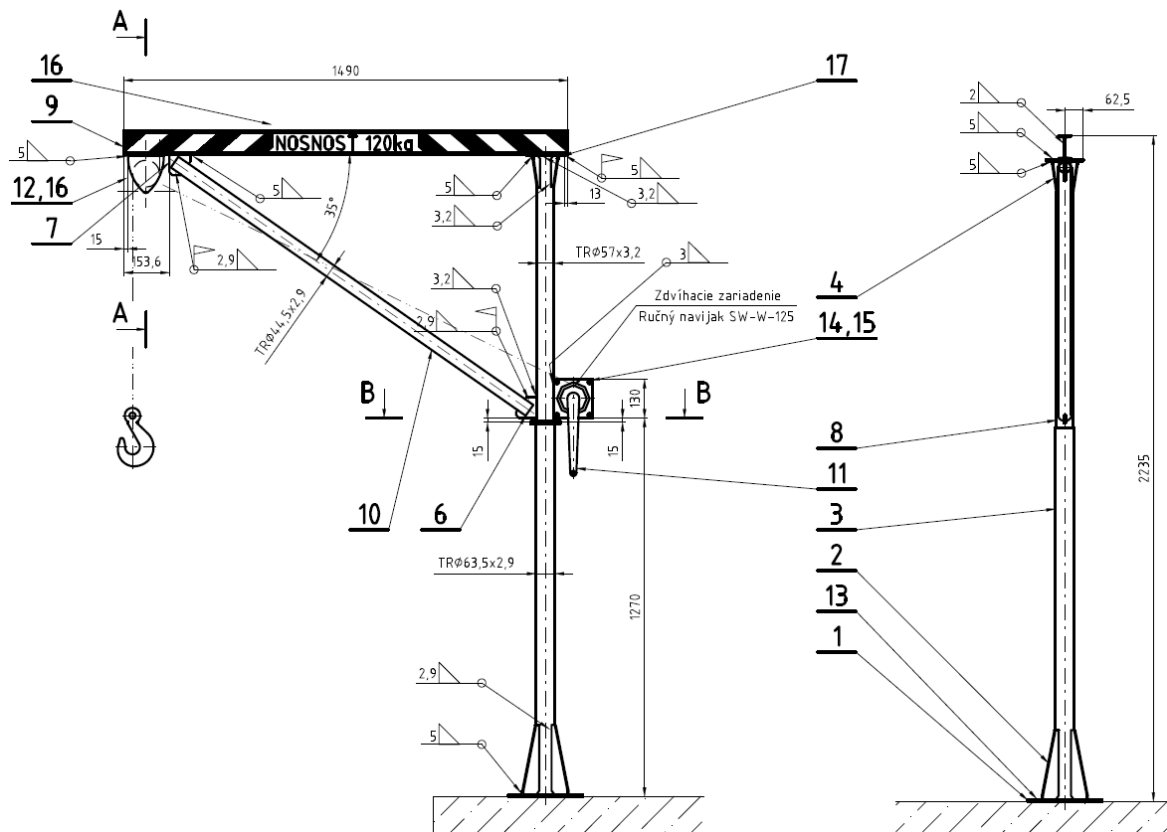


Obr. 1. 3D CAD model pôvodného závesu



Obr. 2. Detail spojenia neotočného nosiča a otočnej konzoly oddelených prírubami

Hlavné časti konštrukcie pozostávajú prevažne z dostupných normalizovaných profilov. Statickú časť závesu (konzoly) tvorí platňa, ktorá je pevne spojená s betónovým lôžkom pomocou ocelových zápustiek M16 značky *HILTI*.



Obr. 3. Zostavný výkres riešeného závesu

Na platňu je ďalej privarený nosič, rúra TRø63,5x3,9 - 1250 mm, vystužená štyrmi výstuhami z plechu P5 privarených o bok rúry a o platňu.

Na hornú časť nosiča je ďalej privarená príruha. Otočnú časť tvorí konzola, TRø57x3,9 - 2145 mm, vsunutá do nosiča. Priečna vôľa medzi rúrami nie je dodatočne upravená a preto jej hodnota predstavuje rozdiel medzi vnútorným priemerom nosiča a vonkajším priemerom konzoly, t. j. 1,3 mm.

Z výkresovej dokumentácie (obr. 3) je zjavné, že v zvislom smere sa stykové plochy nachádzajú medzi konzolou a spodnou platňou a taktiež medzi prírubami nosiča a konzoly. Medzi kontaktnými plochami nosiča a konzoly sa nenachádza žiadne ložisko, teda dochádza k treniu kov na kov.

Na konzole je ďalej privarený vo vodorovnej rovine profil I80 vystužený šikmou výstuhou TRø44,5x2,9 - 1457 mm privarenou medzi konzolou a I profilom pod uhlom 35° meraným od I profilu. Ku konzole je pripevnené ručné navijacie zariadenie typu SW-W-125 s maximálnou nosnosťou 125 kg. Na koncovej časti I profilu je pripevnená kladka typu DSRB S 90x4 s nosnosťou 700 kg. Na zdvih je použité lano priemeru 4 mm. Dovolená nosnosť konštrukcie je 120 kg.

V priebehu používania závesu bolo zistené, že záves bol poškodený pre opakované, nechcené prekračovanie nosnosti. Hlavným dôvodom bola skutočnosť, že pri návrhu konštrukcie nebol vzatý do

úvahy dôsledkov práce kalového čerpadla, ktorým bolo postupné hromadenie kalu v okolí sacích otvorov, čím dochádzalo k prichytávaniu čerpadla o dno nádrže. Na takto prichytené čerpadlo bolo následne nutné vynaložiť vyššiu ťahovú silu, na akú už záves nebol dimenzovaný. Hmotnosť samotného čerpadla je 42 kg, čo predstavuje ťahovú silu $F_1 = 412,02 \text{ N}$. Sila potrebná na vytiahnutie prichyteného čerpadla je podľa meraní vyššia ako $F_1 \geq 1700 \text{ N}$, čím sa podstatne prekračuje nosnosť a vylučuje bezpečná funkčnosť závesu.

2 MATEMATICKÝ OPIS FUNKCIE MEDZI TIAŽOU BREMENA A OVLÁDACOU SILOU NA KĽUKE

Z 3D CAD modelu (obr. 4) bol vytvorený 2D výpočtový model (obr. 5). Vstupné hodnoty výpočtu sú hmotnosť čerpadla $m_c = 42 \text{ kg}$, priemer bubna ručného navijacieho zariadenia $d_b = 40 \text{ mm}$, rameno kľuky $r_k = 250 \text{ mm}$, mechanická účinnosť čapu (klzné uloženie) $\eta_c = 0,96 (-)$, mechanická účinnosť lanového bubna $\eta_b = 0,94 (-)$, gravitačné zrýchlenie uvažujeme $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Veľkosť sily v lane F_1 (obr. 5) v prípade kalom neprichyteného čerpadla vyjadríme z rovnice (1):

$$F_1 = m_c \cdot g \quad (1)$$

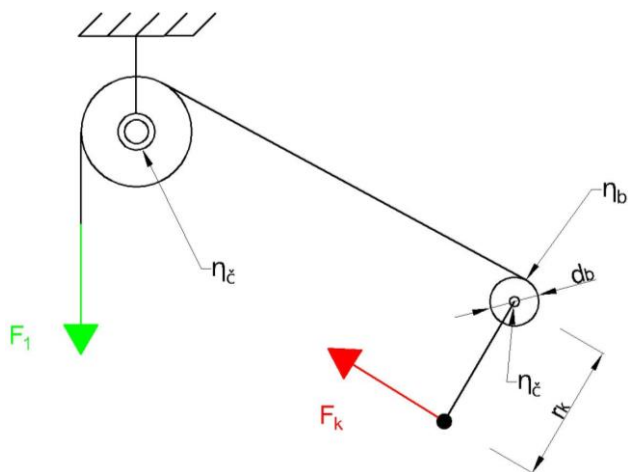
Riešením rovnice (1) dostávame pre silu v lane $F_1 = 412,02 \text{ N}$. Silu na kľuke vypočítame pomocou rovníc rovnováhy. Z rovníc rovnováhy na výpočet

sily na kľuke F_k postačuje momentová rovnica k stredu čapu kľuky (2):

$$\sum_i M_{iA} = 0 \Rightarrow F_k \cdot r_k - F_1 \cdot r_b = 0. \quad (2)$$



Obr. 4. 3D CAD model riešeného navijacieho zariadenia



Obr. 5. Schematické znázornenie zdvíhacieho mechanizmu s uvoľnením

Riešením rovnice (2) dostávame pre ručnú silu na kľuke $F_k = 32,96$ N. Výpočet celkovej účinnosti mechanizmu η_c vykonáme pomocou obr. 5, kde sú znázornené všetky konštrukčné uzly, v ktorých uvažujeme vzájomný pohyb kinematických dvojíc, t. j. vznik trenia. Celková účinnosť potom je:

$$\eta_c = \eta_\varepsilon \cdot \eta_\varepsilon \cdot \eta_b. \quad (3)$$

Riešením rovnice (3) dostávame pre celkovú účinnosť mechanizmu $\eta_c = 0,866304$ (-). Celková sila na kľuke spolu s mechanickými stratami F_{kc} potom bude:

$$F_{kc} = \frac{F_k}{\eta_c}. \quad (4)$$

Riešením rovnice (4) dostávame $F_{kc} = 38,05$ N. Pre zdvihnutie kalom prichyteného čerpadla bolo

následne nutné vynaložiť ťahovú silu cca $F_1 = 1700$ N. Na takú hodnotu záves už dimenzovaný nebol. Pre ručný pohon je možné ovládaciu silu voliť z intervalu 120÷160 N. Z rovnice (2) potom pre silu na kľuke od prichyteného čerpadla dostávame 136 N pri neuvažovaní trenia. Pri uvažovaní celkovej účinnosti bude mať sila na kľuke použitím vzťahu (4) hodnotu 157 N. Táto hodnota patrí do intervalu zohľadňujúceho prácu a výkon človeka, ktorý dané zariadenie obsluhuje. Preto nie je potrebné meniť zdvíhacie ústrojenstvo, iba optimalizovať záves z pohľadu jeho nosnosti. Po analýze problému z hľadiska bezpečnosti bolo stanovené, že nový záves bude dimenzovaný až na nosnosť 250 kg. Tento záves bude pracovať s ohľadom na zvýšenie pohodlia obsluhy s elektrickým pohonom otoče.

ZÁVER

V článku bol predstavený technický opis závesu pre manipuláciu s kalovými čerpadlami. Daný záves kalového čerpadla navrhnutý pre nosnosť 120 kg, bol v prevádzke poškodený z dôvodu, že pri jeho návrhu nebolo počítané s dôsledkom práce kalového čerpadla. Funkčným analytickým výpočtom bolo zistené, že nebude potrebná optimalizácia zdvíhacieho mechanizmu, nakoľko stále spĺňa podmienky pre jeho uskutočnenie ručným zdvihom. Ďalej bolo stanovené, že nový záves bude dimenzovaný na nosnosť až 250 kg a že jeho otáčanie bude uskutočnené elektrickým pohonom. To je cieľom pokračujúceho výskumu.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporená projektom KEGA 023ŽU-4/2020 Vývoj pokročilých virtuálnych modelov pre štúdium a vyšetřovanie prevádzkových charakteristik dopravných prostriedkov.

LITERATÚRA

- [1] BLATNICKÝ, M. (2015): *Dopravné a manipulačné zariadenia: riešené príklady*. 1. vyd., Žilina: Žilinská univerzita, 120 s, ISBN 978-80-554-1625-0.
- [2] REMTA, F. - KUPKA, L. - DRAŽAN, F. a kol. (1974): *Jeřáby, 1. díl*. Praha: SNTL, 645 s.
- [3] REMTA, F. - KUPKA, L. - DRAŽAN, F. a kol. (1975): *Jeřáby, 2. díl*, Praha: SNTL, 562 s.
- [4] STĚPOVÉ ŽERIAVY (2011): Dostupné na internete: <http://www.kpk.sk/sk/stlp1.htm>.
- [5] TECHNICAL DATA KBK (2014): Dostupné na internete: http://www.demagcranes.de/files/content/sites/deutschland/files/PDF/Prospekte/Technische%20Daten%20KBK/TechnicalData_KBK_20297644_ENG.pdf.

Hodnotenie pórovitosti odliatku vyrábaného vysokotlakovým odlieváním

Marek Matejka, Ing., PhD.*

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: marek.matejka@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2771

Radka Podprocká, Ing., PhD.

Rosenberg-Slovakia s.r.o.,
Kováčska 38, 044 25 Medzev.
E-mail: podprockaradka@gmail.com, E-mail: 055/79 68 312

Evaluation of porosity of casting produced by high-pressure casting

Abstract: Thus, high-pressure casting of aluminum alloys using a machine with a cold vertical chamber has over time become the most widely used and economical technology. This method has become attractive especially in the production of complex, dimensionally accurate and thin-walled castings. In the experimental part, individual samples of castings, which were cast by the company *Rosenberg-Slovakia s.r.o.* high-pressure casting, where the castings differed from each other by changing the height of the tube and gradually increasing the maximum speed of the piston. Evaluation of porosity and microporosity was performed on experimental samples. The most advantageous speed among the used speeds in terms of macroporosity and the associated visual control, but with a slight decrease in microporosity in the more critical area, the speed was $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

ÚVOD

Vysokotlakové odlievanie je proces, do ktorého vstupuje veľa faktorov, ktoré výrazne ovplyvňujú konečný stav odliatku. Minimalizovať defekty odliatkov je možné napr. zmenou technologických parametrov procesu, úpravou návrhu odliatku alebo kombináciou oboch. Stanovením optimálnych parametrov je možné skrátiť výrobný proces, ale aj ušetriť zdroje a energiu [1].

Počas procesu vstrekovania je dôležité, aby pôsobilo laminárne prúdenie. Ak je toto prúdenie zle nastavené, bude tok kovu narušený a zmení sa na turbulentné prúdenie, čo vedie k zvýšenej pórovitosti [2].

V praktickom procese odlievania je veľmi ťažké zistiť presnú príčinu konkrétnej chyby, preto je predovšetkým potrebné určiť parametre procesu, ktoré proces dokážu ovplyvniť a pri správnom nastavení dokážu jednotlivé chyby odstrániť [3].

Ak je tekutý kov dostatočnej teploty naliaty do komory, piest sa v prvej fáze začne pomaly posúvať a uzavrie sa otvor pre plnenie komory. Pri druhej fáze sa rýchlosť piestu zrýchli a v konečnej fáze sa piest takmer nepohybuje a tavenina sa len dotláča na potrebný tlak. A preto jedným z dôležitých parametrov procesu odlievania je tlak lisovacieho zariadenia, ktorý je v procese vysokotlakového odlievania veľmi dôležitý.

Hydrostatický tlak je v podstate definovaný ako udržiavací tlak, ktorý musí prekonať veľký odpor taveniny a plynov aj v tých najtenších prierezoch dutiny formy. Vzniká od lisovacieho piestu a pokračuje až k vtokovému kanálom [4].

Pri nízkom tlaku môžu v odliatku vznikáť studené spoje, ktoré sa prejavujú ako priehlbiny na povrchu so zaoblenými hranami. V prípade drobných stiahnutí ide o chyby nazývané riediny, ktoré sa vyskytujú v zhlukoch alebo reťazcoch po celej výške, alebo dĺžke odliatku. Príčinou môže byť aj nedostatočný dotlak. Zvyšovaním tlaku lisovania sa znižuje pórovitosť, vďaka čomu sa zlepšujú mechanické vlastnosti v odliatku [5].

Batyshev a kolektív experimentálne zistili, že doba tuhnutia zliatiny je závislá od termodynamických vlastností zliatin, ale najmä od použitého tlaku lisovania. Pri zvyšovaní lisovacieho tlaku sa znižuje doba tuhnutia a hodnota teplotného rozdielu na rozhraní odlievacej formy. Naopak dochádza k zrýchleniu ochladzovania odliatku a teplotného rozdielu v jeho priereze [6].

Karban a kolektív zistili, že rýchlosť piestu medzi $1,7$ a $3,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ zabezpečil nižšiu pórovitosť. Nízkou rýchlosťou piestu by však mohlo dôjsť ku skorému stuhnutiu vo vtokových kanáloch a zárezoch, čím by sa znížila efektívnosť a taktiež pomer skutočného a ideálneho prietoku [7].

1 METODIKA EXPERIMENTU A POUŽITÝ MATERIÁL

1.1 Zliatina AlSi9Cu3

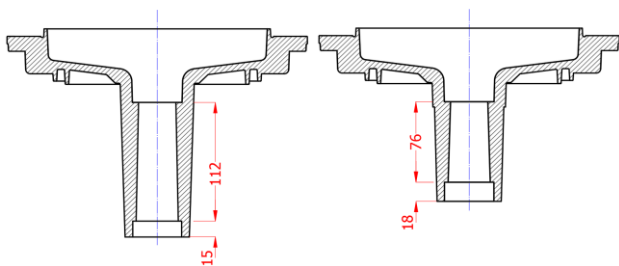
Použitým materiálom pre experimentálne odlievania bola hliníková zliatina *AlSi9Cu3(Fe)*. Táto zliatina má vysokú tepelnú a chemickú odolnosť. Zásluhou tohto konkrétneho chemického zloženia má zliatina dobrú pevnosť a vysoký obsah medi zabezpečuje možnosť tepelného spracovania a odolnosť voči vysokej teplote. Chemické zloženie použitej zliatiny je v tab. 1.

Tab. 1. Chemické zloženie zliatiny *AlSi9Cu3(Fe)*

Chemické zloženie [hm. %]						
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni
10,3	0,72	2,1	0,16	0,13	0,02	0,07

1.2 Proces odlievania odliatku

Pre experimentálne práce boli použité odliatky s označením *Satorbuchse GD 150* v dvoch výškových variantoch. Pre zjednodušený zápis boli ďalej použité skratky *SB 120* a *SB 85*. Odliatky boli odliate vo firme *Rosenberg-Slovakia s.r.o., Medzev*. Zmena konkrétnych rozmerov dĺžky tuby je znázornená na obr. 1. Oba typy odliatkov boli odliate v štyroch alternatívach, so zmenou maximálnej rýchlosti lisovacieho piestu v plniacej komore v_{max} resp. rýchlosti plnenia formy. Odlievacia rýchlosť experimentálnych odliatkov bola v rozmedzí $0,5 \div 15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a preto sa jednalo o súvislé turbulentné prúdenie so strednou rýchlosťou plnenia. Zmena odlievacích rýchlostí bola uskutočnená počas druhej etapy plnenia piestom a pri 1. a 3. etape plnenia bola zachovaná konštantná rýchlosť resp. maximálny tlak v komore pri každom odlievaní. Ostatné parametre stroja (napr. ošetrovanie formy, teplota formy, teplota odlievania a dráha piestu a dotlak) zostali pri procese odlievania taktiež nezmenené.



Obr. 1. Zmena dĺžky tuby odliatkov od firmy *Rosenberg*

Na proces tavenia bola použitá taviaca pec od firmy *STRIKO WESTOFEN MHS 750/350* s kapacitou udržiavacieho priestoru 750 kg. Následne bola tavenina preliata z pece do transportnej panvy. Tavenina bola automaticky odplynená dusíkom po dobu 120 sekúnd. Odplynenie je nutné vykonať z dôvodu rozpúšťania H_2 , ktorý sa vylučuje pri tuhnutí

v roztavenom hliníku. Vodík spôsobuje vznik mikrobublín, ktoré je možné odstrániť prebublávaním taveniny inertným plynom, v našom prípade dusíkom. Po odplynení boli mechanicky stiahnuté oxidické blany z povrchu taveniny a tavenina následne dopravená do udržiavacej pece. Odlievania prebiehalo na tlakovom liacom stroji s horizontálnou studenou komorou *CLH 630.02P*. Použité maximálne rýchlosti lisovacieho piestu pri procese odlievania boli zaznamenané do tab. 2.

Tab. 2. Zmeny rýchlostí pri procese odlievania

Číslo rýchlosti	Rýchlosť [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
v_{max1}	2
v_{max2}	3
v_{max3}	3,6
v_{max4}	4

V tab. 3 boli zapísané vybrané parametre, ktoré zostali konštantné pri každom procese odlievania. Obrázok 2 znázorňuje časť odliatkov aj s vtokovou sústavou, ktoré boli ďalej použité na experimentálne hodnotenie.

Tab. 3. Vybrané parametre odlievania

Teplota kovu	$700 \pm 10^\circ\text{C}$
Teplota formy po ošetrovaní (pevná a pohyblivá časť)	$195 \pm 5^\circ\text{C}$
Maximálny tlak v komore	95 MPa
Priemer plniacej komory	80 mm
Aktívna dĺžka komory	485 mm
Doba lisovania	7 s
Doba tuhnutia odliatku	20 s
Doba cyklu	80 s



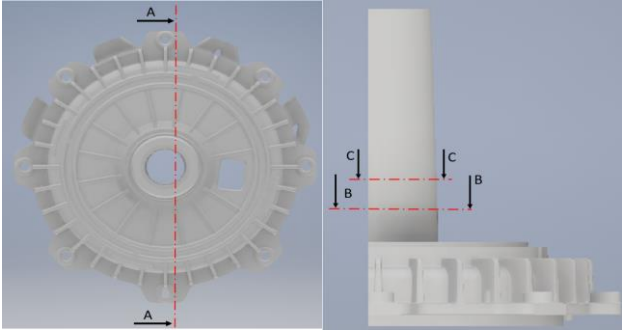
Obr. 2. Experimentálne odliatky *SB 120*

2 PÓROVITOSŤ ODLIATKOV

Zvýšená pórovitosť odliatkov je jednou z najčastejších nedostatkov danej technológie. Pórovitosť okrem netesností spôsobuje aj zhoršenie mechanických vlastností.

2.1 Hodnotenie makropórovitosti

Pri procese vysokotlakového odlievania je dôležité zistiť nielen počet a veľkosť, ale aj tvar pórov, ktorý má vplyv na mechanické vlastnosti odliatku. Faktory, ktoré ovplyvňujú tvar sú faktor guľatosti a tvarový faktor, tzv. SF - shape faktor. Pre každý odliatok boli vyhotovené 3 experimentálne rezy s označením rezov A-A, B-B, C-C (obr. 2).



Obr. 3. Vedenie a označenie experimentálnych rezov odliatkom

Vzorky boli vybrúsené a po častiach nasnímané optickým mikroskopom, ktoré sa následne vo vhodnom programe zlúčili, aby sa vytvoril kompaktný celok (obr. 4a). Pomocou programu *QuickPHOTO INDUSTRIAL 3.2* boli tvary výbrusov a pórov ohraňované pomocou mnohoúhelníkov (obr. 4b), kde boli vypočítané ich obvody a plochy.

Prostredníctvom údajov o ploche a obvode bol vypočítaný tvarový faktor, ktorý je potrebný na hodnotenie dutín v štruktúre odliatkov:

$$S_{Fa} = \frac{4 \cdot \pi \cdot A_p}{U^2} \leq 1, \quad (1)$$

kde A_p je obsah plochy póru [mm],

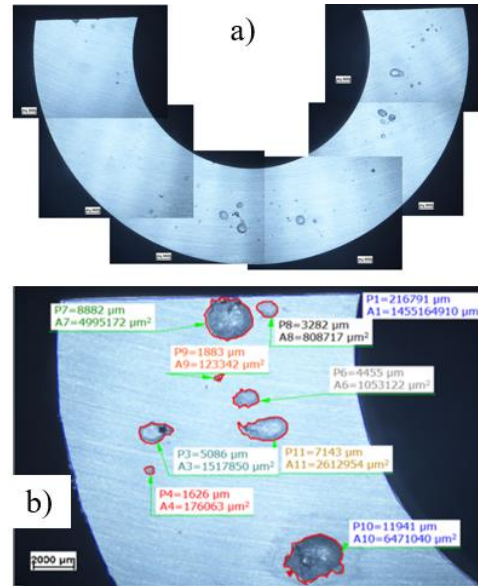
U je obvod dutiny póru na metalografickom výbruse [mm].

Druhou vypočítanou hodnotou bol faktor guľatosti s , ktorý udáva tvarovú rozmanitosť pórov a jeho vzťah je vyjadrený ako prevrátená hodnota tvarového faktora:

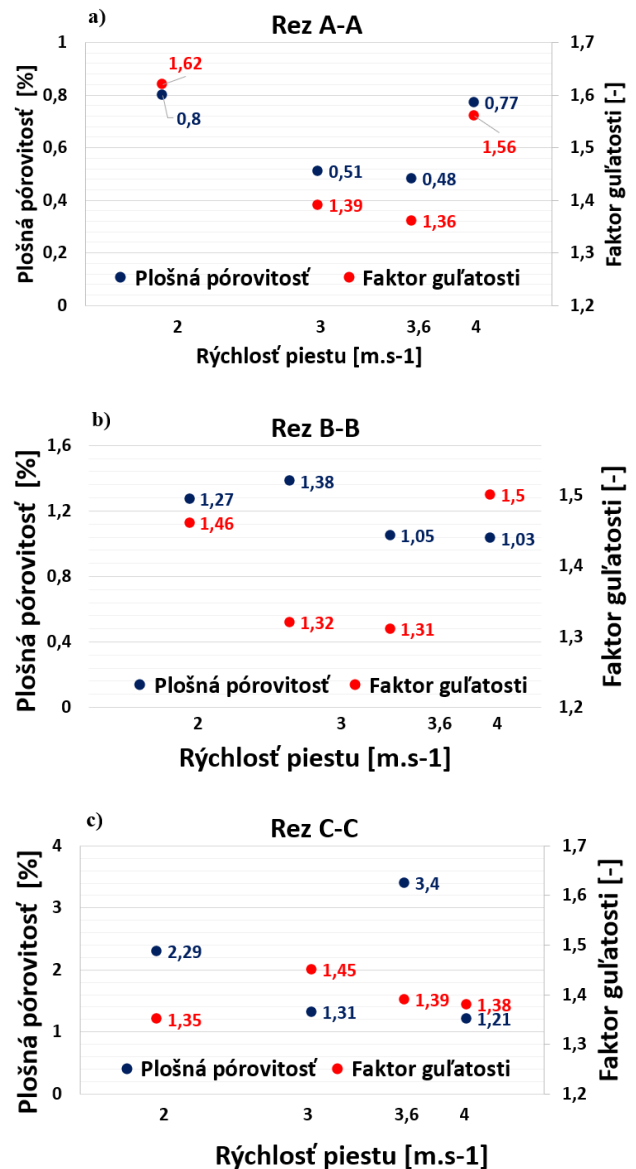
$$S = \frac{U^2}{4 \cdot \pi \cdot A_p} = \frac{1}{S_{Fa}} \geq 1. \quad (2)$$

Ak by bol výsledný faktor guľatosti rovný 1, jednalo by sa o útvar v tvare kruhu (gule). Ďalej platí, že s narastajúcim číslom sa zväčšuje aj zložitosť a členitosť pórov.

Pre každý rez bola vyhodnotená plošná pórovitosť a zo vzťahov (1) a (2) faktor guľatosti pórov. Výsledky jednotlivých rezov odliatkov *SB 120* boli spracované do grafov (obr. 5) a následne vytvorený spoločný graf (obr. 5) priemerných hodnôt plošnej pórovitosti odliatkov *SB 120* a *SB 85*, ktoré boli medzi sebou porovnané.

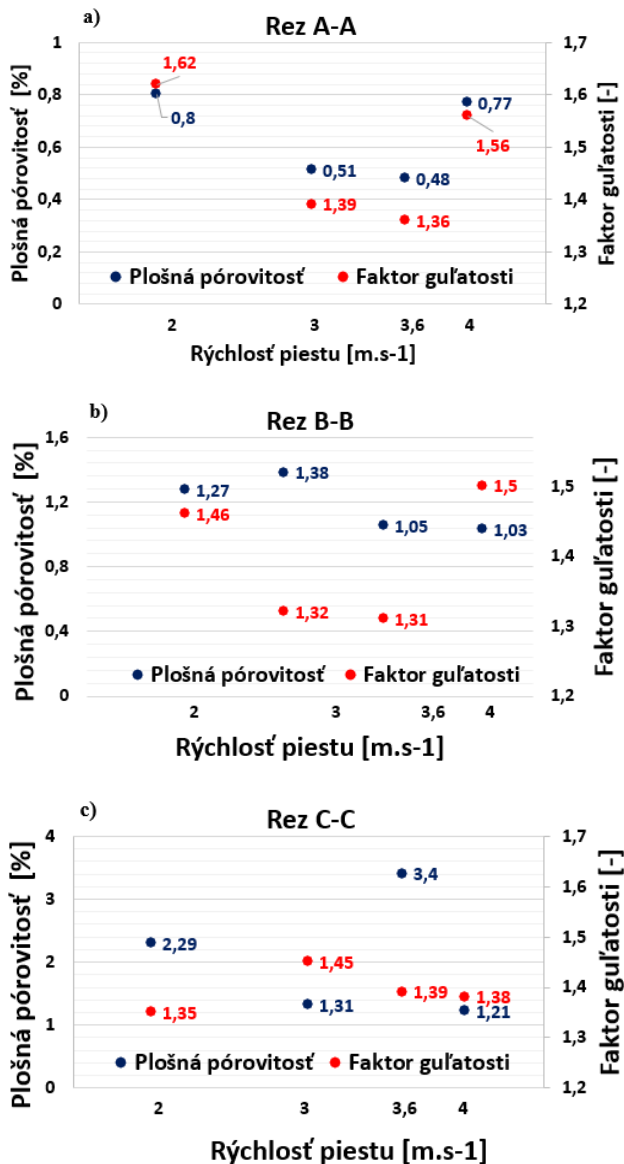


Obr. 4. Spracovanie snímok: a) kompaktný celok jednej vzorky, b) ohraňovanie pórov v programe *QuickPHOTO INDUSTRIAL 3.2*



Obr. 5. Výsledná pórovitosť jednotlivých rezov odliatkov *SB 120* a) Rez A-A, b) Rez B-B, c) Rez C-C

Z grafov jednotlivých rezov bolo možné konštatovať, že hodnota plošnej pórovitosti sa vplyvom zmeny rýchlosti piestu a s konštantným rozmerom tuby menila. Najväčšie percentuálne hodnoty pórovitosti sa vyskytovali v reze C-C, ktorý bol vedený vyššou časťou tuby (obr. 5, rez C-C) a to v rozmedzí 1,21 % až 3,4 %. Vzhľadom k tomuto zisteniu môžeme povedať, že bolo nájdené kritické miesto odliatku, kde sa vyskytovalo zastúpenie väčšieho množstva pórov.



Obr. 6. Výsledná pórovitosť jednotlivých rezov odliatkov SB 85: a) rez A-A, b) rez B-B, c) rez C-C

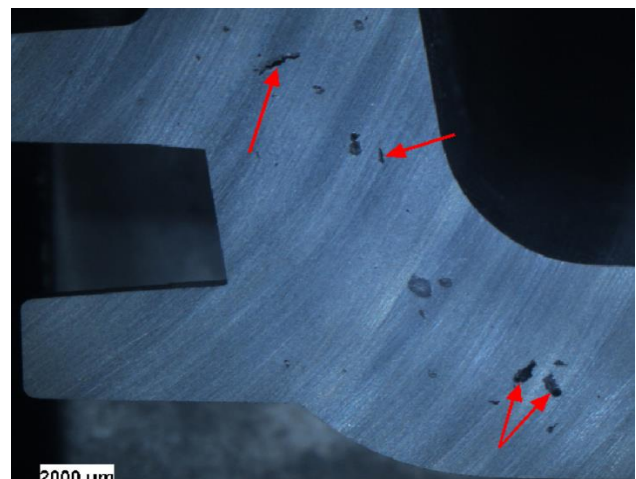
Ak by bol tvar pórov členitý, mohlo by dochádzať ku koncentrácii napätí, čo by znamenalo riziko inicializácie trhlin. Preto je výhodné, aby mali póry tvar gule (kruhu na rovine výbrusu) a hodnota faktoru guľatosti sa blížila k hodnote 1. Záznamy grafov ukazujú hodnoty faktoru guľatosti v intervale hodnôt 1,31 až 1,62 to znamená, že sa pohybujú okolo hodnoty 1. Póry vyskytujúce sa v experimentálnych odliatkoch boli s prevažne guľovitými tvarmi pórov. Nedošlo k výrazným

zmenám tvarov pórov a zmena rýchlostí piestu neovplyvnila ani faktor guľatosti. Z toho vyplýva, že vznik takýchto pórov nastal vplyvom uzavretia vodíka.

Grafy rezov z odliatkov SB 85 (obr. 6) znázorňujú vyhodnotenie plošnej pórovitosti a faktoru guľatosti odliatkov.

Z grafov bolo možné spozorovať, že pri odliatkoch SB 85 sa najmenšia plošná pórovitosť vyobrazila v reze A-A a to v rozmedzí od 0,45 % do 0,63 %. Naopak najväčšia plošná pórovitosť sa vyskytovala v reze B-B, ktorý predstavoval spodnejšiu časť tuby s hodnotami od 1,16 % do 2,37 %. Simulácie, ktoré prognózovali miesta so zvýšeným množstvom pórov opäť ukázali zhodnosť so zistenými výsledkami.

Faktor guľatosti pórov bol v prípade odliatkov SB 85 mierne odlišný, ako pri odliatkoch SB 120. Najväčšia zistená hodnota už jemne prekročila v reze C-C číslo 3, ktoré (podľa obr. 7) bolo priradené k členitému tvaru pórov. Z tohto dôvodu možno konštatovať, že prevažnú väčšinu plochy tohto rezu tvorili póry s mechanizmom vzniku makrostiahnutí, ktoré sú charakteristické výskytom v medzidendritických priestoroch. Vo väčšej miere boli stiahnutiny pozorované a aj priamo označené vo vyhodnocovacom programe (označené červenou šípkou na obr. 7). Stiahnutiny tekutého kovu sa vyskytovali prevažne v miestach tepelných uzlov. Ďalšie hodnoty už sa už pohybovali v rozmedzí od 1,27 % do 1,47 % a výsledky boli obdobné ako v prípade odliatkov SB 120.

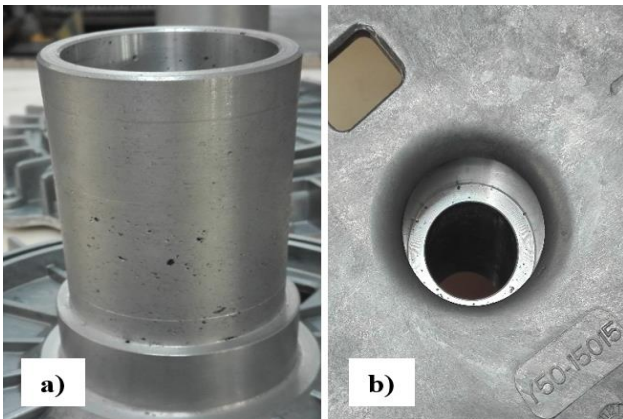


Obr. 7. Stiahnutiny vo vzorkách SB 85

2.2 Vizuálna kontrola odliatku po obrábaní

Odliatky pre experimentálne účely boli dodané v surovom stave, ktoré po technológii odlievania prechádzali ďalšou operáciou a to trieskovým obrábaním. Sústružením bola opracovaná vonkajšia kužeľová časť, tzv. tuba, do tvaru valca, na ktorú sa z vonkajšej časti pri montáži umiestňuje tzv. plechový obal rotoru. Po tomto spracovaní dochádzalo k odkrytiu dovtedy voľným okom neviditeľných

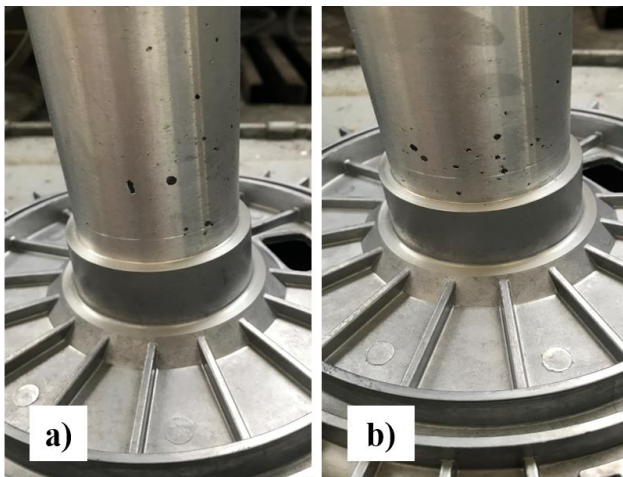
pórov. Trieskovým obrábaním po procese odlievania prechádzala aj vnútorná časť tuby, kde vysústružený priestor slúžil na zalisovanie ložísk pre hriadeľ. Opracovanie nastalo v dvoch častiach a to vo vrchnej a spodnej časti obr. 8.



Obr. 8. Opracovaná vnútorná časť tuby: a) vrchná časť, b) spodná časť

Po opracovaní častí odliatkov SB 120 a SB 85 bolo vizuálnou kontrolou zistené, že pri rýchlosti $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ boli póry rozmerovo najväčšie a zároveň najväčšie množstvo týchto pórov vyšlo na povrch (obr. 9). Výsledky grafov plošnej pórovitosti preukázali totožné závery, ako v prípade vizuálnej kontroly.

Porovnaním opracovania vnútornej časti tuby medzi vrchnou a spodnou časťou bolo zjavné, že kritickejšou oblasťou po sústružení bola jednoznačne spodná časť z dôvodu kumulácie oveľa väčšieho množstva pórov a väčšieho odberu materiálu pri sústružení.



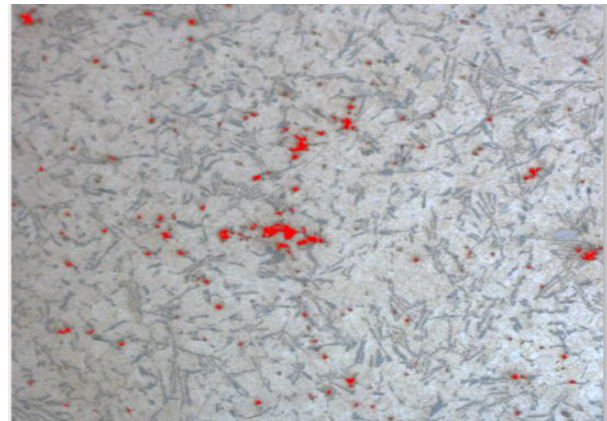
Obr. 9. Snímky pri maximálnej rýchlosti piestu $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$: a) odliatok SB 120, b) odliatok SB 85

2.3 Hodnotenie mikropórovitosti

Ako miesto pre hodnotenie mikropórovitosti bola zvolená stredová oblasť rezu B-B. Spolu bolo vytvorených 8 vzoriek v závislosti od druhu odliatku a od použitej rýchlosti piestu.

Vyhodnocovanie plošnej mikropórovitosti prebiehalo pomocou programu *QuickPHOTO*

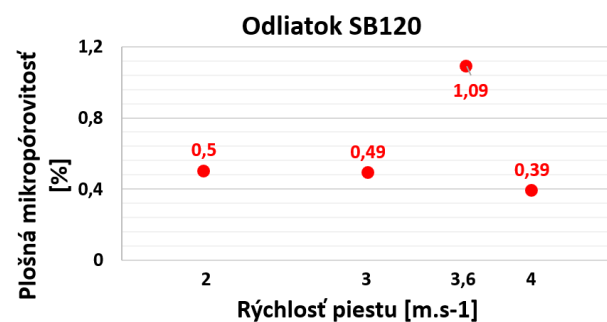
MICRO 3.2, ktorý mal rovnaké rozhranie ako program na vyhodnocovanie makropórovitosti. Prostredníctvom nástroja „Analýza fáz“ bol vyhodnotený percentuálny podiel pórov pre každú snímku (obr. 10). Pri tomto kroku bolo dôležité nastaviť správnu citlivosť filtrov, aby boli vyplnené iba miesta pórov. Na základe hodnôt piatich snímok z každej vzorky boli vytvorené priemerné hodnoty a zaznamenané do grafov.



Obr. 10. Stiahnutiny vo vzorkách SB 85

2.3.1 Vyhodnotenie mikropórovitosti odliatkov SB 120

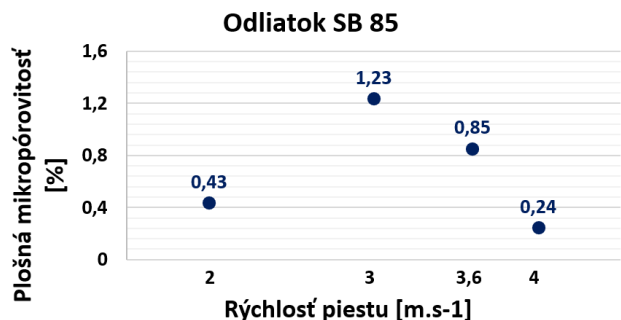
Z grafu mikropórovitosti, ktorý je na obr. 11 bolo možné vidieť, že najväčšia priemerná plošná mikropórovitosť bola pri rýchlosti piestu $3,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Mikropórovitosť pri ostatných rýchlostiach mali veľmi podobné hodnoty s nevýrazným rozdielom. Najnižšia mikropórovitosť bola nameraná pri rýchlosti piestu $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 11. Výsledná mikropórovitosť odliatkov SB 120

2.3.2 Vyhodnotenie mikropórovitosti odliatkov SB 85

Mikropórovitosť odliatkov SB 85 taktiež korešpondovala s nameranými výsledkami tvrdosti tzn. najväčšiu mikropórovitosť mala vzorka s rýchlosťou $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, ktorej hodnota výslednej tvrdosti je zobrazená aj na grafe (obr. 12), bola nižšia. Od tejto rýchlosti sa mikropórovitosť so zvyšujúcou rýchlosťou znižovala. Najnižšiu mikropórovitosť mala vzorka s rýchlosťou $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, a to len $0,24 \%$.



Obr. 12. Výsledná mikropórovitosť odliatkov SB 120

Zmena rozmerov dĺžky tubovej časti nemala výrazný vplyv na výslednú mikropórovitosť odliatkov SB 85 a SB 120.

ZÁVER

Cieľom predloženého príspevku bolo z experimentálnych odliatkov zistiť vplyv zmeny maximálnej rýchlosti lisovacieho piestu v závislosti od rozdielnej výšky tuby na pórovitosť odliatku.

Pri zmene dĺžky tubovej časti boli zaznamenané jemné zmeny miest tvorenia pórov. V kritických zónach odliatkov bola z metalografických výbrusov zisťovaná pórovitosť, kde výsledkom bolo, že so zvyšujúcou rýchlosťou piestu sa znižovala pórovitosť. Rýchlosť piestu s najlepšimi výsledkami pre oba typy odliatkov bola $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Nárast veľkosti tuby pri SB 120 na druhu stranu preukázal, že pri rýchlostiach $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a vyšších je tuba náchylnejšia na vznik pórovitosti ako pri SB 85. Vyhodnotením faktoru guľatosti, ktorý má vplyv na tvar a členitosť pórov bolo zistené, že póry mali v rovine výbrusu prevažne tvar kruhu a hodnota sa výrazne nemenila. Výskyt stiahnutí sa nachádzal najmä v miestach tepelných uzlov.

Vizuálna kontrola, ktorá nastala po obrobení tubovej časti, kedy póry vyšli na povrch.

Hodnotenie mikropórovitosti preukázalo, že najnižšie hodnoty boli namerané pri zliatine SB 120 a rýchlosti piestu $3,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ resp. pri zliatine SB 85 a rýchlosti piestu $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

V konečnom dôsledku možno zhodnotiť, že rozmerová zmena tuby mala zásadnejší vplyv iba na plošnú pórovitosť odliatkov.

Taktiež bolo vyhodnotené, že zmeny rýchlosti piestu

zasahujú do vnútornej kvality experimentálnych odliatkov a najvýhodnejšou rýchlosťou z pomedzi použitých rýchlostí z hľadiska makropórovitosti a tým spojenej vizuálnej kontroly bola rýchlosť $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Pod'akovanie

Článok bol vytvorený v rámci projektu grantovej agentúry KEGA: 022ŽU-4/2021. Autori týmto ďakujú agentúre za podporu.

LITERATÚRA

- [1] MARATHE, S. - QUADROS, C. (2020): *Thermal Factor of Aluminium High pressure Die Casting Container (Mould) to achieve Six Sigma Quality of Castings*: International Journal of Engineering Research & Technology 2020, pp. 159-168.
- [2] HAJKOWSKI, J. - POPIELARSKI, P. - SIKI, R. (2018): *Prediction of HPDC Casting Properties Made of AlSi9Cu3 Alloy*. *Advances in Manufacturing: Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer 2018, pp. 621–631.
- [3] ANDRESEN, B. (2005) *Die casting engineering: a hydraulic, thermal, and mechanical*: Marcel Dekker, (2005), pp. 11.
- [4] MAJERNÍK, J. - GAŠPÁR, Š. - PODARIL, M. - KOLÍNSKY, J. (2019): *The Influence of the Gate Geometry on Selected Process Parameters in the High Pressure Die Casting Technology*: *Manufacturing Technology*, 19(1), pp. 101-106.
- [5] RAGAN, E. a kol. (2007). *Liatie kovov pod tlakom*. Vydavateľstvo Michala Vaška, Prešov, 2007. 392 s.
- [6] BATYSHEV, K. A. a kol. (2020): *Effect of high pressure processing in the formation of castings of aluminum alloys*: *Journal of Physics: Conference Series*, 49 (5), pp. 9.
- [7] KARBAN, R. (2000): *The Effects of Intensification Pressure, Gate Velocity, and Intermediate Shot Velocity on the Internal Quality of Aluminum Die Castings*: USA: Purdue University, West Lafayette, pp. 104.

Blechschnitten mit Wärmeanwendung

Ján Moravec, doc. Ing., PhD.*

Abteilung von Technologisches Ingenieurwesen, Fakultät für Maschinenbau,
Žilinaer Universität in Žilina,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: jan.moravec@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2764

Sheet metal cutting with application of heating

Abstract: The article deals with to in theoretical part described sheet problematic. In the experimental part deals with search to influence temperature on heating applique. In the contribution to are integrated photos the shears surfaces and is being done valuation results obtained.

EINLEITUNG

Das Schneiden ist eine spanlose Materialteilung, vor allem Blechteilung in benötigtem Maß, Form, Schnittqualität und natürlich in Anzahl der benötigten Teile. Beim Schneiden werden an Stelle der Deformation die Materialfäden unterbrochen und es kommt zur Abtrennung seiner Teile und zur Flächenvergrößerung um 100 % [1-7].

Der beschriebene Ablauf der Materialtrennung kommt am meisten vor im Bereich der spanlosen Formung und besitzt hier eine dominante Stellung.

1 THEORETISCHES TEIL

Kraft, die zur Materialtrennung im Prozess des Schneidens benötigt wird, ist direkt proportional der Schneidefläche, entlang der das Material getrennt wird und genauso der Materialfestigkeit im Schnitt τ_{ps} .

Zum Ausrechnen der Schneidkraft F_S wird folgende Formel verwendet:

$$F_S = l \cdot s \cdot \tau_{ps} \cdot k = S \cdot \tau_{ps} \cdot k \quad (1)$$

in der Formel bedeutet:

l - Materiallänge in der Schnittplatte, bzw. Schnittumfang [mm],

s - Materialstärke [mm],

k - Koeffizient (1,2 bis 1,5),

τ_{ps} - Festigkeit im Schnitt [MPa],

S - Schneidefläche [mm²].

Die theoretische Größe F_S ausgerechnet erhöht sich auf Grund Reibung, Stumpfwerden der Schneide, Abweichungen der Materialstärke und anderen Ungleichmäßigkeiten, deswegen wurde in oben genannter Formel der Koeffizient k ergänzt, der die aufgeführten Fakten einbezieht. Allgemein bekannt ist die deutliche Erhöhung der Scheidkraft beim dicken Schneiden, die auch durch eine verrostete oder anderes verschmutzte Oberfläche des Schneidmaterials beeinflusst wird [1-4].

Die Schneidetechnologie wird vor allem im kalten Zustand verwendet, also es wird keine Erwärmung verwendet. Das gilt für den Bereich der flächigen spanlosen Formung, also für die Blechverarbeitung. Im Falle des Schneidens und des Lochens bei Fertigstellung der Gesenkschmiedestücke handelt es sich um spanlose Formung mit Erwärmung. Im Hinblick auf die Schneidetechnologie ist es ein besonderer Fall aus dem Aspekt der Wärmeapplikation. Die eigentliche Materialerwärmung muss genügend hoch sein, da der Stahl sollte nicht bei Temperaturen zwischen 100 °C und 400 °C bearbeitet werden, wenn der Stahl sich im Bereich der so genannten Blauglückblitze befindet. Der Temperatureinfluss auf die Stahlfestigkeit ist in der Tabelle 1 ersichtlich. Die Daten in der Tabelle gelten für nicht gebrauchte (scharfe) tätige Teile des Schneidewerkzeugs.

Tab. 1. Die Stahlfestigkeit in der Schnittstelle in Abhängigkeit von der Temperatur

T [°C]	20	200	500	600	700	800	900
τ_{ps}	280-450	360	320	200	110	60	30
	350-550	450	450	240	130	90	60
	450-650	530	550	330	160	90	70
	520-750	600	580	380	190	90	70

Für Schneiden bei Wärme sind am besten Temperaturen im Bereich von 700 °C ÷ 900 °C.

2 EXPERIMENTALES TEIL

Für das experimentale Teil wurde das Blech mit Stärke 2 mm, STN 41 1375 verwendet. Die Zusammensetzung des Materials ist: C - max. 0,20 %, P - max. 0,050 %, S - max. 0,050 %.

Zum Schneiden wurden geschliffene Hebelschere verwendet. Die Anzahl der Muster beim Schneiden im kalten Zustand war 5 Stück, bei der

Wärmeapplikation auch 5 Stück. Die Maße des Schnittmusters sind 50x50 mm.

2.1 Schneiden im kalten Zustand

Zuerst wurden die Muster im kalten Zustand geschnitten. Auf dem Bild Nr. 1 ist der Zustand der Musteroberfläche nach dem Schneiden ersichtlich.

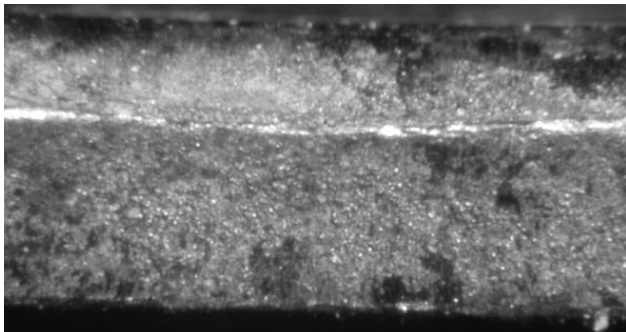


Bild Nr. 1. Oberfläche nach dem Schneiden im kalten Zustand

2.2 Schneiden unter Wärmeanwendung

Die Muster wurden geschnitten bei der Temperatur um 700 °C. Die Temperatur der Erwärmung betrug 710 °C. Die Muster wurden im Ofen bei dieser Temperatur erwärmt, um sicher zu stellen, dass nach dem Rausholen aus dem Ofen ihre Temperatur 700 °C beträgt. Die Temperatursenkung wurde in die Berechnung einbezogen.

Wenn im Anfangsmoment der Abkühlung des homogenes Körpers sich die Temperatur nach folgendem Gesetz verteilt: $\Theta_a = \Theta_a(x, y, z)$, kann man die Lösung in der Formreihe $\Theta(x, y, z, \tau) = \sum A_i \cdot \Theta_i(x, y, z) \cdot e^{-m_i \tau}$ darstellen. A_1, A_2, \dots, A_i sind Konstanten, die vom Anfangswärmezustand des Körpers abhängig und durch die Randbedingungen nach [2, s.184] bestimmt sind. Die Geschwindigkeit des regulären Kühlregimes für dünne Bretter nach der aufgeführten Quelle ist: $m_1 = a/(s/2)^2 \cdot B_i$. Das gilt für kleine Biot Nummer $B_i \ll 1$. Für große Biot Nummer $B_i \gg 1$ gilt: $m_1 = \pi^2/4 \cdot a/(s/2)^2$.

Im Hinblick auf den Charakter der Proben ist dieses als ausreichend zu bewerten. Auf dem Bild Nr. 2

sieht man der Zustand der Oberfläche nach dem Schneiden unter Wärmeanwendung.

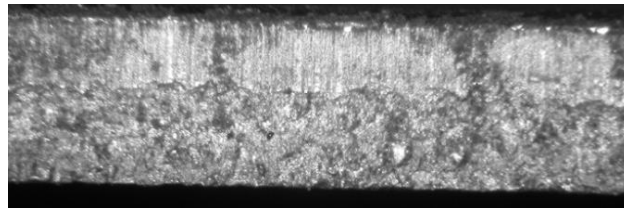


Bild Nr. 2. Oberfläche nach Schneiden unter Wärmeanwendung

ABSCHLUSS

Artikel führt die erreichten Ergebnisse beim Blechschneiden unter bestimmten Wärmebedingungen und Wärmezustand des Körpers zusammen. Beim Recherchieren in der Fachliteratur wurde eine vergleichbare Zusammenfassung der Ergebnisse aus durchgeführten Experimenten nicht gefunden. Die Arbeit fügt sich passend in das breite Spektrum der Schneidproblematik und der Schneidprozessen allgemein [7].

LITERATUR

- [1] MORAVEC, J. (2011): *Unkonventionelle Umformtechnologien*, EDIS - Verlag ŽU Žilina.
- [2] MORAVEC, J. (2000): *Schneiden von technischen Materialien*, EDIS - Verlag ŽU Žilina.
- [3] HOSFORD, W. F. - CADDEL, R. M. (2011): *Metal Forming Mechanics and Metallurgy*. Cambridge University Press.
- [4] KUMAR, S. (2008): *Technology of Metal Forming Processes*, New Delhi: PHI.
- [5] KUNDAR, S. (2000): *Technology of Metal Forming Processes*, New Delhi: PHI.
- [6] MARCINIAK, Z. et al. (2007): *Sheet Metal forming*, Butterworth Heineman.
- [7] *Metal Forming Handbook*, (2010) Springer Verlag Berlin
- [8] KUTATELADZE, S.S. - BORISANSKIJ, V. M. (1982): *Heat transfer manual*, SNTL Praha.

Teoretická analýza premeny slnečnej energie na teplo s aplikáciou pre rodinný dom

Alexander Čaja, Ing., PhD.

Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: alexander.caja@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2853

Bronislava Hrnková, Ing.*

Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: bronislava.hrnkova@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2860

Andrej Kapjor, doc. Ing., PhD.

Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: andrej.kapjor@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2879

Martin Vantúch, Ing., PhD.

Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: martin.vantuch@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2871

Theoretical analysis of the conversion of solar energy into heat with an application for a family house

Abstract: In low-energy and passive buildings, it is essential that energy demand is covered by renewable energy. Buildings require energy in the form of heat and electricity, and the use of solar energy is important to achieve a clean zero energy balance. In projects with ambitious energy targets or limited available areas for local energy production, solar and photovoltaic installations will be a suitable solution in terms of reducing primary energy demand. This article deals with the analysis of the conversion of solar energy into heat in order to reduce the primary energy demand of a building and achieve its net zero energy balance.

ÚVOD

V súčasnosti čelíme environmentálnym problémom v dôsledku využívania fosílnych palív. Je dôležité uvedomiť si, že spaľovanie fosílnych palív, najmä uhlia a ropy, produkuje emisie, ktoré majú negatívne zdravotné dopady na ľudstvo. Potenciálnym rizikom sú emisie oxidu uhličitého a tiež postupný nárast globálnej teploty. Tie z dlhodobého hľadiska môžu ovplyvniť vývoj klímy, životného prostredia a ohroziť udržateľnosť zdravého života a vývoja.

Slnečná energia je hnacím motorom života na *Zemi*. Ohrieva povrch *Zeme*, oceány a atmosféru, vytvára vietor, spôsobuje odparovanie vody, poháňa vodné toky a dodáva životnú energiu. Zo slnečnej energie pochádzajú aj fosílna palivá a ostatné obnoviteľné zdroje energie - veterná, vodná a aj energia z biomasy.

Energia, ktorá v našich zemepisných podmienkach dopadá na plochu 1 m², má hodnotu 1000 ÷ 1250 kWh-rok⁻¹ (to je asi 5 GJ). Aj keď v praxi sa absolútna účinnosť nedá dosiahnuť, presvedčivo naznačuje potenciál ukrytý v slnečnej energii. Slnko je teda obrovský, nevyčerpatelný a takmer všade dostupný zdroj energie. Napriek tomu sa na *Slovensku* stále využíva iba veľmi nedostatočne. Pritom technológie na premenu slnečnej energie na teplo alebo elektrickú energiu sú na trhu bežne k dispozícii, ich inštalácia je jednoduchá a rýchly technologický rozvoj tlačí ceny solárnych zariadení dole. Ako vhodný príklad zo *Slovenska* poslúži vodný park *AquaCity Poprad*, otvorený v roku 1997. Fotovoltické články pri stavbe areálu umiestnili priamo do zasklenej fasády bazénového centra. Približne 20 % z dopadajúceho slnečného žiarenia články premieňajú na elektrickú energiu, z ktorej časť využívajú aj na prevádzku

bazénov. Vďaka relatívne malému vplyvu slnečnej energie na životné prostredie a klímu v porovnaní s inými spôsobmi získavania energie, neustále rastie verejná podpora pre solárne zariadenia.

1 BIOMASA Z POHĽADU MOŽNÉHO ENERGETICKÉHO VYUŽITIA

Biomasa vzniká vďaka slnečnej energii a z energetického pohľadu slúži ako jej akumulátor. Výhodou biomasy je, že sa ňou dá pomerne jednoducho a dlhodobo skladovať energia. Nevýhodou je nízka účinnosť premeny slnečného žiarenia na energiu. Z hektára poľa sa dá za rok získať biomasa s energetickým obsahom 40 až 90 MWh, podľa typu plodiny. To je menej než 1 % slnečného žiarenia, ktoré na túto plochu za rok dopadne. Pri spracovaní biomasy na palivo a jeho spaľovaní na získanie tepla alebo elektrickej energie vznikajú ďalšie straty [1].

Pre vznik biomasy je fotosyntéza základnou chemickou reakciou, a teda veľkosť produkcie biomasy závisí na jej intenzite. Intenzitu fotosyntézy ovplyvňujú nasledujúce faktory:

- Svetlo - rastliny absorbujú asi $2 \div 3$ % dopadajúceho svetla, najmä prostredníctvom listov. Maximálna absorpcia nastáva pri vlnových dĺžkach odpovedajúcich červenému svetlu ($640 \div 700$ nm), prípadne modrému svetlu ($430 \div 460$ nm).
- CO_2 - koncentrácia oxidu uhličitého v ovzduší je približne $0,02 \div 0,03$ %. Najnižšou koncentráciou, pri ktorej fotosyntéza prebieha, je okolo $0,008 \div 0,010$ %. So zvyšujúcou sa koncentráciou CO_2 v ovzduší vzrastá aj intenzita fotosyntézy, až pokým sa neustáli, a to pri koncentrácii $0,06 \div 0,4$ %.
- Voda - tá má v procese fotosyntézy viacero dôležitých úloh a jej prílišný nedostatok má na rastliny neblahý vplyv. Na druhej strane, maximálna intenzita fotosyntézy nastáva práve vtedy, keď je vodný deficit, a to na úrovni $5 \div 25$ % z celkového nasýtenia.
- Teplota - pri nižších hodnotách teploty, prebieha proces fotosyntézy pomaly. Pri zvyšovaní teploty sa intenzita fotosyntézy zvyšuje, a to až do istého teplotného optima. Po jeho prekročení intenzita klesá [2].

Drevo je najviac využívaným druhom biomasy na výrobu energie. Ako palivo sa najbežnejšie využíva vo forme kusového dreva. Pri dobrom uskladnení si uchováva svoj energetický obsah, ktorý sa dokonca v prvých dvoch až troch rokoch relatívne zvyšuje, pretože drevo vysychá. Všeobecne sa odporúča doba sušenia $18 \div 24$ mesiacov, je možné ju však skrátiť na $12 \div 15$ mesiacov, keď sa drevo rozreže na menšiu

dĺžku alebo sa pozdĺžne rozštíepa. Energetická hodnota 1000 kg suchej drevnej hmoty sa rovná energetickej hodnote:

- 450 kg čierneho uhlia.
- 520 kg koksu.
- 340 kg vykurovacieho oleja.
- 320 kg butánu.

Výhrevnosť dreva je porovnateľná s hnedým uhlím. Pri rastlinných palivách však kolíše podľa druhu dreva a vlhkosti. Čerstvo vyťažené drevo má relatívnu vlhkosť až 60 %. Na vzduchu prirodzene dobre preschnuté kusové drevo má relatívnu vlhkosť asi 20 % (túto hodnotu dosiahne po asi dvojročnom skladovaní na prevetrávanom mieste) [1].

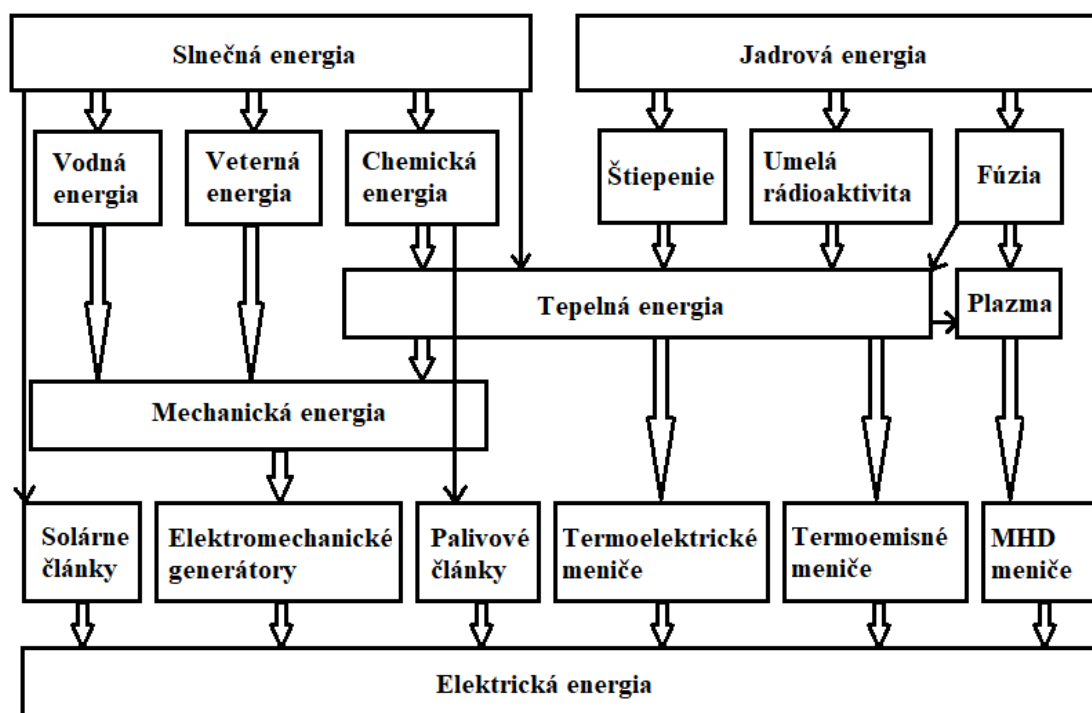
Tab. 1 Výhrevnosť jednotlivých druhov palív (vlastný zdroj)

Druh paliva	Výhrevnosť paliva
Drevo	14,004 (MJ·kg ⁻¹)
Rastlinné pelety	15,984 (MJ·kg ⁻¹)
Drevné pelety	18,000 (MJ·kg ⁻¹)
Drevné brikety	15,984 (MJ·kg ⁻¹)
Čierne uhlie	20,988 (MJ·kg ⁻¹)
Hnedé uhlie	15,012 (MJ·kg ⁻¹)

Ďalšou bežnou formou dreveného paliva sú štiepky. Sú to $2 \div 4$ cm dlhé kusy dreva, ktoré sa vyrábajú drvením drevených odpadov, napr. tenčiny z pririedovania porastov, konárov a kôry. Ich výhrevnosť je rovnaká ako výhrevnosť dreva, z ktorého sa pripravujú. Sypná hmotnosť je $280 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a vyznačujú sa vyšším obsahom vody (do 20 %). Ich výhoda je rýchle schnutie a relatívne nízka cena. Použitie štiepky umožňuje s použitím zásobníkov a dopravníkov paliva automatickú prevádzku kotlov.

Brikety sú valcovité telesá s dĺžkou asi $15 \div 25$ cm vyrobené z odpadovej biomasy drvením, sušením a lisovaním bez chemických prísad. Vyznačujú sa nízkym obsahom vody (do 12 %). Vysoká sypná hmotnosť (asi $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) a vysoká výhrevnosť brikiet ($16 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) znižuje potrebný objem paliva a zjednodušuje manipuláciu s ním. Oproti kusovému drevu alebo štiepke je však cena brikiet značne vyššia.

Pelety sú relatívne nová forma dreveného paliva. Sú to granule s priemerom $6 \div 8$ mm a dĺžkou $10 \div 30$ mm. Vyrábajú sa z odpadového materiálu (napr. z pilín a hoblín) bez chemických prísad, lisovaním pod vysokým tlakom. Majú malú vlhkosť ($8 \div 10$ %), relatívne vysokú sypnú hmotnosť (min. $600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) a vysokú energetickú hustotu (až $16,5 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$). Týmito parametrami sa pelety vyrovnávajú uhlíu, ich nevýhoda je relatívne vysoká cena.



Obr. 1. Premena energie (vlastný zdroj)

2 PREMENA ENERGIE Z OBNOVITELNÝCH ZDROJOV

Palivo je pevná, kvapalná alebo plynná látka, z ktorej sa spaľovaním uvoľňuje tepelná energia. Výnimku tvorí jadrové palivo, z ktorého sa teplo uvoľňuje dôsledkom jadrových reakcií. Najčastejšie sa používajú fosílna palivá (uhlie, vykurovacie oleje vyrábané z ropy, zemný plyn) alebo palivá na báze biomasy (drevo, poľnohospodárske odpady, bioplyn) [3].

Premena energie je z hľadiska energetiky premena primárnej energie (paliva) na formu energie, ktorá je vhodná na distribúciu alebo na konečné použitie (elektrická energia). Jednoducho povedané, je to výroba energie jej premenou. Z fyzikálneho hľadiska však pojem výroba nie je presný, pretože energiu nemožno vyrobiť ani zničiť. Pod pojmom premena energie sa zaraďuje aj transformácia energie. Pri transformácii sa nemení forma energie, ale iba jej kvalitatívne charakteristiky. Základný reťazec premeny energie na elektrickú energiu a premena rôznych foriem energie na elektrickú energiu sú zobrazené na nasledujúcom obrázku (obr. 1).

3 VYUŽITIE ENERGIE ZO SLNKA V PRAXI

V bežnej praxi existujú tri základné spôsoby využitia slnečnej energie: pasívne, termické a fotovoltaické.

Každý z nich má veľa podôb v závislosti od účelu využívania slnečnej energie a použitých technológií. Energeticky pasívny dom nepotrebuje klasický vykurovací systém, postačia mu pasívne energetické

zdroje. Funguje na princípe vzduchotesnej obálky domu s maximálnym využitím slnečnej energie a teplom vyžarovaným bežnými domácimi spotrebičmi. Nevyhnutnou súčasťou je systém riadeného vetrania so spätným získavaním tepla. Zabezpečuje stály prívod čerstvého vzduchu a odsávanie znečisteného či vydýchaného vzduchu. Pasívny štandard spĺňajú domy, ktoré dosahujú ročnú spotrebu tepla maximálne 15 kWh na štvorcový meter úžitkovej plochy. Celková ročná spotreba primárnej energie - celkovo spotrebovaná energia plus energia vynaložená na jej výrobu, musí byť nižšia ako 120 kWh·m⁻². Po dokončení stavby prechádza dom takzvaným blower door testom, teda skúškou vzduchotesnosti. Aby vyhovel energeticky pasívnemu štandardu, nameraná hodnota prievzdušnosti by mala byť pod 0,6 h⁻¹. Riešením vykurovania pasívneho domu môže byť piecka so zásobníkom na vykurovaciu aj teplú vodu. Pec má vonkajší prívod vzduchu, špeciálnu izoláciu a nízky výkon. Väčšinu tepla, asi 70 %, spotrebuje zásobník na zohriatie vody a len 30 % ide do priestoru. Zásobník je prínosné napojiť aj na solárne kolektory, ktoré od jari do jesene zabezpečia teplú vodu. V takomto prípade drevom postačí zakúriť len v zime.

Pasívny dom má niekoľko charakteristických znakov:

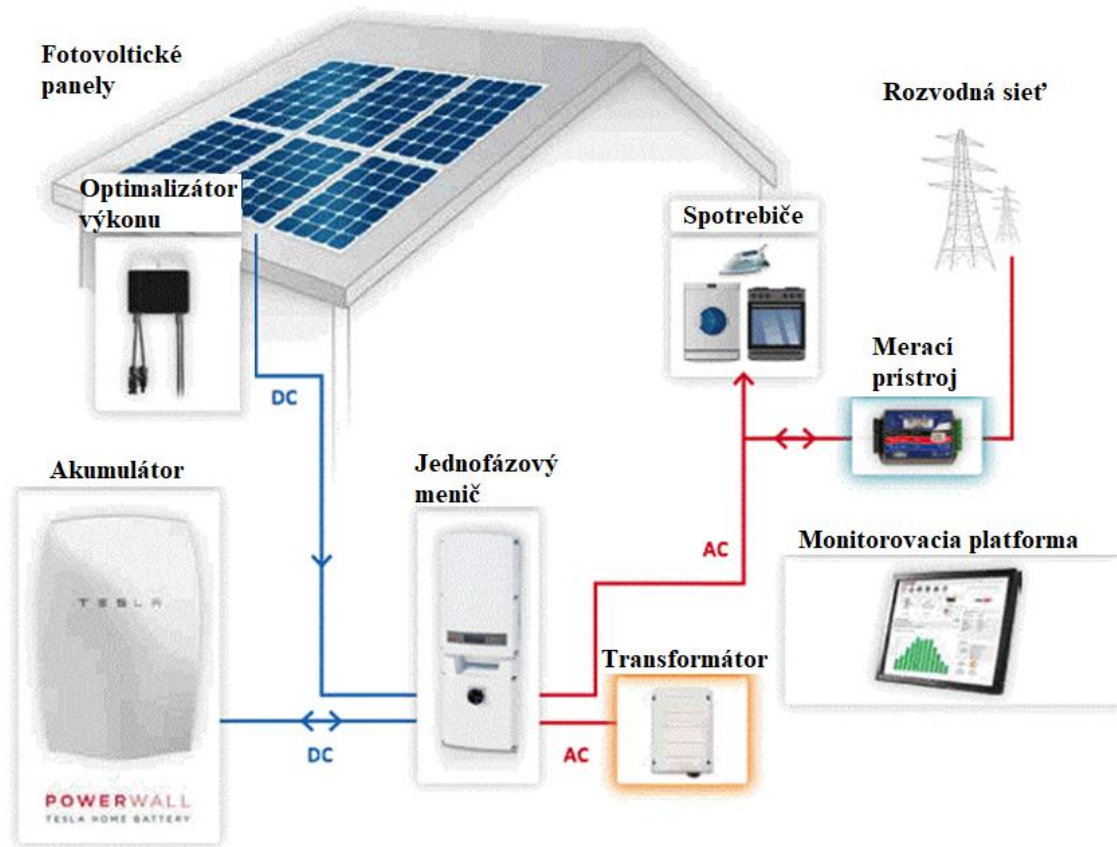
- Dobrý architektonický návrh.
- Kompaktný tvar bez zbytočných výčnelkov.
- Južná orientácia presklených plôch.
- Vynikajúce zasklenie.
- Nadštandardná tepelná izolácia a vzduchotesnosť domu.

- Dôsledne eliminované tepelné mosty.
- Regulácia vykurovania využívajúca tepelné zisky.
- Strojové vetranie s rekuperáciou tepla.
- Klasický vykurovací systém môže úplne chýbať.
- Potreba energie na vykurovanie je max. $15 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ [4].

K zásadným kritériám posudzovania pasívneho domu patrí jeho ročná potreba tepla na vykurovanie na štvorcový meter úžitkovej plochy domu. Dôležité sú: precízne vypracovaná projektová dokumentácia a kvalitná realizácia s dôrazom na vzduchotesnosť, maximálnu elimináciu tepelných mostov, dokonalú tepelnú izoláciu, schopnosť pasívne prijímať tepelné zisky zo slnečného žiarenia a kontrolované vetranie.



Obr. 2. Podzemný pasívny dom [vlastný zdroj]



Obr. 3. Fotovoltická elektráreň Solar Hybrid M-LI-ION [vlastný zdroj]

Klíma sa v interiéri javí od začiatku príjemná a vyrovnanejšia ako pri bežnom dome, aj teplota medzi dňom a nocou je ustálenejšia. Nie je problém udržať stabilnú teplotu v zime aj v lete.

4 PODZEMNÝ PASÍVNY DOM

Moderná doba, plná techniky, prináša so sebou problematiku zvýšenej produkcie emisií a zaťažovania životného prostredia. Domy v zemi sú skvelou alternatívou bývania pre tých, ktorí sa zaujímajú o ekológiu a chcú znížiť svoj negatívny dopad na životné prostredie.

Potrebu elektrickej energie takéhoto domu pokryje fotovoltická elektrárňa na kľúč. Okrem solárnych panelov a sieťového meniča obsahuje navyše batérie, teda akumulátory a nabíjačku na batérie, ktorá môže byť integrovaná už v sieťovom meniči. Tieto batérie je možné umiestniť napr. v technickej miestnosti domu.

Komponenty fotovoltickej elektrárne *Solar Hybrid M-LI-ION* s celkovým výkonom 3,24 kWh sú nasledovné:

- FVE Panely - 12 kusov panelov *Jinko solar Poly 270 Wp*, konštrukcia.
- Akumulátory s kapacitou 2,4 kWh, technológia *LiFePO*, vysoký počet nabíjajúcich cyklov (6000) s 80 % hĺbkou vybíjania, *Rack* pre uloženie akumulátorov.
- Riadiaci modul pre akumulátory *SC0500A-100S*.
- Menič jednofázový hybridný asymetrický *GoodWe GW10K-ET* 3,6 kWh.
- AC/DC rozvádzač a výzbroj.

Pre lepšiu predstavu sú jednotlivé komponenty fotovoltickej elektrárne *Solar Hybrid M-LI-ION* zobrazené na obr. 3.

Elektrická energia získaná zo slnka je primárne použitá na chod spotrebičov v domácnosti. Jej prípadné prebytky sú ukladané do akumulátorov. Uloženú energiu je možné využiť, keď slnko nesvieti. Ráno, alebo keď je polojasno, fotovoltická elektrárňa nevyrába dostatočné množstvo elektrickej energie na pokrytie potrieb domácnosti. Pretože je akumulátor vybitý, je nutné chýbajúcu energiu doplniť z distribučnej siete.

Ohrev teplej úžitkovej vody (*TÚV*) je možné zabezpečiť aj elektrickou energiou získanou prostredníctvom fotovoltickej elektrárne. Keďže sa ale cena elektrickej energie nepretržite zvyšuje, bude výhodné využiť slnečnú energiu a zabezpečiť ohrev *TÚV* solárnymi kolektormi. Potrebná absorpčná plocha kolektora, ktorý pokryje výrobu *TÚV* pre domácnosť so štyrmi osobami je 5,882 m².

Článok poukazuje na to, že dokážeme efektívne využiť dnešnú techniku vo svoj prospech a zároveň v

prospech prírody. Zemina a vhodné materiály nám dokážu zabezpečiť minimálne tepelné straty a vhodná orientácia objektu a dostatočné preslnenie užitočné solárne zisky. V krtkodome sú navrhnuté systémy na zabezpečenie požiadaviek na bývanie z obnoviteľných zdrojov energie a zároveň s nízkou uhlíkovou stopou. Navyše je v dome využitá akumulácia energie, čo nám zabezpečí jej efektívne využitie a zabráni zbytočnému plytvaniu energiou. Ide o ekologické bývanie, ktoré má pozitívny vplyv na životné prostredie a ponúka nám zdravšie prostredie prostredníctvom zlepšenej kvality vzduchu v interiéri. Vstupná investícia je pri podzemnom dome vyššia než pri bežnom dome nad zemou. Návratnosť investícií sa zabezpečí prostredníctvom úspor energie a nižších nákladov na údržbu. Životnosť krtkodomu presahuje 100 rokov bez akýchkoľvek väčších a nákladnejších generálnych opráv, navyše životnosť domu sa dá predĺžiť vďaka opraviteľnosti nosnej konštrukcie zvnútra a dom môže slúžiť ďalej. Špičkové technické riešenie pretrvá generácie, preto sa krtkodom javí ako vynikajúca rodinno-generačná investícia.

V dnešnej dobe je už aj na *Slovensku* postavených niekoľko podzemných domov. Je zrejme, že v budúcnosti sa výraznejšie zvýši stavba domov pod zemou. *Slovenská republika* má veľkú členitosť krajiny a teda priestor na napredovanie a zlepšovanie sa v tejto oblasti.

ZÁVER

Vhodným architektonickým riešením budov je možné nielen maximálne využiť dopadajúce slnečné žiarenie, ale získanú energiu aj skladovať a distribuovať v interiéri. Tzv. pasívna solárna architektúra využíva rôzne technológie a materiály cieľom zohrievať (resp. chladiť) a osvetľovať priestory budov. Integruje tradičné stavebné prvky (kvalitnú izoláciu, dobre izolujúce okná), orientáciu a umiestnenie budovy, dispozičné riešenie a rozmiestnenie interiérových prvkov tak, aby sa dosiahol maximálny energetický účinok.

Rovnako dôležité je zaoberať sa zdrojom tepla. Na rozdiel od fosílnych palív - uhlia, ropy a zemného plynu - je spaľovanie čerstvej (nefosílny) biomasy z hľadiska emisií oxidu uhličitého (hlavného skleníkového plynu) v meniackej sa klíme takmer neutrálne. Množstvo uhlíka vo forme oxidu uhličitého, ktorý vzniká spaľovaním nefosílny biomasy, sa totiž rovná množstvu uhlíka, ktoré rastliny počas svojho života odobrli z atmosféry prostredníctvom fotosyntézy. Túto neutrálnu uhlíkovú bilanciu však čiastočne negatívne ovplyvňuje množstvo energie spotrebovanej na ťažbu, dopravu a spracovávanie nefosílny biomasy predtým, než sa spáli.

Podzemný dom ponúka návrat do minulosti a opätovné zžitie sa ľudstva s prírodou, so zachovaním komfortu bývania a bez ďalšej devastácie životného prostredia.

Pod'akovanie

Výskum je podporený projektom 021ŽU-4/2021 „Premeny primárnej energie a teplo/chlad použitím termodynamických cyklov a kompresorového obehu s pracovnou látkou (chladivom) CO₂.“

LITERATÚRA

[1] ENERGOPORTAL.ORG. (2020): [cit. 2022-01-22]. Dostupné na internete: <https://www.energoportal.org/obnovitelne-zdroje/energia-z-biomasy?fbclid=IwAR1zLjWAV9dUnf70D3rPwFC8vemXy3GCV0KdEsULVgtDkWw-WUL7XFghjas>.

[2] NOSEK, M. (2010): *Energetické využití biomasy*: bakalárska práca. Brno. Vysoké učení technické v Brně, 61 s.

[3] UEF.FEI.STUBA.SK. (2021): [cit. 2022-01-22]. Dostupné na internete: <http://uef.fei.stuba.sk/moodleopen/mod/glossary/showentry.php?courseid=117&eid=1146&displayformat=dictionary>.

[4] ENERGOPORTAL.ORG. (2020): [cit. 2022-01-22]. Dostupné na internete: https://energoportal.org/obnovitelne-zdroje/energia-zo-slnka?fbclid=IwAR3tr1_EBxcap25_Ud6fJC_hWWitiRcpqf9kS-FodigSV6WfEZtHjzTsJzY.

[5] PÚČEKOVÁ, B. (2019): *Perspektívne spôsoby akumulácie OZE*: bakalárska práca. Žilina. Žilinská univerzita v Žiline, 60 s.

Sheet metal bending process at three different temperatures

Ján Moravec, doc. Ing., PhD.*

Department of Technological Engineering, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Žilina,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovak Republic.
E-mail: jan.moravec@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2764

Borislav Melo, Ing., PhD.

Viena International, Ltd. Martin,
Dolné Kráčiny 2, 010 36 Martin, Slovak Republic.
E-mail: borislav.melo@viena.sk

Abstract: The field of sheet metal bending is an important area of metal forming and therefore considerable attention must be paid to this area, as many similar tasks need to be solved in production practice. This is exactly what the published article, which deals with the area of the sheet metal bending process, should help. The text describes experimental works and their results, which are supplemented by tables and illustrated by graphs of bending forces. The bending process is done in three thermal modes: normal temperature, minus temperature and hot bend. Five samples were bent for each of these groups, which sufficiently illustrate the investigated process. The paper is supplemented by a discussion of the results and in the end an evaluation of the experiments is made.

INTRODUCTION

Bending as a forming operation is a highly frequent job in the field of mechanical engineering. Although it can be said that this is a very well researched process, it is still sometimes necessary to pay attention to perhaps quite common phenomena of the bending process. This paper is, in essence, a continuation and addition to the article [1]. Theoretical findings are detailed in [3], so for this reason the theoretical part does not contain a paper. The aim of the paper was to compare the course of bending and especially the size of the forming force in three ways of bending - cold, hot and in the area of negative temperatures.

1 GENERAL

The experiments took place at the workplace of the *Department of Technological Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, University of Žilina, in the Laboratory of forming technology*. The purpose of the following section is to verify and determine the bending force in the process of bending at a right angle in the laboratory conditions. The material used for the moldings was sheet 11321 with a composition of 0.10% C, 0.45% Mn, 0.035% P, 0.035% S with a thickness of 2.0 mm. The experiments were performed on a WDW 20 shredder and a laboratory V-shaped bender was used as the bending tool. The course of the test was evaluated using software that is part of the shredder. The attached Figs. 1 to 3 show the experimental conditions.

2 EXPERIMENTAL WORK

2.1 The course of the experiments

The sheet cutting size was 35x72 mm. Three sets of five samples were bent, each in a different temperature regime as follows: first set - normal temperature 20 °C, second set - temperature minus 196 °C, third set - temperature plus 740 °C. In the second set, liquid nitrogen was used as the cooling medium. This ensured that the samples were cooled to the indicated temperature, but it is clear that the bending process itself took place at a higher temperature, because the temperature increased after removal from the cooling medium. Nevertheless, cooling can be considered good. The time from sampling to the onset of the bending process ranged from five to eight seconds. The third set was bent at a temperature of 760 °C. This value was also conditioned by the technical condition of the heating furnace, but it was suitable for experiments. If the value of 1540 °C is taken as the melting temperature of steel, then the height of the working temperature was half of this value, ie it is hot forming. An electric oven type VEB KEHW was used to heat the samples. According to Fig. 1, the samples were heated to the required forming temperature.

According to the diagram in Fig. 2 connected: rheostat (*R*), from which the conductors led to the heating furnace (*P*), where the samples were placed. The temperature was controlled by a *K(S)* thermocouple. The current heating temperature was read on a ME-32 (*TM*) thermometer. The voltage

$U = 250 \text{ V}$ regulated by the rheostat (R) corresponded to the stated temperature.

Cooling method: samples were gradually immersed in a thermos with liquid nitrogen, where they were cooled to the temperature achievable in this method, i.e. $-196 \text{ }^\circ\text{C}$. The samples were held in both cases (heating, cooling) on wire holders so that they could be conveniently selected from both environments. The tongs (Fig. 1) and the combination tongs were handled. Gloves were used during handling. The experimental sample bending workplace is shown in Fig. 3.



Fig. 1. View of the sample heating workplace

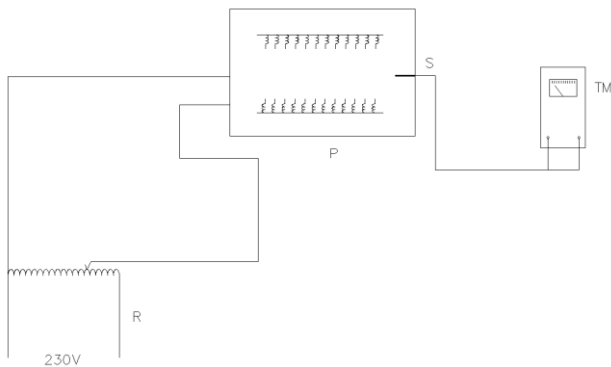


Fig. 2. Heating furnace wiring diagram rheostat (R), furnace (P), thermocouple (S), thermometer (TM)

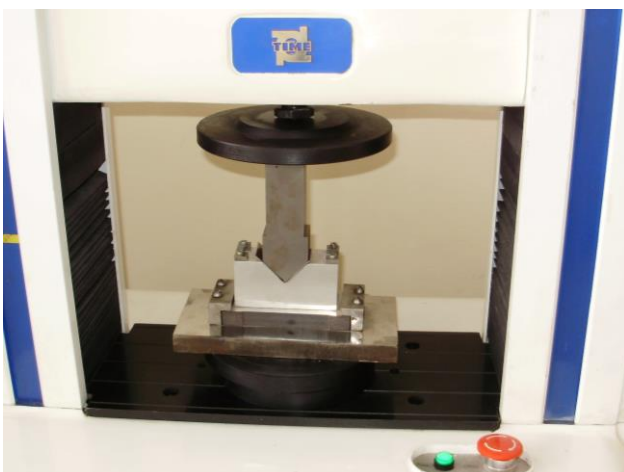


Fig. 3. Sample bending workplace

2.2 Results of experimental work

Table 1 summarizes the results of the experiments.

Tab. 1. Experimental results and their evaluation

Sample/Force [kN]	1	2	3	4	5
20 °C	1.52	1.56	1.56	1.59	1.58
760 °C	1.20	1.35	1.32	1.23	1.21
-196 °C	1.18	1.36	1.30	1.25	1.19

The average size of the bending force in all three cases is:

- 1st method 1.562 kN.
- 2nd method 1.262 kN.
- 3rd method 1.256 kN.

Process stability in terms of process stability, all three methods can be compared quite easily percentage, which makes it easy to determine the deviation. According to Tab. 2, it will gradually:

Tab. 2. Comparison of three bending methods

Method	F_{max} [kN]	F_{min} [kN]	difference [%]
1 st	1.59	1.52	4.41
2 nd	1.35	1.20	10.12
3 rd	1.36	1.18	12.24

The highest stability is in the bending process at room temperature, when there are no thermal fluctuations, because the ambient temperature is the process temperature. Both the forming machine and the tool are loaded evenly, which is certainly favourable for their constructions. In both other ways, this fact affects the overall resultant force. What is the cause? It can be said unequivocally that the fluctuations and deviations are caused by the small number of samples and the non-harmonization of the processes in the laboratory conditions. On the other hand, the resulting forces are relatively small and even with such deviations the process is in the range of stability. It is certainly a correct assumption that the harmonization of all actions will also stabilize the process here and the deviations in percentage will be shifted downwards. For replenishment, the size of the forming force was determined according to *Oehler* [5]. This source is a supplement to the issue. Regarding other published formulas, the position was taken in these articles [1]. On page 55 [5], *Oehler* gives a formula for calculating the bending force in the form:

$$F = \frac{c \cdot b \cdot s^2 \cdot R_m}{w} \quad (1)$$

where c is a factor determined according to the cited source (page 33, Fig. 55) and in this case its size is 1.12,

b - cut width,

s - sheet thickness,

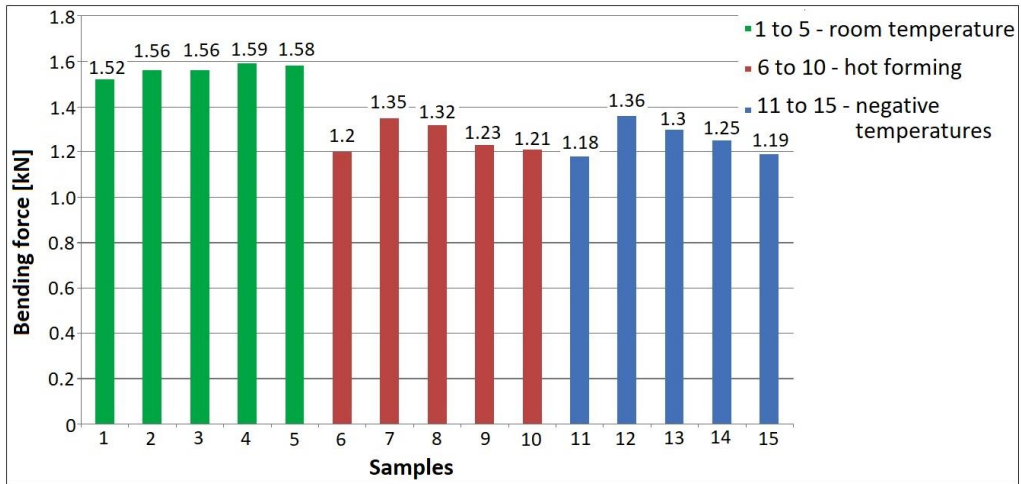


Fig. 4. Graph of the comparison of the magnitude of the forming force in the three thermal regimes

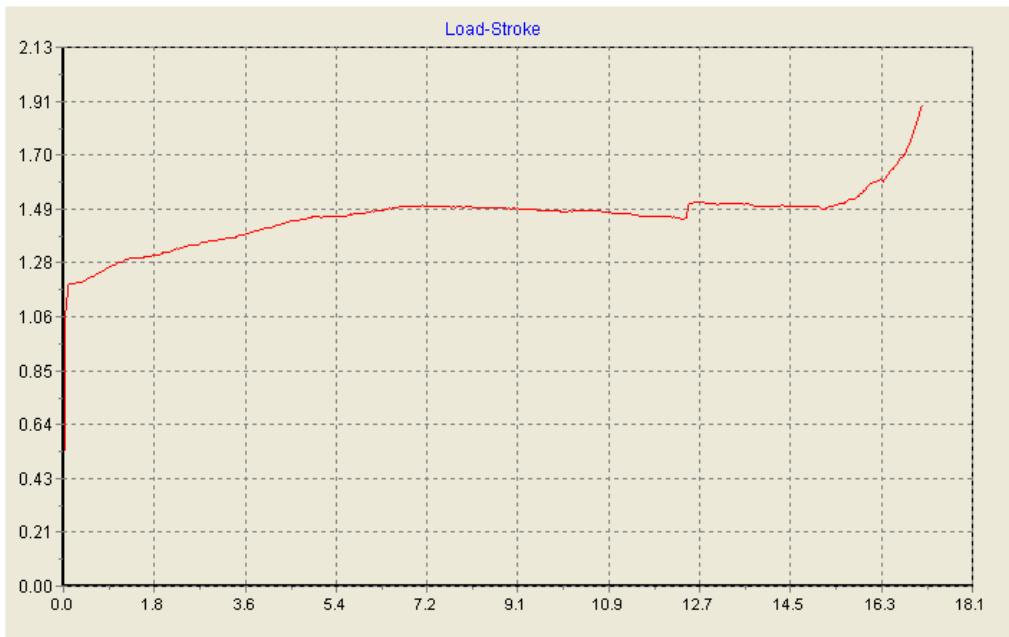


Fig. 5. The course of the forming force during cold bending

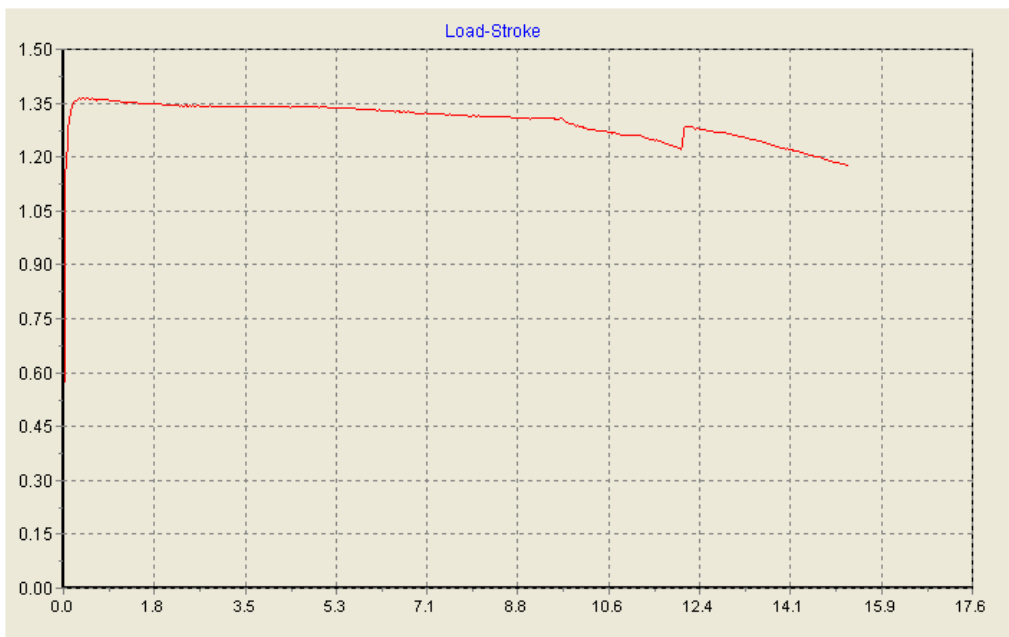


Fig. 6. Course of forming force during bending at negative temperature

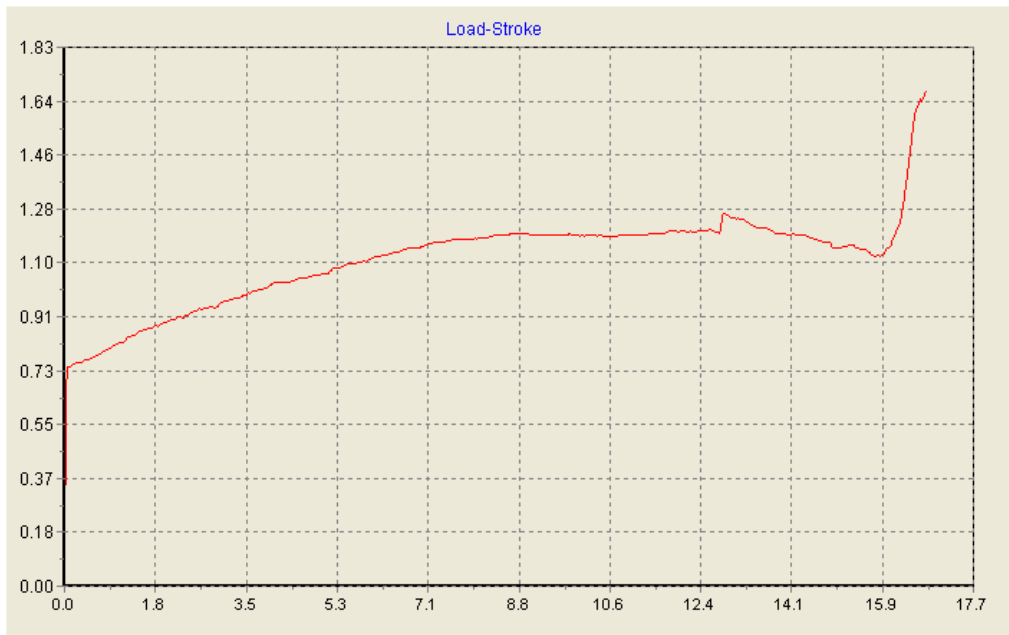


Fig. 7. The course of the forming force during bending under heating

R_m - material strength limit, i.e. 400 MPa,
 w - distance between supports.

The force is 1.39 kN. It differs from the average value of the bending force (1st method) in the experiments by 11.02 %.

3 DISCUSSION

Permanent (plastic) deformation is the result of intra-crystalline and inter-crystalline shear. Inside, crystalline shear is characteristic of cold deformations, while intergranular shear is characteristic of high temperature deformations. In the second case, grain changes occur by creating new crystallization centres and new grains. This process is proceeding at a certain speed. The higher the temperature and the higher the degree of deformation, the higher the speed. Thus, if the shaping (deformation) of the material takes place under such conditions that all the deformed grains recrystallize, so that all changes in the metal structure caused by the deformation disappear - this is hot forming. The more precise interface between cold and hot forming is determined by the absolute recrystallization temperature T_r , for which the relation $T_r \geq 0.4 \cdot T_{lav}$ applies. If the metal is heated to a temperature T_r or higher, the recrystallization process begins. Around the crystallization centres, which are formed by small grain fragments and therefore have a large surface energy, atoms begin to accumulate and new grains form with a regular crystallographic lattice. Between these two shaping methods, the transition states are characterized by the presence of reshaped and recrystallized grains, which necessarily leads to increased deformation unevenness, anisotropy, internal stresses, reduced

plasticity indicators and also an increase in the probability of failure. Hence the right choice of forming temperature. Temperature has a significant effect on the size of the mechanical characteristics. Generally speaking, the yield strength decreases with increasing temperature and the ductility characterizing plasticity with increasing temperature increases - in full agreement with the known fact - about the advantages of thermoforming. The strength generally decreases with increasing temperature. When observing the curve of the dependence of the strength of different steels on the temperature (Fig. 8), it can be seen that the course is not monotonic, similar to the deformation resistance curve. When forming at negative (minus) temperatures, it turns out that the decrease in deformation strength also has a favourable effect here. The advantage over hot forming is the clean surface of the material without scale (Fig. 9).

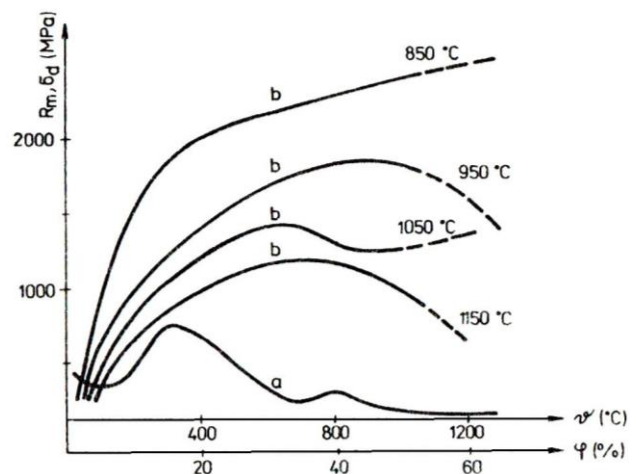


Fig. 8. Strength and deformation resistance of low carbon steel [4, page 168]: a - function $R_m(\theta)$, b - function $\sigma_d(\phi)$

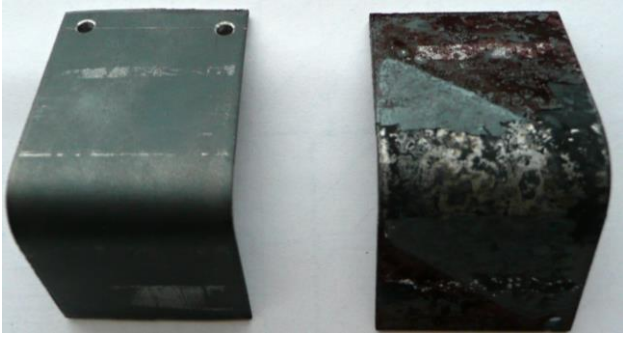


Fig. 9. Comparison of sample surfaces with and without heating application

However, the question remains the economic side - whether it is more advantageous to use heating or cooling. In both cases, however, a less powerful forming machine can be used, which is certainly not a negligible parameter for the producer (with a thicker sheet).

CONCLUSION

The paper compares three temperature regimes for bending sheet metal parts. Taking into account not only the economic side of production but also the ecological side, forming at a negative temperature is proving to be a suitable method. The experiments were limited mainly by the existing equipment in the laboratory, but even so, it can be concluded that

more significant differences between the size of the forming forces are shown at the greater thickness of the material, when just heating, respectively. cooling significantly affects the bending process.

Acknowledgment

The contribution was made possible by supporting research task S-102-0028 /21 supported by Vienna International Martin.

REFERENCES

- [1] BOHUSOVA, Z. - MORAVEC, J. (2010): *Analysis of the process of bending the material at right angles and determining the required bending force*, NT 10 Zilina, ISBN 978-80-554-0222-2.
- [2] MORAVEC, J. (2010): *Metal Forming Technology*, EDIS publishing house University of Zilina 149 p. ISBN 978-80-554-1251-1.
- [3] MORAVEC, J. (2015): *Metal Forming Theory*, EDIS publishing house University of Zilina 332 p. ISBN 978-80-554-1095-1.
- [4] BLASCIK, F. - POLAK, K. (1985): *Forming Theory*, ALFA Bratislava.
- [5] OEHLER, G. (1958): *Sheets and their testing*, SNTL Praha.

Reakcia hliníka v prostredí zvýšeného pH

Elena Kantoríková, Ing., PhD.*

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.

E-mail: elena.kantorikova@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2763

Reaction of aluminium in a medium of elevated pH

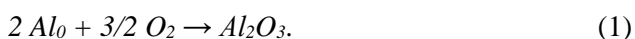
Abstract: Aluminium and most alloys are durable metals. In slightly aggressive atmospheres, passive, electrically non-conductive corrosive layers form on the surface. In heavily polluted environments, corrosion can occur with larger corrosion products, which do not penetrate deeper into the material even after a long time. The subject of the article is aluminium mesh, on which a special layer is formed, resp. a shell that reduces its life. The mesh is used in the paper industry, where it is exposed to acidic, dusty and moderately warm environments. Due to the effect of this environment in production, a brittle layer of shell character was created on the material.

ÚVOD

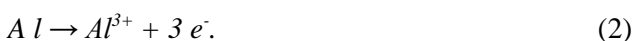
Používanie hliníka zasahuje do rôznych oblastí ľudského života. Kovový hliník sa najčastejšie využíva ako konštrukčný materiál alebo vodič elektrického prúdu. V potravinárskom priemysle nachádza využitie vo forme alobalovej fólie alebo hliníkového plechu ako obalový materiál [1]. Okrem kovového hliníka sa veľmi často využívajú aj hlinité soli. Vo forme síranu a hydroxidu hlinitého ho môžeme nájsť v technologických linkách na úpravu pitných a čistenie odpadových vôd, kde slúži ako koagulačné činidlo [2]. Hliník nájdeme vo vodách, v pôde, v potravinách, liečivách aj v kozmetike. Hliník má už veľmi široké spektrum uplatnenia a s tým súvisí zvýšená miera poznania chemických reakcií tohto prvku [1, 2].

Hliník má výbornú elektrickú a tepelnú vodivosť, ale taktiež vysokú odolnosť voči korózii, predovšetkým v atmosférických podmienkach [3].

Príčinou vznikajúcej korózie sú prebiehajúce deje medzi materiálom a prostredím. Kovový hliník je stály striebrolesklý kov, ktorý sa na vzduchu pokrýva ochrannou vrstvou oxidu hlinitého.



Korózia technických kovov prebieha spontánne, pretože majú tendenciu dostať sa do prirodzeného stavu, t. j. stabilného stavu, v akom sa nachádzajú v prírode. Korózna odolnosť hliníka a jeho zliatin je daná fyzikálno-chemickou stabilnou ochrannou oxidačnou vrstvou. Výsledná hrúbka vrstvy závisí od podmienok prostredia (pH, teplota). V kyslom prostredí je hliník v aktívnom stave a rozpúšťa sa podľa reakcie [3]:



Rýchlosť tohto procesu určuje charakter kovu a chemické zloženie prostredia, v ktorom musí byť látka schopná prijímať elektróny vzniknuté oxidáciou kovu a sama sa redukovať.

Korózne vlastnosti *Al* zliatin udávajú parametre kritických hodnôt korózneho procesu. Korózný potenciál je v reálnych podmienkach odlišný od potenciálu štandardného, je totiž daný obsahom a elektrolytickým charakterom legujúcich prvkov. Korózna odolnosť hliníka je definovaná fyzikálno-chemickou stabilitou ochrannej oxidačnej vrstvy na jeho povrchu [3, 4].

Odolnosť hliníka proti korózii závisí od čistoty kovu, korozívneho prostredia, koncentrácie agresívnych nečistôt v prostredí, teplota atď. pH roztokov má silný vplyv. Oxid hlinitý vzniká na povrchu kovu len v rozsahu pH od 3 do 9.

Jeho čistota výrazne ovplyvňuje odolnosť *Al* proti korózii. Na výrobu chemických jednotiek, zariadení sa používa iba vysoko čistý kov (bez nečistôt).

Koróziu hliníka nepozorujeme len v tých prostrediach, kde sa na povrchu kovu vytvára ochranný oxidový film [4].

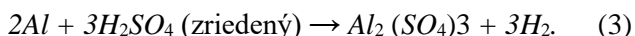
Hliník je veľmi dobre rozpustný v zriedených kyselinách. Koncentrovaná kyselina dusičná či kyselina sírová ho však rovnako ako vzdušný kyslík pokrývajú pasívačnou vrstvou oxidu. Tiež hydroxidy alkalickej kovov ľahko rozpúšťajú kovový hliník za vzniku hlinitanov (*AlO₂*). Hliník je v čistom stave veľmi reaktívny, na vzduchu sa rýchlo pokrýje tenkou vrstvičkou oxidu *Al₂O₃*, ktorá chráni kov pred ďalšou oxidáciou [5].

1 VŠEOBECNE

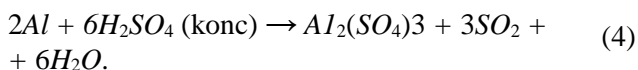
So zvyšujúcou sa čistotou hliníka sa zvyšuje jeho odolnosť voči kyselinám.

1.1 Korózia hliníka v kyseline sírovej

Kyselina sírová (má oxidačné vlastnosti) stredných koncentrácií je veľmi nebezpečná pre hliník a jeho zliatiny. Reakcia so zriedenou kyselinou sírovou je opísaná rovnicou:



Koncentrovaná studená kyselina sírová nemá žiadny účinok. Pri zahrievaní hliník koroduje:



Vznikne tak rozpustná soľ – síran hlinitý.

Al je odolný voči oleju (dymiaca kyselina sírová) pri teplotách do 200°C. Vďaka tomu sa používa na výrobu kyseliny chlór-sulfónovej (H_2SO_3Cl) a oleja.

1.2 Korózia hliníka v kyseline chlorovodíkovej

Hliník alebo jeho zliatiny sa rýchlo rozpúšťajú v kyseline chlorovodíkovej (najmä pri zvýšenej teplote). Rovnica korózie:

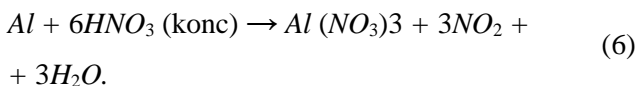


Roztoky kyseliny bromovodíkovej (HBr) a kyseliny fluorovodíkovej (HF) pôsobia podobne [6].

1.3 Korózia hliníka v kyseline dusičnej

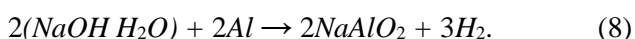
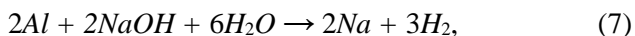
Koncentrovaný roztok kyseliny dusičnej má vysoké oxidačné vlastnosti. Koncentrovaná kyselina dusičná za normálnych podmienok pasivuje hliník, čo umožňuje jeho skladovanie v hliníkových nádobách. Rovnako ako v prípade koncentrovanej kyseliny sírovej je interakcia hliníka s koncentrovanou kyselinou dusičnou možná pri silnom zahrievaní. Hliník v kyseline dusičnej je pri normálnej teplote extrémne odolný (odolnosť je vyššia ako odolnosť nehrdzavejúcej ocele). Používa sa dokonca na výrobu koncentrovanej kyseliny dusičnej priamou syntézou [7].

Pri zahrievaní prebieha korózia hliníka v kyseline dusičnej podľa reakcie:



1.4 Korózia hliníka v alkáliách

Alkálie ľahko rozpúšťajú ochranný oxidový film na povrchu hliníka, ten začína reagovať s vodou, v dôsledku čoho sa kov rozpúšťa s vývojom vodíka (korózia hliníka s depolarizáciou vodíka) [7, 8]:



Vznikajú hlinitaný.

Oxidový film je možné zničiť soľami ortuti, medi a iónov chlóru.

Pri zahrievaní môže hliník reagovať s niektorými nekovmi, napr.:

- Interakcia hliníka a dusíka za vzniku nitridu hliníka:



- Reakcia interakcie hliníka s uhlíkom za vzniku karbidu hliníka:

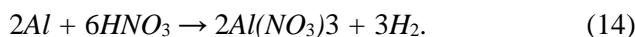
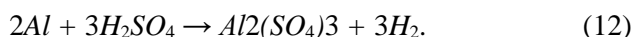


- Interakcia hliníka a síry za vzniku sulfidu hlinitého:



Hliník aktívne reaguje so zriedenými kyselinami: sírovou, chlorovodíkovou a dusičnou, pričom vznikajú zodpovedajúce soli: síran hlinitý Al_2SO_4 , chlorid hlinitý $AlCl_3$ a dusičnan hlinitý $Al(NO_3)_3$. [8].

Reakcie hliníka so zriedenými kyselinami:



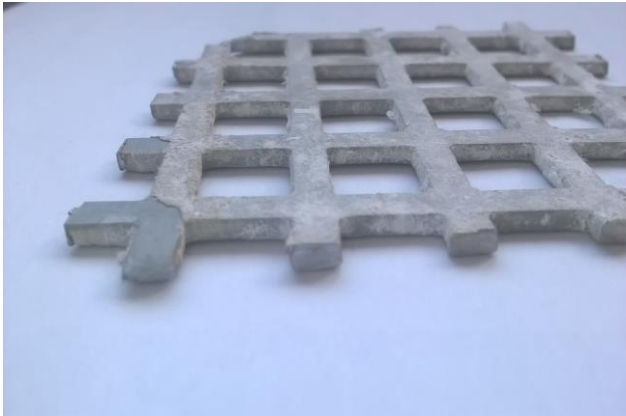
Pri izbovej teplote nereaguje s koncentrovanými kyselinami sírovou a chlorovodíkovou, pri zahriatí reaguje za tvorby solí, oxidov a vody [9].

Koncentrované kyseliny rozpúšťajú hliník za vývinu vodíka. Pre hliník sú najagresívnejšie halogenvodíkové kyseliny, kyselina dusičná, sírová, trihydrogenfosforečná a siričitá. Rýchlosť korózie je však závislá na teplote a koncentrácií kyseliny. S rastúcou teplotou sa zvyšuje aj rýchlosť vzniku korózie [10].

2 OPIS PROBLÉMU

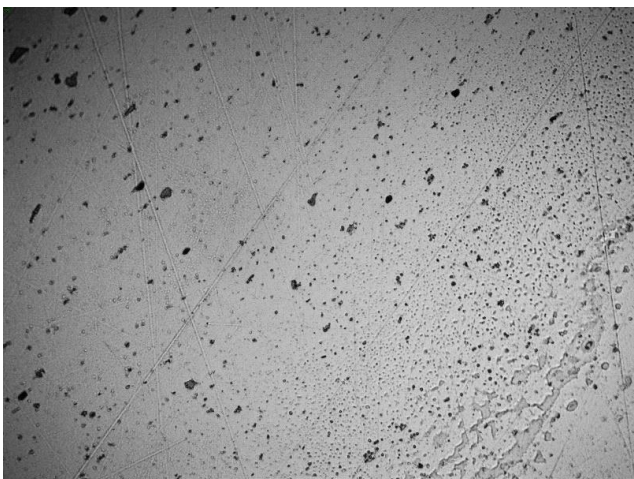
Predmetom článku je hliníkové pletivo, na ktorom sa vytvára zvláštna vrstva, resp. škrupina, ktorá znižuje jeho životnosť (obr. 1). Dané pletivo sa využíva v papierenskom priemysle, kde je vystavené kyslému, prašnému a mierne teplému prostrediu. Pôsobením tohto prostredia vo výrobe sa na materiáli vytvorila krehká vrstva škrupinového charakteru. Následne sa predpokladala znížená kvalita a zhoršenie materiálových mechanických vlastností. Materiál pletiva sa môže považovať za „čistý“ hliník, zvyšné prísadové prvky sú len v stopových množstvách. Tento materiál sa vyznačuje výbornou zlievateľnosťou a odolnosťou voči koróziám vďaka vzniku ochrannej pasívnej vrstvy Al_2O_3 . Vzniknutá povrchová vrstva s hrúbkou 5 ÷ 15 nm je elektricky

nevodivá, tenká, ale pevne prepojená s hliníkovým materiálom. Je veľmi tvrdá.



Obr. 1. Škrupina na povrchu mriežky.

Hliník reaguje na vzduchu s kyslíkom a difúziou sa vytvára extrémne tenká oxidická vrstva. Aj keď má hrúbku len niekoľko stotín mikrometrov, vďaka svojej hustote poskytuje vynikajúcu ochranu pred koróziou. V prípade poškodenia sa vrstva sama obnoví. Takáto rovnomerná korózia hliníka sa prejavuje predovšetkým na zmene vzhľadu povrchu. Priemerná hrúbka napadnutia je závislá od charakteru prostredia a doby pôsobenia na povrch [11].



Obr. 2. Povrch škrupiny leptadlo 0,5 % roztok HF (kyselina fluorovodíková), zv. mikroskopu 400x.

Pri leštení výbrusu sú čiastočky heterogénnych fáz po hraniciach zŕn aj vo vnútri dendritov odstránené (vypadnú). Intermetalické fázy, v tomto prípade $AlSi$ a $AlFe$, sú ušľachtilejší materiál ako základný materiál a pri leptaní kyselinou tvorí každá z týchto častíc katódu, ktorá urýchľuje rozpúšťanie Al vo svojom okolí, a tak sa čiastočka uvoľní. Z tohto dôvodu sa snímky javia pórovité. Na výbruse neboli nájdené žiadne intermetalické fázy a ani stopy po nich, ide teda skutočne o veľmi čistý hliník.

Materiál použitý na pletivo v kyslom prostredí nevykazuje žiadne známky vnútorných ani vonkajších defektov. Vplyvom prostredia sa na povrchu vytvorila pasívna, elektricky nevodivá koróznna vrstva, ktorá neprenikne hlbšie do materiálu,

a tým vytvára materiálovú ochranu. Neodporúča sa zvýšiť teplotu pôsobiaceho prostredia nad cca 250 °C. Vhodné by bolo kontrolovať stav materiálu pravidelne, pretože z doposiaľ známych poznatkov nie je istá životnosť materiálu v danom prostredí.

2.1 Chemická analýza

Tabuľka 1 uvádza chemické zloženie mriežky. Použité zariadenie - *Stolní CCD spektrometr Q2 ION*.

Tab.1 chemická analýza mriežky.

Prvok	%
<i>Al</i>	98,7200
<i>Si</i>	0,4320
<i>Fe</i>	0,2710
<i>Cu</i>	0,0470
<i>Mn</i>	0,0320
<i>Mg</i>	0,4140
<i>Ni</i>	> 0,0050
<i>Zn</i>	0,0490
<i>Ti</i>	0,0120
<i>Pb</i>	> 0,0500
<i>Sn</i>	> 0,0500
<i>V</i>	0,0070
<i>Sr</i>	> 0,0020
<i>Cr</i>	0,0058
<i>Co</i>	> 0,0030
<i>B</i>	> 0,0010
<i>Ag</i>	> 0,0010
<i>Bi</i>	> 0,0060
<i>Ca</i>	> 0,0010
<i>Cd</i>	> 0,0050
<i>Zr</i>	> 0,0020

Čistý hliník a väčšina zliatin patrí k odolným kovom. V mierne agresívnych atmosférach sa na povrchu tvoria pasívne, elektricky nevodivé korózne vrstvy [12, 13]. V silne znečistených prostrediach môže prebiehať korózia s objemnejšími koróznymi splodinami, ktoré ani po dlhej dobe nepreniknú hlbšie do materiálu. Rovnomerná korózia hliníka sa prejavuje predovšetkým na zmene vzhľadu povrchu. Vhodným simulátorom korózie je oxid siričitý [14]. Priemerná hĺbka napadnutia závisí od charakteru atmosférického prostredia a doby pôsobenia daného prostredia. Pri koncentráciách nad 0,1 % je koróznna rýchlosť aj pri izbovej teplote vysoká, so zvyšujúcou sa teplotou napadnutá vrstva rastie [14, 15].

ZÁVER

Správanie sa hliníka je ovplyvnené pH prostredím a prítomnými iónmi. Najväčší vplyv na vznik korózie hliníka majú halogenidové ióny Cl^- , Br^- , F^- , I^- . Prítomnosť Fe^{3+} a Cu^{2+} kationov stimuluje proces korózie [16]. Hliník je jedným z najvhodnejších konštrukčných kovových materiálov pre prostredie s pH 5,5 ÷ 8,5.

Skúmaný materiál nevykazuje žiadne známky vnútorných ani vonkajších defektov. Vplyvom prostredia sa na povrchu vytvorila pasívna, elektricky nevodivá korózná vrstva, ktorá neprenikne hlbšie do materiálu, a tým vytvára materiálovú ochranu.

Neodporúča sa zvýšiť teplotu pôsobiaceho prostredia nad cca 250 °C. Vhodné by bolo kontrolovať stav materiálu pravidelne, pretože z doposiaľ známych poznatkov nie je istá životnosť materiálu v danom prostredí.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporená projektom KEGA 022ŽU-4/2021 Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva Slovenskej republiky.

LITERATÚRA

- [1] HRDLIČKA, L. - PROUSEK, J. (2016): *Účast' hliníka na vzniku reaktívnych kyslíkových intermediátov a dôsledky týchto reakcií v chemických a biologických systémoch*. Praha, online: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2015_12_923-929.pdf.
- [2] PETROVIČ, J. - THOMAS, G. (2008): *Reaction of aluminum with water to form hydrogen*. U.S. Ministry of Energy.
- [3] HADZIMA, B. - LIPTÁKOVÁ, T. (2008): *Základy elektrochemickej korózie kovov*. Žilina, ISBN 978-80-8070-876-4.
- [4] BECARIA, A. - CAMPBELL, A. - BONDY, S.C (2002): *Aluminum as a toxicant. Toxicology and Industrial Health*, Roč. 18, č. 7, pp. 309–320.
- [5] ŠMRHA, L. (1962): *Slévarenství*, č. 10, s. 245-249.

[6] PIKNER, J. (2018): *Povrchová preduprava konstrukčních hliníkových slitin pro lepené spoje*. Diplomová práca, Brno.

[7] MICHNA, Š et al. (2005): *Encyklopedie hliníku*. Děčín: Alcan Děčín Extrusions, ISBN 80-890-4188-4.

[8] KIESEL, L. - SMUIN, K. - PABST, W. (1967): *Freiberger Forschungshefte*, 6, B137, s. 79-92.

[9] PŘIBYL, J. (1986): *Řízené tuhnutí ocelových odlitků*. Praha: STNL.

[10] PRŮŠEK, J. (1985): *Hodnocení jakosti a účinnosti protikorozních ochran strojírenských výrobků*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.

[11] TKACZ, J. (2013): *Korozní odolnost konstrukčních slitin hořčíku*. Brno, 222 s. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně.

[12] SALEEMA, N. - SARKAR, D. K. - PAYNTER, R. W. - GALLANT, D. - ESKANDARIAN, M. (2012): *A simple surface treatment and characterization of AA 6061 aluminum alloy surface for adhesive bonding applications*. *Applied Surface Science*, 261, 742-748, ISSN 0169-4332. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169433212014699>.

[13] ZHENG, R. - JIAN-PING, L. - PEI-CHUNG, W. - WU, Z. (2015): *Effect of hothumid exposure on static strength of adhesive-bonded aluminum alloys*. *Defence Technology*, Roč. 11, č. 3, pp. 220-228. ISSN 2214-9147, online: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214914715000185>.

[14] KIESEL, L. - SKUIN, K. - PABST, W. (1967): *Freiberger Forschungshefte*, 5, B137, s. 81-93.

[15] KUBIČÁR, L. (1988): *Rýchla metóda merania základných fyzikálnych parametrov*, VEDA Bratislava, s. 165.

[16] PILGAARD, M. (2016): *Silicon. Michael Pilgaard's Table of the Elements*, online: <https://pilgaardelements.com/Silicon/Reactions.htm>.

Analýza viacfázových modelov transportu tepla v programe ANSYS Fluent

Natália Holešová, Ing.*

Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: natalia.holesova@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2860

Richard Lenhard, doc. Ing., PhD.

Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: richard.lenhard@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2866

Andrej Klačko, Ing.

Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: andrej.klacko@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2860

Branislav Zvada, Ing.

Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: branislav.zvada@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2866

The analysis of multiphase models of heat transfer in program ANSYS Fluent

Abstract: The paper is focused on the analysis of multiphase models of heat transfer in program *ANSYS Fluent*, because the phenomena of multiphase flow can be observed in many engineering and biological systems. With our rapid progress in engineering technologies, the requirements for the accuracy of the calculations of the physical phenomena that take place in them, have increased. However, it is very difficult to detect two-phase flow by experimental measurements, and therefore numerical simulations are usually performed with experimental measurements, which can contribute to a better physical understanding of the complex phenomena of phase changes. The aim of the article is to introduce the reader to the issue of multiphase flow modelling in the *ANSYS Fluent* program and the parameter, which is used to correlate *CFD* simulation, so that it best describes the real experiment.

ÚVOD

Téma dvoj alebo viacfázového prúdenia sa stáva čoraz dôležitejšou v širokej škále inžinierskych systémov pre ich optimálny dizajn a bezpečnú prevádzku. Javy viacfázového prúdenia možno pozorovať v mnohých biologických systémoch a prírodných javoch, ktoré si vyžadujú lepšie pochopenie.

Dá sa povedať, že všetky energetické systémy a systémy prenosu tepla sa riadia vo svojej podstate rovnakými fyzikálnymi zákonmi o transporte hmoty, hybnosti a energie. Je zrejmé, že s našim rýchlym pokrokom v inžinierskych technológiách sa zvýšili požiadavky na progresívne a presné predpovede systémov, ktoré sú predmetom záujmu. Keďže veľkosť inžinierskych systémov sa zväčšuje a

prevádzkové podmienky sa posúvajú na nové hranice, presné pochopenie fyziky, ktorou sa riadia tieto viacfázové systémy prúdenia, je nevyhnutné pre bezpečnú, ako aj ekonomicky spoľahlivú prevádzku. To znamená, že dochádza k posunu metód navrhovania - od metód založených výlučne na statických experimentálnych koreláciách k metódam založených na matematických modeloch, ktoré dokážu predpovedať dynamické správanie sa systémov.

Je zrejmé, že téma viacfázového prúdenia má nesmierny význam v rôznych strojárskych technológiách. Optimálny návrh, predikcia prevádzkových limitov a veľmi často aj bezpečné riadenie veľkého množstva dôležitých systémov závisí od dostupnosti realistických a presných matematických modelov dvojfázového prúdenia.

Medzi dvojfázové prúdenie zaradujeme aj vyparovanie a kondenzáciu, ktoré zohrávajú veľmi významnú úlohu v najvýznamnejších priemyselných procesoch.

Vyparovanie je proces premeny kvapaliny na paru pri jej teplote nasýtenia, pôsobením tepla. Opačným procesom vyparovania je kondenzácia, pri ktorej sa para mení na kvapalinu v dôsledku odstránenia/odoberania tepla. Uskutočnilo sa mnoho experimentálnych analýz na vysvetlenie fenoménu vyparovania a kondenzácie. Je však veľmi ťažké odhaliť tieto javy experimentálnymi meraniami, a preto sa zvyčajne s experimentálnymi meraniami vykonávajú aj numerické simulácie.

Numerické simulácie môžu prispieť k lepšiemu fyzikálnemu pochopeniu zložitých javov fázových premien - vyparovania a kondenzácie. Program *ANSYS Fluent* je v súčasnosti najpoužívanejší softvér pre *CFD* analýzu, ktorý umožňuje modelovanie viacfázového prúdenia so zdieľaním tepla a hmoty pre kombinácie fáz kvapalina - plyn.

Cieľom článku je priblížiť čitateľovi problematiku modelovania tohto viacfázového prúdenia v programe *ANSYS Fluent* a parameter, ktorý slúži na koreláciu *CFD* simulácie tak, aby čo najlepšie opisovala reálny experiment.

1 SÚČASNÝ STAV RIEŠENEJ PROBLEMATIKY

Jedinečnou charakteristikou dvojfázových alebo dvoch nemiešateľných zmesí je prítomnosť jedného alebo niekoľkých rozhraní oddeľujúcich fázy alebo zložky.

Klasifikácia dvojfázových prúdení založená na štruktúrach rozhrania a topografickej distribúcii každej fázy je zložitá, pretože tieto zmeny štruktúry rozhrania sa vyskytujú nepretržite. Preto sa často používa klasifikácia, založená na štandardných režimoch prúdenia, ktoré preskúmali *Wallis* (1969) [1], *Hewitt a Hall Taylor* (1970) [2], *Collier* (1972) [3], *Govier a Aziz* (1972) [4] a hlavná klasifikácia dvojfázových prúdení podľa *Ishiiho* (1971) [5] a *Kocamustafaogullariho* (1971) [6].

Bolo navrhnutých mnoho metód na simuláciu problematiky s fázovou zmenou dvoj a viacfázových prúdení pre para - kvapalina, napríklad *Hirt a Nichols* (1981) [7], ktorí použili metódu objemu tekutiny (*VOF*) ako aj *Huang, Wu a Chen* (2012) [8] a *Youngs* (1982) [9]. Metódou nastavenia úrovni (*LS*) sa zaoberali *Osher a Sethian* (1998) [10], *Osher a Fedkiw* (2001) [11] a *Wang, Sun, Wong, Fukuda a Ando* (2012) [12].

Metóda *VOF* má inherentnú vlastnosť zachovania hmoty, ľahšie zachytáva rozhranie s tepelným prenosom fázovej zmeny [13]. Funkcia zachovania hmoty je obzvlášť dôležitá pri riešení problémov s

fázovou zmenou [14]. Preto je dobrou voľbou použiť metódu *VOF*. V súčasnosti sa v kóde *FLUENT* na riešenie dvojfázových tokov používa práve metóda *VOF*. Predvolená metóda *VOF* však nemôže simulovať prenos tepla a hmoty cez fázové rozhranie. Na prekonanie tohto nedostatku je potrebné pridať model fázovej zmeny k zdrojovým pojmom v riadiacich rovniciach pomocou užívateľom definovaných funkcií (*UDF*).

Existuje už veľa rôznych druhov modelov fázovej zmeny. Použitie empirických výrazov na kvantifikáciu medzifázového prenosu tepla a hmoty sa javí ako bežný spôsob modelovania javov fázovej zmeny [15, 16]. Tento prístup je skutočne využiteľný pre určité jednoduché geometrie, ale obmedzený pre akúkoľvek inú zložitejšiu geometriu [17].

Model zmeny fázy, ktorý navrhol *Lee* [18], sa používa najčastejšie. Prenosy hmoty sú dané nasledujúcimi vzťahmi:

- Ak $T_l > T_{sat}$ (vyparovanie):

$$\dot{m}_v = \lambda_c \cdot \alpha_l \cdot \rho_l \cdot \frac{T_l - T_{sat}}{T_{sat}} \quad (1)$$

- Ak $T_l < T_{sat}$ (kondenzácia):

$$\dot{m}_v = \lambda_c \cdot \alpha_v \cdot \rho_v \cdot \frac{T_{sat} - T_v}{T_{sat}} \quad (2)$$

kde T_l, T_v sú teploty kvapaliny a pary [K],

T_{sat} je teplota saturácie [K],

\dot{m}_l, \dot{m}_v sú hmotnostné toky pri vyparovaní a kondenzácii [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$],

α_l, α_v sú súčinitele transportu tepla pri vyparovaní a kondenzácii [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$],

ρ_l, ρ_v sú hustoty kvapaliny/pary [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

λ_c označuje faktor intenzity prenosu hmoty [s^{-1}].

Odporúča sa, aby hodnota λ_c bola taká, aby udržala medzifázovú teplotu primerane blízku teplote nasýtenia, a aby sa predišlo problémom s divergenciou.

Ako empirický koeficient má λ_c rôzne hodnoty pre rôzne situácie. V numerických štúdiách *Wu* a kol. [19], *De Schepper* a kol. [20] a *Alizadehdakhel* a kol. [21], λ_c bolo nastavené na 0,1 a 1, aby sa numericky udržala teplota rozhrania blízko saturačnej teploty. Avšak v prácach *Yanga* [22] a *Fanga* [23] bolo λ_c špecifikované v inej hodnote, 100 s^{-1} .

Aby sa vedci vyhli empirickým vyjadreniam a empirickým koeficientom, museli nevyhnutne vyvinúť čisto teoretickú a overenú formuláciu, ktorá explicitne rieši problémy fázovej zmeny. *Fourierov* zákon ako teoretickú formuláciu možno použiť na

odhad skoku medzifázového tepelného toku a určenie zodpovedajúceho toku prenosu hmoty na základe latentného tepla.

Mnohí autori toho vyvinuli svoje vlastné programové kódy na simuláciu problémov s fázovou zmenou, ako napríklad *Welch* a *Wilson* [13] a *Guo* et al. [24]. Kľúčovým bodom týchto modelov je presnosť výpočtu tepelných tokov na oboch stranách rozhrania. Tieto modely dokážu presne simulovať problematiku s vyparovaním a kondenzáciou. Proces implementácie je však veľmi komplikovaný, čo obmedzuje rozšírenie týchto modelov na kód vo *Fluente*.

V práci *Ganapathyho* [17], *Nichitu* [25] a *Maoa* [26] bol model fázovej zmeny odvodený a implementovaný do kódu *Fluentu*. Tento model má však niekoľko nedostatkov. Napríklad rýchlosť rastu bublín nie je relevantná pre tepelnú vodivosť pár λ_v v procese rastu nasýtenej bubliny v prehriatej kvapaline. Avšak rovnica obsahuje informácie o λ_v , ktoré nezodpovedajú skutočným fyzikálnym javom. Na prekonanie vyššie uvedených nedostatkov navrhli súčasní autori v roku 2012 model fázovej zmeny [27], v ktorej sa prenos hmoty objavuje na fázovom rozhraní. Avšak medzifázové toky prenosu hmoty sú v tomto modeli rozmiestnené v oblasti konečnej hrúbky blízko rozhrania, čo znižuje presnosť výpočtu.

V článku *Suna, Xuna* a *Wanga* (2012) [27] je na ďalšie zlepšenie presnosti vytvorený nový model fázovej zmeny založený na metóde objemu tekutiny (*VOF*) v kóde *Fluent*. Nakoniec presnosť tohto nového modelu fázovej zmeny odhaľuje dva problémy s vyparovaním a jeden problém s kondenzáciou.

2 MODELOVANIE VIACFÁZOVÉHO PRÚDENIA

V súčasnej dobe existujú dva základné prístupy k modelovaniu viacfázového prúdenia, a to:

- *Euler-Lagrangerov* prístup.
- *Euler-Eulerov* prístup.

2.1 Euler-Lagrangerov prístup

V *Euler-Lagrangerovom* prístupe je tekutá fáza uvažovaná ako kontinuum a je riešená *Navier-Stokesovými* rovnicami, zatiaľ čo dispergovaná fáza (častice) je riešená stopovaním veľkého počtu častíc, bublín alebo kvapiek v prúdovom poli. Táto dispergovaná fáza si môže vymieňať moment, hmotu a energiu so spojitou fázou. Základným predpokladom je, že v tomto modeli dispergovaná fáza zaujme malý podiel objemu hoci pre hmotnosť, resp. hmotnostný tok to nemusí platiť ($\dot{Q}_m, \text{častic} \geq \dot{Q}_m, \text{tekutiny}$). Trajektórie častíc alebo kvapiek sú počítané individuálne v preddefinovaných

intervaloch počas výpočtu spojitkej fázy. Toto umožňuje modelovať prúdenie častíc v sprejoch, sušičkách, spaľovanie uhoľných a kvapalných palív a prúdenie ovplyvňované časticami. Tento prístup je nevhodný pre modelovanie zmesi kvapalina - kvapalina, fluidizácie a ďalších aplikáciách, kde objemový zlomok druhej fázy nie je zanedbateľný [28].

2.2 Euler-Eulerov prístup

Pri *Euler-Eulerovom* prístupe sa rôzne fázy riešia matematicky ako vzájomne postupujúce kontinua. Pretože objem jednej fázy nie je prekrytý objemom fázy druhej, zavádza sa pojem objemového zlomku fázy. Tieto objemové zlomky sa predpokladajú ako spojitá funkcia v čase a priestore a ich súčet je rovný 1. Rovnice sú definované pre každú fázu [28].

3 VIACFÁZOVÉ MODELY V PROGRAME ANSYS FLUENT

ANSYS Fluent využíva modely pre medzifázový transport hmoty pre vyparovanie a kondenzáciu, z ktorých si je možné vybrať cez *Eulerovu* formuláciu a to *Leeho* model alebo model zmeny tepelnej fázy. Modelovanie medzifázového transportu hmoty je možné prostredníctvom modelov *VOF*, *MIXTURE* a *EULERIAN*.

3.1 Model zmeny tepelnej fázy

Model zmeny tepelnej fázy sa používa pre vyparovanie - kondenzáciu, keď *Eulerov* viacfázový model je použitý na výpočet koeficientov fázového prenosu tepla.

Použitie rovníc pre dvojicu kvapalina - para:

- Pred rozhraním na kvapalnú fázu vzťah:

$$Q_l = h_l \cdot A_i \cdot (T_s - T_l) - \dot{m}_{lv} \cdot H_{ls} \quad (3)$$

- Pred rozhraním na plynnú fázu vzťah:

$$Q_v = h_v \cdot A_i \cdot (T_s - T_v) + \dot{m}_{lv} \cdot H_{vs} \quad (4)$$

kde h_l, h_v sú koeficienty prestupu tepla pre kvapalnú a plynnú fázu [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$],

H_{ls}, H_{vs} sú entalpie pre kvapalnú a plynnú fázu,

A_i je plocha.

Medzifázová teplota T_s je určená z hľadiska termodynamickej rovnováhy. Ignorovaním účinkov povrchového napätia na tlak, možno predpokladať, že $T_s = T_{sat}$, čiže teplotu nasýtenia.

Vzhľadom k tomu, že teplo ani hmotu nemôžu byť uložené na rozhraní fáz, celková bilancia tepla sa musí rovnať 0:

$$Q_l + Q_v = 0 \quad (5)$$

Z predchádzajúcich rovníc prenosu hmoty prostredníctvom vyparovania z kvapalnej na plynnú fázu môže byť hustota toku vyjadrená ako:

$$\dot{m}_{lv} = -\frac{h_l \cdot A_i \cdot (T_{sat} - T_l) + h_v \cdot A_i \cdot (T_{sat} - T_v)}{H_{vs} - H_{ls}} \quad (6)$$

Fázové entalpie H_{vs} a H_{ls} musia byť korektne vypočítané. Za použitia *Prakashovej* formulácie vyplýva, že entalpia nasýtenia je prenesená na prichádzajúcu fázu:

- Ak $\dot{m}_{lv} \geq 0$ (vyparovanie, kvapalná fáza je odchádzajúcou fázou):

$$\begin{aligned} H_{ls} &= H_l(T_l) \\ H_{vs} &= H_v(T_{sat}) \end{aligned} \quad (7)$$

- Ak $\dot{m}_{lv} < 0$ (kondenzácia, kvapalná fáza je prichádzajúca fáza):

$$\begin{aligned} H_{ls} &= H_l(T_{sat}) \\ H_{vs} &= H_v(T_v) \end{aligned} \quad (8)$$

3.2 Lee model

Lee model je mechanický model s fyzikálnou podstatou. Používajú sa *MIXTURE* a *VOF* viacfázové modely, rovnako ako u *Eulerovho* viacfázového modelu, ak je výstupom jeden zo všetkých medzifázových súčiniteľov prestupu tepla.

MIXTURE model je zjednodušený viacfázový model, ktorý je použiteľný na modelovanie viacfázového toku, v ktorom sa jednotlivé fázy posúvajú rôznou rýchlosťou. Typická aplikácia modelu zahŕňa napr. sedimentáciu, cyklónové separátory, častice s nízkym zaťažением a bublinkové prúdenie, v ktorom je objemový zlomok plynu nízky.

VOF model môže riešiť prúdenie dvoch a viacerých nemiešateľných kvapalín, na základe pohybovej rovnice a sledovaním objemového zlomku každej kvapaliny v oblasti. *VOF* model je vhodný pre prúdenie s voľnou hladinou alebo stratifikované (vrstvené) prúdenie. Typické aplikácie zahŕňujú predpoveď odtrhnutia prúdu, pohyb veľkých bublín v kvapaline, pohyb kvapaliny za hrádzou a ustálené alebo neustálené sledovanie akýchkoľvek rozhraní kvapalina - plyn.

Eulerov model dovoľuje modelovanie viacnásobných oddelených interaktívnych fáz. Fázou môže byť tekutina, plyn a pevné látky v určitej kombinácii. Pri *Eulerovom* multifázovom modeli je počet ďalších fáz limitovaný iba požiadavkou na pamäť a konvergenciu riešenia. To znamená, že sa môže modelovať ľubovoľný počet ďalších fáz, pokiaľ je k dispozícii dostatočná pamäť počítača.

V *Lee* modeli, prenos hmoty kvapalina - para je transport pary určený zo vzťahu:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_v \cdot \rho_v) + \nabla \cdot (\alpha_v \cdot \rho_v \cdot \vec{V}_v) = \dot{m}_{lv} - \dot{m}_{vl}, \quad (9)$$

kde v je parná fáza [-],

α_v je objem parnej frakcie [-],

ρ_v je hustota pary [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

\vec{V}_v je rýchlosť parnej fázy [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

\dot{m}_{lv} , \dot{m}_{vl} je intenzita prenosu hmoty v dôsledku vyparovania a kondenzácie v danom poradí [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$].

Ako je znázornené na pravej strane rovnice (9), *ANSYS Fluent* definuje prenos hmoty z kvapaliny na paru pre problémy odparovania a kondenzácie ako kladný. Na základe nasledujúcich režimov teplôt, prenos hmoty môže byť opísaný nasledujúcim spôsobom:

- Ak $T_l > T_{sat}$ (vyparovanie):

$$\dot{m}_{lv} = \lambda_c \cdot \alpha_l \cdot \rho_l \cdot \frac{T_l - T_{sat}}{T_{sat}} \quad (10)$$

- Ak $T_v < T_{sat}$ (kondenzácia):

$$\dot{m}_{vl} = \lambda_c \cdot \alpha_v \cdot \rho_v \cdot \frac{T_{sat} - T_v}{T_{sat}} \quad (11)$$

kde λ_c je koeficient, ktorý treba doladiť a môže byť interpretovaný ako relaxačný čas,

α a ρ sú podiely fázového objemu a hustoty.

Tok odparovania a kondenzácia sa pre rozhranie rieši podľa *Hertz-Knudsenovej* formulácie:

$$F = \beta \cdot \sqrt{\frac{M}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot T_{sat}}} \cdot (P^* - P_{sat}) \quad (12)$$

Tok má jednotku [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$], P je tlak [Pa], T je teplota [K] a R je univerzálna plynová konštanta [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$]. Koeficient β je tzv. prispôsobovací koeficient, ktorý ukazuje časť molekúl pár pohybujúcich sa k povrchu kvapaliny, ktoré sú následne týmto povrchom absorbované. P^* predstavuje parciálny tlak pary pri rozhraní na strane pary.

Pri použití tohto vzťahu z *Hertz-Knudsenovej* rovnice je:

$$F = \beta \cdot \sqrt{\frac{M}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot T_{sat}}} \cdot L \cdot \left(\frac{\rho_v \cdot \rho_l}{\rho_l - \rho_v} \right) \cdot \frac{T^* - T_{sat}}{T_{sat}} \quad (13)$$

kde L je latentné teplo,

faktor β je definovaný pomocou prispôsobovacieho koeficientu a fyzikálnych

vlastností pary. β sa blíži k 1,0, kedy je blízko rovnovážnych podmienok,

λ_c je inverzná k relaxačného času [$1 \cdot s^{-1}$], je definovaná ako:

$$\lambda_c = \frac{6}{d_b} \cdot \beta \cdot \sqrt{\frac{M}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot T_{sat}}} \cdot L \cdot \left(\frac{\alpha_v \cdot \rho_v}{\rho_l - \rho_v} \right). \quad (14)$$

Koeficient λ_c by teoreticky mal byť rôzny pre kondenzáciu a odparovanie. Priemer bubliny a prispôbovacieho koeficientu nie sú zvyčajne známe, čo je dôvod, prečo koeficient λ_c musí byť doladený tak, aby zodpovedal experimentálnym dátam. Štandardne je koeficient pre odparovanie a kondenzáciu 0,1. Avšak môže dosahovať hodnoty v rozsahu od 10^{-3} do 10^2 .

ZÁVER

Článok je zameraný na analýzu súčasného stavu riešenia viacfázových prúdení a ich modelovania v programe *ANSYS Fluent*. Je zrejmé, že presnosť výpočtu a *CFD* simulácie závisí aj od koeficientu λ_c , ktorý býva štandardne pre kondenzáciu a vyparovanie okolo 0,1 avšak v realite môže prakticky dosahovať hodnoty v rozsahu od 10^{-3} do 10^2 .

Cieľom práce bolo získať čo najviac informácií o tomto korelačnom koeficiente, aby do budúca bolo možné vytvoriť jeho závislosť od množstva vzniknutého kondenzátu. Táto závislosť poslúži ako korelačný graf, vďaka ktorému budeme schopní prispôbiť *CFD* simuláciu čo najviac realite.

LITERATÚRA

- [1] WALLIS, G. B. (1969): *One-dimensional Two-phase Flow*, McGraw-Hill Book Co.
- [2] HEWITT, G. - HALL TAYLOR, N. S. (1970): *Annular Two-phase Flow*, Pergamon Press, Oxford.
- [3] COLLIER, J. (1972): *Convective Boiling and Condensation*, McGraw Hill, London.
- [4] GOVIER, G. W. - AZIZ, K. (1972): *The Flow of Complex Mixtures in Pipes*, Van Nostrand Reinhold Co., New York.
- [5] ISHII, M. (1971): *Thermally Induced Flow Instabilities in Two-phase Mixture in Thermal Equilibrium*, Ph.D. Thesis, Georgia Institute of Technology.
- [6] KOCAMUSTAFAOGULLARI, G. (1971): *Thermo-fluid Dynamics of Separated Two-phase Flow*, Ph.D. Thesis, Georgia Institute of Technology.
- [7] HIRT, C. W. - NICHOLS, B. D. (1981): *Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundary*, J. Comput. Phys., vol. 39, pp. 201–225.
- [8] HUANG, M. - WU, L. L. - CHEN, B. (2012): *A Piecewise Linear Interface-Capturing Volume-of-*

Fluid Method Based on Unstructured Grids, Numer. Heat Transfer B, vol. 61, pp. 412–437.

[9] YOUNGS, D. L. (1982): *Time-Dependent Multi-Material Flow with Large Fluid Distortion*, in K. W. Morton and M. J. Baines (eds.), Numerical Method for Fluid Dynamics, pp. 273–285, Academic Press, New York.

[10] OSHER, S. - SETHIAN, J. A. (1988): *Fronts Propagating with Curvature Dependent Speed: Algorithms Based on Hamilton-Jacobi Formulations*, J. Comput. Phys., vol. 79, pp. 12–49.

[11] OSHER, S. - FEDKIW, R. P. (2001): *Level Set Methods: An Overview and Some Recent Results*, J. Comput. Phys., vol. 169, pp. 463–502.

[12] WANG, P. T. - SUN, H. W. - WONG, P. Y. - FUKUDA, H. - ANDO, T. (2012): *Modeling of Droplet-Based Processing for the Production of High-Performance Particulate Materials Using the Level Set Method*, Numer. Heat Transfer A, vol. 61, pp. 401–416.

[13] WELCH, S. W. J. - WILSON, J. (2000): *A Volume of Fluid Based Method for Fluid Flows with Phase Change*, J. Comput. Phys., vol. 160, pp. 662–682.

[14] AKHTAR, M. W. - KLEIS, S. J. (2013): *Boiling Flow Simulations on Adaptive Octree Grids*, Int. J. Multiphase Flow, vol. 53, pp. 88–99.

[15] JEON, S. S. - KIM, S. J. - PARK, G. C. (2011): *Numerical Study of Condensing Bubble in Subcooled Boiling Flow Using Volume of Fluid Model*, Chem. Eng. Sci., vol. 66, pp. 5899–5909.

[16] PAN, L. M. - TAN, Z. W. - CHEN, D. Q. - XUE, L. C. (2012): *Numerical Investigation of Vapor Bubble Condensation Characteristics of Subcooled Flow Boiling in Vertical Rectangular Channel*, Nuclear Eng. Des., vol. 248, pp. 126–136.

[17] GANAPATHY, H. - SHOOSHTARI, A. - CHOO, K. - DESSIATOUN, S. - ALSHEHHI, M. - OHADI, M. (2013): *Volume of Fluid-based Numerical Modeling of Condensation Heat Transfer and Fluid Flow Characteristics in Microchannels*, Int. J. Heat Mass Transfer, vol. 65, pp. 62–72.

[18] LEE, W. H. (1980): *A Pressure Iteration Scheme for Two-Phase Flow Modeling*, in T. N. Veziroglu (ed.), *Multiphase Transport Fundamentals, Reactor Safety, Applications*, Hemisphere, Washington, DC.

[19] WU, H. L. - PENG, X. F. - YE, P. - ERIC GONG, Y. (2007): *Simulation of Refrigerant Flow Boiling in Serpentine Tubes*, Int. J. Heat Mass Transfer, vol. 50, pp. 1186–1195.

[20] DE SCHEPPER, S. C. K. - HEYNDERICHX, G. J. - MARIN, G. B. (2009): *Modeling the Evaporation of a Hydrocarbon Feedstock in the Convection Section of a Steam Cracker*, Comput. Chem. Eng., vol. 33, pp. 122–132.

- [21] ALIZADEHDAKHEL, A. - RAHIMI, M. - ALSAIRAFI, A. A. (2010): *CFD Modeling of Flow and Heat Transfer in a Thermosyphon*, *Int. Commun. Heat Mass Transfer*, vol. 37, pp. 312–318.
- [22] YANG, Z. - PENG, X. F. - YE, P. (2008): *Numerical and Experimental Investigation of Two Phase Flow during Boiling in a Coiled Tube*, *Int. J. Heat Mass Transfer*, vol. 51, pp. 1003–1016.
- [23] FANG, C. - DAVID, M. - ROGACS, A. - GOODSON, K. (2010): *Volume of Fluid Simulation of Boiling Two-Phase Flow in a Vapor-Venting Microchannel*, *Frontiers Heat Mass Transfer*, vol. 1, pp. 1–11.
- [24] GUO, D. Z. - SUN, D. L. - LI, Z. Y. - TAO, W. Q. (2011): *Phase Change Heat Transfer Simulation for Boiling Bubbles Arising from a Vapor Film by VOSET Method*, *Numer. Heat Transfer A*, vol. 59, pp. 857–881.
- [25] NICHITA, A. - THOME, J. R. (2010): *A Level Set Method and a Heat Transfer Model Implemented into Fluent for Modeling of Microscale Two Phase Flows*, AVT-178 Specialists' Meeting on System Level Thermal Management for Enhanced Platform Efficiency.
- [26] MAO, W. B. (2009): *Numerical Simulation of Vapor-Liquid Phase Change Heat Transfer and Micromixing in Microfluidic Systems*, Master's thesis, GuangZhou Institute of Energy Conversion Chinese Academy of Sciences, China.
- [27] SUN, D. L. - XU, J. L. - WANG, L. (2012): *Development of a Vapor-Liquid Phase Change Model for Volume-of-Fluid Method in FLUENT*. *Int. Commun. Heat Mass Transfer*, vol. 39, pp. 1101–1106.
- [28] KOZUBKOVÁ, M. (2008): *Modelování proudění tekutin FLUENT, CFX*. 1 vyd. Ostrava: TU, Ostrava, 153 s.
- [29] PRAKASH C. (1990): *Two phase model for binary liquid-solid phase change: Parts I and II*. *Numerical Heat Transfer*. 18(2), 131-167

Fatigue properties of welded high-strength steels

Peter Kopas, Ing., PhD.*

Department of Applied Mechanics, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Žilina,
Univerzitná 8215/1, 01026 Žilina.
E-mail: peter.kopas@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2955

Milan Vaško, doc. Ing., PhD.

Department of Applied Mechanics, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Žilina,
Univerzitná 8215/1, 01026 Žilina.
E-mail: milan.vasko@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2981

Milan Sága, prof. Dr. Ing.

Department of Applied Mechanics, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Žilina,
Univerzitná 8215/1, 01026 Žilina.
E-mail: milan.saga@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2500

Marián Handrik, Ing., PhD.

Department of Applied Mechanics, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Žilina,
Univerzitná 8215/1, 01026 Žilina.
E-mail: marian.handrik@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2984

Pavol Novák, Ing., PhD.

Department of Applied Mechanics, Faculty of Mechanical Engineering,
University of Žilina,
Univerzitná 8215/1, 01026 Žilina.
E-mail: pavol.novak@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2968

Abstract: This article informs about the experience of the authors in the area of the fatigue life of the welded joints. We are aiming at the welds of the high-strength steel *S960 QL*. The welds are created by unconventional technologies utilizing the laser and electron beams. The analysis of the residual stresses, assessment of the strength and micro-hardness of the material tested around the welds is also part of this study. The experimental research of the tested material's fatigue life and welded joints is realized on the samples loaded by cyclic bending and cyclic torsion. The measurement results are processed in the form of the *S-N* curves and compared with the current regulations issued by the *International Institute of Welding* in the form of the *FAT* curves.

INTRODUCTION

One of the main reasons for the broad implementation of the steel is the occurrence of the iron ore and a relatively rapid and low-cost production. The yield point of the steels is defined by the stress necessary for moving the dislocations. Analogically it is valid that higher strengths are achieved by reducing the distance between individual obstacles. This can be achieved by several methods. In practice a suitable chemical composition and various treatment methods are combined [1]. However, for the technical practice not only the fact what extraordinary strength properties the steel has is important. Appropriate weldability of the steel does not mean only making the weld and correct fulfilment of its function. It is also necessary for the area influenced by

the heat to achieve mechanical properties similar to the basic material. The steel is appropriately weldable, if it does not require any special conditions for making the weld of the required quality. The main parameter determining the weldability of the steels is the content of carbon and the carbon equivalent.

A significant problem that limits the usage of the high-strength steels is the material fatigue [2]. It seems that as soon as they understand certain interconnections, other areas for research emerge. One of these areas is undoubtedly the fatigue of the welded joints. Just due to verifying or rejecting this statement the authors decided to carry out the presented research (Fig. 1 to Fig. 3).

The authors assume that better fatigue properties can be achieved by using the high quality welded joints.



Fig. 1. Microstructure of the basic material *Strenx 960*, transfer of the metal being welded to the area affected by the heat using the MAG technology



Fig. 2. Transfer of the metal being welded into the area affected by the heat of the material *Strenx 960* using the electron beam technology

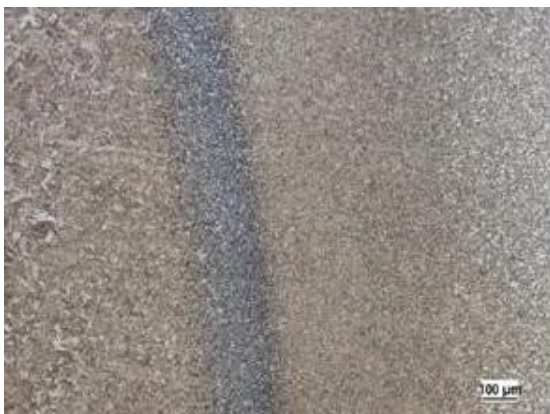


Fig. 3. Transfer of the metal being welded into the area affected by the heat of the material *Strenx 960* using the laser beam technology

There are several possibilities how to reducing the surface defects or using the appropriate welding methods and also by implementing the additional adaptation of the welds through utilizing other methods, e.g. *HFMI* (High Frequency Mechanical Impact), *TIG* dressing (melting the weld root). It was proved that the residual stresses in the material affect its fatigue life [3].

1 FATIGUE OF WELDED JOINTS

During the welding process the material is heated and subsequently cooled. Then the basic material is sweated

and there is a possibility it will mix with the filler material. This will cause increasing the inhomogeneity and a physical and chemical difference, penetration of inclusions, pores, hollows, etc. The lacks of fusion and the shape of the welded joint's cross-section create conditions for high concentration of the stress. The residual stresses develop and then they affect the fatigue properties of such a joint [4, 5]. Therefore, several approaches for assessing the fatigue damage of the welded joints have been developed. The individual approaches are classified according to the fact up to what level of the „local character“ the stresses or deformations caused by the external load are defined. Then we could classify the approaches according to the assessment method for strains (deformations) to the global, design and local ones. However, the further classification includes also dividing according to the stress and deformation approach and also the approach of the fracture mechanics.

2 WELDING PROCESS AND MATERIAL

The laser welding was realised by the solid-state fibre laser *YLS* with output of 5 kW, wavelength 1.06 µm, laser welding head *Precitec YW52* with the optic fibre diameter of 0.1 mm. The material was clamped without the root gap and the tack welds were used at its ends. The electron beam welding was realised by the welding system *PZ EZ JS30 JUMBO* with the output pulse regulation from 0 to 8 kW and the beam voltage from 30 to 60 kV. The material was clamped without the gap and the tack welds were used at its ends. The welding surfaces were in the case of both technologies fine-milled and defatted by acetone due to ensuring the material cleanliness and weld quality before welding. The individual welding parameters are shown in Tab. 1 and Tab. 2.

Tab. 1. Welding parameters for laser beam welding

Laser Beam welding			
Output P [kW]	Velocity v [mm·s ⁻¹]	Focus position [mm]	Fibre diameter [mm]
5000	7.5	-4	0.1

Tab. 2. Welding parameters for electron beam welding

Electron Beam welding				
Welding current I [mA]	Beam voltage U [kV]	Velocity v [mm·s ⁻¹]	Focusing [mm]	Vacuum height [Pa]
115	55	11	0	0.09

The basic material of the test samples is *Strenx 960* - it is the name for high-strength steel with the yield point of 960 MPa. Parameters of individual welding methods are listed in Tab. 3.

The steel used for the research was *Strenx 960* without any additional designation in the form of 10 mm

boards which was designated *Weldox 960 E* before. It is thus hot-rolled treated high-strength engineering steel (hardened and tempered) (*Q*) maintaining its properties at low temperatures (*L*). The *Standard EN 10025-6* [5] determines the chemical composition of the steel *S960QL* according to Tab. 4.

Tab. 3. Determined values of the thermal inputs for individual welding methods

Thermal input	Weld type	
	Electron	Laser
Q [kJ·mm ⁻¹]	0.63	0.55

Tab. 4. Chemical composition of the steel *S960QL* according to the standard *EN 10 025-6*

Chemical composition of the steel <i>S960QL</i> – max. weight %							
<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>B</i>	<i>Nb</i>	<i>Cr</i>	<i>V</i>	<i>Cu</i>
0.02	0.80	1.70	0.005	0.06	1.50	0.12	0.50
<i>Ti</i>	<i>Mo</i>	<i>Ni</i>	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Al</i>	
0.05	0.70	2.00	0.015	0.20	0.10	-	

3 ANALYSIS OF BASIC MECHANICAL PROPERTIES

Static tensile test was performed as first (Fig. 4). It was realised on hydraulic universal testing equipment *INOVA* in the lab of the authors according to the Standard *ISO 6892* [6].

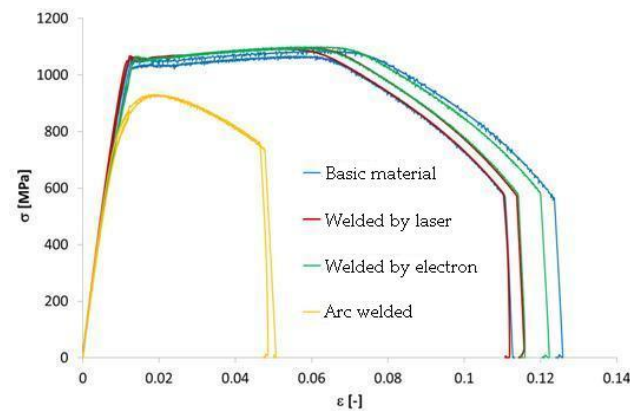


Fig. 4. Documentation diagram of comparing the tensile diagrams of the basic material and the welded ones

The tensile tests show that the welds realised by the laser or electron beam do not affect the material strength. The samples were broken in all cases of the samples (10 samples were tested for the basic material and each type of weld) welded by the laser and electron beam outside the weld, i.e. in the basic material. In all three cases (the basic material, weld by the laser and electron beam) the material shows lower tensibility than given by the producer. The average tensibility value is 11.32 % out of ten measurements, while the manufacturer gives 15 %.

The measurement of hardness was carried out for the applied welding technologies on the prepared metallographic samples according to the Standards *ISO*

22826 [7] and *EN ISO 9015-2* [8]. In the case of technologies implementing the electron or laser beam there is a very low heat affected zone (*HAZ*) because we chose the overall width of the measured area of 10 mm, i.e. 5 mm for each side of the weld. The hardness of the basic material reaches on average 342 HV. The average value of the ultimate strength from the tensile tests achieves 1,089 MPa. The value of 342 HV equals 331 HB according to the conversion tables. The hardness values moved around 470 HV in the place of the weld boundary. It is a transition area where partially sweated metal grains occur at the boundary of the basic material and the weld. Directly in the welded metal the laser weld reaches relatively non-uniform values of hardness (due to the weld lap that is, however, only in the middle of the board being welded) moving in the interval of 360 HV to 430 HV. The electron weld shows a more uniform distribution of hardness in the followed area - almost constantly 435 HV.

4 ANALYSIS OF RESIDUAL STRESSES

During measuring the residual stresses by the X-ray diffraction method we measured the deformation in the crystal lattice. The measurement was carried out in two directions on the sample surface (in the direction parallel with the weld and perpendicularly to the weld). The stresses were measured in three lines on the sample surface and their distance was 2 mm from each other. The measurements for both welding technologies were carried out on the surface side of the weld in the central area of the welded board where the welding parameters were stable in order to avoid any distortions of the results.

The comparison of the average values of the longitudinal residual stresses on the sample surface welded by individual technologies shows that the implemented technologies cause development of the tensile stresses in the weld. The lowest values of the stresses were achieved for the laser weld although a peak was recorded between *HAZ* and the basic material and this could represent a potentially risk area [9]. However, the difference between the stresses for the laser and electron beam is minimal.

The comparison of the average values of the transverse residual stresses seems to be more interesting. There are considerable differences of the stress values for these individual technologies. In the case of the laser weld there was achieved an average value only up to 250 MPa and for the electron weld even a negative value, i.e. the residual stress with pressure of -100 MPa.

5 EXPERIMENTAL DETECTION OF FATIGUE CURVES

The testing of the samples was carried out by implementing the approach of the so called controlled

deformation amplitude and with asymmetric coefficient of the cycle $R = -1$ [-] sine cycle with the loading frequency of 35 Hz. The temperature in the lab was in the range of 20 ± 3 °C. The records of the number of cycles for individual materials vs technologies and the loading methods were processed in the form of the *Manson-Coffin* curves in Fig. 5 and Fig. 6 with introduced determination coefficients R^2 of the power regression model fitted to data.

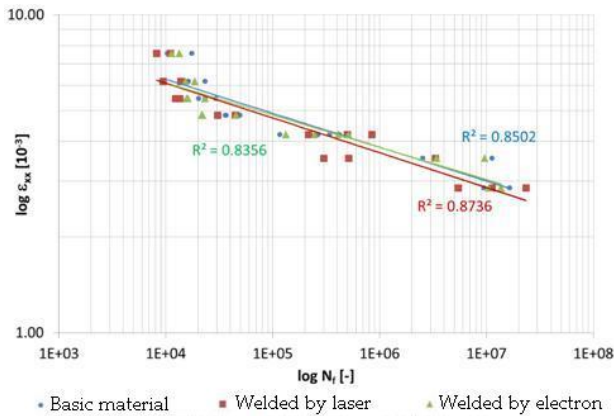


Fig. 4. Manson-Coffin curves of the material Strenx 960 and its laser and electron weld loaded by cyclic bending

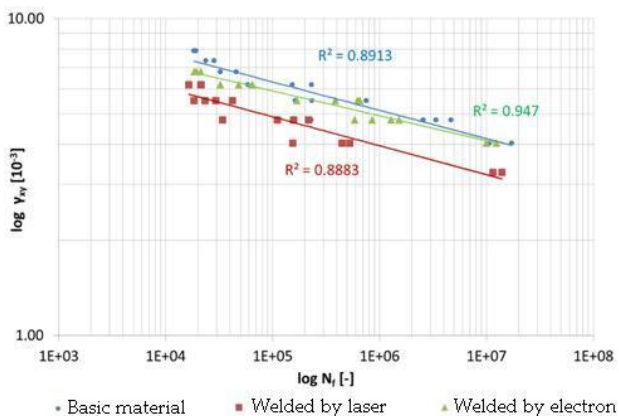


Fig. 5. Manson-Coffin curves of the material Strenx 960 and its laser and electron weld loaded by cyclic torsion

CONCLUSION

A series of the fatigue tests realised on the samples from the basic material of the high-strength steel *Strenx 960* as well as on the samples welded by the electron and laser beam loaded by cyclic bend and cyclic torsion proved that the current recommendations of the *IIW* are very conservative. The currently recommended curve for a welded joint loaded by a normal stress that corresponds with the welded joints tested in this work (laser and electron welding) is *FAT 71*. The highest recommended curve that is primarily determined for the construction areas without welds is *FAT 160*. However, our research shows that all measured points (for both the basic material and the welded material) are high above these curves and it was even possible to use the curve *FAT 550*. As to the welded joints loaded by the shear stress, the *IIW* recommends only two curves and for the tested samples *FAT 100* is suitable.

Also in this case it was shown that all the measured data is safely above this curve and it is even possible to utilise the curve *FAT 260*.

Acknowledgement

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract No. APVV-14-0096 and Stimuly 1227/2018.

REFERENCES

- [1] PORTER, D. A. (2015): *Weldable High-Strength Steels: Challenges and Engineering Applications*. Proceedings of the *IIW International Conference High-Strength Materials – Challenges and Applications*, Helsinki, Finland, Vol. 4, pp. 26-28.
- [2] MANSOURI, D. - SENDUR, P. - YAPICI, G. G. (2020): *Fatigue characteristics of continuous welded rails and the effect of residual stress on fatigue-ratchetting interaction*. *Mechanics of Advanced Materials and Structures* 27, pp. 473-480.
- [3] BLATNICKÝ, M. - BARTA, D. - DIŽO, J. - DROŽDZIEL, P. (2017): *Advanced methods of simulating welding for aluminium alloy fatigue lifespan diagnostics*. In: *Zeszyty naukowe Instytutu Pojazdów: mechanika, ekologia, bezpieczeństwo, mechatronika*, 2 (111), s. 31-36, ISSN 1642-347X.
- [4] BARTA, D. - BLATNICKÝ, M. - DIŽO, J. - DROŽDZIEL, P. (2017): *Modern methods of simulating welding for diagnosing fatigue lifespan*. In: *TSD: XVI international Technical systems degradation conference: Liptovský Mikuláš, 19-22 April*, ISBN 978-83-947840-0-3. pp. 63-66.
- [5] SPECIFICATION OF WELDING OF HIGH STRENGTH STEELS (In Slovak), (2020): <https://www.engineering.sk/clanky2/zvaranie/5763-specifika-zvarania-vysokopevnych-oceli>.
- [6] STANDARD EN 10025-6/S960QL (2020). *High Strength Steel plate*: <https://www.victorsteel.net/high-yield-steel-plate/en10025-6-dillimax-s960ql-high-yield-steel-plate.html>.
- [7] STANDARD ISO 6892-1. *Metallic materials – Tensile testing – Part 1: Method of test at room temperature*.
- [8] STANDARD ISO 22826. *Destructive tests on welds in metallic materials - Hardness testing of narrow joints welded by laser and electron beam (Vickers and Knoop hardness tests)*.
- [9] EN ISO 9015-2. *Destructive tests on welds in metallic materials - Hardness testing - Part 2: Microhardness testing of welded joints*.
- [10] PIEKARSKA, W. - KUBIAK, M. - VAŠKO, M. (2017): *Numerical Estimation of the Shape of Weld and Heat Affected Zone in Laser-arc Hybrid Welded Joints*, *Procedia Engineering* 177, pp. 114-120.

Energetické zhodnocovanie komunálneho odpadu na Slovensku

Andrej Klačko, Ing.*

Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: andrej.klacko@fstroj.uniza.sk ,Tel.: + 421 41 513 2860

Michal Holubčík, doc., Ing., PhD.

Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: michal.holubcik@fstroj.uniza.sk ,Tel.: + 421 41 513 2855

Natália Holešová, Ing.

Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: natalia.holesova@fstroj.uniza.sk ,Tel.: + 421 41 513 2860

Branislav Zvada, Ing.

Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: branisla.zvada@fstroj.uniza.sk ,Tel.: + 421 41 513 2866

Energy recovery of municipal waste in Slovakia

Abstract: Most research is focused on improving the treatment of municipal solid waste (*MSW*) to obtain usable energy. Pyrolysis technology can not only reduce the volume of *MSW*, but also produce pyrolysis oil, pyrolysis gas and carbon, which have high calorific values and application properties and are widely used in industrial activities. In this paper, we focus on the research of *MSW* pyrolysis according to its composition. The components of *MSW*, including plastics, biomass, and rubber, on pyrolysis products are summarized. In addition, the pyrolysis of raw and extracted *MSW* in Slovakia is discussed. The article also mentions an existing processing plant for waste recovery using a pyrolysis process. This plant will help us better design our own equipment for the evaluation of *MSW*.

ÚVOD

Ekonomickým rastom a urbanizáciou sa zvyšuje spotreba ľuďstva, v dôsledku čoho zaznamenávame nárast produkcie tuhého komunálneho odpadu (*TKO*). Podľa prognózy *Svetovej banky* dosiahne do roku 2050 celkové množstvo *TKO* na celom svete 3,4 mld. ton [1]. Čína patrí medzi rozvojové krajiny, ktoré produkujú najväčšie množstvo *TKO*. Podľa Národného štatistického úradu produkcia *TKO* v roku 2019 predstavovala 242 mil. ton, čo je oproti roku 2018 nárast o 6,16 % [2]. *TKO* obsahuje odpady každodenného života, ako napríklad zvyšky potravín, odpadový papier, plasty, odevy a odpad z dvora. *TKO* nielenže zaberá hodnotnú pôdu, ale spôsobuje aj znečistenie ovzdušia a vody, čo predstavuje hrozbu pre zdravie obyvateľov a životné prostredie.

Existuje mnoho spôsobov likvidácie *TKO*. Sklárky, ktoré môžu obsahovať veľké množstvo *TKO*, sú v mnohých krajinách široko používané [3]. Sklárky však zaberajú veľkú plochu a výluh môže znečistiť podzemné vody [4]. Spaľovanie môže tepelným spracovaním vo väčšej miere znížiť objem *TKO*.

V porovnaní s úpravou na skládke odpadov nevyžaduje väčšiu plochu pozemku. Teplo vyrobené spaľovaním je možné použiť na výrobu elektriny a vykurovanie [5]. Emisie popolčeka, trosky a znečisťujúcich plynov, akými sú SO_2 , NO_x a dioxíny, poškodzujú životné prostredie. V posledných rokoch začali vedci upriamovať pozornosť premene odpadu na použiteľné zdroje.

Rozvíjajúcej sa metóde spracovania odpadu, sa pyrolýze *TKO* venuje veľká pozornosť výskumníkov.

K 6. aprílu 2021 má vyhľadávanie *Web of Science* na tému „Pyrolýza a tuhý komunálny odpad“ celkom 1515 článkov, ktorých počet sa každoročne postupne zvyšuje. Naznačuje to, že pyrolýza je sľubná a vedecky hodnotná technológia. Pyrolýza je tepelná degradácia *TKO* v inertnej atmosfére zaníkaním chemických väzieb pri vysokej teplote, čo si vyžaduje externý vstup energie [6]. Počas procesu pyrolýzy dodáva vstup vonkajšej energie potrebné teplo na tepelný rozklad *TKO*. V porovnaní so spaľovaním, proces pyrolýzy *TKO* výrazne uľahčuje predchádzanie tvorbe veľkých dioxínov a znižuje tvorbu NO_x v dôsledku nižších teplôt a inertných podmienok. Vzhľadom na tepelnú nestabilitu organických látok, *TKO* prechádza počas procesu pyrolýzy radom chemických reakcií a medzi konečné produkty pyrolýzy patrí syngas, pyrolýzny olej a uhlík [7].

1 PYROLÝZA

Využitie pyrolýzy pri energetickom zhodnocovaní odpadových plastov je jeden z najvýhodnejších spôsobov. Pyrolýza je tepelné spracovanie odpadových látok v pyrolýznej peci, alebo reaktore pri teplote 250 °C ÷ 1650 °C bez prístupu vzduchu, alebo pri obmedzenom prístupe vzduchu a pri zníženom atmosférickom tlaku. Výsledkom pyrolýzneho rozkladu sú kvapalné látky (pyrolýzny olej a plynné látky (pyrolýzny plyn). Materiálovým vstupom sú odpadové plasty, ktoré nie je z akýchkoľvek dôvodov možné ďalej recyklovať. Výsledným produktom je palivo, ktorého konečná kvalita je daná kvalitou vsádzky do pyrolýzneho reaktora. Technológie spracovania plastových odpadov na palivové oleje majú potenciál riešiť dva veľké problémy súčasnosti - nedostatok fosílnych palív a produkciu ďalej nespracovateľných plastových odpadov [9].

Proces pyrolýzneho spracovania plastov spočíva v skvapalnení, pyrolýze a katalytickom rozštiepení plastov, pri ktorom sú odpadové plasty premenené na kvapalné uhl'ovodíky vhodné ako palivo (plasty sú pretvorené na „pôvodný“ materiál). Plyny, vznikajúce pri pyrolýze, kondenzujú v špeciálne konštruovanom kondenzačnom systéme, za vzniku alifatických a cyklicko-alifatických a aromatických uhl'ovodíkov. Vzniknutá zmes, v podstate zodpovedá ropnému destilátu. Hustota, ako aj ďalšie vlastnosti tohto paliva sú podobné, ako má motorová nafta, vzniknuté palivo má absolútne rovnaký energetický potenciál, ale z hľadiska ekológie s podstatne nižšími emisiami. Získaný palivový olej je použiteľný, ako palivo pre spaľovacie motory, generátory, kotle a priemyselné horáky, alebo je používaný ako druhotná surovina na výrobu benzénu, toluénu a pod. Z 1 kg plastov je možno získať približne 0,9 l paliva, pokiaľ sú spracované polyolefíny, ako polyetylén

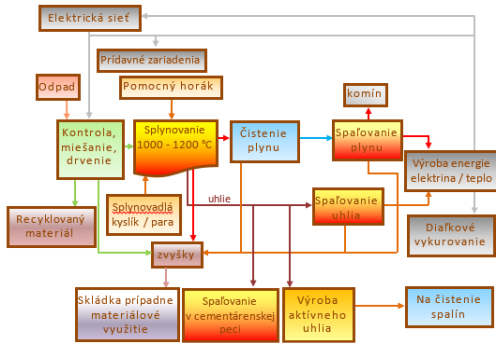
(*PE*) a polypropylén (*PP*) alebo polystyrén (*PS*). Pyrolýza je perspektívna technológia, výhodou tejto technológie energetického zhodnocovania je fakt, že môže spracovávať široké škálu odpadu, aj znečistených, pretože napr. väčšina ťažkých kovov prechádza do tuhých pyrolýznych zvyškov a nedostáva sa do pyrolýzneho oleja, alebo plynu a tým ani do plynných emisií zo spaľovania. Tuhý zvyšok z pyrolýzneho reaktora predstavuje približne 1/3 pôvodnej hmotnosti suchého odpadu v prípade použitia komunálneho odpadu a 1/10 pôvodnej hmotnosti suchého odpadu v prípade použitia plastového odpadu. Tento tuhý zvyšok po karbonizácii prepadáva do chladiaceho kde žľabu je nepriamo chladený technologickou vodou. Ďalej je prepravený na triedenie na sítach, kde je oddelený kovový zvyšok (železné a neželezné kovy) a minerálne podiely (sklo a pod.) podiel, obsahujúci uhlík, sa melie na prach a dopravuje do dohorievacej komory. Podsitový podiel obsahujúci uhlík sa ešte melie na prach a dopravuje do dohorievacej komory. Zo spodnej strany dohorievacej komory, kde je teplota 1300 °C odteká tekutá troska do vodného granuláčného kúpeľa [5].

Pyrolýza je realizovaná v pyrolýznych komorách alebo fluidných a rotačných peciach. Pece môžu byť vyhrievané z vonkajšej strany cez plášť pece alebo zvnútra horúcim inertným plynom (dusikom, ...), na urýchlenie pyrolýzy sa do pyrolýzera privádzajú spaliny z kotla alebo zo splyňovacieho zariadenia. Realizované pyrolýzne jednotky sú v podstate dvojstupňové spaľovne odpadov, ktorých prvý stupeň je pyrolýzny a druhý oxidačný.

2 SPLYŇOVACIE A PYROLÝZNE ZARIADENIE

Na splyňovanie a pyrolýzu sú využívané reaktory, najčastejšie valcového tvaru, v závislosti na množstve spracovávaného odpadu sú konštruované buď ako kontinuálne alebo diskontinuálne. Na oba technologické procesy je potrebné dodanie určitého množstva tepla, jeho množstvo je závislé na pracovnej teplote, množstve a druhu spracovávaného odpadu [12]. Teplo do procesu je dodávané buď spaľovaním plynných a kvapalných palív alebo elektrickým ohrevom. Ohrev elektrickou energiou je realizovaný priamo, cez elektrickú špirálu, ktorá môže byť umiestnená v podávacej závitovke. Ohrev spaľovaním kvapalných alebo plynných palív v horákoch je z bezpečnostných dôvodov najčastejšie realizovaný prostredníctvom medzimédia umiestnenom v dvojitej stene reaktora. Reaktor má kvôli ekonomike prevádzky tepelnú izoláciu. Kapacity reaktorov sa pohybujú od niekoľkých sto kilogramov do niekoľko ton spracovaného odpadu za hodinu. Zádržná doba vsádzky v reaktore a parametre prevádzky sú závislé na konštrukcii

reaktora a druhu spracovávaného odpadu, príklad prevádzkových parametrov ukazujú tab. 1.



Obr. 1. Všeobecná schéma možností splyňovania pri energetickom zhodnocovaní odpadov [8]

Tab. 1. Príklady prevádzkových parametrov pyrolýznych reaktorov [8]

	Biomasa ¹	Polymérne plasty ²	Staré pneumatiky
Pracovná teplota	250 °C ÷ 700 °C	650 °C ÷ 800 °C	650 °C ÷ 800 °C
Zadržná doba vsádzky	5 ÷ 15 min	15 ÷ 25 min	15 ÷ 25 min
Množstvo syntézneho plynu	15 ÷ 80 %	60 ÷ 95 %	30 ÷ 60 %
Množstvo syntézneho oleja	5 ÷ 40 %	5 ÷ 30 %	20 ÷ 40 %
Tuhý zvyšok	15 ÷ 90 %	2 ÷ 30 %	35 ÷ 45 %

¹ Štiepka z drevín, poľnohospodárska dendromasa, piliny, ...

² Plasty, energeticky významné zložky komunálneho a priemyselného odpadu.

³ Zmeny v závislosti od prevádzkových podmienok (torefikácia/pyrolýza/vysokoteplotná pyrolýza).

Tab. 2. Typické reakčné podmienky a produkty procesov pyrolýzy a spaľovania [8]

	Pyrolýza	Splyňovanie	Spaľovanie
Reakčná teplota (°C)	250 ÷ 700	500 ÷ 1600	800 ÷ 1450
Tlak (MPa)	0,11	0,1 ÷ 4,5	0,1
Atmosféra	Inertný dusík	Splyňovacie činidlo: O ₂ , H ₂ O a i.	Vzduch, O ₂
Stechiometrický pomer	1	< 1	> 1
Produkty procesu			
Plynná fáza	H ₂ , CO, uhľovodíky, H ₂ O, N ₂	H ₂ , CO, CO ₂ , CH ₄ , H ₂ O, N ₂	CO ₂ , H ₂ O, O ₂ , N ₂
Tuhá fáza	popol, koks	troska, popol	popol, škvára, troska
Kvapalná fáza	Pyrolýzny olej a voda	x	x

Tuhý zvyšok po technologickom procese je odvádzaný spodkom reaktora chladeným závitovkovým dopravníkom [8].

Prvý orientačný pohľad na rozdiely medzi pyrolýzou, splyňovaním a spaľovaním získame v tab. 2, kde sú uvedené typické podmienky, pri ktorých jednotlivé procesy najčastejšie prebiehajú. Reálne podmienky alebo experimentálne podmienky sa pohybujú ešte v širšom rozpätí.

Množstvo tuhého zvyšku je závislé od druhu spracovávaného odpadu, technológie a od prevádzkových parametrov.

Reaktory pre splyňovanie alebo pyrolýzu sú priemyselne vyrábané v malých sériách, v typových radách, individuálne prispôbených konkrétnym požiadavkám.[10]

3 FYZIKÁLNE ZLOŽENIE TKO

S rýchlou urbanizáciou a rastúcou migráciou do miest sa okrem iného rýchlo menia aj životné návyky, životný štýl a cestovný ruch [13]. Zloženie a vlastnosti TKO sa odlišujú v závislosti od regiónu a ročného obdobia. Toto zloženie je dôležité pre získavanie vysokokvalitného paliva pre pyrolýzu.

Slovenské domácnosti v roku 2020 znova zvýšili objem vyprodukovaného komunálneho odpadu, dobrou správou je, že podiel recyklovaného odpadu poskočil na 44 %. Prvýkrát v histórii skončila na skládkach menej ako polovica komunálneho odpadu (48 %).

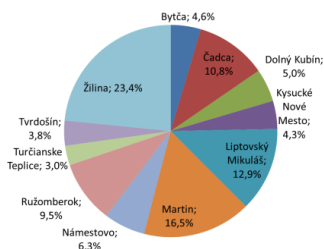
Obyvateľ Slovenska vyprodukoval v roku 2020 v priemere 446 kg komunálneho odpadu. Je to o 53 kg viac ako je priemerná ročná hodnota vyprodukovaného odpadu za predošlých päť rokov (2016 ÷ 2020). Celkovo tak domácnosti SR vyprodukovali za minulý rok 2,43 mil. ton komunálneho odpadu. Vyplýva to z dát o komunálnom odpade v roku 2020, ktoré aktuálne zverejnil Štatistický úrad Slovenskej republiky.

Z regionálneho hľadiska sa najviac odpadu – viac ako 500 kg na jedného obyvateľa za rok - vyprodukovalo v troch krajoch západného Slovenska a to v Trnavskom (584), Bratislavskom (531) a Nitrianskom kraji (521). Naopak, najmenej odpadu vygenerovali obyvatelia v Prešovskom, Košickom a Banskobystrickom kraji. V týchto regiónoch množstvo odpadu na obyvateľa nepresiahlo 400 kg. V Prešovskom kraji vyprodukuje jeden človek v priemere o dve tretiny menej odpadu ako v Trnavskom kraji.

TKO je podľa svojho zloženia rozdelené do štyroch kategórií: recyklovateľný, kuchynský, nebezpečný a iný odpad. TKO tvoria predovšetkým odpadové plasty a guma, kuchynský odpad, papier, textilie, odpad z biomasy, keramika, sklo a kov [14].

4 PRODUKČIA KOMUNÁLNEHO ODPADU V ŽILINSKOM KRAJI

S rýchlou urbanizáciou a rastúcou migráciou do miest sa okrem iného rýchlo menia aj životné návyky, životný štýl a cestovný ruch. Zloženie a vlastnosti TKO sa odlišujú v závislosti od regiónu a ročného obdobia. Toto zloženie je dôležité pre získavanie vysokokvalitného paliva pre pyrolýzu. Slovenské domácnosti v roku 2020 opäť zvýšili objem vyprodukovaného komunálneho odpadu. Dobrou správou je, že podiel recyklovaného odpadu sa zvýšil na 44 %. Žilinský kraj je jedným z ôsmich slovenských samosprávnych krajov a tvorí ho 11 okresov. Hustota obyvateľstva v kraji je 102 obyvateľov na km². Úroveň urbanizácie je relatívne nízka, v mestách žije asi 50 % obyvateľstva. Žilinský kraj vyprodukuje ročne približne 185 000 ÷ 230 000 ton komunálneho odpadu.



Obr. 1. Rozdelenie produkcie komunálnych odpadov v okresoch Žilinského kraja

V súčasnosti nie je v tomto regióne energetické využitie odpadu. Je to kvôli negatívnym názorom na spaľovne odpadu. Ľudia sa boja zápachu zo spaľovania odpadu. To môže byť hlavný dôvod, prečo sa v Žilinskom kraji skládkuje takmer všetok vyprodukovaný komunálny odpad. Technológia pyrolýzy by pomohla tieto skládky zredukovať.

5 VLHKOSŤ, SPALNÉ TEPLA A VÝHREVNOSŤ TESTOVANÝCH VZORIEK TKO

Komunálny odpad je veľmi rôznorodý. Počas experimentov boli použité všetky časti vzorky. Každá laboratórna vzorka bola pripravená jemným drvením na frakcie s veľkosťou menšou ako 1,6 mm. Následne bola dokonale premiešaná metódou na dosiahnutie jej úplnej homogenizácie. Vzorka komunálneho odpadu (1 ÷ 5 g) bola umiestnená na kovovú platňu v analytickej mierke. Zaznamenala sa hmotnosť mokrej vzorky komunálneho odpadu. Vzorka bola vysušená pri 105±2 °C a následne bola zaznamenaná hmotnosť suchej vzorky komunálneho odpadu. Na základe rozdielu hmotností bola vypočítaná vlhkosť vzoriek. Pre každú vzorku boli vykonané tri merania a výsledné hodnoty boli ich priemerom. Spalné teplo bolo stanovené podľa STN EN ISO 1716 pomocou kalorimetra LECO AC 500. Vzorka komunálneho odpadu s hmotnosťou cca

1,0 g bola spálená v spaľovacej nádobe naplnenej kyslíkom na tlak 31,0 bar. Spaľovacia nádoba bola ponorená do 2,0 dm³ destilovanej vody. Vlhkosti vzoriek odpadu bývajú variabilné a v rámci experimentov dosahovali hodnoty od 0 % pri plastových materiáloch a tetrapakoch (spotrebiteľské obaly na tekuté potraviny) po 88,93 % pri banánovej šupke. Vlhkosť a spalné teplo boli tiež veľmi premenlivé a výhrevnosť dosiahla hodnoty od 5,4489 MJ·kg⁻¹ pre potravinový odpad (zemiakové lupienky, zeleninový šalát a bravčové mäso) až po 42,1448 MJ·kg⁻¹ pre plastové pero. Všetky testované plastové materiály mali veľmi vysokú výhrevnosť, v porovnaní s ostatnými testovanými vzorkami (tab. 3).

Tab. 3. Vlhkosť, spalné teplo, výhrevnosť testovaných vzoriek

Materiál	Vlhkosť [%]	Spalné teplo [MJ·kg ⁻¹]	Výhrevnosť [MJ·kg ⁻¹]
Ovocie	88,93	19,95	16,40
Vrečko čaju	71,08	11,44	8,37
Letáky	5,39	8,79	7,33
Balenie jogurtu	0,00	27,27	25,94
Papier	10,21	12,11	10,53
Papierový obrúsok	15,89	13,04	11,33
Noviny	10,90	10,35	8,76
Zmes potravín	59,25	8,22	5,45
PE vrece	0,00	41,28	39,95
PET fľaša	0,00	28,40	27,08
Špongia	5,41	20,15	18,69
Textília	8,97	16,74	15,19
Plastové pero	0,00	43,47	42,14
Drevo (kusy)	12,13	18,26	16,56
Drevo (štiepka)	43,26	16,54	14,11
Tetrapak	0,00	22,15	20,54

Nameraná vlhkosť, spalné teplo a výhrevnosť 16 testovaných vzoriek komunálneho odpadu boli zaradené do kategórií bioodpad, papier, plasty, textil, tetrapak a drevo.

ZÁVER

Pyrolýza je perspektívna technológia. Jednou z výhod tejto technológie energetického zhodnocovania je fakt, že môže spracovávať širokú škálu odpadov, aj znečistených, pretože napr. väčšina ťažkých kovov prechádza do tuhých pyrolýznych zvyškov a nedostáva sa do pyrolýzneho oleja, alebo plynu a tým ani do plynných emisií zo

spaľovania. Tuhý zvyšok z pyrolýzneho reaktora predstavuje približne 1/3 pôvodnej hmotnosti suchého odpadu v prípade použitia komunálneho odpadu a 1/10 pôvodnej hmotnosti suchého odpadu v prípade použitia plastového odpadu. Pri hmotnostnej bilancii sa z jednej tony odpadu získa 400 kg plynu s výhrevnosťou približne 12 MJ·kg⁻¹ a 240 kg koksu s približne 16 MJ·kg⁻¹. Hoci sa 51 kg kovov, 61 kg inertných látok, 10 kg solí (hlavne CaCl₂ a NaCl), 20 kg zvyškov popola, 17 ÷ 20 kg kyseliny chlorovodíkovej, 6 ÷ 9 kg sadry ako aj 140 kg trosky tiež dodatočne zhodnocuje, čistá kapacita výroby energie tejto technológie je medzi 20 a 26 kW·t⁻¹ TKO.

Energetické zhodnocovanie komunálneho odpadu pyrolýzou je perspektívnym riešením odpadovej politiky nielen v Žilinskom kraji, ale aj na území celej Slovenskej republiky a zároveň prispieva k udržateľnosti životného prostredia.

Pod'akovanie

Článok vznikol za podpory projektov KEGA 032ŽU-4/2022 „Implementácia poznatkov o moderných spôsoboch znižovania záťaže životného prostredia pri energetickom využívaní tuhých palív a odpadov do pedagogického procesu“ a VEGA 1/0233/19 “Konštrukčná modifikácia horáka na spaľovanie tuhých palív v malých zdrojoch tepla.”

LITERATÚRA

[1] KAZA, S. - YAO, L. - BHADA-TATA, P. - VAN WOERDEN, F. (2018): *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050* The World Bank.

[2] NBSC China Statistical Yearbook (2020): In *National Bureau of Statistics of China*.

[3] PIEKUTIN, J. (2019): *Monitoring of Groundwater in the Area of a Reclaimed Municipal Waste Landfill* J. Ecol. Eng., 20, pp. 262-268

[4] PREZIOSI, E. - FROLLINI, E. - ZOPPINI, A. - GHERGO, S. - MELITA, M. - PARRONE, D. - ROSSI, D. - AMALFITANO, S. (2019): *Disentangling natural and anthropogenic impacts on groundwater by hydrogeochemical, isotopic and microbiological data: Hints from a municipal solid waste landfill* Waste Manag., 84, pp. 245-255.

[5] FU, Z. - ZHANG, S. - LI, X. - SHAO, J. - WANG, K. - CHEN, H. (2015): *MSW oxy-enriched incineration technology applied in China: Combustion temperature, flue gas loss and economic considerations* Waste Manag., 38, pp. 149-156

[6] ZHANG, Y. - CUI, Y. - LIU, S. - FAN, L. - ZHOU, N. - PENG, P. - WANG, Y. - GUO, F. - MIN, M. - CHENG, Y. - LIU, Y. - LEI, H. - CHEN, P. - LI, B. - RUAN, R. (2020): *Fast microwave-*

assisted pyrolysis of wastes for biofuels production – a review. Bioresour. Technol., 297, p. 122480

[7] MASSARO, M. M. - SON, S. F. - GROVEN, L. J. (2014): *Mechanical, pyrolysis, and combustion characterization of briquetted coal fines with municipal solid waste plastic (MSW) binders*. Fuel, 115, pp. 62-69.

[8] QUESADA, L. - CALERO, M. - MARTÍN-LARA, M. A. - PÉREZ, A. - BLÁZQUEZ, G. (2019): *Characterization of fuel produced by pyrolysis of plastic film obtained of municipal solid waste*. Energy, 186, p. 115874.

[9] NOBRE, C. - VILARINHO, C. - ALVES, O. - MENDES, B. - GONÇALVES, M. (2019): *Upgrading of refuse derived fuel through torrefaction and carbonization: Evaluation of RDF char fuel properties*. Energy, 181.

[10] ABDULLAH, S. H. Y. S. - HANAPI, N. H. M. - AZID, A. - UMAR, R. - JUAHIR, H. - KHATOON, H. - ENDUT, A. (2017): *A review of biomass-derived heterogeneous catalyst for a sustainable biodiesel production*. Renew. Sust. Energ. Rev., 70, pp. 1040-1051.

[11] AGAR, D. A. - KWAPINSKA, M. - LEAHY, J. J. (2018): *Pyrolysis of wastewater sludge and composted organic fines from municipal solid waste: laboratory reactor characterisation and product distribution*. Environ. Sci. Pollut. Res., 25, pp. 35874-35882.

[12] WANG, F. - WANG, P. - RAHEEM, A. - JI, G. - MEMON, M. Z. - SONG, Y. - ZHAO, M. (2019): *Enhancing hydrogen production from biomass pyrolysis by dental-wastes-derived sodium zirconate*. Int. J. Hydrog. Energy, 44, pp. 23846-23855.

[13] WANG, M. - YANG, Y. - JIN, S. - GU, L. - ZHANG, H. (2016): *Social and cultural factors that influence residential location choice of urban senior citizens in China – the case of Chengdu city* Habit. Int., 53, pp. 55-65.

[14] TANG, F. - YU, Z. - LI, Y. - CHEN, L. - MA, X. (2020): *Catalytic co-pyrolysis behaviors, product characteristics and kinetics of rural solid waste and chlorella vulgaris* Bioresour. Technol., 299, p. 122636.

[15] UNIVENT (2021): *Progresívne technológie zhodnocovania odpadov v automobilovom priemysle*, Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave vo Vydavateľstve SPEKTRUM STU, ISBN 978-80-553-3867-5.

[16] UNIVENT (2021): *Stav a vízie zhodnocovania odpadov z automobilového priemyslu SR*, Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave vo Vydavateľstve SPEKTRUM STU, ISBN 978-89-227-5039-4.

Prevodové pomery pri ovládaní mechanizmu dávkovača rúrok

Jozef Kuľka, prof. Ing., PhD.*

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 9, 042 00 Košice.
E-mail: jozef.kulka@tuke.sk, Tel.: + 421 55 602 2503

Martin Mantič, doc. Ing., PhD.

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 9, 042 00 Košice.
E-mail: martin.mantic@tuke.sk, Tel.: + 421 55 602 2503

Silvia Maláková, doc. Ing., PhD.

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 9, 042 00 Košice.
E-mail: silvia.malakova@tuke.sk, Tel.: + 421 55 602 2372

Gear ratios in the control of the tube dispenser mechanism

Abstract: This article deals with the issue of selecting the gear ratio of the linear actuator as well as the lever transmission of the tube dispenser control mechanism. The genesis of the development of a device for secondary pipe cutting, of which a dispenser is a part, is explained. The forces for actuating the dispenser are calculated and a specific actuator model is selected from the catalogue.

ÚVOD

Medzi pracoviská, ktoré pracujú z nízko kontaminovaným rádioaktívnym odpadom, patrí aj pracovisko segmentácie parogenerátora, ktoré je zriadené v priestoroch *JE v Jaslových Bohunicach*. Súčasťou pracoviska, resp. celej polo automatizovanej linky, je pracovisko sekundárneho delenia rúrok. Toto pracovisko sa skladá z hydraulických nožníc *Kajman 600*, ku ktorým bol konštrukčne navrhnutý podávač rúrok a tiež ukladač, resp. zberač nastrihaných rúrok, ktorý ukladá nastrihané rúrky do suda. Naplnený sud sa preváža na ďalšie pracovisko, kde je následne spracovaný podľa predpisu.

1 POPIS ČINNOSTI ZARIADENIA

Súčasťou podávača rúrok je dávkovač, ktorým muselo byť toto zariadenie doplnené, aby spĺňalo požiadavky pre prácu v automatickom režime. Je nutné uviesť, že zariadenie na segmentáciu parogenerátora (celá linka) je jedinečnej konštrukcie a pri niektorých pracovných operáciách sa iba predpokladalo, ako sa niektoré činnosti budú robiť, ako bude vyzeráť odoberaný polotovár z telesa parogenerátora. S touto činnosťou ešte neexistovali žiadne skúsenosti. Po spustení linky do prevádzky a začatím segmentácie prvého parogenerátora sa

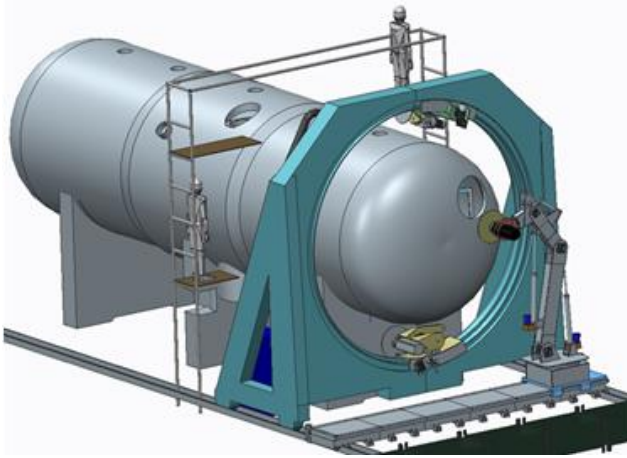
začali objavovať detaily, ktorých výskyt nebol plánovaný a bolo nutné ich riešiť za pochodu. Niektoré skutočnosti boli natoľko závažné, že bolo potrebné meniť celkovú koncepciu činnosti niektorých zariadení linky. Takto to bolo aj v prípade sekundárneho delenia rúrok. Na obr. 1 je 3D model parogenerátora (hmotnosť 165 t) a pohľad do vnútra po odobratí čela (obr. 2) a odrezaní niekoľkých vrstiev rúrok.

Proces orezávania rúrok je zrejмый z obr. 3.

Pri zariadení na sekundárne delenie rúrok sa predpokladalo, že po odrezaní rúrok z vnútra parogenerátora robotickým ramenom, sa rúrky prenesú do zásobníka sekundárneho delenia a odtiaľ budú postupne odoberané unášačmi reťazového podávača a posúvané na viac krokov do hydraulických nožníc *Kajman 600*. Predpokladalo sa, že narezané rúrky priemeru 16 mm budú iba priame (rovné). Preto bol zvolený princíp podávania rúrok pomocou dvoch dvojíc unášačov (obr. 4).

Kým prvá dvojica posúvala rúrky do nožníc, druhá dvojica sa súbežne presúvala na druhú stranu do záberu. Uchytenie unášačov bolo nadimenzované tak, aby sa v prípade vzpriechenia rúrok pretrhla pripevňovacia skrutka unášača k reťazi. Dve dvojice unášačov zasa boli preto, aby pri presune jednej dvojice do záberu vo vratnej vetve dopravníka druhá

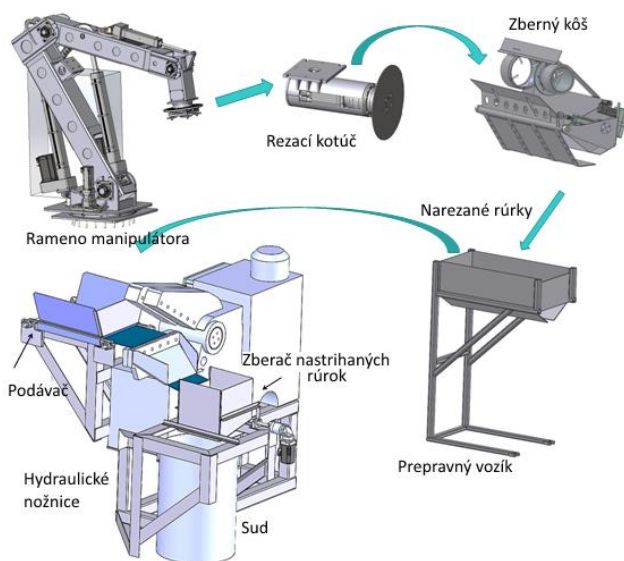
dvojica zároveň posúvala ďalší rad rúrok na strihanie. Šírka unášačov sa volila tak, aby pri prechode cez reťazové koleso si navzájom neprekážali. Toto riešenie sa však ukázalo ako veľmi poruchové a nespoľahlivé.



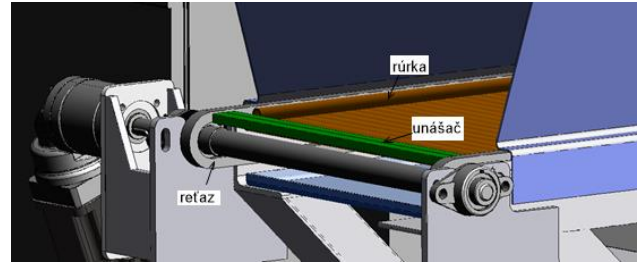
Obr. 1. Pracovisko segmentácie parogenerátora - 3D model



Obr. 2. Otvorený parogenerátor - primárne delenie rúrok



Obr. 3. Primárne a sekundárne delenie rúrok



Obr. 4. Detail nábehu unášačov do záberu

Najväčší problém sa vyskytol pri posúvaní zakrivených rúrok (obr. 5), keďže keď ich výskyt sa nepredpokladal. Realita bola iná a bolo to potrebné vyriešiť. Preto sa navrhla nová koncepcia, ktorá je popísaná v ďalšom texte.

Koncepcia skrutkového podávača (obr. 6) je diametrálne odlišná od predchádzajúcej verzie podávača.



Obr. 5. Rúrky so zakrivením v zásobníku

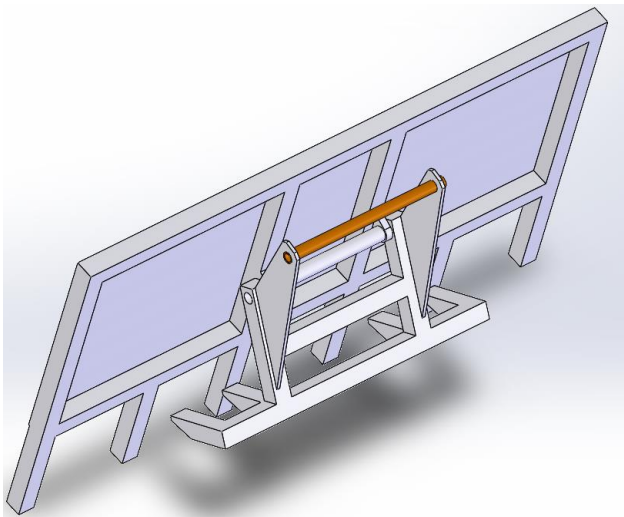


Obr. 6. Skrutkový podávač rúrok

Pohybová skrutka je umiestnená pod pracovným stolom. Cez dve štrbiny v stole vychádzajú nad stôl dva unášače, na ktoré je pripevnená hrnúca platňa. Tento spôsob už nemá problém s posunom zakrivených rúrok. Pri tomto spôsobe podávania ale bolo potrebné vyriešiť, aby na stôl padal iba obmedzený počet rúrok, pretože hydraulické nožnice môžu strihať iba jednu vrstvu rúrok. Reálne môžu strihať aj viac rúrok, ale je problém s vypadávaním

rúrok, keď sa otvorí pridržiavač, ktorý ich počas strihania drží. Ďalšia skutočnosť, ktorá bránila v strihaní väčšieho množstva rúrok bola, že rúrky sú síce dekontaminované, ale meraniami sa nevedelo zistiť, či všetky rúrky a všade sú dostatočne dekontaminované. Preto sme museli uvažovať, že je tam nejaká zvyšková kontaminácia a nemohli sme dovoliť, aby zariadenie, na ktorom sa to spracováva, šíriло kontamináciu do prostredia. Dávkovanie sme vyriešili tak, že pod zásobník podávača sme pridali ešte jednu medzikomoru - dávkovač, do ktorej sa zmestí iba taký počet rúrok, ktorý pri prepadaní na pracovný stôl podávača vytvorí iba jednu vrstvu rúrok.

Ak sa niektorá rúrka (najčastejšie pokrivená) predsa len skríži, aretácia rúrok na nožniciach pri strihu jednu - dve rúrky zvláda tak, že nevypadnú. Dávkovač funguje na princípe vidlice (obr. 7).



Obr. 7. Vidlica dávkovača - 3D model

Po vysunutí vidlice von zo zásobníka sa rúrky prepadávajú do medzikomory (obr. 9). Aby sa uľahčilo prepadávanie rúrok (hlavne pokrivených), namontoval sa na steny zásobníka malý priemyselný vibrátor. Po naplnení medzikomory sa vidlica s hrotmi na koncoch zasunie do masy rúrok a oddelí jednu dávku. Po otvorení dna medzikomory rúrky prepadnú na stôl podávača. Ovládanie vidlice a otočne uloženého dna medzikomory (obr. 9) zabezpečujú dva lineárne aktuátory.

Výber veľkosti lineárneho aktuátora ovplyvňujú hlavne dva parametre [1, 2]. Prvým je potrebná sila na páke, ktorá dokáže zasunúť vidlicu do masy rúrok a oddeliť časť rúrok, ktoré budú tvoriť jednu dávku. Druhým je potrebný zdvih na ovládanie vidlice. V ďalšom výpočte si overíme vhodnosť výberu použitého lineárneho aktuátora.

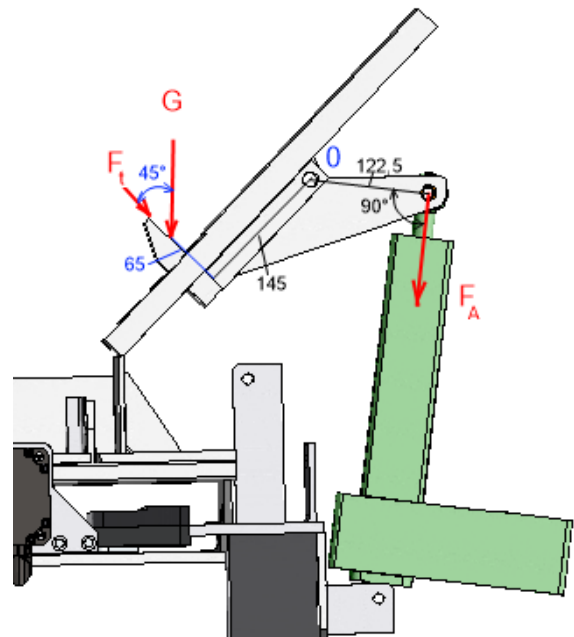
Tiaž G bude reprezentovať masu narezaných rúrok v zásobníku. Keďže do zberného koša (obr. 2) môže sa zachytiť max. 200 rúrok, budeme uvažovať, že tento počet je zároveň maximálnou dávkou, ktorú vieme

vložiť do zásobníka dávkovača. Hmotnosť 1 m rúrky $\varnothing 16 \times 2$ mm je približne 0,7 kg a rúrky sa režu na dĺžku cca. 0,7 m, potom hmotnosť 200 ks rúrok v zásobníku bude $G = 200 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 9,81 = 961,14$ N. Sila F_t bude reprezentovať odpor rúrok proti vnikaniu vidlice do masy rúrok. Vypočítame ju ako treciu silu medzi vidlicou a masou rúrok so súčiniteľom trenia $f = 0,2$ (rúrky sú obalené tenkou vrstvou vodného kameňa). Normálovú silu v súčine budeme uvažovať ako celú tiaž masy rúrok. Reálne na vidlicu pôsobí oveľa menšia sila, ale toto navýšenie budeme považovať za bezpečnosť proti preťaženiu:

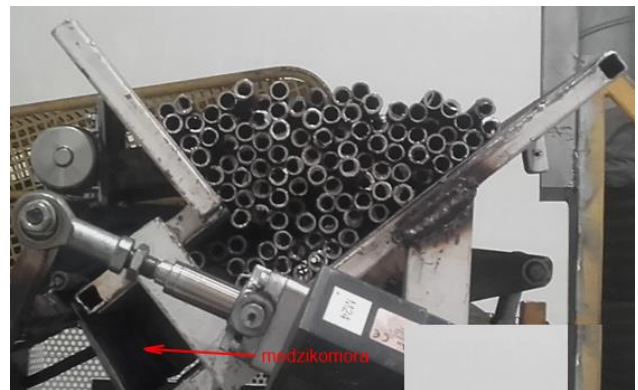
$$F_t = G \cdot f = 961,14 \cdot 0,2 = 192,28 \text{ N.} \quad (1)$$

Z momentovej podmienky k bodu 0 (obr. 8) vypočítame veľkosť potrebnej sily lineárneho aktuátora:

$$\begin{aligned} \left(\sum_i M_i \right)_0 = 0: & F_A \cdot 122,5 - G \cdot 65 \cdot \sin 45^\circ - \\ & - G \cdot 145 \cdot \cos 45^\circ - F_t \cdot 145 = 0. \quad (2) \\ F_A = & 1392,6 \text{ N} \end{aligned}$$



Obr. 8. Zaťažovacia schéma ovládania vidlice

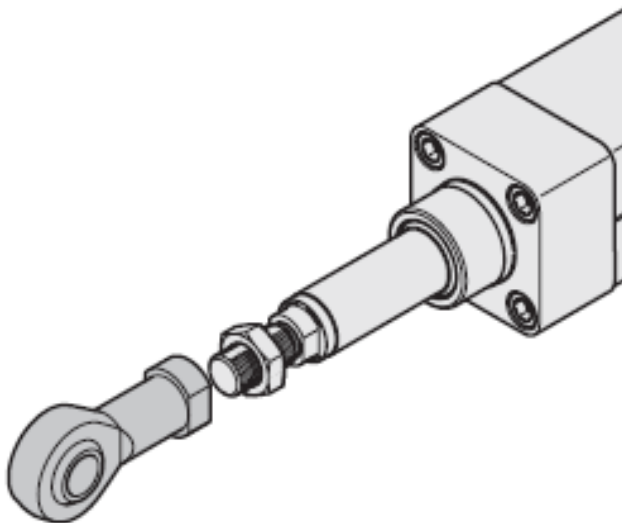


Obr. 9. Maximálne naložený zásobník dávkovača

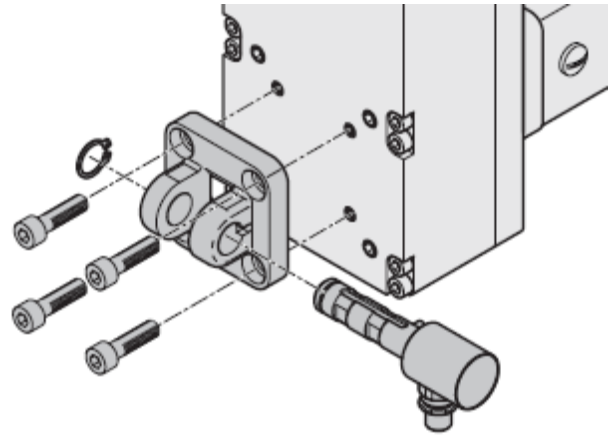
Na zasunutie, resp. vysunutie vidlice je pri danej rozmerovej situácii potrebný zdvih aktuátora približne 45 mm. Podľa katalógu firmy *Bosch Rexroth* pre elektromechanické cylindre (*EMC*) požadovaným kritériám vyhovuje typ aktuátora *EMC-040-NN-2*. Tento výber vyhovuje aj požiadavke pre optimálne zaťaženie 20 % kapacity dynamického ekvivalentného zaťaženia. V tomto prípade teda nie je potrebné meniť pákový prevod mechanizmu podávača, pretože potrebná sila na pieste aktuátora vyhovuje výberu. Pri výbere aktuátora môže rozhodovať takisto aj prevodový pomer v telese *EMC*. Používa sa bočný pohon remeňa s ohľadom na najkratšiu možnú celkovú dĺžku *EMC*. Priestorovo úsporné uzavreté puzdro slúži ako ochrana remeňa, držiaka motora a na pripojenie upevňovacích prvkov. K dispozícii sú rôzne prevodové pomery 1:1, 1:1,5 a 1:2.



Obr. 10. Lineárny aktuátor *EMC* [3]



Obr. 11. Gul'ové ložisko na tyči aktuátora [3]



Obr. 12. Vidlicový držiak na jeho uchytenie na teleso aktuátora [3]

V našom prípade rozmerové hľadisko nehrá až takú dôležitú úlohu, preto nám vyhovuje aj rozmerová rada s prevodom 1:1 (obr. 10), s gul'ovým ložiskom na tyči (obr. 11) a vidlicovým držiakom na telese aktuátora (obr. 12).

ZHRNUTIE VÝSLEDKOV A ZÁVER

Medzi najzložitejšie konštruktérske úlohy patria návrhy prototypov, pri ktorých nie sú definitívne známe všetky detaily prevádzky a problémy sa začínajú objavovať až počas jeho nasadenia. Takto to bolo aj v tomto prípade, kde bolo potrebné za pochodu zmeniť celú koncepciu systému podávania rúrok do hydraulických nožníc. Verzia so skrutkovým podávačom a vidlicovým dávkovačom sa osvedčila ako minimálne poruchová, vyhovuje zároveň požiadavke automatického režimu ale aj režimu manuálnej obsluhy.

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol v rámci riešenia projektu KEGA 029TUKE-4/2021.

LITERATÚRA

- [1] BIGOŠ, P. et al. (2012): *Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení*. TU Košice, 356 s., ISBN 978-80-553-1187-6.
- [2] EUROKÓD 3: *Navrhovanie oceľových konštrukcií*.
- [3] BOSCH (2022): <https://www.boschrexroth.com/en/xc/myrexroth/media-directory/>.

Konceptný návrh bezdrôtového monitorovacieho systému emisií pre vykurovacie zariadenia na tuhé palivá

Miriám Nicolanská, Bc.*

Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: nicolanska@stud.uniza.sk, Tel.: +421 918 362 317

Michal Holubčík, doc. Ing., PhD.

Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: michal.holubcik@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2855

Natália Holešová, Ing.

Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: natalia.holesova@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2860

Conceptual design of a wireless monitoring system with emission analysis integration for solid-fuel based heating devices

Abstract: The article presents a conceptual design of a state-of-the-art emission monitoring system that shall monitor emissions produced by household boilers directly. The aim of the article is to provide low-cost, reliable, and accurate emission data at remote locations, assisting the 2050 *Climate-Neutral* target set by the *European Commission*. The sensor devices shall monitor emission parameters such as ozone, carbon dioxide concentration and particle concentrations, specifically concentrations *PM_{2,5}* and *PM₁₀*. Modern "home-made" air quality devices do exist within the market, however, only are applied in indoor climates. The environment within the exhaust of boilers, fireplaces or other heating devices is significantly more hostile, which brings an exciting engineering challenge. The paper first presents a conceptual design of the interface, sensors, and telecommunication unit. Followingly, two *CAD* models are presented including two attachment systems. The paper later demonstrates a series of future experiments including the setup, the necessary components, and specific aims. In the conclusion of the paper, the data representation is presented along possible countermeasures and strategies that can be done to correct dangerously high levels of measured emissions by the sensors, ultimately aiding to reach the *EU Climate* target of 2030 and climate neutrality.

ÚVOD

Na základe údajov, ktoré pochádzajú z rôznych štúdií vyplýva, že situácia ohľadom vykurovacích zariadení na *Slovensku* si vyžaduje pozornosť. Priemerný vek kotlov na tuhé palivo na *Slovensku* je 12 rokov a pri krbových kachliach až 21 rokov.

Viac ako 57 % občanov využíva zastarané vykurovacie systémy [1]. Zanedbaná údržba zvyšuje množstvo odpadu z paliva, konkrétne o viac ako 25 % [2].

1 EMISIE

Spaľovacie procesy premieňajú palivo na tepelnú energiu, čím produkujú znečisťujúce látky alebo

emisné látky, ktoré spôsobujú hromadenie smogu a sú škodlivé pre životné prostredie.

Hlavné znečisťujúce látky sú tuhé častice (*PM_{2,5}* alebo *PM₁₀*), oxid siričitý (*SO₂*), oxid dusíka (*NO*), oxid uhoľnatý (*CO*), oxid uhličitý (*CO₂*) a ťažké kovy [3].

1.1 Ciele EÚ a Ekodizajn

Európska komisia stanovila plán cieľov v oblasti klímy do roku 2030, v rámci ktorých sa vyskytuje aj cieľ znížiť emisie skleníkových plynov o 55 % v porovnaní s úrovňami z roku 1990 [4]. *Európsky parlament* tiež stanovil revolučný cieľ stať sa klimaticky neutrálnou krajinou do roku 2050, t. j. kultúrou, v ktorej je celková produkcia emisií skleníkových plynov nulová [5].

Environmentálna smernica "Ekodizajn" zaraďuje kotly na tuhé palivá do piatich emisných tried, ktoré vyjadrujú, ako účinné a šetrné sú voči životnému prostrediu. Od 1.9.2022 bude zakázaná výroba a prevádzka všetkých kotlov emisných tried 1 a 2 a predpokladá sa, že v roku 2030 budú zakázaná aj emisná trieda 3 [6].

1.2 Monitorovanie emisií

Kvalita ovzdušia je v súčasnosti monitorovaná pomocou 51 tzv. automatických monitorovacích staníc (AMS) umiestnených po celom Slovensku. Údaje, ako napríklad koncentrácia prachu alebo CO_2 , sú uvedené na mape na webovej stránke SHMÚ [7] a sú obnovované každú hodinu. Emisie vyrobené priamo z kotlov sa merajú pomocou ručných analyzátorov emisií. Tieto merania a kontroly musia vykonávať údržbárske firmy, ktoré sa špecializujú na dané meranie tepelných zariadení, a často sa meranie vykonáva iba raz do roka [8]. Ak pracovníci údržby nedisponujú častejšími údajmi o kvalite spaľovania daných zariadení, úradníci a zástupcovia životného prostredia nemajú inú možnosť, ako sa spoliehať na staré, a často aj nepresné, dáta.

Cena existujúcich bezdrôtových emisných zariadení, napríklad Testo 350, presahuje 8000 eur na európskom trhu (9), čo nie je reálna možnosť pre mesto, v ktorom sú zapojené desaťtisíce domácich kotlov.

2 CIELE ČLÁNKU

Cieľom tohto článku je predstaviť návrh nízko-nákladového emisného monitorovacieho systému, ktorý by bezdrôtovo meral a snímal kvalitu spaľovania kotlov v domácnostiach.

3 SÚVISIACE PRÁCE

Domáce nízkonákladové senzory už na trhu existujú, a využívajú sa v kúpeľniach, v obývačkách ako aj vo výrobných halách. Jedným z najzákladnejších typov takýchto zariadení pozostáva iba z troch komponentov, meria koncentrácie prachu v ovzduší v reálnom čase a bezdrôtovo odosiela dáta prostredníctvom *WiFi* siete. Druhý osvedčený dizajn zobrazený na obr. 1, sa skladá z rôznych emisných senzorov (PM , CO_2 , VOC , O_3), z teplomera a vlhkomera. Jadrom zariadenia je mikropočítač „*Arduino Uno*“ s veľkosťou 53 mm x 69 mm, ktoré spracuje namerané dáta a zobrazí emisie na interaktívnom displeji pomocou farieb každú sekundu [10]. Ďalší typ [11] preukázal použitie bezdrôtovej sensorovej siete (po angl. „*wireless sensor network*“) pri včasnej detekcii lesných požiarov v *Kanade*. Systémové uzly boli umiestnené v lese a program rozdelila sledované oblasti na základe predpokladaného rizika požiaru: „*High Active*“ (*HA*),

„*Medium Active*“ (*MA*) a „*Low Active*“ (*LA*). Týmto spôsobom je možné účinne prispôbiť a zlepšiť opatrenia proti vzniku lesného požiaru.

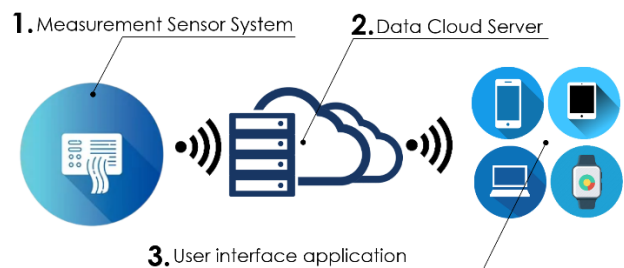
Posledný spomenutý typ monitorovacieho zariadenia [12], ktorý stojí za zmienku, diaľkovo monitoroval zónu náchylnú na zosuvy pôdy v rámci kopcovitej horskej demografie v *Pakistane* pomocou špeciálne navrhnutých senzorov. Zariadenie využívalo rôzne optické aj elektromagnetické senzory na snímanie, ktoré následne upozornili ľudí na riziko nebezpečenstva.



Obr. 1. Domáce monitorovacie zariadenie kvality ovzdušia

4 KONCEPČNÝ DIZAJN

Meracia jednotka takéhoto zariadenia musí byť schopná odoberať vzorky spalín unikajúcich z komínov, analyzovať a úspešne prenášať zhromaždené údaje bezdrôtovo. Konštrukcia musí byť odnímateľná relatívne jednoduchým spôsobom, aby umožnila rýchle kontroly ako aj náročnejšie systémové kontroly. Je taktiež nutné, aby bola konštrukcia spoľahlivá aj počas nepriaznivých poveternostných podmienok, ako sú zimné snehové búrky alebo silné zrážky, pretože v tom čase obyvatelia majú tendenciu vykurovať svoje domy najviac. Systém sa rozdeľuje na dve základné časti prepojené cloudovým serverom, zobrazené na obr. 2, ktoré sú umiestnené v komíne. Ďalšou časťou sú zariadenia, ktoré spracujú a zobrazia namerané dáta, ako napríklad mobilná aplikácia alebo softvér, ktorý bude nainštalovaný na ktoromkoľvek smart zariadení ako *PC*, tablet alebo na väčšine typov smartfónov.



Obr. 2. Základné rozdelenie častí monitorovacieho systému (*DAT SVK*)

4.1 Požiadavky

Dostatočný prenosový výkon je potrebný na to, aby sa v prenose prekonali všetky signálové straty cez káble, vzduch alebo v horších poveternostných podmienkach. Zariadenie spolu so senzormi musí obsahovať aktívne chladenie, nakoľko teplota v komíne dosahuje 180 °C až 200 °C [13]. Namerané dáta budú aj prakticky využiteľné a bude jednoduchšie rozoznať, ktoré oblasti v meste sú kritické a ktoré časti mesta nepotrebujú ráznejšie zakročenie.

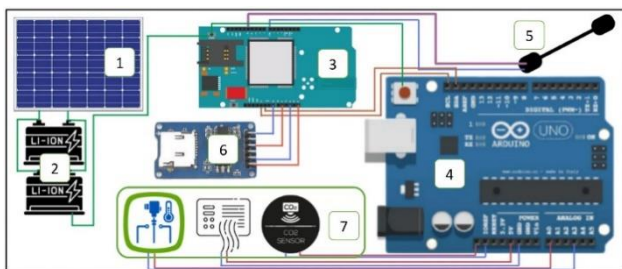
4.2 Návrh systému

Systém musí byť schopný odoberať vzorky spalín priamo v komínoch, analyzovať a úspešne prenášať namerané údaje do prijímačov. Na základe týchto obmedzení sa systém bude skladať z týchto komponentov:

- Zariadenie na odber vzoriek emisií – vzorkovacia sonda.
- Riadiaci počítačový systém - *Arduino Uno*.
- Napájací systém - *Li-on* batéria.
- Senzorové systémy - emisné senzory, teplomer.
- Chladiaci systém - Tertoelektrické chladenie.
- Konštrukcia - bezpečné puzdro odolné voči vysokým teplotám.

Obrázok 3 zobrazuje schematické znázornenie konkrétnych častí zariadenia:

1. Solárne panely.
2. Skladovanie energie.
3. *GSM SIM* modul.
4. Jednotka *Arduino Rev*.
5. Externá jednosmerná anténa *Arduino*.
6. Modul *SD* karty.
7. Emisné a teplotné senzory.



Obr. 3. Schéma koncepčného návrhu monitorovacieho zariadenia emisií

4.3 Senzory

Senzory budú pozostávať z termočlánku, snímača tuhých častíc a snímača oxidu uhoľnatého. Systém bude poháňaný sériou zapojených lítiových batérií a aj možnosťou kompaktného solárneho panelu, ktorý sa nainštaluje v priestoroch komína. Budúce fázy

návrhu umožnia vyhodnotiť a vymeniť väčšie množstvo a rozmanitosť emisných senzorov. Lokalizácia kotla bude zabezpečená pomocou *GPS* modulu, ktorý je integrovaný priamo v jadre senzora, v mikropočítači *Arduino Uno*.

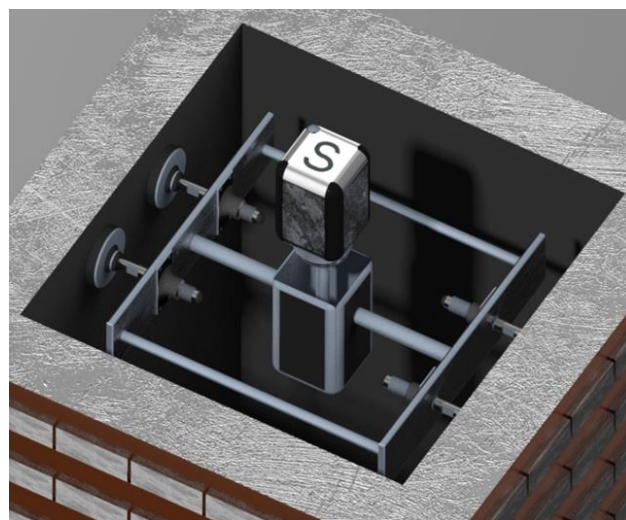
4.4 Prenos údajov

WiFi sieť nie je vždy stabilná a dostupná. Mnohé budovy v mestách nemajú prístup k internetu, resp. *WiFi* a na úrovni ich komínov je signál veľmi slabý. Preto je potrebné zaistiť kvalitný signál vlastnou sieťou, teda pomocou vlastnej *SIM* karty cez tzv. *GSM* technológiu (po angl. „*Global Systems for Mobile Applications*“). Prvé prototypy monitorovacieho zariadenia budú fungovať pomocou modulu "*Arduino GPRS-GSM Shield SIM900*", ktorý využíva mobilnú sieť *2G SIM*. V idealizovanom stave je schopný poskytovať dátové rýchlosti až 56 ÷ 114 kilobitov za sekundu [14]. Ako alternatívu je možné využiť technológiu nazývanú "*LORA*", pretože prenáša v pásme 868 MHz, konkrétne používanom v Európe, čo môže dosiahnuť vzdialenosť až 715 kilometrov za špecifických podmienok [15].

5 CAD MODEL ZARIADENIA

Zariadenie musí byť inštalované priamo v komíne, a to konkrétne v čo najbližšej vzdialenosti k vyústeniu komína do ovzdušia, a to z toho dôvodu, aby sa zabezpečili čo najpresnejšie merania emisií. Zariadenie bude skonštruované tak, aby snímalo čo najväčšie množstvo emisií, ktoré uniká z komínov priamo do ovzdušia.

Tok spalín dosahuje svoje maximum v strede profilu komína. Konštrukcia je postavená z tepelne odolnej antikorozynej ocele, upevňovací systém sa skladá zo skrutkovaného rámu a nastaviteľných kolíkov, ktoré je možné nastaviť na základe jednotlivých rozmerov komína.



Obr. 4. Návrh zapojenia na komíny so štvorcovým profilom



Obr. 5. Návrh zapojenia do komínov s okrúhlym profilom

Obrázok 4 znázorňuje dizajn zariadenia určeného pre štvorcové komíny a ďalší obr. 5 zobrazuje jeho využitie v komínoch s okrúhlym profilom.

Obrázok 5 taktiež znázorňuje spojenie s kruhovým výfukovým potrubím. Systém sa inštaluje niekoľko centimetrov pod koncom komína. Jednou z možností je, že sa bude využívať 3D tlačný tepelne odolný materiál, napríklad materiál 4® *HI TEMP 300-AMB* [16].

6 PROTOTYPOVANIE A SIMULÁCIA

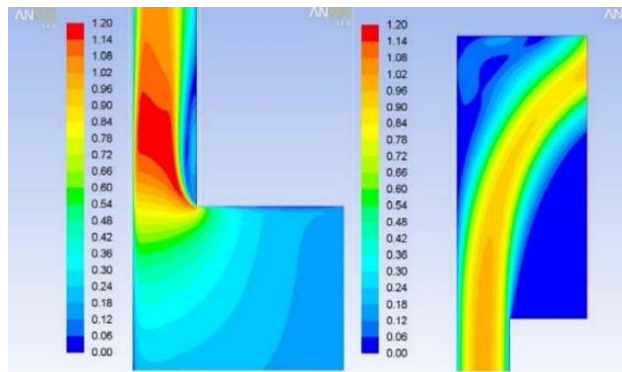
6.1 Telekomunikačný model - MATLAB

Súprava telekomunikačných nástrojov v rámci softvéru *MATLAB* sa použije na simuláciu kľúčových parametrov bezdrôtovej sensorovej siete a na vykonávanie simulácií. Stanovia sa parametre ako bitová chybovosť (*BER*), pomer signálu k šumu (*SNR*) a bloková chybovosť (*BLER*). Počas procesu navrhovania sa budú porovnávať kompromisy vrátane analýzy citlivosti, aby sa dosiahol správny návrh systému.

6.2 Chladiaca analýza pomocou MKP - ANSYS FLUENT

Je veľmi dôležité zabezpečiť, aby vnútorné komponenty neboli vystavené nebezpečne vysokým teplotám v súvislosti s vysokou teplotou spalín.

V tomto prípade sa použije program *ANSYS FLUENT* na simuláciu tepelného zaťaženia konštrukcie a na navrhnutie termoelektrickej chladiacej jednotky. Je taktiež veľmi dôležité vyhnúť sa upchatiu prúdenia vzduchu v komíne. Keďže snímač je fyzicky nainštalovaný v strede komína, simulácia musí vývojárov uistiť, že prítomnosť snímača nemá nepriaznivé účinky na odvetrávanie spalín z kotla do ovzdušia, resp. neupcháva komín.



Obr. 6. Príklad MKP tepelnej analýzy kotla spolu s komínom - kontrola teploty [17]

7 EXPERIMENTY A PROTOTYPY

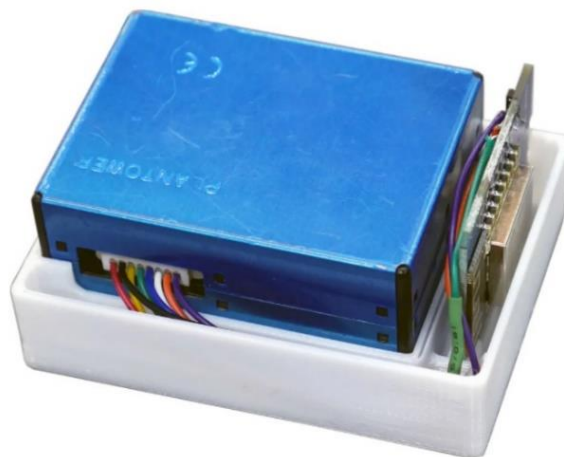
Rozdelenie experimentálneho testovania tohto zariadenia spočíva z dvoch kľúčových fáz. Prvou fázou bude testovanie prototypu v bezpečnom vnútornom prostredí v izbových teplotách, napríklad v garáži alebo v obývačke. V prípade, ak senzory v takomto zariadení budú funkčné, bezdrôtové prenosy budú fungovať ako bolo predpokladané a rozmerovo sa určí veľkosť obalového plášťa zariadenia, postúpi sa do druhej fázy experimentálneho testovania – výroby prototypu, ktorý sa otestuje priamo vo vnútri komína pri procese spaľovania.

7.1 Prototyp na vnútorné prostredie

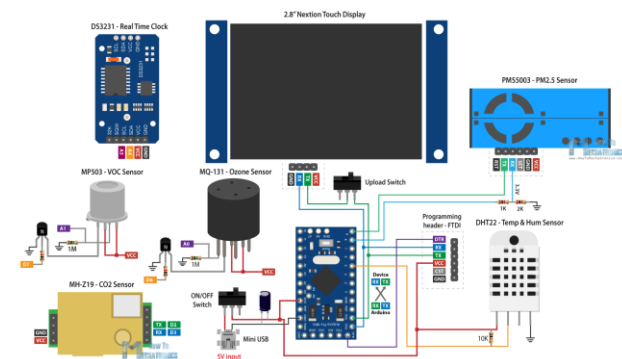
Prvý prototyp bude podobný existujúcemu projektu, zobrazenému na obr. 7, a skladá sa z minipočítača *Wemos* a časticového senzora *PMS5003*, ktorý meria koncentráciu prachu na vstupe snímača. Softvérové rozhranie *Tasmota* sa inštaluje do minipočítača pomocou kompilátora *Tasmotizer*. Potrebne sú len dva hardvérové komponenty [18].

Cieľom testovania tohto zariadenia je:

1. Preukázať presnosť senzora častíc.
2. Preukázať funkčnosť *WiFi* modulu.



Obr. 7. Základný prototyp na meranie koncentrácie tuhých častíc [18]



Obr. 8. Schematický prehľad montáže komponentov zariadenia na kvalitu ovzdušia pomocou zariadenia *Arduino Mini Pro* [10]

Prídavná časť prototypu sa bude skladať z vyššie uvedeného mikropočítača *Arduino Uno* a snímačov prachu, CO_2 , O_3 , NO_x a snímaču teploty.

Cieľom je dokázať:

1. Funkčnosť všetkých senzorov.
2. Výdrž batérie *Li-on* na jedno nabitie.
3. Veľkosť dizajnu (základné rozmery).
4. Reprezentácia údajov na dotykovej obrazovke.

Do dnešného dňa boli všetky údaje z podobných zariadení zdieľané pomocou technológie *WiFi*, ktorej signál ale nie je zaručený v komínoch rôznych budov a pripojenie by nebolo stabilné. Preto bude posledný prototyp, určený na priame použitie v komíne, pozostávať z pripojenia *GSM* modulu k počítaču *Arduino* a pripojenia funkčnej *SIM* karty.

7.2 Prototyp na vonkajšie použitie

Skutočnou výzvou tohto projektu je zaručenie dostatočne silného signálu, regulácia chladenia a nepretržitá prevádzka. Prototyp bude taktiež testovaný v testovacích zariadeniach na katedre energetickej techniky na *Žilinskej univerzite v Žiline*, konkrétne v laboratóriu *BI006* špecializovanom na testovanie zdrojov tepla (obr. 9).

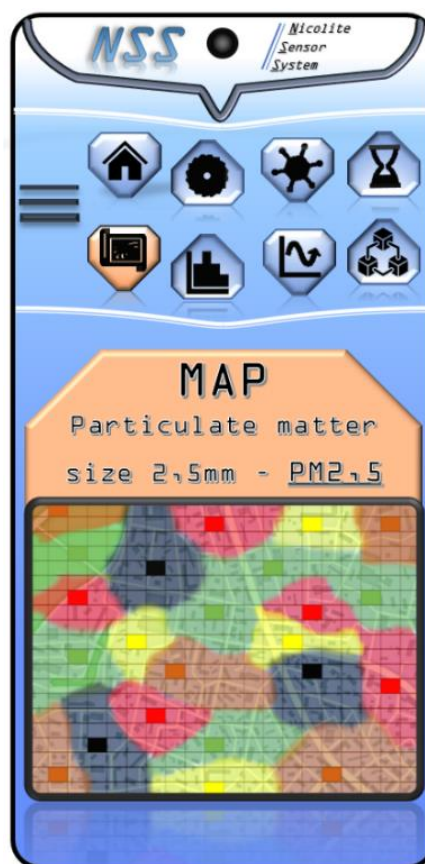


Obr. 9. Laboratórium tuhých palív na *KET* [19]

8 APLIKÁCIA A REPREZENTÁCIA ÚDAJOV

Víziou do budúcnosti je testovanie takýchto zariadení na veľkej vzorke budov, aby sa s čo najväčšou presnosťou dokázala účinnosť a spoľahlivosť zariadení. Najväčší vplyv na ovzdušie a taktiež aj na znečistenie ovzdušia majú najväčšie budovy, ako napríklad nemocnice, bytové domy, školy, sociálne budovy, atď. V istých prípadoch (spaľovanie nevhodného druhu palív a pod.) majú veľký vplyv na znečistenie ovzdušia aj niektoré rodinné domy, na ktoré by sa tieto zariadenia najviac sústredili na začiatku experimentálneho testovania. Tieto údaje by sa zobrazili v jednej aplikácii, kde by bolo možné jednoducho zobraziť maximálne alebo minimálne hodnoty emisií, odhadovanú účinnosť kotla a taktiež nakresliť diagram ukazujúci emisie, ako rýchlo alebo pomaly klesajú v danej oblasti (napríklad ohodnotenie, či opatrenia fungujú podľa predpokladov).

Jednou z inovatívnych metód zobrazenia je forma farebnej „emisnej mapy“ (obr. 10). Každá farba predstavuje závažnosť kontaminácie ovzdušia podľa európskeho indexu o kvalite ovzdušia (*EAIQ*), ktorej škála hodnôt je od 0 po 100 (tab. 1). Čím tmavšia je farba, tým horšia je situácia a tým skôr je potrebné vykonať vhodné opatrenia/kontroly.



Obr. 10. Grafická reprezentácia mobilnej aplikácie - emisná mapa

Tab. 1. Farebná reprezentácia kvality ovzdušia pomocou indexu *EAQI* [20]

Farba	<i>EAQI</i>	Úroveň rizika
Zelená	0 ÷ 10	Nič - vzduch je zdravý
Žltá	10 ÷ 25	Umiernený
Hnedá	25 ÷ 50	Nezdravé pre citlivých občanov
Červená	50 ÷ 75	Nezdravé pre širokú verejnosť
Čierna	75 ÷ 100	Nebezpečné, musí sa vyhnúť

8.1 Opatrenia a aplikácia

Ktoré kroky alebo opatrenia je nutné podstúpiť, ak by aplikácia namerala zvýšenú úroveň emisií? Čo môže vláda alebo riadiace orgány urobiť, aby udržala mapy v zelených, maximálne v žltých farbách? Nižšie je spomenutých niekoľko možných opatrení, ktoré by dopomohli *Európskej Únii* dosiahnuť emisné ciele do roku 2030.

1. V prípade zistenia dlhodobého zvýšeného nárastu emisií z kotlov v osobnom vlastníctve rodinných domov sú majitelia informovaní e-mailom alebo listom, v ktorých budú dôsledky týchto stavov a taktiež odporúčania, ktoré by mali zaviesť pri procesoch spaľovania, aby predišli zopakovaniu takýchto stavov do budúcnosti.
2. Adaptívne zmeny frekvencie kontrol - čím vyššia je úroveň obáv zobrazená na emisnej mape, tým častejšie sa vykonávajú kontroly kotlov a údržby
3. Finančná podpora a odmeňovanie majiteľov kotlov, ktorí dlhodobo prispievajú k udržiavaniu "zeleného zafarbenia" ovzdušia v ich okolí.
4. Informovanie spoločnosti zodpovednej za údržbu kotla, v prípade červenej alebo čiernej farby je potrebné okamžite konať a zavádzať opatrenia k eliminácii kontaminácie ovzdušia.
5. Jednoduché pokyny pre majiteľov domov, ktoré by ich poučili a vzdelávali o určitých témach, a to od skladovania paliva až po základné čistenie kotlov, prípadne aj konkrétne taktiky úspory energie.
6. Akčné odporúčania pre mobilné aplikácie. Napríklad, čím vyššia je hladina kyslíka po spálení, tým menej efektívne je kotol prevádzkovaný (úprava základných nastavení).

ZÁVER

V článku sa prezentoval koncepčný návrh monitorovacieho systému, ktorý je obsahom diplomovej práce v škol. roku 2021/2022 a v budúcnosti bude nadväzovať na mnohé podrobné konštrukčné kroky a procesy. Ideálnym smerom do budúcnosti by tento monitorovací emisný senzor začal nový smer v zmysle opatrení k udržiavaniu čistého prostredia a ovzdušia, nový systém monitorovania

celkového zdravia populácie a nový pohľad na inteligentné a zodpovedné mesto.

Pod'akovanie

Táto práca vznikla vďaka projektom VEGA-1/0479/19 „Vplyv podmienok spaľovania na produkciu tuhých znečisťujúcich látok v malých zdrojoch tepla“ a KEGA 032ŽU-4/2022 „Implementácia poznatkov o moderných spôsoboch znižovania záťaže životného prostredia pri energetickom využívaní tuhých palív a odpadov do pedagogického procesu“.

LITERATÚRA

- [1] SZEMSOVÁ, J. - ĎURICOVÁ, I. (2018): *Údaje o emisiách z vykurovania rodinných domov*. [online] SHMU. [Online]: <http://www.shmu.sk/en/?page=2049&id=955>.
- [2] VIŠŇOVSKÝ, V. (2020): *Revízia kotla. Koľko vám môže ušetriť?* [Online]: <https://www.innogyporadenstvo.sk/blog/bezpecnost/revizia-kotla-kolko-vam-moze-usetrit/>.
- [3] ŠTROFFEKOVÁ, S. (2019): *Emisie hlavných znečisťujúcich látok z energetiky*. [Online]: www.enviroportal.sk/indicator/detail?id=1102.
- [4] EU 2030 (2021): *Climate Target Plan*. [Online]: https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action/2030_ctp_en.
- [5] EU2050 (2022): *2050 long-term strategy*. [Online]: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en.
- [6] STUPAVSKÝ, V. (2020): *Smernice o ekodesignu pro kotle a kamna na tuha paliva*. vytapeni.tzb-info. [Online]: <https://vytapeni.tzb-info.cz/kotlikove-dotace/11937-smernice-o-ekodesignu-pro-kotle-a-kamna-na-tuha-paliva>.
- [7] SHMÚ (2022): *Aktuálne priemerné hodinové koncentrácie častíc PM2.5*. SHMÚ. [Online]: https://www.shmu.sk/sk/?id=oko_imis_map_pm25&p=PM2.5&page=1.
- [8] KOŠIČANOVÁ, D. (2018): *Kontroly kotolní, prevádzka a servis - TZB Portál*. [Online]: <https://tzbportal.sk/kurenie-voda-plyn/kontroly-kotolni-prevadzka-a-servis/>.
- [9] TESTO (2022): *Testo 350 - Portable emission analyzer*. [Online]: <https://www.testo.com/en-US/testo-350/p/0632-3510>.
- [10] HOWTOMECHATRONICS (2020): *DIY Air Quality Monitor – PM2.5, CO2, VOC, Ozone, Temp & Hum Arduino Meter*. howtomechatronics. [Online]: <https://howtomechatronics.com/projects/diy-air-quality-monitor-pm2-5-co2-voc-ozone-temp-hum-arduino-meter/>.

- [11] VIKRAM, R. - SINHA, D. - DE, D. - DAS, A. K. (2020): *EEFFL: Energy efficient data forwarding for forest fire detection using localization technique in wireless sensor network*. *Wireless Networks*, s. 5177-5205.
- [12] SANGEETH, K. - DUTTAGUPTA, S. - RANGAN, V. P. - RAMESH, M. V. (2020): *Reliable network connectivity in wireless sensor networks for remote monitoring of landslides*. *Wireless Networks*, s. 2137-2152.
- [13] SHATSKIKH, Y. - SHARAPOV, A. I. - BYANKIN, I. G. (2017): *Analysis of Deep Heat Recovery From Flue Gases*. *Journal of Physics: Conference Series*, Zv. 891, s. 012188.
- [14] Arduino (2021): *Arduino GSM Shield V2*. [Online]: <https://www.arduino.cc/en/Main.ArduinoGSMShield>
- [15] IOT DESIGN PRO (2019): *LoRa Communication between two Arduino using LoRa Module SX1278*. [Online]: <https://iotdesignpro.com/projects/lora-communication-between-two-arduino-using-LoRa-Module-SX1278>.
- [16] 3DSYSTEMS (2021): *Figure 4 HI TEMP 300-AMB*. [Online]: <https://www.3dsystems.com/materials/figure-4-hi-temp-300-amb>.
- [17] LAL, S. (2014): *CFD simulation for the feasibility study of a modified solar chimney applied for building space heating*. *World Journal of Modelling and Simulation*, Zv. 10, s. 293-307.
- [18] OXER, J. (2020): *DIY air quality sensor, part 1 - "Basic" version*. [Online]: <https://www.superhouse.tv/38-diy-air-quality-sensor-part-1-basic-model/>.
- [19] ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE (2022): *Laboratorium zdrojov tepla BI006*. [Online]: <http://ket.uniza.sk/index.php/katedra/pracoviska-univerzity/laboratoria/laboratorium-zdrojov-tepla>.
- [20] AIR INDEX EU (2022): *European Air Quality Index - EAQI*. [Online]: <https://airindex.eea.europa.eu/Map/AQI/Viewer/>.

Analýza vplyvu tvaru telesa odlievaných čelných ozubených kolies na deformáciu ozubenia

Silvia Maláková, doc. Ing., PhD.*

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 9, 042 00 Košice.
E-mail: silvia.malakova@tuke.sk, Tel.: + 421 55 602 2372

Samuel Sivák, Ing.

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 9, 042 00 Košice.
E-mail: samuel.sivak@tuke.sk, Tel.: + 421 55 602 2355

Daniela Harachová, Ing., PhD.

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 9, 042 00 Košice.
E-mail: daniela.harachova@tuke.sk, Tel.: + 421 55 602 2366

Analysis of the influence of the body shape of cast spur gears on the deformation of gearing

Abstract: Gears are designed in various design types. In accordance with the careful design of the gearing, it is necessary to address the issue of designing a suitable shape of the gear body. In the case of the necessary choice of a lightened gear body, it is necessary to maintain the stiffness of the body itself, but also to remember and take into account the necessary meshing stiffness. The work is focused on large cast dimension gears, made with relief. The shape of the gear body depends on several factors such as the size of the wheel, the material, the method of manufacture or use of the gear. The paper is devoted to the analysis of the influence of the basic parameters of the body of the cast spur gear on the deformation and thus also the meshing stiffness of the gearing.

ÚVOD

Prevod ozubenými kolesami je jedným z najčastejšie používaných mechanických komponentov, ktorý sa široko používa v mechanickom prevodovom zariadení. Prevodovky sú vyrábané vo veľkostiach od váhy menej ako jeden kilogram až do viac ako 20 ton. Hmotnosť napríklad lodných prevodoviek sa pohybuje vo vyšších hodnotách a sú schopné preniesť krútiaci moment až do 1 100 000 Nm. Rozsah aplikácie a aj rozsah krútiacich momentov je naozaj široký.

Pri návrhu ozubených kolies veľkých rozmerov je potrebné uvažovať aj s vplyvom tvaru telesa ozubeného kolesa. Toto teleso musí spĺňať základné požiadavky tuhosti a pevnosti a to pri čo najľahšej konštrukcii telesa ozubeného kolesa. Tvar a geometrické parametre telies ozubených kolies používaných prevodovkách veľkých rozmerov závisia od spôsobu výroby týchto veľkorozmerných ozubených kolies. Takého ozubená kolesá môžu byť

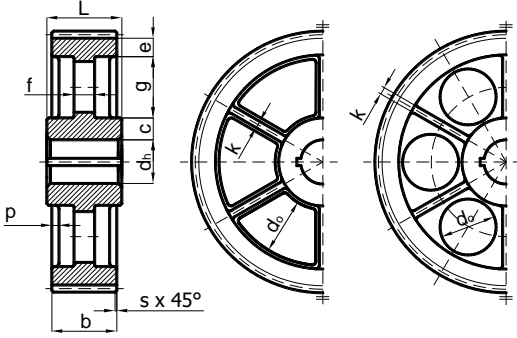
vyrábané ako odliatky, výkovky a niekedy aj ako zvarané konštrukcie telies ozubených kolies.

Príspevok je venovaný analýze vplyvu základných parametrov telesa odlievaného čelného ozubeného kolesa na deformáciu a teda aj tuhosť ozubenia v zábere. Problematika je riešená pre čelné ozubené kolesá veľkých rozmerov, ktorých polotovarom je odliatok. Deformácie ozubenia je určené pomocou metódy konečných prvkov. Príklady simulácií a následného spracovania výsledkov preukazujú rozsah vplyvu jednotlivých parametrov telesa ozubeného kolesa na deformáciu zubov a teda tuhosť zubov.

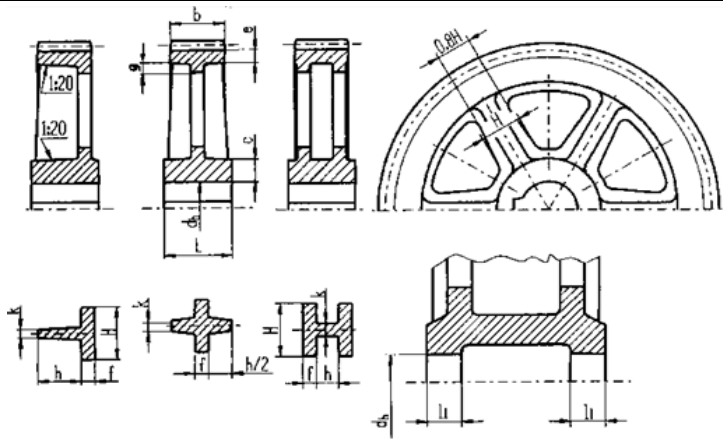
1 ODLIEVANÉ ČELNÉ OZUBENÉ KOLESÁ

Ozubené kolesá sú navrhované v rôznych prevedeniach. V súlade so starostlivým návrhom ozubenia je potrebné venovať sa problematike návrhu vhodného tvaru telesa ozubeného kolesa.

Tab. 1. Odlievané stredne veľké čelné ozubené koleso - základné geometrické parametre

Odlievané stredne veľké ozubené koleso	Parametre kolesa
	m_n - normalizovaný modul [mm] h - výška tesného pera [mm] b - šírka kolesa [mm] $e = (4 \div 5) \cdot m_n$ $c = (1.8 \div 2.2) \cdot h$ $f = (0.2 \div 0.3) \cdot b$ $d_0 = (0.6 \div 0.7) \cdot g$ $k = (0.4 \div 0.6) \cdot f$ $p = (0.2 \div 0.5) \cdot k$ $s = 0.3 \cdot m_n$ $L = (1.0 \div 1.25) \cdot b$

Tab. 2. Odlievané veľké čelné ozubené koleso - základné geometrické parametre

Odlievané veľké ozubené koleso	Parametre kolesa
	m_n - normalizovaný modul [mm] h - výška tesného pera [mm] b - šírka kolesa [mm] $e = (1.6 \div 2.0) \cdot m_n$ $g = 2.0 \cdot m_n$ $f = (1.4 \div 1.7) \cdot m_n$ $k = (1.1 \div 1.3) \cdot m_n$ $L = (1.0 \div 1.25) \cdot d_h$ $h_1 = 0.5 \cdot d_h$ $H = (8.0 \div 10.0) \cdot m_n$ $h = (6.0 \div 8.0) \cdot m_n$ $i_R = \sqrt{d} / 7$ $c = 0.4 \cdot d_h + (5 \div 10)$ [mm]

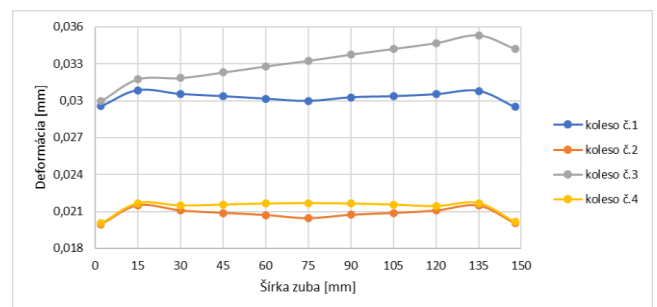
Odlievanie sa používa väčšinou na vytváranie polotovarov pre ozubené kolesá veľkých rozmerov. Sú menej únosné ako kolesá kované. Vyrábajú sa zo sivej liatiny pre obvodovú rýchlosť $v < 7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a z oceľoliatiny pre obvodovú rýchlosť $v < 20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Pre priemer čelného ozubeného kolesa $d > 500 \text{ mm}$ sa používa tvar uvedený v tab. 1.

Odlievané kolesá sa môžu vyrábať aj s plným diskom. Pre veľmi veľké odlievané kolesá sa spojenie náboja s vencom realizuje pomocou ramien s prierezom eliptickým, krížovým, T-profilom (tab. 2). Ramená je potrebné kontrolovať pevnostným výpočtom na ohyb.

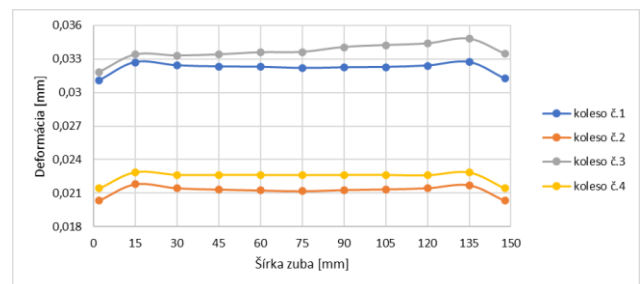
Pre analýzu vplyvu tvaru telesa odlievaného čelného ozubeného kolesa na deformáciu a záberovú tuhosť, bolo navrhnuté ozubenie s počtom zubov $z = 71$, normalizovanou hodnotou modulu $m_n = 7 \text{ mm}$. Problematika bola riešená pre čelné ozubené kolesá s priamymi zubami. Šírka ozubenia $b = 150 \text{ mm}$. Deformácia bola skúmaná pre modely kolies uvedené v tab. 3. Veľkosť šírkového zaťaženia $w = 100 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$, vyjadrené na základe osamelej sily $F = 15\,000 \text{ N}$.

Vzájomné porovnanie priebehu deformácie po šírke zuba pre modely odlievaných čelných ozubených

kolies, ak sa skúma zub umiestnený nad otvorom je na obr. 1 a ak je zub umiestnený nad rebrom je na obr. 2.

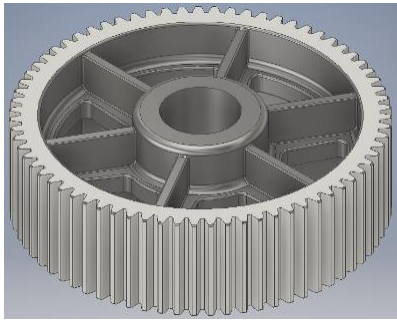

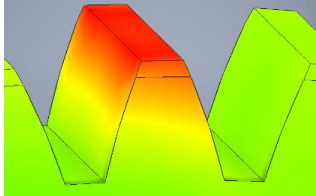
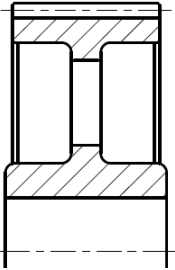
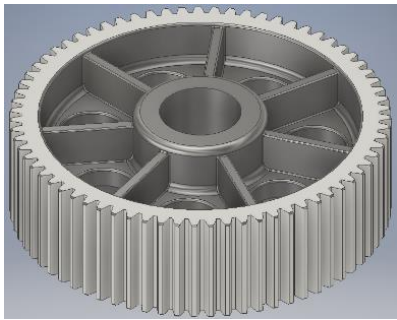

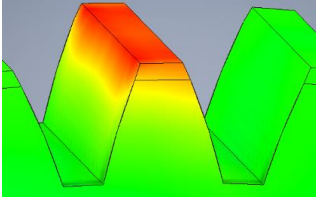
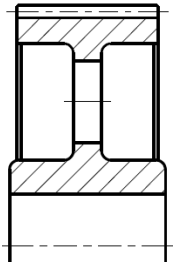
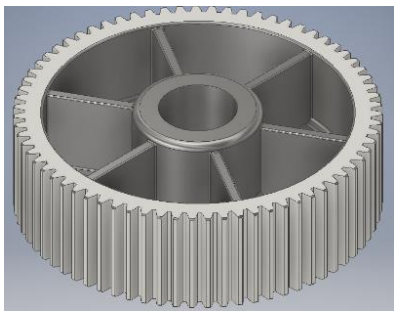
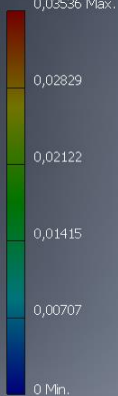
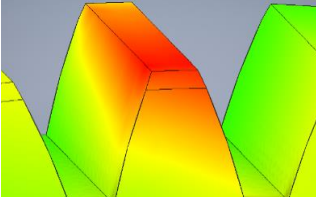
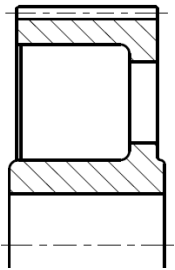
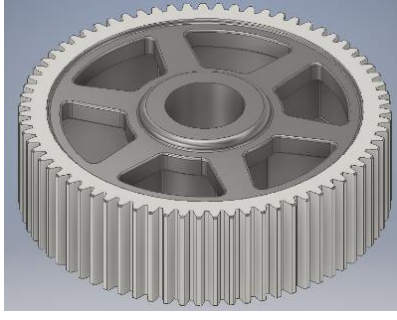
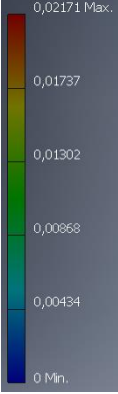
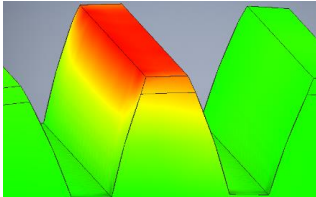
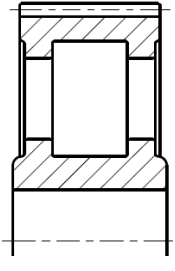


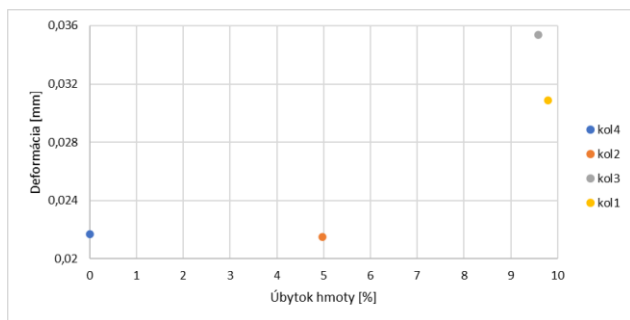
Obr. 1. Priebeh deformácie po šírke zuba odlievaného kolesa umiestneného nad otvorom.



Obr. 2. Priebeh deformácie po šírke zuba odlievaného kolesa umiestneného nad rebrom

Tab. 3. Varianty odlievaných čelných ozubených kolies a výsledky skúmania deformácie zubov ozubenia

Model koleša	Model	Maximálna deformácia [mm]	Znázornenie deformácie	Rez zuba
č. 1				
č. 2				
č. 3				
č. 4				



Obr. 3. Vplyvu úbytku materiálu na maximálnu tuhosť ozubenia pre odlievané čelné ozubené kolesá.

Koleso č. 4 je navrhnuté s nulovým úbytkom hmoty. V skutočnosti má ale koleso č. 4 oproti plnému kolesu ľahšie o 50,5 %. Z grafu je možné určiť, že s pribúdajúcim úbytkom materiálu sa zväčšuje aj deformácia ozubenia. Výnimkou je koleso č. 3 z dôvodu jeho tvaru. Kolesá č. 1 a č. 3 majú najvyšší úbytok hmoty, ale ich deformácie sú oproti kolesám č. 2 a č. 4 príliš veľké. Kolesá č. 2 a č. 4 majú skoro zhodnú veľkosť deformácie, pričom ale koleso č. 2 má väčší úbytok hmoty, teda je výhodnejšie z hľadiska úbytku hmotnosti. Koleso č. 2 je vzhľadom na pomer deformácie k úbytku hmotnosti najvýhodnejším riešením tvaru telesa odlievaného kolesa.

ZÁVER

Jedným z faktorov pri posudzovaní vhodného tvaru veľkého liateho čelného ozubeného kolesa je posúdenie tejto vhodnosti pre deformáciu, ako aj záberovú tuhosť ozubenia. Vývoj moderných strojov a výrobných prostriedkov je charakterizovaný neustále sa zvyšujúcimi parametrami výkonu pri klesajúcej hmotnosti zariadenia. Odľahčenie telesa ozubeného kolesa má vplyv na deformáciu zubov. Na základe výsledkov možno povedať, že čím menej tvarových úprav telesa ozubeného kolesa, tým menšia deformácia zubov ozubeného kolesa.

Zároveň výsledky poukazujú na vhodné návrhy tvaru a rozmerov pre dosiahnutie požadovanej tuhosti zubov pri čo najmenšej hmotnosti ozubených kolies.

Pod'akovanie

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia grantových projektov:

KEGA 029TUKE-4/2021 „Implementácia

moderných edukačných prístupov pri konštruovaní prevodových mechanizmov.“

VEGA 1/0528/20 „Riešenie nových prvkov ladenia mechanických sústav.“

LITERATÚRA

- [1] CZECH, P. (2018): *Autonomous vehicles: basic issues*. Scientific Journal of Silesian University of Technology, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej: Series Transport: Seria Transport., 100, pp. 15–22.
- [2] TOBIE, T. - HIPPENSTIEL, F. - MOHRBACHER, H. (2017): *Optimizing gear performance by alloy modification of carburizing steels*. Metals, pp. 1–20.
- [3] KULEKA, J. et al. (2018): *Failure analysis of the foundry crane to increase its working parameters*. Engineering Failure Analysis. No. 88, pp. 25-34.
- [4] SAPIETOVÁ, A. et al. (2018): *Simplified computation methodology for contact forces on tapered rolling bearing with flexible parts*. Scientific Journal of Silesian University of Technology, Volume 99, pp. 177–182.
- [5] KOPAS, P. et al. (2019): *Fatigue characteristics of welded high strength steel in the low cycle region of loading*. MATEC Web of Conferences, Volume: 254, p. 1-10.
- [6] WOJNAR, G. - CZECH, P. - FOLEGA, P. (2014): *Problem with diagnosing local faults of gearboxes on the basis of vibration signal*. Transactions of the Universities of Košice. č. 2, pp. 95-100.
- [7] ZHAO, N. et al. (2014): *Web Structural Optimization of the Big Aviation Herringbone Gear Based on APDL Language*. Applied Mechanics and Materials, Volume 487, pp 692-698.
- [8] MORITO, S. - SAITO, H. - OGAWA, T. - FURUHARA, T. - MAKI, T., (2005): *Effect of austenite grain size on the morphology and crystallography of lath martensite in low carbon steels*. ISIJ Int. 45, pp. 91–94.
- [9] MALÁKOVÁ, S. (2021): *Kinematic properties and meshing condition of elliptical gear train*. Scientific Journal of Silesian University of Technology: Series Transport, No. 104, p. 95-105. ISSN 0209-3324.

Konvenčné spôsoby výroby vodíka z fosílnych palív

Branislav Zvada, Ing.*

Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: branislav.zvada@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2866

Radovan Nosek, doc. Ing., PhD.

Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: radovan.nosek@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2863

Natália Holešová, Ing.

Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: natalia.holesova@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2860

Andrej Klačko, Ing.

Katedra energetickej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: andrej.klacko@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2860

Zdenko Šavrnok, Ing.

Katedra aplikovanej mechaniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: zdenko.savrnok@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2965

Conventional methods of hydrogen production from fossil fuels.

Abstract: Article deals with commonly used conventional hydrogen production methods like steam reformation, partially oxidation method, auto thermal reformation or, pyrolysis of carbohydrates. This article describes these methods their efficiency and reveals possible improvements to the future based on lowering of impact on our climate by the possibility of carbon capture systems and lowering of energy consumption of the processes, using membranes and using lower temperatures at the process.

ÚVOD

Vodík je najjednoduchší chemický prvok, je číry bezfarebný plyn bez chuti a zápachu. Podľa medzinárodnej energetickej agentúry (*IEA: International Energy Agency*), bola v roku 2018 celosvetová produkcia vodíka na úrovni 74 Mt, pričom najväčší podiel 38,2 Mt bol použitý na spracovanie a rafináciu ropy a 31,5 Mt v chemickom priemysle na produkciu amoniaku. V roku 2018 bolo vo svete tiež vyprodukovaných 42 Mt vodíkových zlúčenín, ako napríklad zmes vodíku a oxidu uhoľnatého. Z tohto množstva bolo 12 Mt použitých na produkciu metanolu a 4 Mt v hutníctve na metódu priamej redukcie železa. Drvivá väčšina tohto vodíka bola vyprodukovaná z fosílnych zdrojov, najčastejšie

pomocou parnej reformácie metánu. Aj preto je potrebné sa stále venovať konvenčným metódam výroby vodíka rozkladom uhl'ovodíkov. Je síce pravda že svetový trend je prechod na nízko uhlíkové prípadne dokonca bez uhlíkové spôsoby výroby vodíka, stále sa však jedná a málo rozšírené spôsoby výroby z pohľadu kapacity produkcie. Stále je veľký priestor na zvyšovanie účinnosti produkcie vodíka z fosílnych palív, najmä rozkladu zemného plynu, metánu. Veď nakoniec aj *Európska Únia* odobrila zemný plyn ako tranzitný, prechodný, zelený zdroj energie, do doby kým nebudeme pripravený prestať používať aj toto fosílnu palivo.

Postupom času sa z dôvodu tlaku legislatívy a rastúcej ceny vstupných fosílnych palív postupne

prejde na produkciu vodíka z obnoviteľných zdrojov ako je, rozklad biomasy, biologická premena biomasy alebo, elektrolýza. Do tej doby ale bude stále väčšina vodíka vyrábaná konvenčnými spôsobmi ako je: parná reformácia, čiastočná oxidačná metóda, autotermálna reformácia alebo, pyrolýza uhl'ovodíkov.

1 PRODUKCIA VODÍKA Z FOSÍLNYCH PALÍV

V súčasnosti poznáme viacero technológií na produkciu vodíka z fosílnych palív, najrozšírejšími spôsobmi sú pyrolýza a reformovanie uhl'ovodíkov (napr. parné reformovanie). Tieto dve metódy sú najrozvinutejšie, sú bežne používané a zabezpečujú takmer všetku súčasnú produkciu vodíka vo svete. Ku príkladu v spojených štátoch amerických je takmer 95 % všetkého vodíka vyrábaného reformáciou zemného plynu.

Medzi ďalšie možnosti výroby vodíka patrí výroba pomocou membrány. Membrána je štruktúra ktorá za určitých podmienok umožňuje prenos hmoty pod gradientom hnacích síl (koncentrácia, tlak, teplota, elektrický potenciál, atď.) Na základe zloženia rozdelujeme membrány na dva typy, membrány s organickou (polymérovou) alebo anorganickou (keramickou alebo metalickou) membránou.

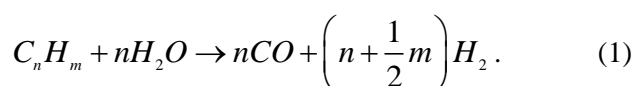
2 METÓDY REFORMOVANIA UHL'OVODÍKOV

Reformovanie uhl'ovodíkov je proces pri ktorom je uhl'ovodíkové palivo reformované na vodík pomocou určitej reformovacej techniky. K uhl'ovodíku môže byť ako ďalší reaktant pridaná vodná para, takýto endotermický proces nazývame parná reformácia, ak pridáme ako reaktant kyslík jedná sa o exotermickú reakciu a je známa ako čiastočná oxidácia.

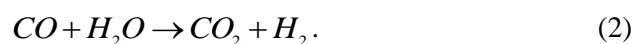
Pri kombinácii týchto dvoch metód dostávame autotermálnu reformáciu. Bežná reformačná linka pozostáva z odsírovacej jednotky, reformovacej a čistiackej sekcie a z množstva pomocných zariadení ako napríklad čerpadlá, kompresory, expandéry, výmenníky tepla, chladiče, ...

3 PARNÁ REFORMÁCIA

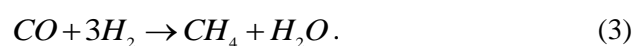
Reformácia:



WGS reaktor:



Metanizácia:

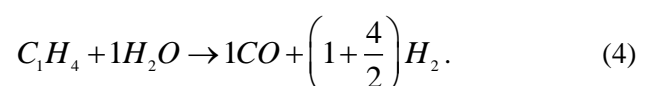


Parná reformácia (steam reforming *SR*) pozostáva z katalytickej premeny uhl'ovodíka a vodnej pary na vodík a oxidy kyslíka (oxid uhličitý, oxid uhoľnatý, ...). Jej hlavný krok pozostáva z reformácie, alebo výroby syntézneho plynu (syngas), premeny vody na plyn (*WGS*) a z metanizácie, alebo čistenia plynu. Vstupným surovým materiálom môže byť metán, zemný plyn, kombinácie metánu a iných plynov, rôzne ľahké uhl'ovodíky ako je etán, propán, bután, pentán, ľahká, alebo ťažká nafta. Pokiaľ vstupný materiál obsahuje organickú síru, je nutné pred samotným reformovaním suroviny túto síru odstrániť aby sa zabránilo poškodeniu reformačného katalyzátora ktorý je najčastejšie na báze niklu. Aby sme dokázali vyrobiť dostatočne čistý vodík a zabránili tvorbe koksu na povrchu katalyzátora, prebieha reformačná reakcia pri vysokej teplote a tlaku do zhruba 3,5 MPa a pomer vodnej pary k uhlíku je 3,5. Po reformácii prechádza zmes plynov cez regeneračný výmenník tepla a vchádza do *WGS* reaktora kde *CO* reaguje s vodnou parou. Výsledkom reakcie je tvorba vodíka a oxidu uhličitého. Táto zmes plynov ďalej pokračuje cez proces odstránenia *CO*₂ a metanizácie, alebo čistením pomocou techniky kolísania tlaku (pressure swing adsorption: *PSA*), čistota vodíka po tomto procese je veľmi vysoká a blíži sa hranici 100 %. Emisie oxidu uhličitého je možné významne redukovať pomocou procesu zachytávania a ukladania (capture and storage: *CCS*).

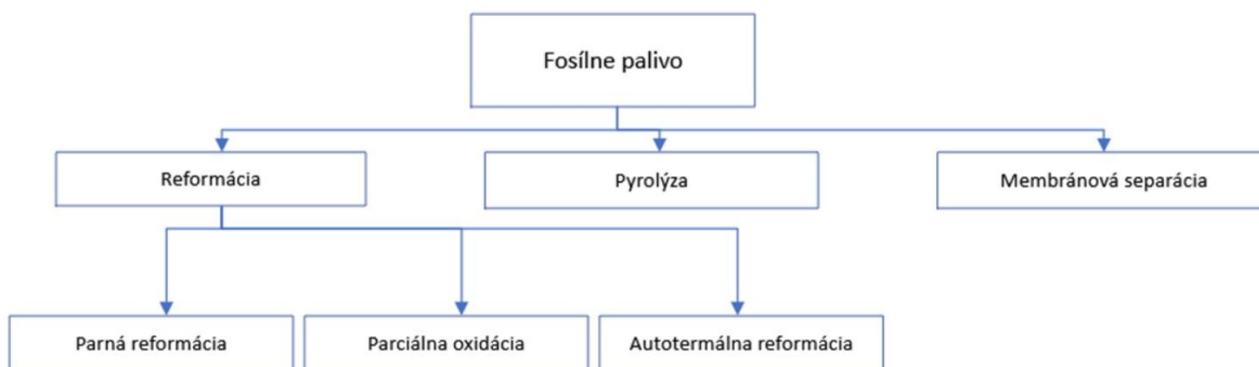
3.1 Parná reformácia metánu

Parná reformácia metánu, ktorej proces je zobrazený na obr. 2, (steam methane reforming *SMR*) je najrozšírejšia a najpoužívanejšia forma získavania vodíka vo svete z účinnosťou 74 ÷ 85 %. Vodná para a zemný plyn reagujú na katalyzátore na báze niklu a vytvára sa tak syntézný plyn o teplote 850 ÷ 900 °C a pomocou *PSA* separácie získavame vodík o čistote až 99,999 %. Potrebná energia o výške 63,3 kJ·mol⁻¹ *H*₂ môže byť získaná zo zemného plynu. Pokiaľ použijeme zemný plyn aj ako procesné palivo, táto zložka bude tvoriť 30 ÷ 35 % celkového množstva zemného plynu v procese, bude výsledné emisné zaťaženie tohto spôsobu výroby vodíka na úrovni 0,3 ÷ 0,4 m³ *CO*₂ na m³ *H*₂. Rovnica nižšie popisuje chemickú reakciu pri reformácii metánu.

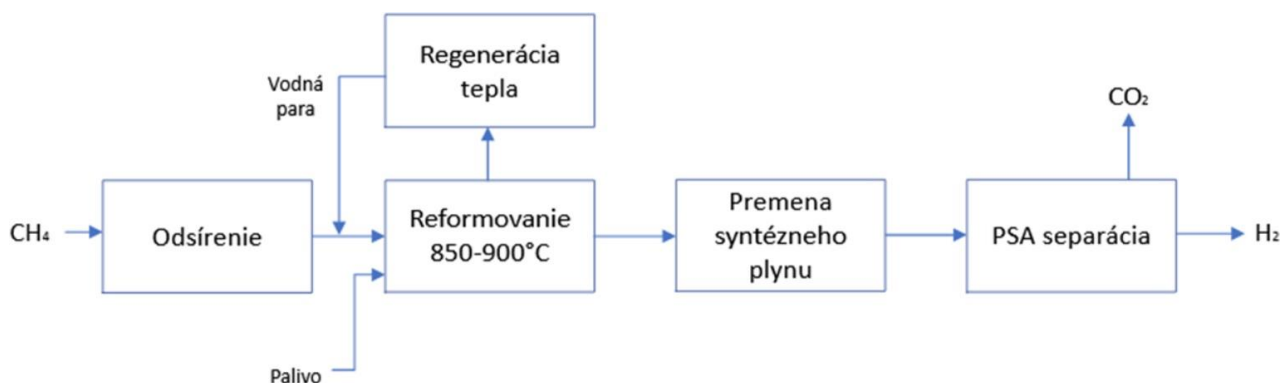
Reformácia:



Zaujímavým riešením sa javí použitie membránového reaktora. Molekulový vodík vyrobený v reformátore je transportovaný adsorpciou a atómovou disociáciou na jednej strane membrány, rozpustením v membráne po ktorom nasleduje difúzia a následná desorpcia na druhej strane membrány. Výhodou je aj to že pri pou-



Obr. 1. Možnosti výroby vodíka z fosílnych palív



Obr. 2. Diagram procesu parnej reformácie metánu

žití membrány na základe olova, je možné dosiahnuť rovnakú premenu reaktantov, pre metán 90 ÷ 95 %, pri použití nižších teplôt 450 ÷ 550 °C namiesto 850 ÷ 900 °C ako je to pri tradičnej SMR metóde.

4 ČIASŤOČNÁ OXIDAČNÁ METÓDA

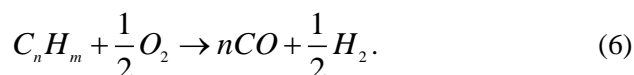
Metóda čiastočnej oxidácie (partial oxidation method *POX*) v jednoduchosti obsahuje zmenu vodnej pary, kyslíka a uhlíkovodíkov na vodík a oxidy uhlíka.

Túto metódu môžeme rozdeliť na dva typy, prvá prebieha za pomoci katalyzátora pri teplotách okolo 950 °C a ako surovinu je možné použiť uhlíkovodík v rozmedzí od metánu po naftu. Pokiaľ pri tejto metóde použijeme metán ako surovinu a aj ako zdroj tepla účinnosť tepelnej premeny bude na úrovni 60 ÷ 75 %. Druhá metóda prebieha bez katalyzátora pri teplotách okolo 1150 ÷ 1315 °C pričom ako zdrojovú surovinu môže používať uhlíkovodíky v rozsahu od metánu po ťažkú ropu a uhlie.

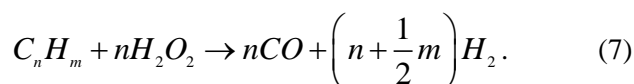
Po odstránení síry, je za pomoci čistého kyslíka dosiahnutá čiastočná oxidácia uhlíkovodíkov a následná úprava syntézneho plynu prebieha ako pri procese parnej reformácie.

Keďže pri tomto procese vzniká potreba zdroja čistého kyslíku a tak isto nutnosť výstavby odsírovacej linky, má tento spôsob výroby vodíka veľmi vysoké investičné náklady. Rovnice nižšie popisujú chemickú reakciu pri procese výroby vodíka pomocou čiastočnej oxidačnej metódy.

Reformácia s použitím katalyzátora:



Reformácia bez použitia katalyzátora:



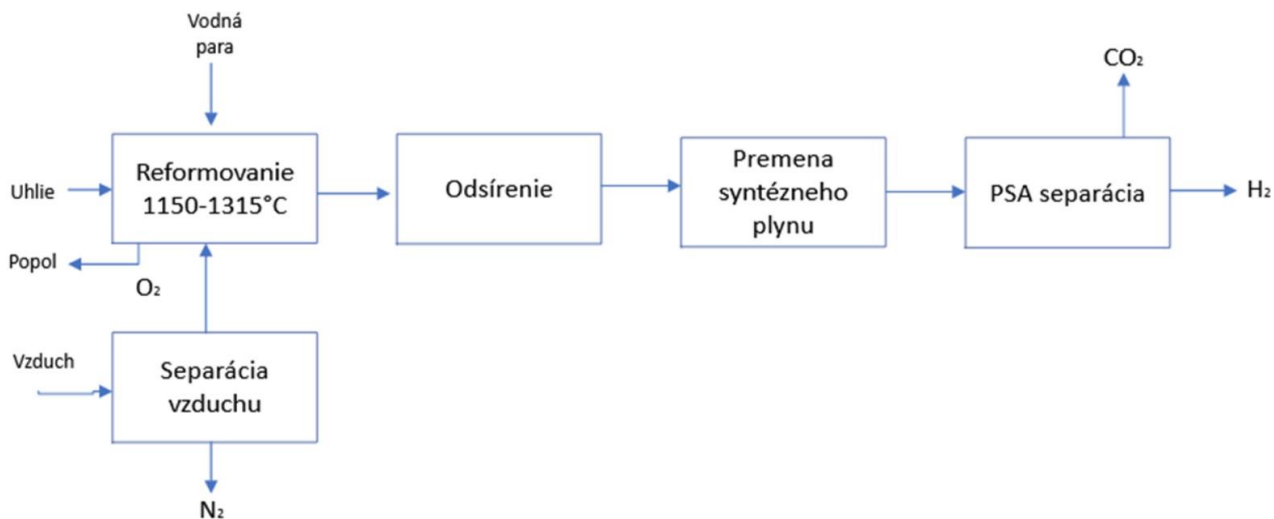
Metóda čiastočnej oxidácie je najvhodnejší spôsob výroby vodíka z ťažších uhlíkovodíkov ako sú napríklad ťažké oleje, alebo uhlie. Tento proces je zobrazený na obr. 3. Na základe nižších pomerov vodíka k uhlíku v ťažších uhlíkovodíkoch, ako je tomu u metánu, väčšie množstvo získaného vodíku pochádza z vodnej pary. Navyše pri výrobe vodíka z uhlia vzniká veľké množstvo popola ktorý predražuje proces výroby. Typické zloženie syntézneho plynu vyrobeného čiastočnou oxidáciou uhlia pomocou metódy *Texaco* je: 34 % H_2 , 48 % CO , 17 % CO_2 , a 1 % N_2 , kde až 83 % vyprodukovaného vodíka pochádza z vody. Rovnica popisujúca chemickú reakciu pri použití uhlia bude mať nasledovný tvar.

Reformácia bez použitia katalyzátora:

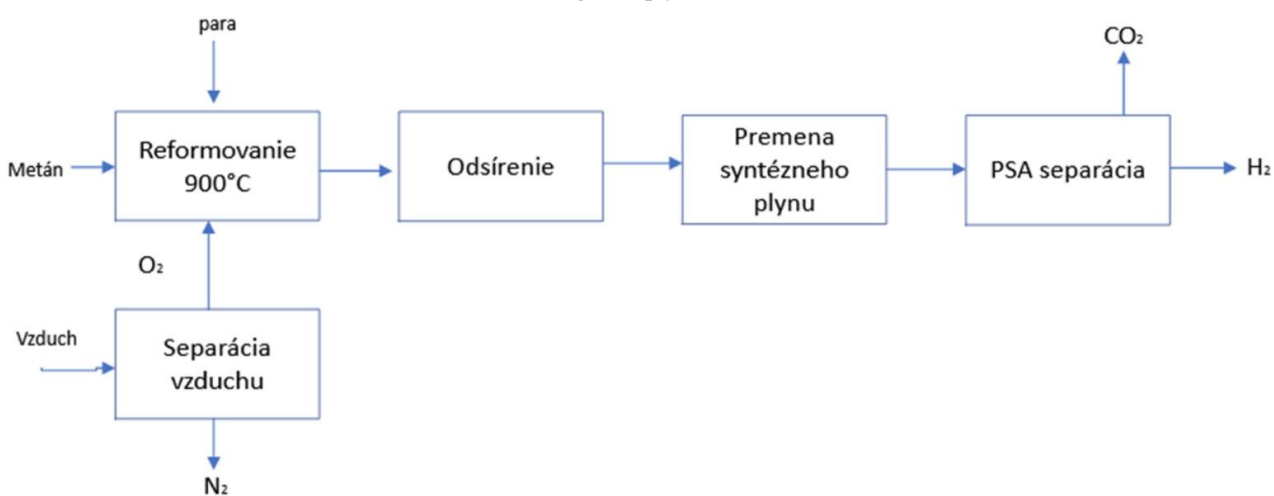


5 AUTOTERMÁLNA REFORMÁCIA

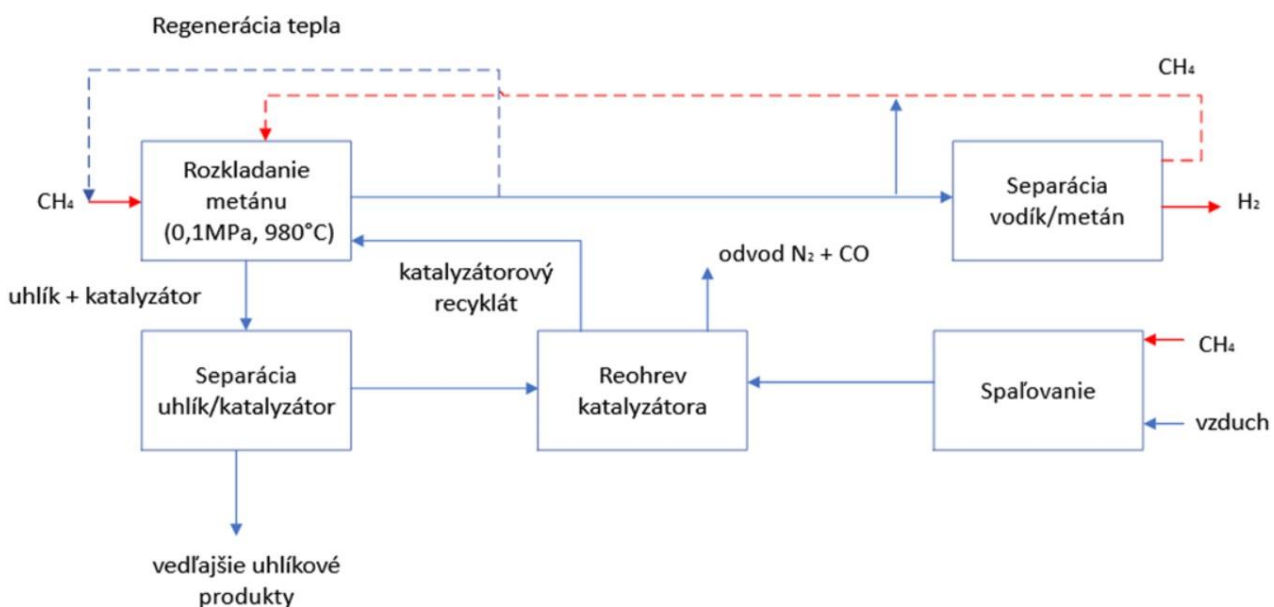
Autotermálna reformácia, ktorej proces je zobrazený na obr. 4, (autothermal reforming *ATR*) využíva exotermickú čiastočnú oxidáciu na získanie tepla a



Obr. 3. Diagram splyňovania uhlia

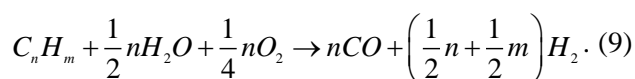


Obr. 4. Diagram auto termálneho procesu výroby vodíka



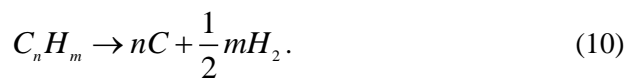
Obr. 5. Diagram priamej dekarbonizácie metánu

endotermickú parnú reformáciu na zvýšenie produkcie vodíka. V skratke, para, kyslík, alebo vzduch sú dodané do reformátora súčasne čím spôsobia reformačnú a oxidačnú reakciu simultánne:



6 PYROLÝZA UHLĚOVODÍKOV

Pyrolýza uhlíkovodíkov je veľmi dobre známy proces pri ktorom je jediným zdrojom vodíka samotný uhlíkovodík. Vodík sa získava termálnou dekompozíciou ktorú popisuje táto reakcia:



Termokatalytický rozklad ľahkých kvapalných uhlíkovodíkov, ktorých bod varu je medzi 50 ÷ 200 °C, produkuje elementárny uhlík a vodík. Pri rozklade ťažších frakcií, ktorých bod varu je vyšší ako 350 °C, je vodík produkovaný v dvoch krokoch: hydrosplyňovanie (hydrogasification) a krakovanie metánu. Priamy rozklad zemného plynu prebieha bez prístupu vody a vzduchu pri teplote do 980 °C pri atmosférickom tlaku. Energetická potreba tohto procesu sa pohybuje na úrovni 37,6 kJ·mol⁻¹ je to menej než pri metóde parnej reformácie (63,3 kJ·mol⁻¹). Táto energia môže byť do procesu dodaná spalením zhruba 15 ÷ 20 % percent vyprodukovaného vodíku. Navyše pyrolytický proces neobsahuje niektoré procesy ako napríklad WGS alebo proces zachytávania oxidu uhličitého (CCS). Vzniknutý uhlík môže byť použitý v chemickom alebo metalurgickom priemysle.

ZÁVER

Výroba vodíka z fosílnych palív je napriek tlaku na nízko uhlíkové riešenia stále veľmi aktuálna téma. Viac než 90 % celosvetovej produkcie vodíka je stále produkované premenou fosílnych palív.

Ako perspektívna možnosť na zvyšovanie celkovej účinnosti procesu sa javí využívanie selektívnych membrán ktoré umožňujú proces zjednodušiť spojením viacerých krokov do jedného a znížiť tak jeho energetickú a ekonomickú náročnosť.

Ďalším spôsobom ako zvyšovať efektívnosť procesu premeny uhlíkovodíkov na vodík je použitie katalyzátora, ktorý dokáže znížiť teploty potrebné v technologickom procese, a tak zvýšiť celkovú účinnosť procesu.

Či sa nám to páči alebo nie, konvenčné metódy výroby vodíka rozkladom uhlíkovodíkov v podobe fosílnych palív tu budú ešte nejaký čas. Netreba teda na ne zabúdať a z tohto dôvodu im venovať náležitú pozornosť.

Pod'akovanie

Týmto spôsobom by som sa chcel poďakovať

vedúcemu môjho výskumu, z ktorého tento článok vychádza, páňovi doc. Ing. Radovanovi Nosekovi, PhD., za vedenie a podnetné pripomienky.

LITERATÚRA

- [1] HANLEY, E. S. - DEANE, J. P. - GALLACHOIR, B. P. O. (2018): *The role of hydrogen in low carbon energy futures-A review of existing perspectives*. Renewable & Sustainable Energy Reviews, Zv. %1 z %2<https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000418574800075>.
- [2] IEA (2019): *International Energy Agency, IEA: International Energy Agency*. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>.
- [3] MCDONALD, J. - MOORE, A. (2020): *S&P Global*. 14. Máj, [Online]. Available: <https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/electric-power/051420-global-hydrogen-demand-expected-to-drop-in-2020-due-to-pandemic-platts-analytics>.
- [4] NIKOLAIDIS, P. - POUILLIKAS, A. (2017): *A comparative overview of hydrogen production processes*. Renewable & Sustainable Energy Reviews, Zv. %1 z %2<https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000389088900045>, %1. vyd.67, pp. 597-611.
- [5] ABAD, A. V. - DODDS, P. E. (2020): *Green hydrogen characterisation initiatives: Definitions, standards, guarantees of origin, and challenges*. Energy Policy, Zv. %1 z %2<https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000526116500034>.
- [6] SUBRAMANI, B. V. (2015): *Compendium of Hydrogen Energy*. Volume 1: Hydrogen Production and Purification, Cambridge: Woodhead Publishing.
- [7] SIMPSON, A. P. - LUTZ, A. E. (2007): *Exergy analysis of hydrogen production via steam methane reforming*. Zv. %1 z %2<https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000252259500024>.
- [8] MCCAY, M. H. (2014): *Hydrogen: An Energy Carrier*.
- [9] MCCARTY, R. D. (1975): *Hydrogen: Its Technology and Implications*. Cleveland: NASA Lewis Research Center.

Hodnotenie vybraných vlastností hliníkovej zliatiny $AlSi5Cu2Mg$ legovanej zirkóniom

Lukáš Širanec, Ing.*

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: lukas.siranec@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2771

Dana Bolibruchová, prof. Ing., PhD.

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: danka.bolibruchova@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2772

Evaluation of selected properties of aluminium alloy $AlSi5Cu2Mg$ alloyed with zirconium

Abstract: The aim of this paper was to analyse the impact of different zirconium content (0.10; 0.15; 0.20 and 0.25 wt. %) on microstructure, mechanical and physical properties of $AlSi5Cu2Mg$ aluminium alloy. The results showed that increasing zirconium content had no effect on the increase in ultimate tensile strength, yield strength, hardness and thermal conductivity values of as-cast samples. After heat treatment, only slight improvement in hardness values compared to as-cast samples were documented in variants with 0.10; 0.15 and 0.20 wt. % *Zr*. Zirconium rich intermetallic phases were observed in shape of separate thick needles or as a cluster of two crossed thinner needles with a length of 16 to 20 μm . SEM observation showed that these phases crystalized near to the intermetallic phases based on *Cu* and *Fe* and at the edges of eutectic silicon regions.

ÚVOD

Automobilový priemysel prechádza v súčasnej dobe náročným obdobím. Potreba neustáleho znižovania emisií CO_2 vedie automobilových výrobcov k postupnému prechodu od konvenčných spaľovacích motorov k elektromobilite. To má za následok potrebu vývoja nových materiálov, ktoré by spĺňali požadované kritériá pre špecifické typy odliatok ako sú napr. vane batérií pre elektromobily [1].

Prechod k elektromobilite sa však nemôže udiat okamžite. Vysoké ceny elektromobilov, nedostatočná infraštruktúra nabíjajúcich staníc a nedostatok kovov používaných v batériách sú faktory, pre ktoré aj v súčasnej dobe tvoria predaje vozidiel s konvenčným spaľovacím motorom značnú časť. Z dôvodu plnenia prísnych emisných noriem musia výrobcovia taktiež neustále inovovať takéto typy pohonov s cieľom znížiť emisie. Do popredia sa dostáva tzv. „downsizing“, ktorý je charakteristický znižovaním objemu motora pri zachovaní, resp. zvýšení výkonu. To prirodzene zvyšuje aj nároky na vlastnosti najviac namáhaných komponentov motora (napr. hlavy valcov, bloky motorov, piesty), čo vedie k vývoju nových materiálov [2].

Vývoj nových materiálov na báze hliníkových zliatin $Al-Si$ je v súčasnej dobe zameraný na použitie

legujúcich prvkov zo skupiny prechodných kovov (*Zr*, *Mo*, *Ni* atď.). Z týchto prvkov sa *Zr* javí ako vhodný legujúci prvok pri vývoji nových typov zliatin. Očakujúci účinok zirkónia (ako dôsledok vylučovania fáz Al_3Zr , ktoré pôsobia ako nukleačné zárodky) a teplotná stabilita intermetalických fáz na báze *Zr* pri zvýšených teplotách sú vhodné atribúty pre použitie *Zr* pri vývoji nových pokročilých hliníkových zliatin na odliatky pre automobilový priemysel [3, 4].

Cieľom tohto článku bola analýza vplyvu odstupňovaného prídavku *Zr* (0,10; 0,15; 0,20 a 0,25 hm. %) na mikroštruktúru, mechanické a fyzikálne vlastnosti hliníkovej zliatiny $AlSi5Cu2Mg$.

1 EXPERIMENTÁLNE METÓDY

Na experimentálne účely bola použitá podeutektická hliníková zliatina $AlSi5Cu2Mg$ modifikovaná *Sr*, ktorá momentálne nachádza uplatnenie pri výrobe hláv valcov. Zliatina bola dodaná v neočkovanom stave, nakoľko výrobca zliatiny obmedzuje obsah *Ti* na max. 0,03 hm. %, t.j. nebolo možné použiť štandardne používané očkovadlo na báze $AlTiB$ (dostatočné zjemnenie štruktúry sa u podeutektických $Al-Si$ zliatin dosahuje pridaním 0,04 až 0,1 hm. % *Ti*). Z toho dôvodu bolo v experimentálnej zliatine použité *Zr* ako potenciálne alternatívne očkovadlo.

Na výrobu experimentálnych zliatin s obsahom 0,10; 0,15; 0,20 a 0,25 hm. % Zr bola použitá predzliatina

Tab. 1 Chemické zloženie experimentálnych zliatin *AlSi5Cu2MgZrX*

Chemické zloženie [hm. %]									
Variant Zr [hm. %]	Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Ti	Sr	Zr	Al
0	5,47	1,91	0,29	0,18	0,02	0,013	0,01	0,0009	zv.
0,10	5,67	1,91	0,29	0,19	0,02	0,013	0,01	0,05	zv.
0,15	5,65	1,92	0,29	0,19	0,02	0,014	0,01	0,10	zv.
0,20	5,55	1,91	0,29	0,19	0,02	0,014	0,01	0,12	zv.
0,25	5,43	1,90	0,29	0,18	0,02	0,014	0,01	0,19	zv.

AlZr20 vo forme ingotov. Chemické zloženie experimentálnych zliatin je uvedené v tab. 1. Z dôvodu zhoršenej rozpustnosti predzliatiny *AlZr20* v tavenine základnej zliatiny *AlSi5Cu2Mg* nedošlo k úplnému rozpusteniu Zr a jeho skutočný obsah bol nižší (tab. 1).

Výroba experimentálnych zliatin pozostávala z roztavenia primárnej zliatiny *AlSi5Cu2Mg* v elektrickej odporovej peci. Pri 780 ± 5 °C bolo pridané Zr vo forme predzliatiny *AlZr20*. Teplota odlievania bola 740 ± 5 °C. Experimentálne vzorky boli vyhotovené gravitačným odlievaním do kovovej formy s teplotou 150 °C ÷ 200 °C. Z každej tavby bolo vyhotovených 10 vzoriek pre následné hodnotenie mechanických vlastností. Z každej tavby bola polovica vzoriek použitá na hodnotenie mechanických vlastností v liatom stave a polovica bola tepelne spracovaná vytvrdzovaním. Pre tepelné spracovanie bol zvolený režim T7 (vytvrdzovanie s prestarnutím), ktoré pozostávalo z rozpúšťacieho žihania pri 500 ± 5 °C po dobu 6,5 hodín s následným ochladením do vody s teplotou 80 °C ÷ 90 °C. Umelé starnutie prebiehalo pri teplote 250 ± 5 °C po dobu 4 hodiny.

Hodnotenie mikroštruktúry sa uskutočnilo na vzorkách s najlepšou dosiahnutou kombináciou mechanických vlastností. Mikroštruktúra bola pozorovaná na optickom mikroskope *Neophot 32* a riadkovacom elektrónovom mikroskope *TESCAN LMU II* s EDX analyzátorom *BRUKER*. Vzorky pre metalografické hodnotenie boli pripravené hrubým a jemným brúsením za mokra, dvojkrokovým leštením s použitím 3 a 1 μm diamantovej pasty a následným leptaním leptadlom H_2SO_4 .

Dĺžka intermetalických fáz na báze Zr bola vyhodnocovaná pomocou grafického softwaru *Quick Photo Industrial 3.1*.

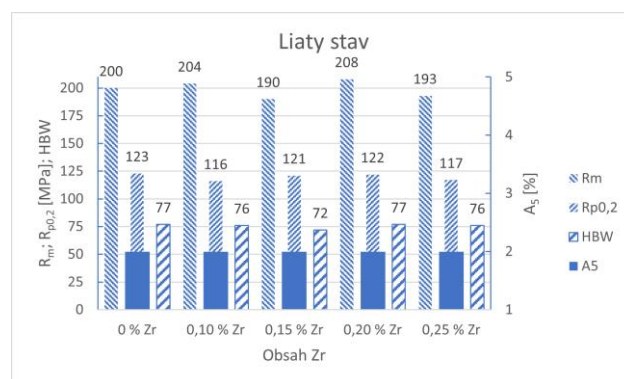
Tepelná vodivosť experimentálnych vzoriek bola vyhodnocovaná na základe merania elektrickej vodivosti pomocou konduktometra *Sigma Check 2* s dotykovou sondou. Získané hodnoty elektrickej vodivosti (σ) boli použité v empirickom vzorci (1) na výpočet hodnôt tepelnej vodivosti (λ):

$$\lambda = 4,29 \cdot \sigma - 13,321 \quad [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}] \quad (1)$$

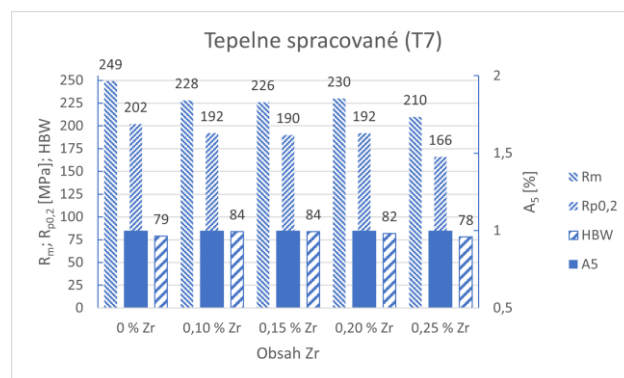
Tvrdosť vzoriek experimentálnych zliatin bola vyhodnocovaná *Brinellovou* metódou za použitia tvrdomeru *Brinell Innovatest Nexus 3000*. Ako vtláčacie teliesko bola použitá oceľová guľôčka z tvrdokovu s priemerom 5 mm, ktorá bola vtláčaná do materiálu po dobu 10 sekúnd so zaťažením 250 kp (2451,6 N).

2 MECHANICKÉ VLASTNOSTI

Mechanické vlastnosti experimentálnych zliatin s odstupňovaným obsahom Zr v liatom stave a po tepelnom spracovaní T7 sú uvedené na obr. 1 a obr. 2.



Obr. 1. Závislosť mechanických vlastností experimentálnych zliatin od obsahu Zr (liaty stav)



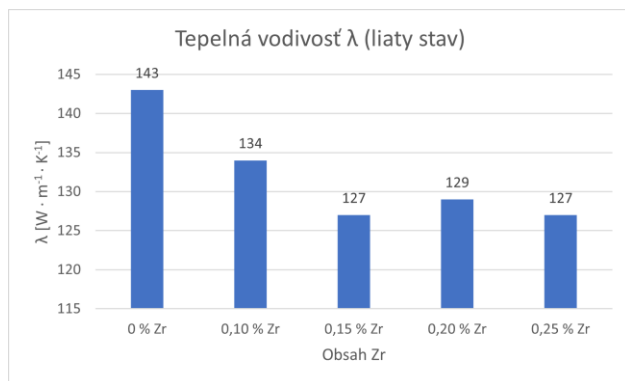
Obr. 2. Závislosť mechanických vlastností experimentálnych zliatin od obsahu Zr (tepelne spracované)

Zo získaných výsledkov je možné konštatovať, že legovanie zliatiny *AlSi5Cu2Mg* zirkóniom vo forme

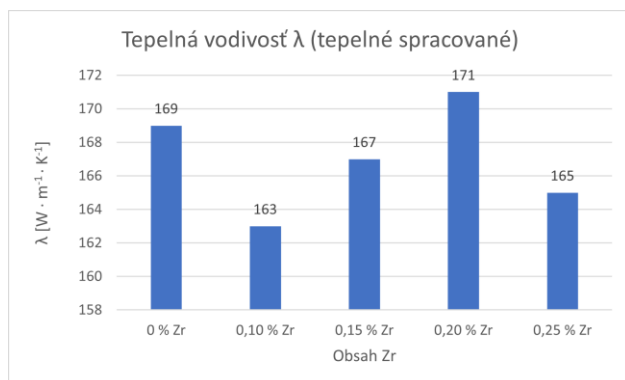
predzliatiny $AlZr_{20}$ nemá výrazný vplyv na zmenu mechanických vlastností v liatom stave. Tepelným spracovaním $T7$ došlo k výraznejšiemu rastu R_m a $R_{p0,2}$ a HBW . Z nameraných údajov je ale zrejme, že spevňujúci efekt nastal po tepelnom spracovaní v dôsledku precipitácie Cu a Mg častíc. Nakoľko hodnoty R_m a $R_{p0,2}$ a HBW experimentálnych zliatin s obsahom Zr po tepelnom spracovaní nevykazovali výrazné zlepšenie v porovnaní so zliatinou bez Zr , je možné konštatovať, že prídavok Zr výrazne neovplyvnil uvedené hodnoty. Vplyvom tepelného spracovania došlo k poklesu hodnôt ťažnosti nezávisle od obsahu Zr v experimentálnych zliatinách z 2 % na 1 %.

3 TEPELNÁ VODIVOSŤ

Pri vývoji nových typov hliníkových zliatin na pokročilé odliatky v automobilom priemysle je veľký dôraz kladený okrem mechanických vlastností aj na dostatočnú tepelnú vodivosť. Tá je dôležitá najmä pri odliatkoch hláv valcov moderných spaľovacích motorov s preplňovaním a priamym vstrekaním paliva, kde je takýto odliatok vystavovaný počas prevádzky motora teplotám presahujúcim $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pre dosiahnutie optimálnej teploty motora počas prevádzky je preto nutné pri vývoji nových zliatin sa zaoberať aj tým, ako vplývajú jednotlivé prísadové prvky na zmenu tepelnej vodivosti.



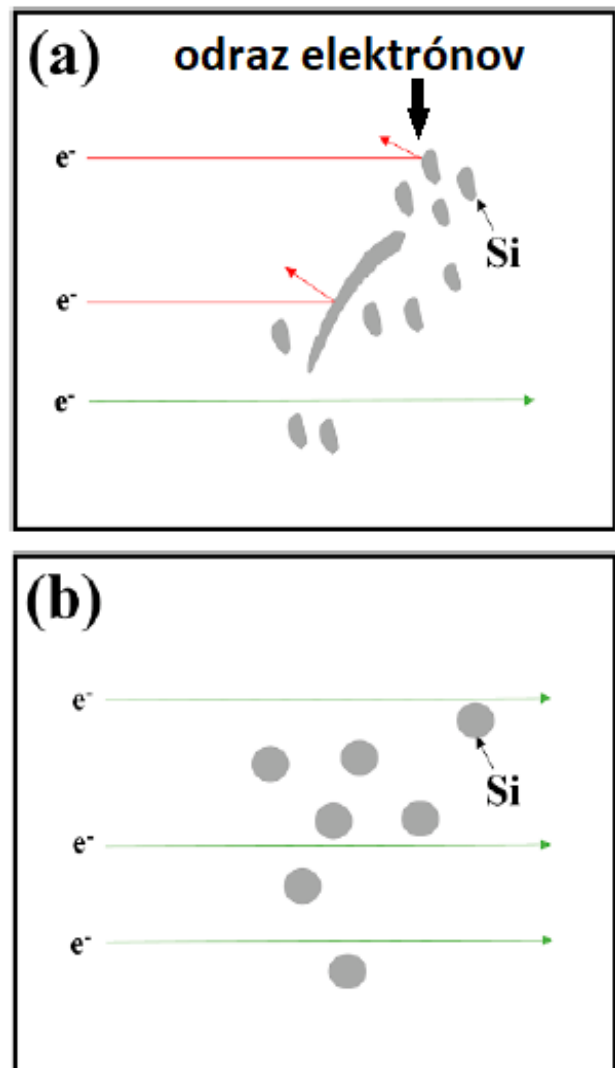
Obr. 3. Závislosť tepelnej vodivosti experimentálnych zliatin od obsahu Zr (liaty stav)



Obr. 4. Závislosť tepelnej vodivosti experimentálnych zliatin od obsahu Zr (liaty stav)

Závislosť tepelnej vodivosti experimentálnych zliatin od obsahu Zr v liatom stave a po tepelnom spracovaní $T7$ je uvedená na obr. 3 a obr. 4.

Pri hodnotení tepelnej vodivosti experimentálnych zliatin v liatom stave bolo zistené, že pridaním Zr došlo pri všetkých variantoch v poklese tepelnej vodivosti o 6 % ÷ 11 % (v závislosti od obsahu Zr). Z pohľadu tepelnej vodivosti pôsobí Zr ako „nečistota“, pretože prídavok akéhokoľvek ďalšieho prvku do zliatiny má vplyv na pokles tepelnej vodivosti. Atómy prísadových prvkov majú rôzne atómové polomery, preto do istej miery obmedzujú pohyblivosť elektrónov (nosičov tepelnej energie). To bolo aj pravdepodobnou príčinou zníženia tepelnej vodivosti experimentálnych zliatin obsahujúcich Zr [5, 6].



Obr. 5. Prenos elektrónov: (a) liaty stav (b) $T7$ [7]

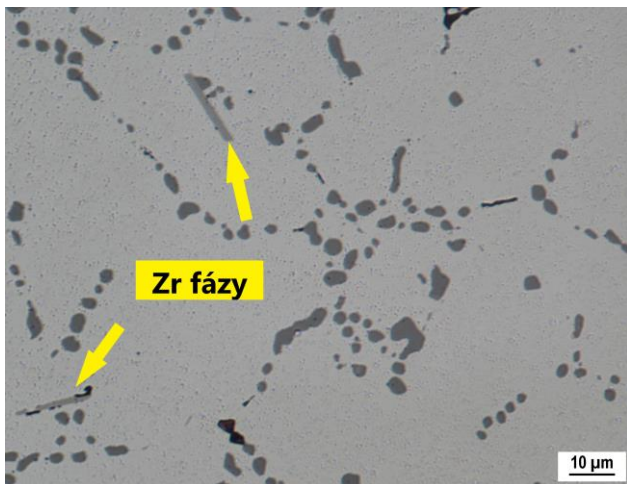
Použitím tepelného spracovania $T7$ došlo k rastu tepelnej vodivosti o 18 % pri zliatine bez Zr . Nárast tepelnej vodivosti nastal aj pri zliatinách legovaných Zr , kedy sa v závislosti od meniaceho sa obsahu Zr zvýšila tepelná vodivosť o 22 ÷ 33 %. Je však potrebné poznamenať, že prídavok Zr v akomkoľvek množstve nemal výrazný vplyv na zmenu tepelnej

vodivosti po tepelnom spracovaní v porovnaní so zliatinou bez legovania *Zr*. Je teda možné konštatovať, že prídavok *Zr* nemá v zliatine *AlSi5Cu2Mg* negatívny vplyv na výrazné zníženie tepelnej vodivosti. Z toho dôvodu je možné použiť túto zliatinu legovanú *Zr* pri vývoji novej zliatiny so zameraním na automobilový priemysel (predovšetkým výroba hláv valcov).

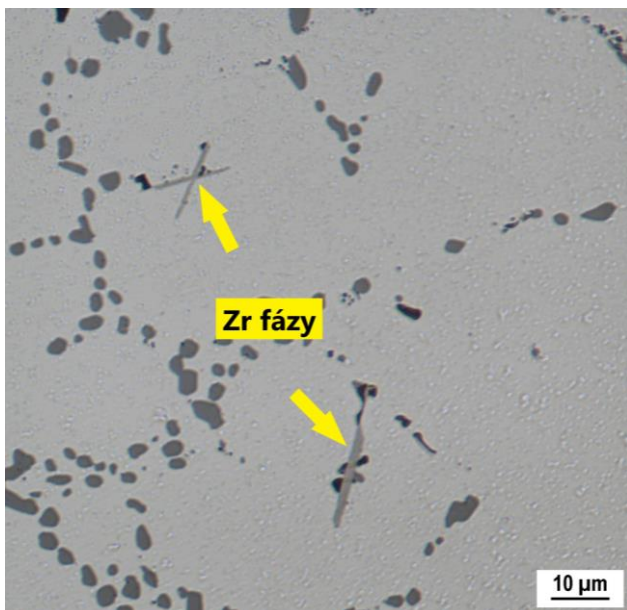
Na zvýšenie tepelnej vodivosti experimentálnych vzoriek po tepelnom spracovaní (v porovnaní s liatym stavom) mohla mať vplyv aj sferoidizácia a zoskupovanie častíc eutektického *Si*, čo vytváralo priaznivejšie podmienky pre pohyb elektrónov ako nosičov tepelnej energie (schéma na obr. 5) [7].

4 MIKROŠTRUKTÚRA

Mikroštruktúra experimentálnych zliatin bola v závislosti od prítomnosti *Zr* tvorená α -fázou, modifikovaným eutektikom a intermetalickými fázami na báze *Cu*, *Mg*, *Fe* a *Zr*.



Obr. 6. Morfológia *Zr* fáz (0,25 hm. % *Zr*, T7) v zliatine *AlSi5Cu2Mg*



Obr. 7. Morfológia *Zr* fáz (0,20 hm. % *Zr*, T7) v zliatine *AlSi5Cu2Mg*

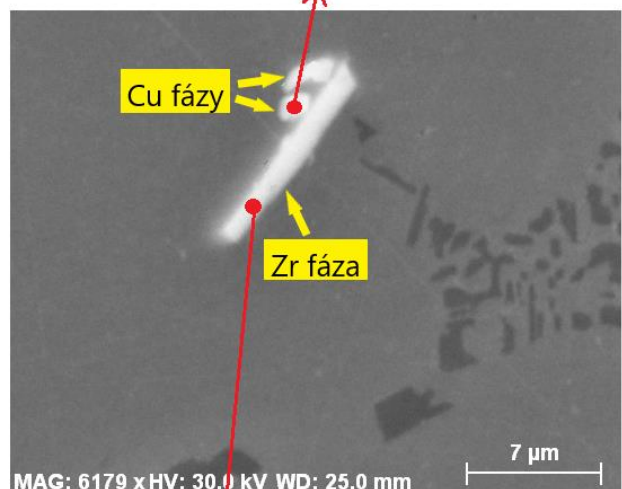
Pri hodnotení mikroštruktúr experimentálnych zliatin legovaných *Zr* boli intermetalické fázy s obsahom *Zr* pozorované len vo vzorkách legovaných 0,20 a 0,25 hm. % *Zr*. Vo vzorkách s obsahom 0,10 a 0,15 hm. % *Zr* nebola prítomnosť týchto fáz zistená. Pravdepodobnou príčinou bol nízky skutočný obsah *Zr* v experimentálnych zliatinách, pri ktorom nedošlo ku prekročeniu maximálnej rozpustnosti *Zr* v tuhom roztoku α a vytvoreniu intermetalických fáz.

Tepelným spracovaním režimom T7 nebola zistená zmena v morfológii a dĺžke týchto fáz, nakoľko intermetalické fázy na báze *Zr* sú charakteristické vysokou teplotnou stabilitou pri zvýšených teplotách.

Hodnotenie mikroštruktúry pomocou REM mikroskopu doplneného o EDX analýzu chemického zloženia štruktúrnych zložiek bolo vykonané za účelom zistenia možnej interakcie *Zr* fáz s inými intermetalickými fázami. Bolo zistené, že *Zr* fázy s ihlicovitou morfológiou kryštalizujú prednostne v okolí *Cu* fáz (obr. 8).

Spectrum: 2

El	AN	Series	unn. C [wt. %]	norm. C [wt. %]	Atom. C [at. %]	Error (1 Sigma) [wt. %]
Al	13	K-series	83.69	73.40	85.08	4.23
Si	14	K-series	4.86	4.26	4.75	0.27
Cu	29	K-series	19.26	16.89	8.31	0.52
Zr	40	K-series	6.20	5.44	1.87	0.37
Total:			114.01	100.00	100.00	



Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt. %]	norm. C [wt. %]	Atom. C [at. %]	Error (1 Sigma) [wt. %]
Mg	12	K-series	1.37	1.02	1.10	0.12
Al	13	K-series	83.45	62.13	60.22	4.21
Si	14	K-series	5.31	3.95	3.68	0.28
Ti	22	K-series	0.90	0.67	0.37	0.06
Cu	29	K-series	1.10	0.82	0.34	0.08
Zr	40	K-series	24.23	18.04	5.17	0.95
Total:			134.32	100.00	100.00	

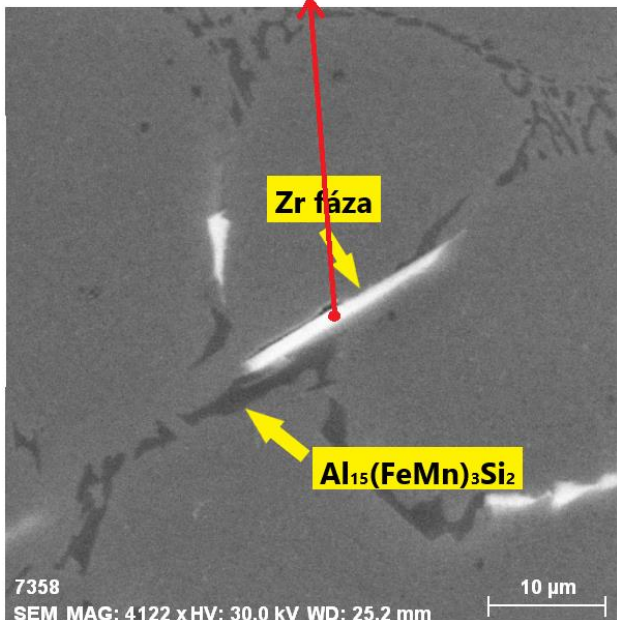
Obr. 8. Interakcia *Zr* a *Cu* fáz (0,25 hm. % *Zr*, liaty stav, REM)

Fázy na báze *Zr* boli pozorované v podobe hrubších samostatných ihlíc (obr. 6), prípadne vytvárali zoskupenie dvoch navzájom prekrížených ihlíc

s menšou hrúbkou (obr. 7). Dĺžka intermetalických fáz bohatých na *Zr* s ihlicovitou morfológiou sa pohybovala od 16 do 20 μm .

Spectrum: 1

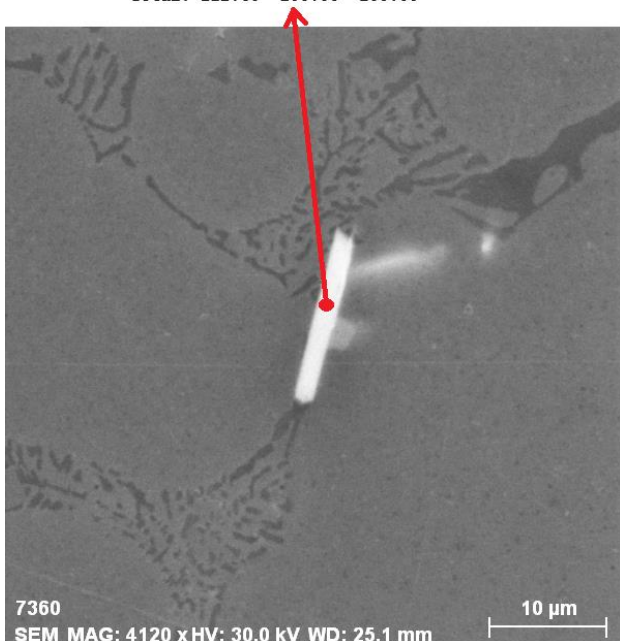
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Al	13	K-series	65.30	54.21	67.18	3.31
Si	14	K-series	22.97	19.07	22.70	1.07
Fe	26	K-series	0.75	0.62	0.37	0.06
Cu	29	K-series	1.32	1.10	0.58	0.09
Zr	40	K-series	30.11	25.00	9.16	1.19
Total:			120.45	100.00	100.00	



Obr. 9. Interakcia *Zr* a *Fe* fáz (0,20 hm. % *Zr*, liaty stav, REM)

Spectrum: 2

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
Al	13	K-series	62.23	55.26	71.23	3.16
Si	14	K-series	15.39	13.67	16.93	0.74
Zr	40	K-series	34.98	31.06	11.84	1.32
Total:			112.60	100.00	100.00	



Obr. 10. *Zr* fázy na okraji eutektických buniek (0,20 hm. % *Zr*, liaty stav, REM)

Okrem tejto interakcie boli *Zr* intermetalické fázy pozorované aj v okolí *Fe* fáz, resp. komplexných *Fe-Mn-Si* fáz akou je napríklad fáza $\text{Al}_{15}(\text{FeMn})_3\text{Si}_2$ s morfológiou segmentovaných kostrovitých útvarov (obr. 8), prípadne na okrajoch eutektických buniek (obr. 9).

ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV

Cieľom experimentu bolo zistiť vplyv odstupňovaného prídavku *Zr* do zliatiny *AlSi5Cu2Mg* za účelom vytvorenia novej zliatiny, ktorá by mohla byť potenciálne použiteľná pri výrobe náročných odliekov pre automobilový priemysel. Z dosiahnutých výsledkov možno konštatovať:

- Prídavok *Zr* do zliatiny *AlSi5Cu2Mg* vo forme predzliatiny *AlZr20* nemal výrazný vplyv na zmenu mechanických vlastností v liatom stave.
- Tepelným spracovaním režimom *T7* došlo k výraznému zvýšeniu R_m , $R_{p0,2}$ a *HBW*. Spevňujúci efekt však nenastal v dôsledku prítomnosti *Zr*, ale vďaka prítomnosti *Cu* a *Mg* spevňujúcich precipitátov.
- Vplyvom tepelného spracovania došlo k poklesu hodnôt ťažnosti experimentálnych zliatin z 2 na 1 % a to bez ohľadu na množstvo *Zr*.
- Prídavok *Zr* mal vplyv na zníženie tepelnej vodivosti experimentálnych zliatin v liatom stave. Následným tepelným spracovaním sa podarilo tepelnú vodivosť zvýšiť v závislosti na variante experimentálnej zliatiny o 18 ÷ 33 %.
- Prítomnosť *Zr* intermetalických fáz bola preukázaná v experimentálnych zliatinách s obsahom *Zr* 0,20 a 0,25 hm. %. Vo variantoch s 0,10 a 0,15 hm. % *Zr* tieto fázy neboli zistené.
- Intermetalické fázy na báze *Zr* sa vyskytovali v podobe hrubších samostatných ihlíc, prípadne vytvárali zoskupenie dvoch navzájom prekrížených ihlíc s menšou hrúbkou. Dĺžka intermetalických fáz bohatých na *Zr* s ihlicovitou morfológiou sa pohybovala od 16 do 20 μm . Vplyv dĺžky ihlíc na výsledné vlastnosti experimentálnych zliatin nebol pozorovaný.
- Hodnotenie mikroštruktúr pomocou REM mikroskopu s následnou EDX analýzou poukázalo na interakciu *Zr* fáz s intermetalickými fázami na báze *Cu* a *Fe*.

Pod'akovanie

Tento článok bol vytvorený v rámci projektu grantovej agentúry KEGA 022ŽU-4/2021 a Grantového systému UNIZA 01/2021 (14862). Autori ďakujú za podporu.

LITERATÚRA

[1] HAJDÚCH, P. - DJURDJEVIC, M. B. - BOLIBRUCHOVÁ, D. (2020): *Nové trendy vo výrobe hliníkových odliatok pre automobilový priemysel*. Slévarenství, no. 1-2, pp. 5-7, ISSN 0037-6825

[2] HOAG, K - DONDLINGER, B. (2016): *Cylinder block and head materials and manufacturing*. Vehicular engine design, p. 97-115, ISBN: 978-3-7091-1859-7.

[3] SIGLI, C. (2004): *Zirconium solubility in aluminium alloys*. Dostupné z: <http://www.icaaconference.net/ICAA9/data/papers/GP%20204.pdf>

[4] KNIPLING, K.E. - DUNAND, D. C. - SEIDMAN, D. N. (2006): *Criteria for developing castable, creep-resistant aluminum-based alloys – a review*. Dostupné z: <http://arc.nucapt.northwestern.edu/refbase/files/Knip ling-2006a.pdf>.

[5] LUMLEY, R. N. - DEEVA, N. - LARSEN, R. - GEMBAROVIC, J. - FREEMAN, J. (2012): *The*

role of alloy composition and T7 heat treatment in enhancing thermal conductivity of aluminium high pressure diecastings. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/257707564_The_Role_of_Alloy_Composition_and_T7_Heat_Treatment_in_Enhancing_Thermal_Conductivity_of_Aluminum_High_Pressure_Diecastings

[6] VANDERSLUIJ, E. - RAVINDRAN, C. (2019): *The role of porosity in reducing the thermal conductivity of B319 Al alloy with decreasing solidification rate*. Dostupné z:

https://www.researchgate.net/publication/331139512_The_Role_of_Porosity_in_Reducing_the_Thermal_Conductivity_of_B319_Al_Alloy_with_Decreasing_Solidification_Rate

[7] DONG, Z. - WANG, J. - GUAN, Z. - MA, P. - LI, Z. - LU, T. - YAN, R. (2021): *Effect of short T6 heat treatment on the thermal conductivity and mechanical properties of different casting processes Al-Si-Mg-Cu alloys*. Metals. Roč. 2021. č. 11.

Trendy v znižovaní reoxidačných procesov vo vtokovej sústave počas odlievania Al zliatin

Marek Galčík, Ing.*

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: marek.galcik@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2771

Marek Brúna, doc. Ing., PhD.

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: marek.bruna@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2756

Richard Pastirčák, doc. Ing., PhD.

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: richard.pastircak@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2797

Trends in reduction of reoxidation processes in the gating system during pouring Al alloys.

Abstract: Reoxidation processes are one of the main problems influence the final casting quality. The oxid layer can be entrained into melt volume by turbulence, remain in the solidificated casting and negatively affect mechanical properties of the casting. The paper focused on trends in reduction of reoxidation processes during pouring. The naturally pressurized gating system with filter or unconventional elements appears to be a suitable for reduction of reoxidation.

ÚVOD

Z hľadiska dosahovania zvýšenej kvality odliatkov je dôležité zredukovať množstvo reoxidačných procesov vo vtokovej sústave. Preto je dôležité sa venovať možnostiam ich zníženia v procese odlievania. Ukazuje sa, že reoxidačné procesy je možné ovplyvniť vhodnou konštrukciou vtokovej sústavy. Snahou je nahradiť bežne používanú podtlakovú vtokovú sústavu na odlievanie hliníkových zliatin mierne pretlakovou vtokovou sústavou, v ktorej nie je priestor na turbulencie povrchu taveniny a následné strhávanie dvojitého oxidických vrstiev do objemu taveniny. V praxi táto náhrada vtokovej sústavy sa zatiaľ príliš nepoužíva. Hlavným dôvodom je vysoká rýchlosť, ktorú dosahuje tavenina vo vtokovej sústave. Preto je potrebné nájsť riešenie na jej zníženie [1-3].

Práca sa venuje filtračným médiám vo vtokovej sústave, ako aj rôznym nekonvenčným prvkom vtokovej sústavy a ich vplyvu na prúdenie taveniny, rýchlosť taveniny vstupujúcej do dutiny formy, výšku rozstrelu, strhávanie vzduchu a teda na množstvo reoxidácie a celkovú kvalitu odliatkov [4-9]. Reoxidačné procesy nie je možné kompletne z

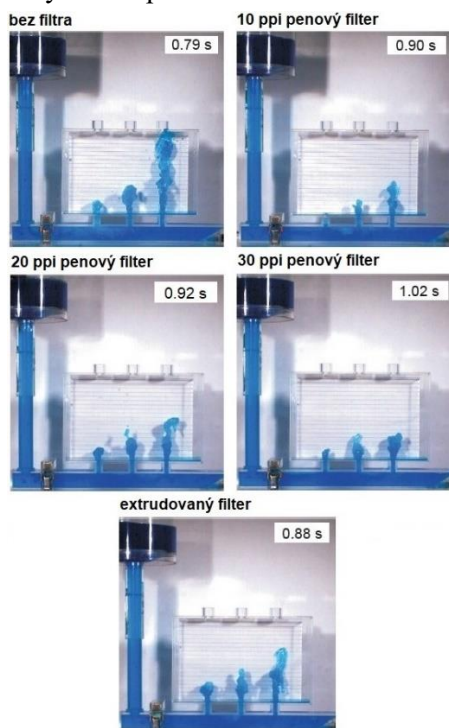
procesu odlievania odstrániť. Cieľom ale je pomocou týchto prvkov zredukovať ich v čo najväčšej možnej miere.

1 FILTRÁCIA

V posledných rokoch použitie filtračných médií pri odlievaní hliníkových zliatin súvisí predovšetkým s výrazným vplyvom na prúdenie taveniny, jej rýchlosť, čas plnenia formy a na znižovanie strhávanie vzduchu. Tým dochádza aj k vplyvu na výslednú kvalitu odliatkov. Na tieto vlastnosti má taktiež vplyv aj typ použitého filtra. V práci [4] sa skúmal vplyv typu filtra na vlastnosti prúdenia taveniny. Výsledky ukazujú, že typ filtra vplýva na rýchlosť taveniny v dutine formy a na čas plnenia. Použitie penového filtra zabezpečilo najdlhší čas plnenia formy. Extrudovaným filtrom sa dosiahol čas plnenia, ktorý bol takmer identický ako bez použitia filtra.

Vplyv penového a extrudovaného filtra na vlastnosti prúdenia skúmala aj práca [2] v tradičnej vtokovej sústave pomocou experimentu s vodou o teplote 20°C, keďže pri tejto teplote má voda približne rovnakú kinetickú viskozitu ako tavenia hliníkovej zliatiny. Penové filtre rôznej hustoty (10 ppi, 20 ppi,

30 ppi) a extrudovaný filter boli na účely experimentu umiestnené na začiatku rozvádzacieho kanála a pozoroval sa ich vplyv na vlastnosti prúdenia kvapaliny (obr. 1). Výsledky experimentu ukazujú, že kvapalina vo vtokovej sústave bez použitia filtra dosahuje v dutine formy veľkú výšku rozstreku. Už použitím 10 ppi penového filtra, ktorý má najväčšiu veľkosť pórov sa dosahuje zníženia rýchlosti kvapaliny v rozvádzacom kanáli a výšky rozstreku v dutine formy. So zvyšujúcou sa hustotou penových filtrov sa rýchlosť kvapaliny a rozstrek v dutine formy znižovali. Čas plnenia pri variantoch s penovými filterami bol zhruba o 1,5 sekundy dlhší ako pri variante bez filtra. Extrudovaný filter taktiež zabezpečil zníženie rýchlosti prúdenia taveniny a rozstrek v dutine formy. Jeho efektívnosť bola oproti penovým filtrom menšia a čas plnenia bol približne o 0,5 sekundy dlhší oproti variantu bez filtra.



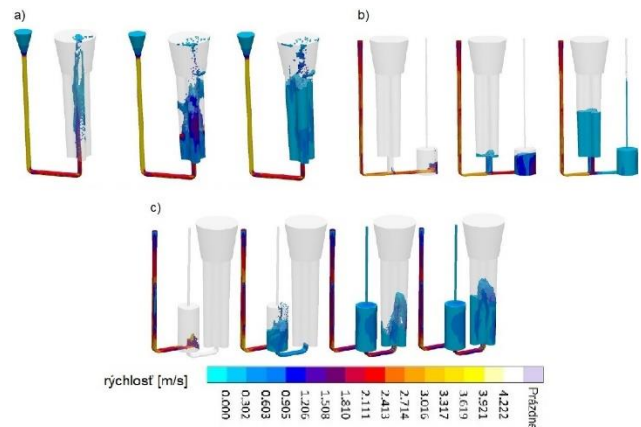
Obr. 1. Vplyv penového a extrudovaného filtra na vlastnosti prúdenia [2]

2 VÍRIVÉ PRVKY

2.1 Vírivé zakončenie rozvádzacieho kanála

Možnosťou ovplyvnenia prúdenia taveniny sa javí aj modifikácia rozvádzacieho kanála o tzv. vírivý prvok. Tento prídavný prvok vtokovej sústavy kruhového prierezu je umiestnený na konci rozvádzacieho kanála. Možnosťou je aj umiestnenie vírivého prvku medzi vtokový kanál a dutinu formy, no výsledky boli omnoho horšie ako v prípade jeho umiestnenia na konci rozvádzacieho kanála. Vírivý prvok obsahuje aj výfuk na odvod plynov. Použitie vírivého prvku malo za následok zníženie rýchlosti prúdenia taveniny, zníženie výšky rozstreku taveniny v dutine formy a

zachytenie nekovových nečistôt a plynov vo vírivom prvku, ktoré sú zvyčajne v najväčšom množstve v čele prúdu taveniny. Vhodné rozmery vírivého prvku sú predmetom výskumu, pretože príliš veľké rozmery znižujú výťažok kovu, a tak jeho priaznivý vplyv na výslednú kvalitu odliekov nemusí byť prospešný z ekonomického hľadiska. Obrázok 2 zobrazuje priebeh plnenia vo vtokovej sústave bez vírivého prvku, s vírivým prvkom medzi vtokovou jamkou a dutinou formy a s vírivým prvkom na konci rozvádzacieho kanála [2, 5].



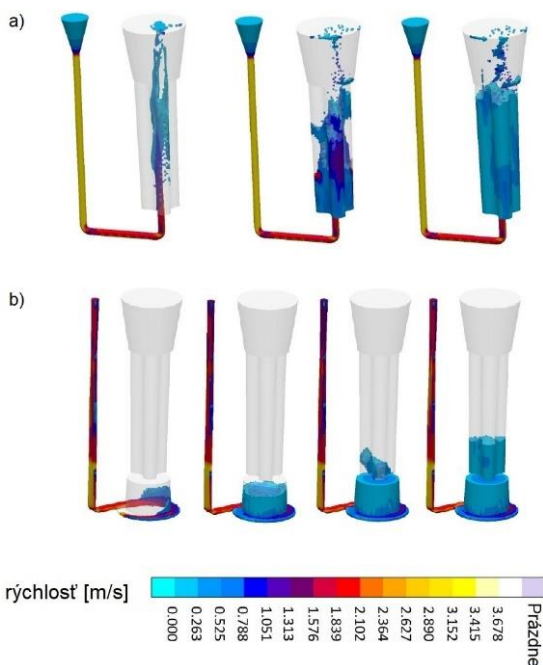
Obr. 2. Simulácia priebehu plnenia vtokovej sústavy: a) bez vírivého prvku, b) s vírivým prvkom na konci rozvádzacieho kanála, c) s vírivým prvkom medzi vtokovým kanálom a dutinou formy [5]

2.2 Vírivý zárez

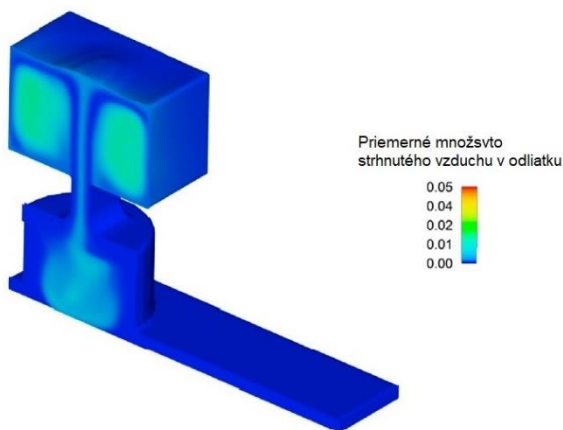
Vírivý zárez je ďalšou možnosťou ovplyvnenia prúdenia taveniny vo vtokovej sústave. Táto úprava vtokovej sústavy funguje na podobnom princípe ako vírivý prvok, ktorému sa venovala kapitola 2.1. Jeho konštrukcia má kruhový prierez, no v spodnej časti obsahuje rotačný disk širšieho prierezu, ktorý bráni prudkému rozstreku taveniny vo valcovej časti. To má za následok pokojné a stabilné stúpanie hladiny taveniny smerom k zárezu, ktorý sa nachádza na vrchnej časti valca. Do vrchnej časti valca pred zárez sa umiestňuje filter na zachytávanie nečistôt a bublín. Vznik bublín je jeden z nežiaducich javov, ktorý vzniká vo vírivom valci a vplyvom odstredivej sily sa bubliny držia v osi valca. Ak však bubliny dosiahnu dostatočný vztlak, tak môžu preniknúť aj cez filter do odlieku, čím sa stratí jeho priaznivý vplyv [6].

Práce [5, 7, 8] pomocou vírivého zárezu dosiahli zníženia rýchlosti taveniny a pokojnejšieho priebehu plnenia dutiny formy v porovnaní s vtokovou sústavou bez konštrukčných úprav (obr. 3). Z pozorovaní je ale zrejmé, že strhávanie vzduchu je stále prítomné v odlieku. Obrázok 4 reprezentuje, že bubliny sú zachytené v osi valca pod filtrom. Avšak, s prichádzajúcimi bublinami rastie centrálna bublina pod filtrom, jej vztlaková sila nakoniec vytlačí bublinu cez filter a prechádza do dutiny formy. Benefit vírivého zárezu v podobe zníženia rýchlosti

taveniny vstupujúcej do dutiny formy sa stratil, keďže výsledky simulácií ukázali priemerné množstvo strhnutého vzduchu a priemernú koncentráciu povrchových defektov väčšie hodnoty ako pri variante bez modifikácie vtokovej sústavy. Dôvodom slabšej efektívnosti vírivého zárezu v tomto prípade bolo unášanie bublín cez filter do dutiny formy. Podľa práce [9], vírivý zárez funguje lepšie, ak je vtoková sústava plnená tekutým kovom veľkou rýchlosťou, čo sa v práci aj dokázalo a vtoková sústava s vírivým zárezom dosahovala lepších výsledkov ako vtoková sústava bez modifikácie. Úprava vtokovej sústavy vírivým zárezom poskytuje lepšiu kvalitu odliatkov, ale len za určitých podmienok. Preto na určenie efektivity takejto úpravy vtokovej sústavy je potrebné vykonať ďalšie štúdie, pomocou ktorých bude možné podrobnejšie vysvetliť prebiehajúce deje. Nevýhodou použitia vírivého zárezu je aj zníženie výťažku kovu, ktorý je najhorší zo všetkých doposiaľ spomínaných variantov.



Obr. 3. Simulácia priebehu plnenia vtokovej sústavy: a) bez vírivého zárezu, b) s vírivým zárezom [5]

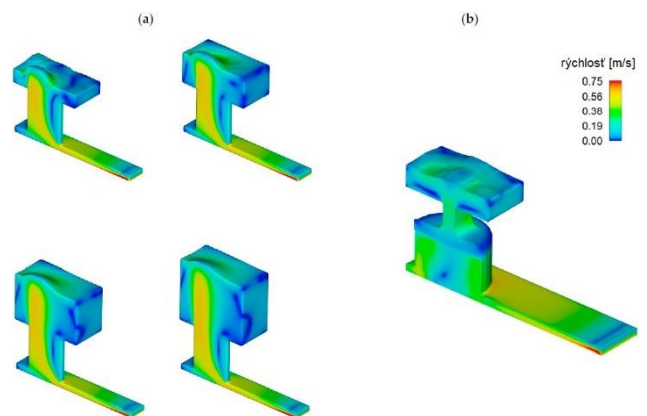


Obr. 4. Strhávanie vzduchu v odliatku s použitím vírivého zárezu [7]

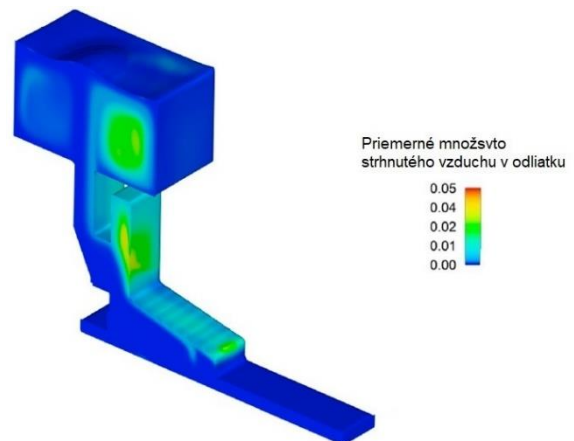
2 TROJZUBCOVÝ ZÁREZ

Konštrukcia takejto úpravy zárezu obsahuje dva filtre, pričom jeden je umiestnený horizontálne na vrchu rozvádzacieho kanála rovnobežne so smerom prúdenia taveniny. Druhý filter je umiestnený vertikálne pred zárezom, takže časť bublín, ktoré prešli prvým filtrom sú po vstupnej ploche filtra unášané vztlakovou silou bublín a zachytené v časti nazývanej ako lapač bublín. Pomocou tohto mechanizmu je možné znížiť veľké množstvo strhnutého vzduchu do odliatku [6].

V práci [7] zavedením trojzubcového zárezu sa dosiahlo pokojnejšieho plnenia dutiny formy menšou rýchlosťou oproti konštrukcii bez úpravy (obr. 5). Z pozorovania je zrejmé, že pri použití trojzubcového zárezu, keď tavenina prejde cez prvý filter, vzduch je strhnutý kvôli zmene smeru prúdenia, tak ako v prípade plnenia vtokovej sústavy bez úpravy. Časť strhnutého vzduchu ostáva uviaznutá v lapači bublín, avšak nejaká časť preniká do dutiny formy (obr. 6). Okrem toho sa môže strhávať vzduch v dutine formy v rohu odliatku kvôli zmene smeru prúdenia taveniny.



Obr. 5. Porovnanie rýchlosti plnenia dutiny formy: a) bez trojzubcového zárezu, b) s trojzubcovým zárezom [7]

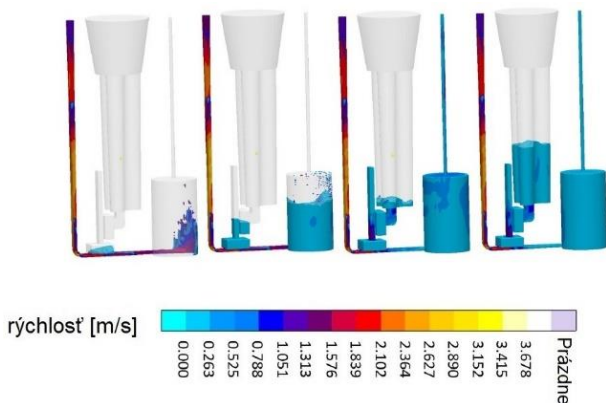


Obr. 6. Strhávanie vzduchu v odliatku s použitím trojzubcového zárezu [7]

Kvantitatívnym hodnotením priemerného množstva strhnutého vzduchu v odliatku a koncentrácie povrchových chýb boli pomocou použitia trojzubcového zárezu zistené najlepšie výsledky.

Dosiahlo sa zníženia, no nie úplnej eliminácie strhávania vzduchu. To je v súlade s prácou [9], kde autor potvrdzuje, že takáto úprava vtokovej sústavy sa doposiaľ osvedčila ako najlepšia možnosť na zabezpečenie riadenej rýchlosti taveniny vstupujúcej do dutiny formy a celkovej kvality odliatkov. Nevýhodou, tak ako aj pri predošlých variantoch je zníženie výťažku kovu. Na zlepšenie efektívnosti trojzubcového zárezu je preto stále priestor pre optimalizáciu jeho konštrukcie.

Po získaní priaznivých výsledkov pomocou trojzubcového zárezu, v práci [5] bol pridaný na koniec rozvádzacieho kanála vírivý prvok (obr. 7). Táto možnosť sa autorom zdala ako najvhodnejšia z hľadiska priebehu plnenia dutiny formy, pretože umožňuje zníženie rýchlosti taveniny na požadovanú úroveň a vnútorná kvalita odliatkov by mala byť najlepšia kvôli lapaču bublín, vírivému prvku a penovým filtrom. Toto riešenie je určené predovšetkým pre hliníkové zliatiny, ktoré sú citlivé na vznik oxidických chýb.



Obr. 7. Kombinovaná vtoková sústava s trojzubcovým zárezom a vírivým prvkom na konci rozvádzacieho kanála [5]

ZÁVER

Vysokú rýchlosť taveniny vystupujúcu zo zárezov v mierne pretlakovej vtokovej sústave je nutné vhodným riešením znížiť. Výskumy ukazujú, že zavedením filtra do vtokovej sústavy je možné prúdenie taveniny upraviť a znížiť jej rýchlosť, pričom je dôležité dbať aj na jeho umiestnenie vo vtokovej sústave, pretože nevhodné umiestnenie filtra má negatívny efekt. V posledných rokoch sa výskumníci snažia riešiť problém mierne pretlakovej vtokovej sústavy aj pomocou nekonvenčného modifikovania niektorých jej prvkov. Takýmito možnosťami sú zavedenie vírivého prvku na koniec rozvádzacieho kanála, použitie tzv. vírivého zárezu s vloženým filtrom vo vrchnej časti zárezu, prípadne sa používa tzv. trojzubcový zárez s dvoma filtermi a lapačom bublín. Všetky tieto možnosti znižujú rýchlosť taveniny, čo zabezpečuje pokojnejšie plnenie dutiny formy bez veľkých turbulencií a veľkej výšky rozstreku taveniny a taktiež zabezpečia zníženie

množstva strhnutého vzduchu do odliatku. Nevýhodou vírivého zárezu je, že zlepšenia výslednej kvality odliatku sa dosiahne len za určitých podmienok. U všetkých spomenutých variantoch dochádza k zhoršeniu výťažku kovu a preto je potrebné optimalizovať rozmery týchto prvkov. Avšak, v prípade výroby vysokokvalitných odliatkov a obzvlášť pokiaľ ide o kusovú výrobu, tak zníženie výťažku kovu môže byť zanedbateľné v porovnaní s potencionálnym prínosom v podobe zvýšenia mechanických vlastností a zníženia chýb v odliatkoch.

Pod'akovanie

Tento článok bol vytvorený v rámci projektu Grantového systému UNIZA 01/2021 (13858).

LITERATÚRA

- [1] METZLOFF, K. - MAGEZA, K. - SEKOTLONG, D. (2020): *Velocity measurement and verification with modelling of naturally pressurized gating system*. International Journal of Metalcasting. Vol. 14.
- [2] HWANG, H. - NAM, CH. - CHOI, Y. - HONG, J. - SUN, X. (2017): *A study on effects of ceramic foam filter on flow aspect through water modeling experiment*. Overseas Foundry. Vol. 14.
- [3] BRŮNA, M. - GALČÍK, M. (2020): *Numerical Simulation of Reoxidation Processes*. In: MATEC Web of Conferences, 2020. Vol. 328, s. 6. DOI: 10.1051/mateconf/202032802007.
- [4] YAVUZ, H. et al. (2016): *The effect of filter type on filling during Low Pressure Die Casting: a numerical study*. In: Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 2016. Vol. 75. s. 71-77. DOI:10.5604/17348412.1228381.
- [5] DOJKA, R. - JEZERSKI, J. - CAMPBELL, J. (2018): *Optimized Gating System for Steel Castings*. In: Journal of Materials Engineering and Performance, 2018. Vol. 27, s. 5152-5163. DOI: 10.1007/s11665-018-3497-1.
- [6] CAMPBELL, J. (2015): *Complete Casting Handbook 2nd edition*. Oxford: Elsevier Ltd. 1054 s. ISBN 978-0-444-63509-9.
- [7] PAPANIKOLAOU, M. et al. (2020): *Numerical Simulation and Evaluation of Campbell Running and Gating Systems*. In: Metals, 2020. Vol. 10, s. 12. DOI: 10.3390/met10010068.
- [8] LYU, C. - PAPANIKOLAOU, M. - JOLLY, M. (2019): *Numerical Process Modelling and Simulation of Campbell Running Systems Designs*. The Minerals, Metals & Materials Series, 2019. s. 53-64. ISBN: 978-3-030-06034-3. DOI: 10.1007/978-3-030-06034-3_5.
- [9] CAMPBELL, J. (2017): *Mini casting handbook*. Aspect Design, Malvern, 2017.

Prístrešok nad terasou - konštrukčný návrh a pevnostná analýza

Lenka Jakubovičová, Ing., PhD.

Katedra aplikovanej mechaniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 01026 Žilina.
E-mail: lenka.jakubovicova@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2955

Peter Kopas, Ing., PhD.*

Katedra aplikovanej mechaniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 01026 Žilina.
E-mail: peter.kopas@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2955

Terrace shelter - Structural design and stress analysis

Abstract: The aim of the paper is to create a structural design and stress analysis of a shelter above the terrace attached to the family house with respect to the specified parameters and to perform its strength analysis. In the theoretical part, the paper deals with the summarizes and characterizes the current designs of terrace shelters, various materials and technological possibilities of the solution and deals with loads. Furthermore, the practical part contains structural design of the pergola model from the CAD system, the analytical model with the results of static and modal analysis, and the eigenvalue buckling analysis.

ÚVOD

Prístrešky a altánky spadajú pod záhradné stavby menšieho charakteru. Nosnú konštrukciu tvoria stĺpy, prípadne môžu byť doplnené záveternými stenami z jednej alebo viacerých strán. Podľa toho rozlišujeme otvorené a polootvorené konštrukcie [1]. Kým pod pojmom altánok si predstavíme samostatne stojaci objekt, prístreškom chápeme skôr určitú „doplnkovú stavbu“ k domu, najčastejšie nad terasou. Oba majú však rovnaký význam a to je ochrana pred nepriaznivými podmienkami, ako je dážď, sneh, vietor a priame slnko. Taktiež plnia aj funkciu estetickú. Prístrešky nemusia byť iba nad terasou, ale môžu slúžiť aj ako dodatočné parkovacie miesta pre autá pri dome alebo pred garážou, prípadne ako súčasť iného zariadenia záhrady ako napr. odpočívadlo, kôlna a pod. Materiály, z ktorých sa prístrešky konštruujú podľa požiadaviek na pevnosť a estetický vzhľad, sú hlavne hliník, drevo, oceľ a nerezová oceľ. Na prekrytie sa používa polykarbonát, sklo a ako tesniaci prvok guma [2].

V článku sa budeme zaoberať návrhom a pevnostnými analýzami pre posúdenie zváranej konštrukcie prístrešku s rozmermi 4,0x8,0 m pre umiestnenie v meste Žilina.

1 KOTVENIE

Kotvenie je proces pripojenia rôznych prvkov k nosným častiam. Existujú viaceré techniky a spôsoby kotvenia. Voľba ideálneho uchytenia závisí od rôznych faktorov, ako je veľkosť, charakter, spôsob zaťaženia a aj od

materiálu, do ktorého sa bude kotviť. Pri stavbe prístrešku sa spravidla rieši kotvenie nosných stĺpov do zeme a kotvenie vodorovného prekladu do steny.

2 SPOJE

Pri zhotovovaní konštrukcií sa využívajú hlavne dva spôsoby spájania, a to zvaraním a skrutkovaním, prípadne nitovaním pri plechových alebo tenkostenných konštrukciách. Menej namáhané časti sa môžu spájať aj lepením.

3 ZAŤAŽENIE

Zaťaženia konštrukcií na území Slovenskej republiky sú predmetom euronormy STN EN 1990 a 1991. Spoločné overenie medzných stavov vyžaduje analýzu príslušných možných zaťažení alebo ich účinkov v konštrukcii prejavujúcich sa napätiami, deformáciami, kmitaním a pod [3, 4].

3.1 Zaťaženie snehom

Zaťaženie striech snehom je odvodené z tiaže snehu na povrchu zeme. Charakteristická hodnota je:

$$s_k = a + \frac{A}{b} \quad [\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (1)$$

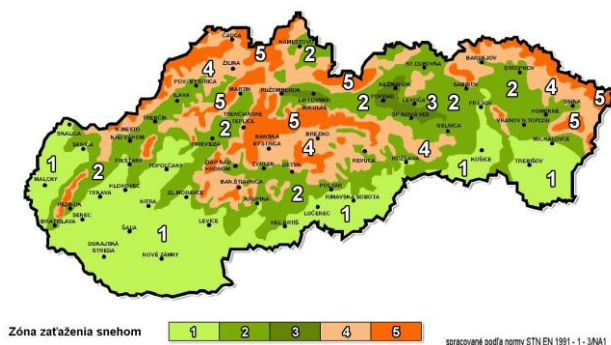
$$s_k = 0,716 + \frac{342}{430} = 1,51 \quad [\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}]$$

kde s_k - zaťaženie snehom na povrchu zeme,
 A - nadmorská výška,

a, b - súčinitele snehových oblastí (tab. 1).

Tab. 1. Hodnoty súčiniteľov snehových oblastí [4]

Zóna	1	2	3	4	5
a	0,454	0,425	0,454	0,716	0,934
b	970	505	970	430	315



Obr. 1. Mapa zón zaťaženia snehom na povrchu zeme [4]

3.2 Výnimočné zaťaženie snehom na povrchu zeme (STN EN 1991-1-3/NA1)

Mapa regiónov s číselnou identifikáciou od 1 do 5 je na obr. 1. Regióny s častejším výskytom krajných hodnôt SWE sa na Slovensku sústreďujú do oblastí, kde z hľadiska dlhodobého výskytu sú registrované prevažne nižšie tieto hodnoty. Charakteristická hodnota výnimočného zaťaženia snehom na povrchu zeme sa vyjadri ako:

$$s_{Ad} = C_{esl} \cdot s_k \quad (2)$$

$$s_{Ad} = 2,1 \cdot 1,51 = 3,17 \text{ [kN} \cdot \text{m}^{-2}\text{]}'$$

kde s_{Ad} - výnimočné zaťaženie snehom,
 C_{esl} - súčiniteľ výnimočného zaťaženia snehom,
 s_k - charakteristická hodnota zaťaženia snehom.

3.3 Zaťaženie snehom na strechách (STN EN 1991-1-3)

Charakteristická hodnota zaťaženia snehom na streche:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (3)$$

$$s = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,51 = 1,21 \text{ [kN} \cdot \text{m}^{-2}\text{]}'$$

resp.:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_{Ad} \quad (4)$$

$$s = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3,17 = 2,54 \text{ [kN} \cdot \text{m}^{-2}\text{]}'$$

kde s - zaťaženie snehom na streche,
 μ_i - tvarový súčiniteľ sklonu strechy,
 C_e - súčiniteľ expozície (topografia),
 C_t - súčiniteľ teploty (prestup tepla strechou),
 s_k - základné zaťaženie snehom,
 s_{Ad} - výnimočné zaťaženie snehom.

3.4 Zaťaženie vetrom

Vychádzame z nasledovných parametrov [5]: Fundamentálna hodnota základnej rýchlosti vetra pre oblasť Žilina je $v_{b,0} = 24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; referenčná výška $z_e = h = 2,6 \text{ m}$; kategória terénu III. Základnú rýchlosť vetra v_b vypočítame:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (5)$$

$$v_b = 1 \cdot 1 \cdot 24 = 24 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}'$$

kde $c_{dir} = 1$ - súčiniteľ smerovosti,
 $c_{season} = 1$ - súčiniteľ sezónnosti.

Strednú rýchlosť vetra vo výške z nad terénom označíme ako $v_m(z)$ a učíme:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b \quad (6)$$

$$v_m(z) = 14,54 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}'$$

kde $c_r(z) = 0,606$ - súčiniteľ drsnosti,
 $c_o(z) = 1$ - súčiniteľ orografie.

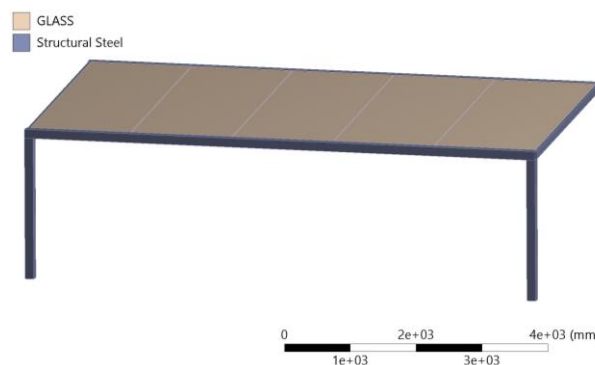
Špičkový tlak vetra $q_p(z)$ je možné vyjadriť ako:

$$q_p(z) = 0,4611 \text{ [kPa]}' \quad (7)$$

4 KONŠTRUKČNÝ A GEOMETRICKÝ NÁVRH PRÍSTREŠKU

V CAD softvéri *Creo Parametric 5.0* bol na základe vyššie uvedených parametrov vytvorený 3D model konštrukcie. Návrh obsahoval pergolový typ prístrešku kovovej konštrukcie na dvoch nosných stĺpoch so sklenenou strechou so sklonom 5° . Celkové rozmermi prístrešku boli $4,0 \times 8,0 \text{ m}$ (obr. 2).

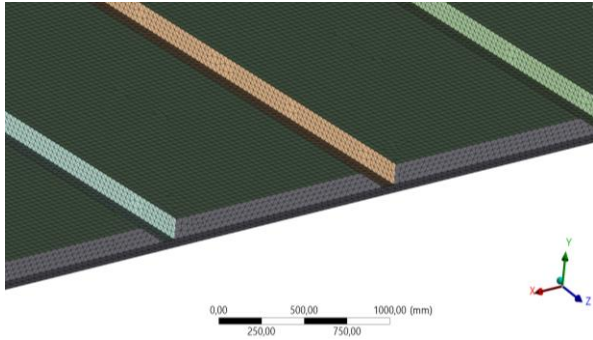
Geometria CAD modelu bola importovaná do konečno-prvkového programu *ANSYS Workbench* a následne pomocou strednicových rovín vytvorený škrupinový model. Kovová konštrukcia je ukotvená do steny a do zeme. Vrchnú časť tvorí sklo, ktoré je uložené v gumenom tesnení [6-9].



Obr. 2. Konštrukčný model prístrešku (*Creo Parametric*)

Kontakt typu *Bonded* bol definovaný medzi platňami skla a konštrukciou (obr. 3). Citlivostnou analýzou bola stanovená dostatočne hustá sieť konečných

prvkov na veľkosť 43 mm. Pri tejto konečno-prvkovej sieti bola postačujúca kvalita elementov.

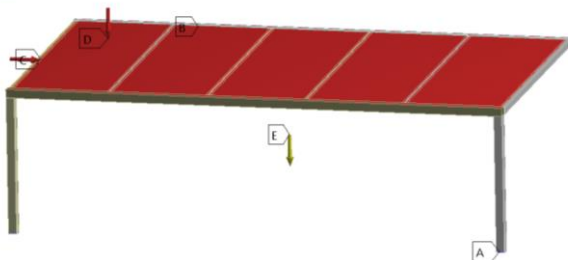


Obr. 3. Detail siete medzi platňami skla a konštrukciou

4.1 Zaťaženie a okrajové podmienky

Okrajové podmienky (obr. 4) predstavujú všetky zaťaženia a väzby, ktoré na konštrukciu pôsobia. V mieste kotvenia do zeme a kotvenia na stenu sú definované dve *fixed supports*, teda pevné väzby odoberajúce všetky stupne voľnosti. Kotvenie o zem (A) je na spodných hranách nosných stĺpov a kotvenie o stenu (B) je na odvrátenej strane profilu zadného nosníka. Zaťaženie vetrom (C) pôsobí z ľavej strany kolmo na všetky profily a zaťaženie snehom (D) pôsobí na plochu strechy v smere zvislo nadol. Na celú konštrukciu nakoniec pôsobí ešte gravitačná sila (E).

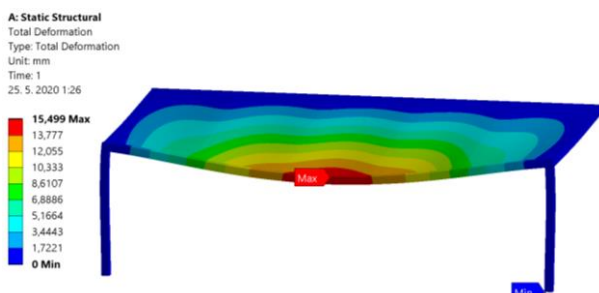
- A Kotvenie do zeme
- B Kotvenie do steny
- C Bočné zaťaženie vetrom: $4,2e-004$ MPa
- D Charakteristické zaťaženie snehom: $1,21e-003$ MPa
- E Standard Earth Gravity: $9806,6$ mm/s²



Obr. 4. Aplikované okrajové podmienky

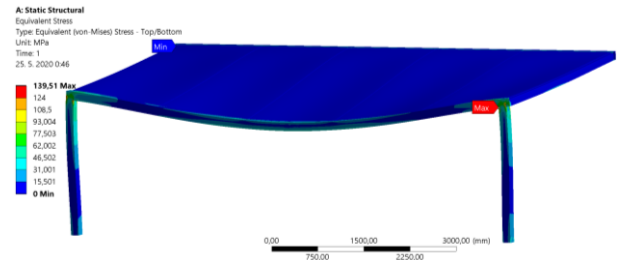
4.2 Výsledky statickej analýzy

Z výsledkov posunutí konštrukcie (obr. 5) je zrejmé, ako sa konštrukcia bude správať pod týmito zaťažiením. Predný nosník prístrešku sa prehne v strede svojej dĺžky o takmer 15,5 mm.



Obr. 5. Posunutia v strede nosníka

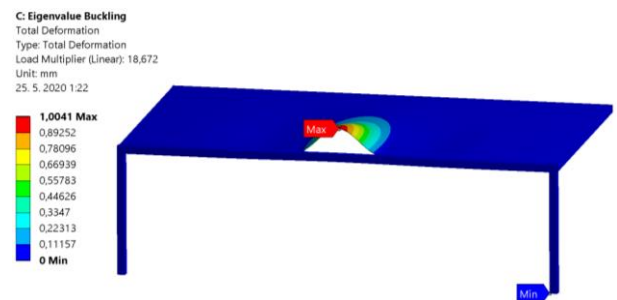
Z výsledkov *von-Mises* napätia (obr. 6) môžeme pozorovať miesta, kde dochádza ku koncentráciám napätí. Maximálne hodnoty týchto napätí sa pohybujú cca 140 MPa a vznikajú v miestach spojov stĺpov s nosníkom. V blízkosti miesta spojov dvoch prostredných strešných trémov so zadným nosníkom pôsobí napätie približne 90 MPa.



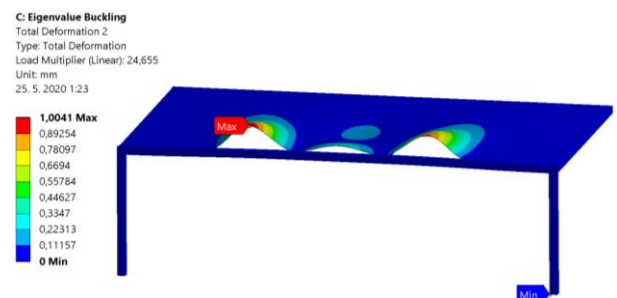
Obr. 6. Priebeh napätí (*von-Mises*) na konštrukcii

4.3 Analýza straty stability konštrukcie

Analýza straty stability vychádza z okrajových podmienok statickej analýzy. Z výsledkov analýz môžeme vidieť (obr. 7 a obr. 8), že pri 18-násobnom a 24-násobnom zväčšení zaťaženia dôjde ku strate stability a následnému kolapsu konštrukcie.



Obr. 7. Deformovaný stav pri strate stability 1



Obr. 8. Deformovaný stav pri strate stability 2

5 OVERENIE PEVNOSTI KOTVIACICH SKRUTIEK

Na kotvenie prístrešku do steny boli použité závitové tyče priemeru M10 a pevnosti 4.8, v počte 5 ks. Hodnoty zaťaženia boli určené z ANSYSU pomocou funkcie *Force reaction*, a to vo väzbách konštrukcie (obr. 9). Závitové tyče boli namáhané na šmyk v smere osi Y veľkosťou 38 429 N.

Výpočet šmykového napätia pôsobiaceho na skrutky bol realizovaný na základe nasledovných vzťahov:

$$\tau = \frac{F}{S} = \frac{F}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{38429 \text{ [N]}}{\frac{\pi \cdot 8,16^2 \text{ [mm]}^2}{4}} = 734,83 \text{ [MPa]} \quad (8)$$

kde τ - celkové šmykové napätie,

F - tangenciálna sila pôsobiaca na skrutku,

S - plocha prierezu jadra skrutky,

d_3 - priemer jadra skrutky.

Výsledné napätie na prvú skrutku získame vydelením celkového napätia počtom skrutiek:

$$\tau_1 = \frac{\tau}{i} = \frac{734,83}{5} = 146,97 \text{ [MPa]}, \quad (9)$$

kde τ_1 - šmykové napätie na jednej skrutke,

i - počet skrutiek.

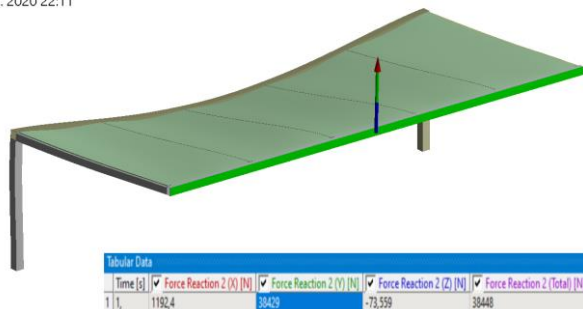
Pretože na prvú závitovú tyč pôsobí napätie 146,97 MPa a medza klzu materiálu je 240 MPa, podľa vzťahu bude platiť:

$$\tau_1 \leq \tau_{dov} \quad (10)$$

$$146,97 \text{ [MPa]} \leq 240 \text{ [MPa]}$$

Nakoľko dovolené napätie závitových tyčí viac ako 1,5-násobne prevyšuje hodnotu najväčšieho vypočítaného napätia, napätie vznikajúce na závitových tyčiach je možné považovať za vyhovujúce pre použitie na danom prístrešku (obr. 9) [10].

A: Static Structural
Force Reaction 2
26. 5. 2020 22:11



Obr. 9. Veľkosť reakcie v mieste uchytenia na stenu

ZÁVER

Zvolený bol pergolový typ prístrešku postavený na dvoch nosných predných stĺpoch pripojený k domu zo zadnej strany. Tento typ bol zvolený zámerne, a to z dvoch dôvodov. Prvý dôvod bol dizajnový, pretože takáto konštrukcia pôsobí luxusne a je v súčasnosti považovaná klientelou za modernú a praktickú. Druhým dôvodom bola jeho pevnosť a stabilita z dôvodu jeho uchytenia ku domu. Keďže prístrešok má pomerne veľké rozmery a bude teda prenášať aj väčšie zaťaženia, vyžaduje masívnejšiu konštrukciu nosníkov z väčších profilov, čo je

charakteristickým znakom pergoly. Alternatívnym riešením by bolo pridať tretí podporný nosný stĺp. To by však nielen opticky zmenšovalo priestor pod prístreškom, a teda vytváralo horší estetický dojem a prístupnosť.

V praktickej časti bol vytvorený konečno-prvkový model reálneho konštrukčného riešenia a vykonali sa všetky potrebné analýzy na overenie a posúdenie konštrukcie. Taktiež bola vykonaná kontrola pevnosti vybraných spojov, kde pôsobí najväčšie namáhanie. Z výsledkov vyplýva zistenie, že nakoľko maximálne hodnoty *von-Misesovho* napätia neprekročili medzu klzu ocele z ktorého bol prístrešok vytvorený a aj ostatné výsledky ďalších analýz boli priaznivé, konštrukcia prístrešku je vyhovujúca a spĺňa zadané požiadavky, ktoré je na takého zariadenie kladené.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporená projektom KEGA 001 ŽU-4/2020.

LITERATÚRA

- [1] GARDEON PERGOLY (2020): <https://gardeon.sk/pergoly/>
- [2] MÁLIK, L. - MEDVECKÝ, Š. - CHRZOVÁ, J. - HRČEK, S. - LUKÁČ, M. (2009): *Konštruovanie II*, Žilinská univerzita, ISBN 978-80-8070-971-6.
- [3] STN EN 1991-1-1 /NA/1 (2010): *Eurokód 1. Zaťaženia konštrukcií. Časť 1-1: Všeobecné zaťaženia. Objemová tiaž, vlastná tiaž a úžitkové zaťaženia budov.*
- [4] STN EN 1991-1-3 /NA/1 (2012): *Eurokód 1. Zaťaženia konštrukcií. Časť 1-3: Všeobecné zaťaženia. Zaťaženia snehom.*
- [5] STN EN 1991-1-4 / NA/1 (2010): *Eurokód 1. Zaťaženia konštrukcií. Časť 1-4: Všeobecné zaťaženia. Zaťaženie vetrom.*
- [6] ANSYS Documentation, SAS IP, Inc 2016.
- [7] BATHE, K. J. (2005): *Finite Elements procedures*. Second Edition, Prentice Hall, ISBN 978-0-9790049-5-7.
- [8] DIŽO, J. - BLATNICKÝ, M. - KRAVCHENKO, O. - MAMRAI, V. - MELNIK, R. (2021): *Analysis of structural properties of a back-bone frame of a truck by means of the FEM*. In: Technológ, Vol. 13, No. 2, pp. 103-106, ISSN 1337-8996.
- [9] DIŽO, J. - BLATNICKÝ, M. - KRAVČENKO, O. P. - SEMENOV, S. O. - MYCHAJLOV, J. V. (2021): *Конструкция основания для установки грейфера на трактор*. In: Technológ, Vol. 13, No. 1, pp. 51-54, ISSN 1337-8996.
- [10] SÁGA, M. - VAŠKO, M. - KOPAS, P. (2015): *Pružnosť a pevnosť I*, EDIS, Žilinská univerzita, ISBN 978-80-554-1118-7.

Perspektívy uplatnenia modularity pri návrhu pohonných systémov v mechanických terapeutických zariadeniach

Daniela Harachová, Ing., PhD.*

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 9, 042 00 Košice.
E-mail: daniela.harachova@tuke.sk, Tel.: + 421 55 602 2366

Silvia Maláková, doc. Ing., PhD.

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 9, 042 00 Košice.
E-mail: silvia.malakova@tuke.sk, Tel.: + 421 55 602 2372

Samuel Sivák, Ing.

Katedra konštrukčného a dopravného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Technická univerzita v Košiciach,
Letná 9, 042 00 Košice.
E-mail: samuel.sivak@tuke.sk, Tel.: + 421 55 602 2355

Perspectives of application of modularity in the design of propulsion systems in mechanical therapeutic devices

Abstract: The field of biomedical engineering, called rehabilitation engineering, deals with the design and construction of devices that help the disabled at various stages of the rehabilitation process. Rehabilitation engineering deals with the design and engineering of technical equipment that is helpful to disabled people in the various stages of the rehabilitation process. It is a set of engineering activities associated with the design, implementation and operation of technical means designed to support rehabilitation functions. A drive system is a necessary and necessary part of designing a rehabilitation facility.

ÚVOD

Napriek technickému a medicínskemu pokroku je ľudstvo stále vystavené hrozbe ochorení a chorôb, ktorých diagnostika a liečba je veľmi náročná. Technika významne zasiahla a výrazne ovplyvnila vývoj i v oblasti medicíny.

Oblasť biomedicínskeho inžinierstva, nazývaná rehabilitačné inžinierstvo, sa zaoberá návrhom a konštrukciou zariadení, ktoré pomáhajú postihnutým v rôznych fázach rehabilitačného procesu. Ide o súbor inžinierskych činností spojených s návrhom, realizáciou a prevádzkou technických prostriedkov určených na podporu rehabilitačných funkcií. Pri rehabilitácii sa zaviedol pojem strojová podpora rehabilitácie, čo sa chápe ako široká škála strojových zariadení, ktoré spĺňajú požiadavky na systémové funkcie, dané definíciou rehabilitácie a inžinierstva.

Súčinnosť mechanoterapeutických strojov v medicínskom procese z hľadiska pevnosti polohovania, opakovateľnosti pohybu, bezpečnosti a spoľahlivosti závisí od kompatibility pohonných sústav.

1 ARCHITEKTÚRA PRÍSTROJOV PRE REHABILITAČNÉ STROJE

Proces vývoja v oblasti rehabilitácie je veľmi dynamický aj vďaka pokroku, ktorý sa dosiahol v rámci návrhu robotického zariadenia. Architektúru prístrojov určených na pohybovú rehabilitáciu možno charakterizovať špecifickými konštrukčnými vlastnosťami zohľadňujúcimi antropometrické, biomechanické a medicínske aspekty, ako aj bezpečnostnými aspektmi súvisiacimi s interakciou človek-stroj. Rehabilitačné zariadenia možno rozdeliť podľa rehabilitovaných častí ľudského tela. Aplikujú sa špeciálne individuálne rehabilitačné prístroje určené na rehabilitáciu týchto častí ľudského tela:

- Hlava a krk.
- Stavec.
- Horné končatiny.
- Dolné končatiny.

Ďalšie možné členenie rehabilitačných pomôcok je podľa druhu záťažových alebo zaťažovacích síl pôsobiacich na telo pacienta pri aplikácii daného rehabilitačného zariadenia, t. j.:

- Rehabilitačné prístroje s nakladaním.
- Rehabilitačné prístroje bez zaťaženia (vhodné pre pacientov tesne po operácii).
- Kombinované rehabilitačné prístroje.

Konštrukčné riešenia rehabilitačných strojov sú nasledovné:

- Podstavcový typ.
- Typ postele.
- Multifunkčný.

Mechanicky podporovaná pohybová rehabilitácia umožňuje meranie a hodnotenie fyzického stavu rehabilitanta s ohľadom na objektívne stanovenie diagnózy, výber vhodnej terapie a možnosť vykonávať riadenú manipuláciu s ošetrovaným pohybovým segmentom za účelom zlepšenia fyzických schopností rehabilitanta. Rehabilitačné podporné zariadenia sú vybavené rôznymi pohonnými systémami určenými na zvýšenie úrovne zaťaženia, na udržanie konštantných rýchlostí a na polohovanie pacienta.



Obr. 1. Robotické zariadenie pre pacientov s poruchami chôdze.

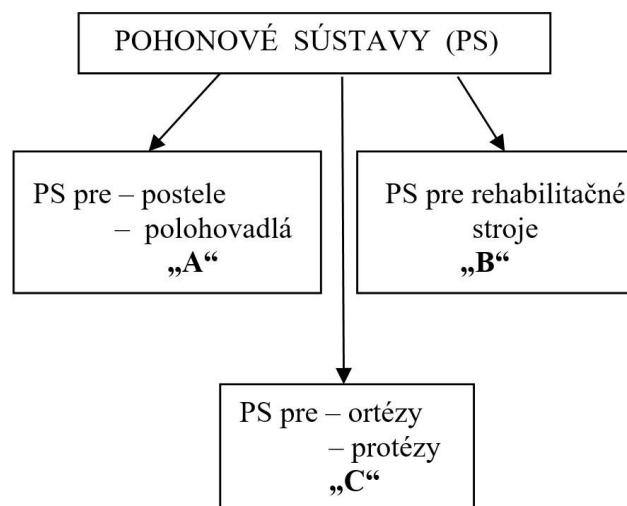
Pri návrhu špeciálnych zariadení je rehabilitácia nevyhnutnou súčasťou modularity. Modulárny

systém je ekonomické riešenie individuálneho konceptu. To opäť poskytuje množstvo výhod, ako je jednoduchá a rozšíriteľná možnosť výmeny zariadenia podľa potreby.

Cieľom pohybovej rehabilitácie strojovej podpory je meranie a hodnotenie fyzickej kondície rehabilitantov pre objektívnu diagnostiku a výber vhodných terapií a riadená manipulácia s liečeným pohybovým segmentom pre zvýšenie fyzických schopností rehabilitantov. Doplnkové vybavenie používané na pohon systému na zvýšenie záťaže, konštantná rýchlosť poddajnosti a umiestnenie pacienta. A práve pohonný systém je kľúčovým prvkom pri využití modularity v špeciálnych rehabilitačných strojoch.

2 POHONOVÉ SÚSTAVY

Prevodový mechanizmus je dôležitou konštrukčnou súčasťou každého z pohonných systémov. V medicínskych zariadeniach sa používajú vysoko presné prevody, pričom sa zvyčajne analyzujú z hľadiska ich konštrukčnej prispôsobivosti, rozmerov a vlastného zníženia hmotnosti. Bezvôľové mechanizmy patria do skupiny vysoko presných prevodov. Tieto prevody sú vyrábané s veľmi vysokou presnosťou funkčných plôch. Hodnota aplikovaných tolerancií presnosti je cca. 1µm s použitím predpätej zostavy a minimálneho vnútorného trenia medzi valivými telesami. Týmto spôsobom je možné znížiť tvorbu tepla v prevodovke a následne aj znížiť dilatáciu vnútorných prvkov s pozitívnym vplyvom na presnosť chodu prevodovky. Z hľadiska aplikácie pohonných sústav v jednotlivých mechanoterapeutických strojoch je možné utvoriť určité konštrukčné rodiny (obr. 2)



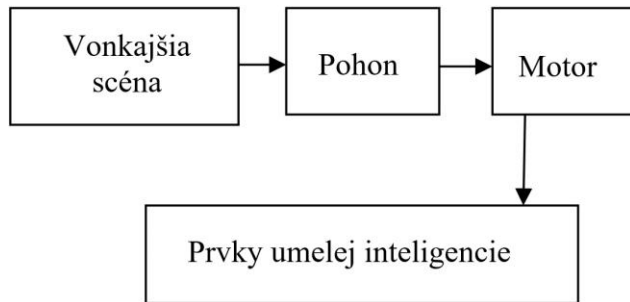
Obr. 2 Princíp konštrukčnej rodiny

Rozdiel medzi jednotlivými skupinami v PS spočíva v:

- Sile.
- Hmotnosti.

- Výkone.
- Rozmerovej charakteristike.

Základná schéma pre rehabilitačné zariadenie (obr. 3):

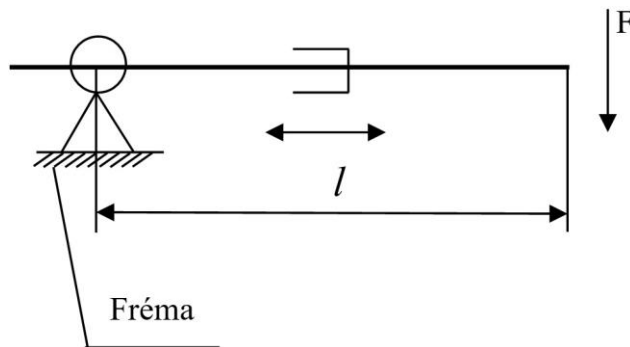


Obr. 3. Väzbová schéma terapeutického procesu

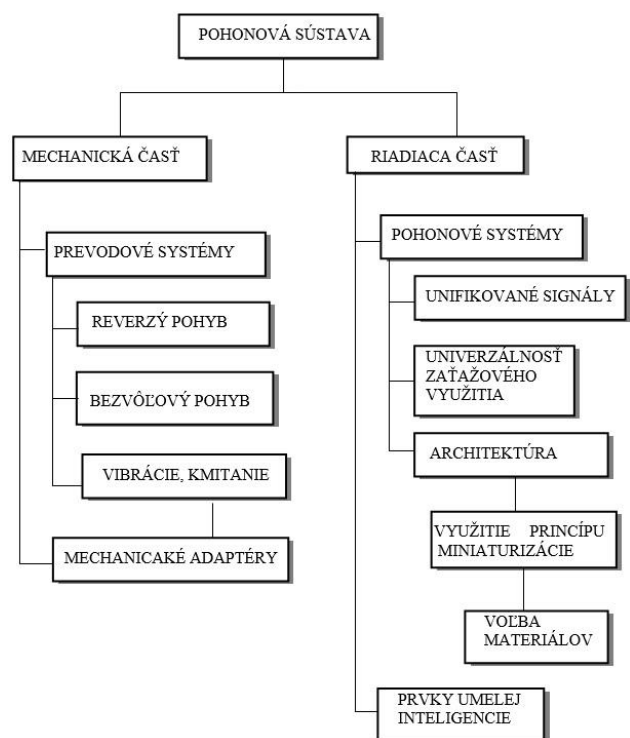
Pri návrhu pohonu pri skupine „B“, treba brať do úvahy parametre pacienta:

l – dĺžka ramena určitého zariadenia, s ktorým bude pacient pracovať,

F – sila ktorou bude pacient pôsobiť na rameno.



Obr. 4. Schéma rehabilitačného zariadenia



Obr. 5. Systém pohonu - schéma hierarchických väzieb pre terapeutické nástroje

Treba si uvedomiť, či rehabilitačné zariadenie bude len pre konkrétny typ klienta, alebo sa bude dať nastavovať dĺžku ramena.

Z hľadiska metodiky navrhovania rehabilitačného zariadenia je ústredným modulom pohonová sústava, ktorá je dekompozične uvedená v schéme na (obr. 5).

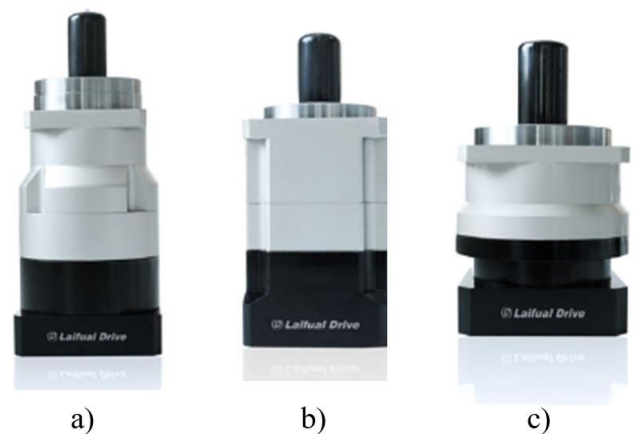
3 APLIKÁCIA PREVODOVIEK V MEDICÍNSKÝCH ZARIADENIACH

Nielen vrcholoví športovci, ale všetci pacienti chcú mať po operácii rýchly návrat do práce. Preto sa čoraz viac využívajú technológie, ktoré umožňujú cielejšiu terapiu a rehabilitáciu postihnutých častí tela. Dôraz je kladený na výber adekvátnych komponentov, vďaka ktorým možno spoľahlivú a presnú techniku pohonu využiť v rôznych oblastiach medicínskej techniky.

V dnešnej dobe sú harmonické prevody a planétové prevody široko používané v mnohých lekárskech zariadeniach, vrátane chirurgických stolov, lekárskej diagnostiky a širokej škály zubových čerpadiel, rehabilitačných zariadení a pre aplikácie v lekárskej správe.

Spoločnosť *Laifual Drive* poskytuje rôzne typy harmonických a planétových prevodoviek pre rôzne druhy zdravotníckych zariadení. Súvisiace prevodovky (obr. 6):

- Planétová prevodovka *LPD*.
- Planétová prevodovka *LFA*.
- *LFB* planétová prevodovka s koncentrickým hriadeľom.



Obr. 6. Prevodovky *Laifual Drive*: a) *LPD*, b) *LFA*, c) *LFB*

Jedna z ďalších prevodoviek ktoré sú vhodné pre aplikáciu v medicínskych zariadeniach je od firmy *FAULHABER*. Ponúka špeciálnu verziu čelnej prevodovky s nulovou vôľou. Je ideálna pre aplikácie vyžadujúce presné polohovanie s požiadavkami na vysoké rozlíšenie a nízky krútiaci moment. *Spur Gearheads* má priemer 8 mm a jeho dĺžka sa pohybuje od 18,8 mm do 24,2 mm (obr. 5).



Obr. 7. Spur Gearhead Zero Backlash

ZÁVER

Hlavnou úlohou rehabilitačného inžinierstva je návrh dizajnu špeciálnych mechanických systémov určených pre osoby so zdravotným postihnutím a aplikovaných v jednotlivých obdobiach rehabilitačného procesu. Pohonný systém je neoddeliteľnou súčasťou každého rehabilitačného stroja. Prezentovaná dekompozícia terapeutických strojov a následné navrhovanie pohonových sústav vychádza z požiadaviek splnenia cieľovej a účelovej funkcie, t.j zabezpečiť kvalitu terapeutického procesu s komfortom využívania moderných metód konštruovania a IT technológií.

Prezentuje a diskutuje o aplikácii výberu nástrojov ponúkaných čiastkových prvkov tých, ktoré môže systém vygenerovať.

Pod'akovanie

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia grantových projektov:

029TUKE-4/2021 „Implementácia moderných edukačných prístupov pri konštruovaní prevodových mechanizmov.“

VEGA 1/0528/20 „Riešenie nových prvkov ladenia mechanických sústav.“

LITERATÚRA

- [1] CZECH, P. (2014): *Conception of use vibroacoustic signals and neural networks for diagnosing of chosen elements of internal combustion engines in car vehicles*. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport, Vol. 82, p. 51-58, ISSN 0209-3324.
- [2] FALTINOVÁ, E. a kol. (2018): *Reliability analysis of crane lifting mechanism*. Scientific Journal of Silesian University of Technology = Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej: Series Transport: Seria Transport. č. 98, pp. 15-26.
- [3] GREGA, R. - KRAJŇÁK, J. - MORAVIČ, M. (2018): *Experimental verification of the impact of a technical gas-using pneumatic coupling on torsional oscillation*. Scientific Journal of Silesian University of Technology = Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej: Series Transport: Seria Transport., č. 99, pp. 55-63.
- [4] HARACHOVÁ, D. (2021): *Geometry insertion of teeth into engagement in a harmonic transmission*.

GRANT journal, Vol. 10, No. 1, p. 76-79, ISSN 1805-0638.

[5] HARACHOVÁ, D. (2016): *Deformation analysis of flexible wheel in the harmonic drive*. Ad Alta: Journal of Interdisciplinary Research, Vol, 6, No. 1, p. 93-96, ISSN 1804-7890.

[6] IANICI, S. - IANICI, D. (2019): *Contributions to determining the trajectory of a point on the average fiber of the flexible wheel of a double harmonic transmission*. In: Analele Universitatii 'Eftimie Murgu' Vol. 26, no. 1, p. 99-106 ISSN: 1453-7397.

[7] KRAJŇÁK, J. - MORAVEC, M - GREGA, R. (2021): *Investigation of the change in temperature inside the elastic element depending on the speed at a constant pressure in the element*. In: Annals of Faculty Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering. Roč. 19, č. 1, s. 31-36. ISSN 1584-2665.

[8] MORAVEC, M - KRAJŇÁK, J. (2021): *Acta Technica Corviniensis: Bulletin of Engineering*. Roč. 14, č. 1, s. 69-72 [online]. - ISSN 2067-3809 (online).

[9] KRAJŇÁK, J.- KAŠŠAY, P. - URBANSKÝ, M. 2021: *Projektowanie, badania i eksploatacja*. - Bielsko-Biala (Poľsko): Wydawnictwo naukowe Akademii techniczno-humanistycznej w Bielsku-Białej s. 163-170.

[10] KAŠŠAY, P. (2018): *Effect of torsional vibration on woodchip size distribution*. Scientific Journal of Silesian University of Technology, Vol. 99, p. 99-105, Faculty of Transport Silesian University of Technology, Katowice, ISSN 0209-3324.

[11] KAŠŠAY, P. (2014): *Comparison of pneumatic flexible shaft coupling static load characteristics obtained experimentally and by calculation*. Scientific Journal of Silesian University of Technology: Series Transport, Vol. 85, no. 1925, p. 57-65, ISSN 0209-3324.

[12] KAŠŠAY, P. (2013): *Comparison of Pneumatic Flexible Shaft Couplings Static Load Characteristics Obtained Experimentally and by Calculation*. In: 26. Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn: 50 lat Podstaw Konstrukcji Maszyn: 9.9. - 13. 9. 2013, Szczyrk, Politechnika Śląska Wydział Transportu, Katowice, p. 66-66, ISBN 978-83-935232-2-1.

[13] KUEKA, J. - MANTIČ, M. (2016): *Simple device for lifting loads from the balcony of building*. In: Zborník príspevkov 42. medzinárodnej vedeckej konferencie katedier dopravných, manipulačných, stavebných a poľnohospodárskych strojov. Bratislava: STU, p. 69-74, ISBN 978-80-227-4584-0.

- [14] MALÁKOVÁ, S. (2020): *Application of glued joints in passenger cars*. GRANT journal, Vol. 9, No. 1, p. 106-109, ISSN 1805-0638.
- [15] MALÁKOVÁ, S. (2021): *Kinematic properties and meshing condition of elliptical gear train*. Scientific Journal of Silesian University of Technology: Series Transport, No. 104, p. 95-105. ISSN 0209-3324.
- [16] MANTIČ, M. a kol. (2016): *Autonomous online system for evaluating steel structure durability*. Diagnostyka. Vol. 17, no. 3 pp. 15-20. - ISSN 1641-6414.
- [17] PUŠKÁR, M. - KOPAS, M. - PUŠKÁR, D. (2018): *Development of Fuel Maps in Hexadecimal Format for Reduction of NOX Emissions and Application in Real HCCI Engine*. In: Acta Mechanica Slovaca: journal published by Faculty of Mechanical Engineering, the Technical University in Košice. - Košice (Slovensko) : Strojnícka fakulta Roč. 22, č. 2 (2018), s. 38-46 [print]. - ISSN1335-23.
- [18] URBANSKÝ, M. (2014): *Theoretic and Experimental Determination of the Flow Resistance Coefficient at Gaseous Medium Flow into and out of the Pneumatic Coupling*. Scientific Journal of Silesian University of Technology: Series Transport, No. 85, p. 119-125, ISSN 0209-3324.
- [19] WOJNAR, G. - CZECH, P. - FOLEGA, P. (2014): *Problem with diagnosing local faults of gearboxes on the basic of vibration signal*. Transactions of the Universities of Košice. č. 2, pp. 95-100.

Heat sources for electron beam welding

Pavol Novák, Ing., PhD.

Katedra aplikovanej mechaniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 01026 Žilina.
E-mail: pavol.novak@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2968

Peter Kopas, Ing., PhD.*

Katedra aplikovanej mechaniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 01026 Žilina.
E-mail: peter.kopas@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2955

Milan Sága, prof. Dr. Ing.

Katedra aplikovanej mechaniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 01026 Žilina.
E-mail: milan.saga@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2500

Milan Vaško, doc. Ing., PhD.

Katedra aplikovanej mechaniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 01026 Žilina.
E-mail: milan.vasko@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2981

Marián Handrik, Ing., PhD.

Katedra aplikovanej mechaniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 01026 Žilina.
E-mail: marian.handrik@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2984

Abstract: Nowadays, welding technologies based on the high energy electron beam are able to produce weld joints with very narrow heat affected zone. During welding procedure, softening phenomenon can occur in the heat affected zones and it could lead to the degradation of the mechanical properties of the final joint. The aim of this paper is to investigate the effect of heat source shape on the temperature distribution in an aluminium alloy during electron beam welding. We will vary the diameter of the beam shaped heat source at constant penetration. We investigate the temperature cycles for different heat sources in terms of maximum temperature.

ÚVOD

In the numerous engineering applications, the welding is the most widespread joining technology. Modern welding techniques, which use high energy beams, allows to minimize the amount of heat introduced to the joint and obtaining very narrow heat affected zone. On this bases, electron beam or laser beam welding techniques are very interesting options for the welding of high strength low alloyed steels [1-5].

Numerical simulations of welding allow us to obtain a lot of important information about the time course of temperatures in the material during welding and the resulting changes in the structure of the material. The thermal cycles to which the material is exposed cause a change in both the thermal and mechanical properties of the welded material [6-8]. These processes can be simulated in *Sysweld*. The material

properties of pure phases that may occur in the material, the *ARA* diagram of phase changes, the shape and parameters of the heat source as well as the method of clamping the component during welding and its release after welding itself must be entered as inputs [9,11].

The necessary inputs for the simulations show that there is no simulation of the physical processes associated with the conversion of the source's electrical energy into the thermal energy required during the welding process. The process of introducing thermal energy into the material is described using specified heat sources. These sources have specific shapes for each type of welding (*MAG*, *TiG*, laser, electron beam, flame). They are fully parametric and these parameters must be obtained from samples (*macros*). A well-tuned heat source ensures consistency in the size and shape

of the molten area, the heat affected area, and the temperature cycles. These are the key parameters influencing the formation of phase changes in materials. This causes a change in the thermal and mechanical properties of the material in the welding process [12, 13].

1 FINAL ELEMENT MODEL

In this article we will deal with the issue of electron beam welding. No additional material is used in this welding technology. The dimensions and shape of the sample with finite element mesh and the shape of the heat source are shown in Fig. 1. Finite element mesh consists of 312616 elements and 304980 nodes. The material is an aluminum alloy of class 5000 with the chemical composition given in Table 1.

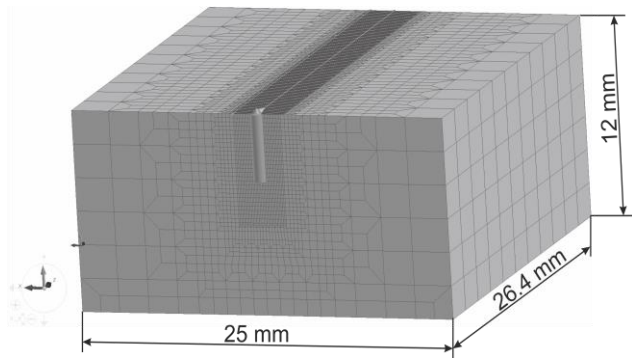


Fig. 1. Shape and dimensions of the sample, heat source model with heat source diameter 0.8 mm

Welding parameters:

- Shape of the heat source – beam.
- Upper diameter of the heat source 0.8 or 1.6 mm.
- Lower diameter of the heat source 0.8 or 1.6 mm.
- Penetration of the weld into the original material 4 mm.
- Welding speed $20 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$.
- Supplied energy $100 \text{ J}\cdot\text{mm}^{-1}$.

Tab. 1. Chemical composition of the tested aluminum alloy

Chemical element	Weight %
<i>Si</i>	0.25
<i>Fe</i>	0.4
<i>Cu</i>	0.1
<i>Mn</i>	0.5-1.0
<i>Mg</i>	2.4-3.0
<i>Cr</i>	0.05-0.2
<i>Zn</i>	0.25
<i>Ti</i>	0.2

In the numerical simulation of welding, we will consider the presence of three different phases in the material. The first is the work hardened phase - the

initial phase making up 100% of the volume before welding. The second phase is formed after the melting of the material - molten phase. The third phase is recrystallized material.

It was necessary to create a fine grid in the area of the heat source, because the diameters of the heat source are small. For a good description of the heat source, it is necessary to have at least three elements in the direction of each coordinate axis. However, a very fine network is computationally intensive. Therefore, in the longitudinal and transverse direction of the heat source, a network with an element size of 0.1 mm was created, in the penetration direction, the element size was 0.25 mm. This fine mesh gradually turned into a coarser mesh with increasing distance from the weld.

Two analyzes were performed differing only in the diameter of the heat source. In the first analysis, this heat source diameter was 0.8 mm (upper and lower diameter) and in the second analysis it was 1.6 mm. The aim of the analysis was to determine the influence of the heat source dimensions on the achieved maximum temperature in the welded joint and the influence on the temperature cycles measured at the points around the weld.

2 RESULTS OF NUMERICAL ANALYZES

We see in Fig. 2 the temperature field in the cross section of the sample (approximately in the middle of the sample) for a heat source with a diameter of 0.8 mm. The maximum temperature in the sample is $1276.43 \text{ }^\circ\text{C}$.

In the case of a heat source with a diameter of 1.6 mm (Fig. 3), the maximum sample temperature of $989.95 \text{ }^\circ\text{C}$ was calculated.

In Fig. 4 to Fig. 7 it is possible to compare the course of temperature cycles at points lying on the weld trajectory and at a distance of 0.5 mm, 1.0 mm and 1.5 mm.

It is clear from the waveforms that with increasing distance the maximum value of the temperature difference of a given cycle decreases and the steepness of the temperature waveforms decreases.

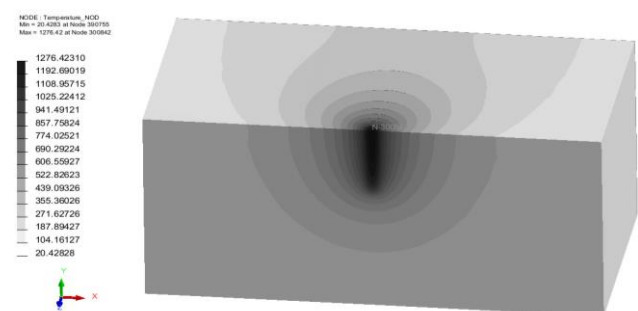


Fig. 2. Temperature field in cross section of the sample at a heat source diameter of 0.8 mm

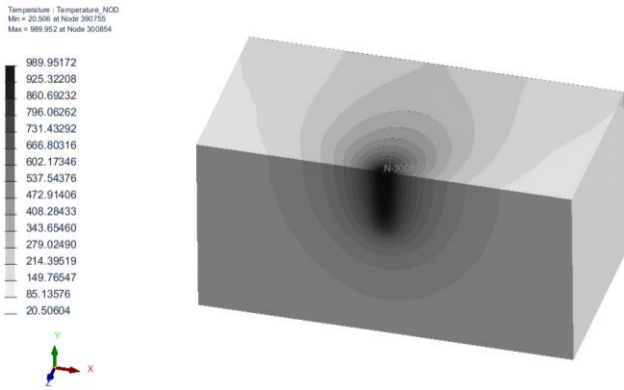


Fig. 3. Temperature field in cross section of the sample at a heat source diameter of 1.6 mm

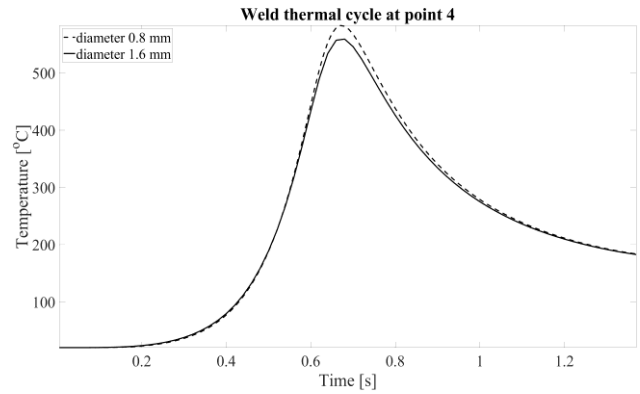


Fig. 7. Temperature cycles at a point 1.5 mm from the weld trajectory

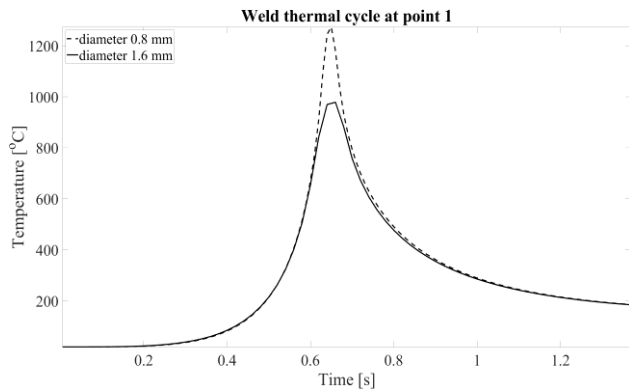


Fig. 4. Temperature cycles at a point on the weld trajectory

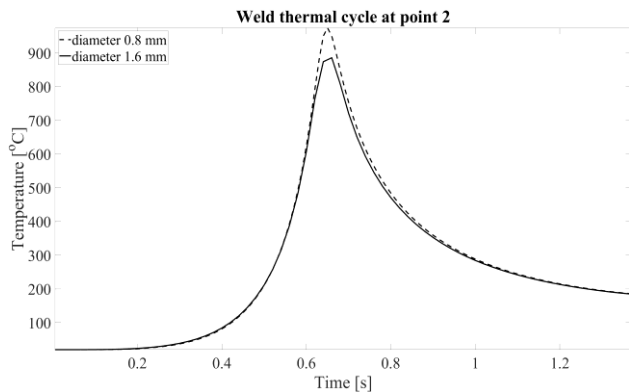


Fig. 5. Temperature cycles at a point 0.5 mm from the weld trajectory

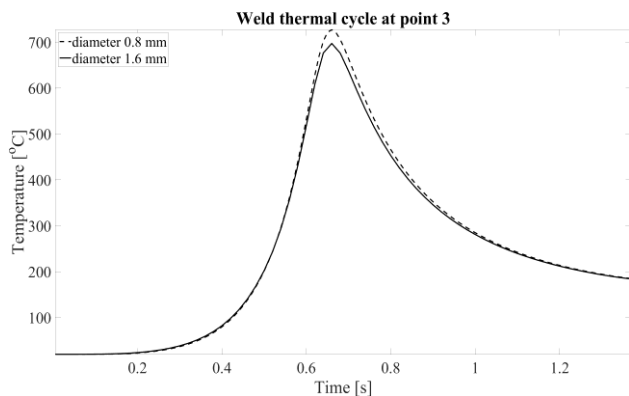


Fig. 6. Temperature cycles at a point 1.0 mm from the weld trajectory

In Fig. 8 and Fig. 9 it is possible to compare the size of the molten weld area at heat source diameters of 0.8 and 1.6 mm. Interestingly, with a larger diameter of the heat source, we did not observe a larger area of melt.

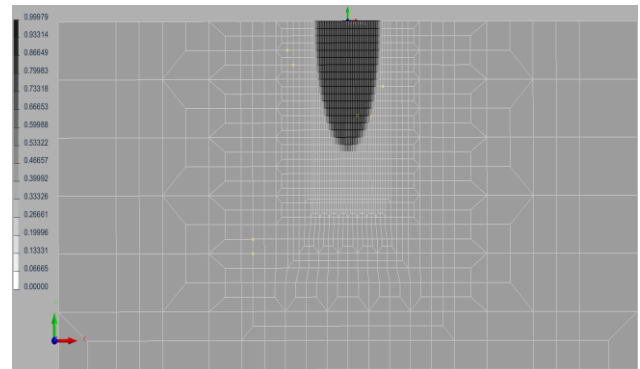


Fig. 8. Percentage of melt in the cross section of the weld for a heat source with a diameter of 0.8 mm

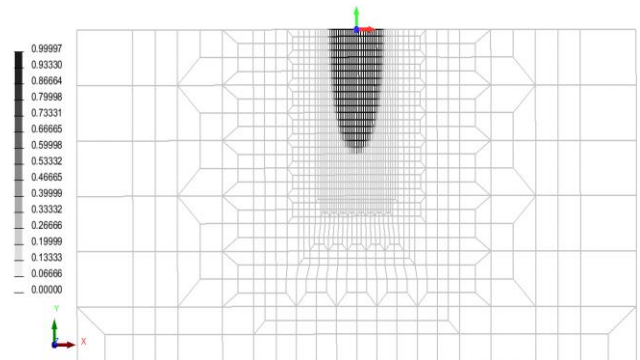


Fig. 9. Percentage of melt in the cross section of the weld for a heat source with a diameter of 1.6 mm

CONCLUSION

The behaviour of the electron beam on penetrating a metal is one of the most important and difficult parts of the electron beam welding process to understand. Numerous investigations have dealt with the phenomenon by which the beam is able to weld metal several centimetres thick in spite of the fact that the electrons themselves penetrate only a few hundredths of a millimetre into the surface of the material. Even today, some 30 years after the first trials involving welding of greater material

thicknesses, although the physical mechanisms of the electron beam process are known in principle, the individual processes taking part are so complex that they still cannot be quantitatively described. The difficulty in accurately and completely describing them lies in part in the fact that the object of investigation, the welding process, to a large extent cannot be studied directly by experiment.

Thus, theoretical observations can only be proven by examination of the resulting weld produced. Nevertheless, welding with contrasting materials, radiography during welding, frequency measurements of the penetrating current, as well as calculations of the depth of weld and of the energy processes involved have all served to increase our knowledge of the deep penetration welding effect considerably.

The electron beam welding process is controllable across a very wide range of parameters, as demonstrated by the infinite number of high quality welds produced in many branches of industry. However, this assumes a knowledge of the most important physical relationships and a great deal of practical experience.

The presented results show that:

- Numerical simulations of welding allow us to obtain a lot of important information about the time course of temperatures in the material during welding and the resulting changes in the structure of the material.
- The thermal cycles to which the material is exposed cause a change in both the thermal and mechanical properties of the welded aluminium alloy material.
- It can be seen, that from the course of the performed thermal cycles that with increasing distance the maximum value of the temperature difference of the given cycle decreases and the steepness of the temperature courses decreases.
- When observing the size of the molten area in the weld area as a function of the increasing source diameter, no increasing area of the melt was observed, which could be due to the input parameters in the numerical calculation.

Acknowledgement

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract No. APVV-14-0096. At the same time, this work thanks the Ministry of Education, Science, Research and Sports of the Slovak Republic in connection with the implementation of the project "Research of intelligent systems and processes using Industry 4.0 principles with a focus on connecting difficult to connect materials with highly concentrated energy sources - laser and electron beam", No. Contract Stimuly 1227/2018.

REFERENCES

- [1] HALAMA, R. - MARKOPOILOS, A. - FOJTIK, F. - FUSEK, M. - PORUBA, Z. - FAMFULÍK, J. (2017): *Effect of stress amplitude on uniaxial ratcheting of aluminum alloy 2124-T851*. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 48 (8), pp. 814-819.
- [2] KUBIAK, M. - DOMANSKI, T. - DEKÝŠ, V. - SAPIETOVÁ, A. (2017): *Measurement of strain during tension test of welded joint using multi-camera 3D correlation system*. *Procedia Engineering*, 177, pp. 107-113.
- [3] KOVÁČIKOVÁ, P. - BEZDEDOVÁ, R. - VAVRO, J. JR. - VAVRO, J. (2016): *Comparison of numerical analysis of stress-strain states of cast iron with vermicular graphite shape and globular graphite shape*. *Procedia Engineering*, 136, pp. 28-32.
- [4] HOBACHER, A. (2004): *Recommendations for fatigue design of welded joints and components*. International Institute of Welding.
- [5] SAPIETOVÁ, A. - DEKÝŠ, V. - SAPIETA, M. - PECHÁČ, P. (2014): *Application of computational and design approaches to improve carrier stability*. *Procedia Engineering*, 96, pp. 410-418.
- [6] BLATNICKÝ, M. - BARTA, D. - DIŽO, J. - DROZDZIEL, P. (2017): *Advanced methods of simulating welding for aluminium alloy fatigue lifespan diagnostics*. In: *Zeszyty naukowe Instytutu Pojazdów : mechanika, ekologia, bezpieczeństwo, mechatronika*, 2 (111), s. 31-36, ISSN 1642-347X.
- [7] BARTA, D. - BLATNICKÝ, M. - DIŽO, J. - DROZDZIEL, P. (2017): *Modern methods of simulating welding for diagnosing fatigue lifespan*. In: *TSD: XVI international Technical systems degradation conference: Liptovský Mikuláš*, 19-22 April, ISBN 978-83-947840-0-3. pp. 63-66.
- [8] HRIVŇÁK, I. (1989): *Teória zvariteľnosti kovov a zliatin*, VEDA Bratislava, 344 s., ISBN 80-224-0016-5.
- [9] HRIVŇÁK, I. (2009): *Zváranie a zvariteľnosť materiálov*, STU Bratislava, 486 s., ISBN 978-80-227-3167-6.
- [10] LIPPOLD, J. C. (2015): *Welding metallurgy and weldability*, Wiley & Sons, New Jersey, p. 401, ISBN 978-118-23070-1.
- [11] KEARNS, W. H. (1997): *Welding Handbook Vol. 4 metals and their weldability*, 7th Ed., AWS, Miami, ISBN 0-87171-218-0.
- [12] MESSLER, R. JR. (2004): *Principles of welding - Processes, physics, chemistry and metallurgy*, Wiley-Vch Verlag, New York, ISBN 978-0-471-25376-1.
- [13] SCHULTZ, H. (2004): *Electron beam welding*, Abington Publishing, Cambridge, ISBN 1-85573-050-2.

Vplyv metód a technológií riadenia výrobných procesov na marketingovú stratégiu spoločnosti

Olha Kolesnyk, Ing.*

Katedra priemyselného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.

E-mail: olha.kolesnyk@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2739, Fax.: + 421 41 525 0000

Peter Bubeník, doc. Ing., PhD.

Katedra priemyselného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.

E-mail: peter.bubenik@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2719, Fax.: + 421 41 525 0000

Miroslav Rakyta, doc. Ing., PhD.

Katedra priemyselného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.

E-mail: miroslav.rakyta@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2737, Fax.: + 421 41 525 0000

Juraj Čapek, Ing.

Katedra priemyselného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.

E-mail: juraj.capek@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2719, Fax.: + 421 41 525 0000

Abstract: This article focuses on the technologies and methods used to manage the production process and their impact on the implementation of the marketing strategy of the manufacturing company. The marketing strategy aims to combine the market potential, desires, needs and wishes of customers with the goals and intentions of the company. It includes tools, steps and procedures that can bring real customers who will return, as well as the desired profit and the fulfillment of predetermined goals. We must also not forget how the product is produced and what technologies and methods control the production processes, because this is one of the elements of competitive advantage. Marketing is no longer just about the ability to compete and present the company in the market, but also about communication and how the customer and the company respond flexibly to customer requirements. Therefore, the processes in the company must be set up correctly and work without serious errors.

1 MARKETINGOVÁ STRATÉGIA

Marketingová stratégia v podniku je taktický proces, ktorý slúži na transformáciu podniku. Cieľom transformácie spoločnosti je nová vízia, ktorá poskytne spoločnosti konkurenčnú výhodu vo všetkých oblastiach, ako napr. komunikácia so zákazníkmi, lepšie výrobné procesy, rozhodovanie na základe reálnych dát just in time, implementácia digitalizácie a pokročilých konceptov riadenia a technológie výroby.

Technologické možnosti ľudstva sa za posledných dvadsať rokov zvýšili. Je to spôsobené najmä rozvojom informačných a komunikačných technológií a pokrokom v oblasti umelej inteligencie, genetiky a nanotechnológií. Zvýšila sa potreba spracovania veľkého množstva dát, zdieľajú sa informácie online so všetkými oddeleniami spoločnosti. V dnešnej dobe, kedy rastú predajné príležitosti, rastie povedomie o značke na internete a

je tu priestor pre konkurenciu. Zákazník nájde tovar v čo najkratšom čase a s požiadavkami, ktoré zodpovedajú jeho požiadavkám. Preto je dobré navrhnúť analýzu a marketingovú stratégiu presne podľa toho, čo je potrebné a na aký účel. Dnes je dôležité zahrnúť do stratégie najlepšie metódy a technológie riadenia výroby.

2 POKROČILÉ METÓDY RIADENIA VÝROBNÝCH PROCESOV

Spoločnosť sa neustále vyvíja, rovnako ako jej potreby. Vo svete preto vznikajú nové metódy riadenia výroby a pokročilé výrobné koncepcie, ktoré pomáhajú urýchliť výrobu.

Riadenie výrobného procesu vychádza zo zásad riadenia podľa odchýlok a rozdielov, v ktorých sa sleduje plnenie krátkodobého operačného plánu výroby a zisťujú sa rozdiely. Prostredníctvom dočasných odchýlok od plánu dochádza k

postupnému zosúladiť skutočnosti s plánom. Aby firma vedela rýchlo reagovať na požiadavky zákazníkov, je potrebné zvážiť zrýchlenie nielen procesu riadenia výroby, ale aj ďalších procesov.

Dá sa hovoriť o metódach, pokiaľ ide o stupeň riadenia:

- Hlavné ovládanie.
- Dispečerské kontroly.
- Priame ovládanie.
- Automaticky.
- Autonómne.

V súčasnosti je možné použiť technické vybavenie pre všetky metódy, kde úlohu riadenia zabezpečuje riadiaci počítač, ktorý je priamo zapojený do technologického procesu. Snahou je postupne vyradiť človeka z role rozhodcu a skôr prejsť do role supervízora, ktorý zabezpečuje dohľad nad realizáciou výroby.

Pokročilé výrobné systémy sa ďalej vyvíjajú, aby sa stali autonómnymi, rekonfigurovateľnými a inteligentnými s cieľom poskytovať najvyššiu efektívnosť. Najvyššie zvýšenie produktivity a efektívnosti je možné dosiahnuť najmä využitím nových poznatkov. So znalosťami je možné obchodovať rovnako ako s tovarom, avšak bez potreby veľkých a kapitálovo náročných firiem, skladov, materiálov, ľudských zdrojov atď. Inteligentné výrobné systémy sú dlhodobým cieľom, ktorým je iniciatíva nielen výskumných tímov, ale aj výrobných spoločností z celého sveta [2, 3].

Holonický výrobný systém je založený na koncepte takzvaných holonov. V holonických výrobných systémoch sa vhodné výrobné parametre nastavujú autonómne. Hľadajú si vlastné stratégie riešenia, ktoré vytvárajú vlastnú štruktúru. Systémy sú založené na dynamickej spolupráci rýchlo sa prispôbujúcich zariadení, ktoré dokážu spoločne riešiť zložité problémy bez toho, aby boli neekonomické a neefektívne z dôvodu zložitosti. Spája sa rýchlou adaptabilita úplne autonómnych, voľne prepojených systémov so stabilitou a efektívnosťou klasických hierarchických systémov. Inteligentné holonické systémy nie sú jednoduché automatizované fyzické štruktúry, ale skôr samoorganizujúce sa entity vytvorené človekom, ktoré majú svoje vlastné autonómne úsilie a ktoré sú zmesou fyzického a virtuálneho sveta.

Jedným z príkladov použitia holonických systémov sú navigačné cestné mapy. Agenti v systéme používajú tieto mapy (základné modely) v kombinácii so stratégiou na navigáciu z aktuálnej pozície do cieľovej pozície.

Nevyhnutná technológia riadenia je založená na koncepte holónov, čo sú výrobné jednotky a správajú sa ako autonómne a kooperatívne prostriedky,

poskytujúce flexibilitu, prispôbivosť, obratnosť a dynamickú rekonfigurovateľnosť. Takto riadená výroba má všetkých agentov s určitou formou inteligencie a nepotrebuje centrálnu jednotku. Znamená to, že systém je úplne decentralizovaný, v systéme nie je žiadne prioritné zariadenie, všetci účastníci sa z hľadiska dôležitosti považujú za rovnocenných. Každá jednotka systému má svoje identifikačné číslo a fyzickú adresu. Všetci účastníci v systéme spolu komunikujú pomocou vopred definovaného protokolu.

Agentné systémy možno klasifikovať ako jednoagentové a multiagentové systémy. V systémoch s jedným agentom agent vykonáva úlohu v mene používateľa alebo špecifického procesu a pri vykonávaní úlohy môže agent komunikovať s používateľom a zdrojmi lokálneho alebo vzdialeného systému. Povinnými atribútmi jednoagentových systémov sú autonómia, rozhodovanie, časová kontinuita, orientácia na cieľ a môžu mať aj prívlastok inteligencie.

Systémové aplikácie s jedným agentom zahŕňajú osobných asistentov, plánovanie stretnutí, vyhľadávanie a filtrovanie informácií, správu pošty, agenta na filtrovanie správ, vyhľadávacích agentov a ďalšie. Tu je počítačový program agenta, ktorý pomáha používateľovi, ktorý sa zaoberá konkrétnou počítačovou aplikáciou. Môžu poskytovať niektoré služby s pridanou hodnotou, ktoré môžu byť súčasťou balíka informačných služieb, keď vykonávajú rôzne typy úloh pri komunikácii so svojimi používateľmi alebo zdrojmi [1, 5].

Multi-agentový systém (MAS) pozostáva zo siete výpočtových agentov, ktorí spolu interagujú a zvyčajne komunikujú. Agenti môžu mať len čiastočný (a v istom zmysle skreslený) model svojho prostredia, môžu mať obmedzený súbor zdrojov na získavanie a integráciu nových poznatkov do svojich modelov a na posúvanie stavu systému k vlastným cieľom.

MAS založené na statických činiteľoch sa používajú v rôznych aplikáciách, ako je distribuované monitorovanie vozidiel, počítačová integrovaná výroba, analýza prirodzeného jazyka, správa telekomunikácií a sietí, údržba lietadiel, plánovanie vojenskej logistiky, simulácia reálneho sveta, šírenie satelitných snímok, systém komunikácie s návštevníkmi atď. [9, 11].

3 PODPORNÉ TECHNOLOGIE PRE RIADENIE VÝROBNÝCH PROCESOV

Podniky musia zvážiť technológie, ktoré používajú na zber, spracovanie a analýzu údajov potrebných pre efektívny proces riadenia výroby. V oblasti priemyselného inžinierstva výrazne rezonuje koncept *Industry 4.0*. Výrobný proces generuje obrovské

množstvo dát a informácií, čo vytvára tlak na používanie asistenčných technológií. Nové produkčné systémy generujú nepredstaviteľné množstvo údajov, ktoré bude potrebné inteligentne filtrovať, agregovať, reprezentovať a uchovávať v redukovanej forme. Súčasný pokrok si vyžaduje používanie podporných technológií ako sú [4]:

Cloud Computing je jednou z najmodernejších výpočtových technológií, ktorá pomáha vyriešiť problémy s dynamickým rastom dát a rastúcou potrebou výpočtových jednotiek, ktoré sú schopné dáta spracovať a analyzovať v primeranom čase. *Cloud computing* poskytuje množstvo úložného priestoru, výpočtové siete, hardvérové a softvérové zdroje ako služby, bez potreby rozsiahlej konfigurácie a na požiadanie podľa potreby. Softvérové riešenia zabezpečujú informácie o produkcii, ktoré sa neustále zhromažďujú v cloude a tak v reálnom čase umožňuje vytvoriť požadované analýzy. *Cloud Computing* je možné využiť aj vo všetkých ostatných procesoch v podniku, napríklad v procese plánovania alebo v procese údržby, skladovania. Vďaka informáciám v *Cloude* a prepojeniu s *IoT* je výroba efektívna pri spájaní práce ľudí a kolaboratívnych robotov.

The Internet of Things, internet vecí je kľúčom k premene akéhokolvek systému na inteligentný. Aby internet vecí (*IoT*) bol prínosom pre výrobný priemysel tým, že spája objekty cez sieť a na diaľku riadi existujúcu sieťovú infraštruktúru, čím otvára príležitosti na integráciu výrobného sveta do počítačových systémov, zlepšuje efektivitu výroby, presnosť produktov a ekonomický rast a minimalizuje ľudský zásah. Na splnenie požiadaviek moderných systémov sa používajú najnovšie operačné systémy. Existuje mnoho platforiem pre internet vecí, ktoré boli vyvinuté.

IoT je možné využiť na nevýrobných zariadeniach ako sú kompresory, zásobníky vody, príkony, sledovanie spotreby energie, možno ho využiť aj vo výrobných zariadeniach, napríklad na plniacej linke na sledovanie počtu prichádzajúcich fliaš dopravníkom alebo monitorom obrábací stroj. Tak je tiež možné sledovať dáta prichádzajúce z *PLC*, aby ste zistili, či stroj funguje správne. Existuje teda veľa rôznych miest, kde *IoT* predstavuje pridanú hodnotu. Vo svojom jadre *IoT* spája veci prostredníctvom siete.

IoT je systém vzájomne prepojených senzorov a keď treba spracovať dáta, treba pridať niekoľko vrstiev. Internet vecí môže využívať aj umelú inteligenciu (*AI*) a strojové učenie na uľahčenie a dynamizáciu procesov zberu údajov.

Big Data, technológia popisuje údaje, ktoré môžu mať veľký objem alebo rozmanitosť, ktoré možno zbierať vysokou rýchlosťou s potenciálne vysokou

alebo nízkou dôveryhodnosťou. Pre hodnotné informácie sú potrebné stále špecifickejšie analytické technológie.

Technológia *Big Data* sa dá použiť na rôzne účely, napríklad na:

- Predikcia nehôd a optimalizácia výroby.
- Plánovanie nákladnej dopravy a optimalizácia trasy.
- Osobné ponuky a optimalizácia rozloženia produktov.
- Zvýšiť zisky a prilákať zákazníkov.

Výrobné spoločnosti skúmajú znižovanie nákladov na produkty a spôsoby optimalizácie výroby. Zhromažďujú množstvo údajov o prevádzke strojov, percentách odpadu v jednotlivých fázach výroby a následne ich analyzujú, firmy sa snažia získať odpovede na otázky:

„Za akých podmienok sa najčastejšie vyskytujú zlé kusy?“ alebo „Ktoré fázy výroby trávajú väčšinu času a prečo?“ alebo „Ktoré testy produktov sú málo užitočné a neposkytujú nové informácie?“ alebo „Ako môžeme optimalizovať a urýchliť ich prácu v jednotlivých fázach výroby?“ alebo „Ako znížiť spotrebu materiálu?“.

Logistické procesy, ako je preprava tovaru, sú tiež ovplyvnené mnohými rôznymi faktormi: nakladacie sklady, dopravné zápchy, stav vozového parku, umiestnenie čerpacích staníc. Factory hľadajú odpovede na otázky, ako skombinovať všetky tieto faktory a porovnať ich vplyv. Odpoveďou je analyzovať, ako možno efektívnejšie plánovať trasy a dodacie lehoty, aby sa predišlo prestojom.

Artificial Intelligence, umelú inteligenciu, možno rozdeliť na dva typy:

- Softvér: virtuálni asistenti, softvér na analýzu obrazu, vyhľadávacie nástroje, systémy rozpoznávania reči a tváre.
- Vstavané zariadenia: roboty

Priemysel 4.0 má významný vplyv na globálnu výrobu a priemyselný rozvoj, využíva technológie ako: *Cloud Computing*, Internet vecí (*IoT*), internetové služby (*IoS*), analýza veľkých dát a umelá inteligencia (*AI*) na optimalizáciu výroby v reálnom čase. a uľahčiť vertikálnu, horizontálnu a komplexnú integráciu.

Softvér, ktorý má *AI*, sa dá použiť na vyhľadávanie nezrovnalostí a chýb, ktoré prechádzajú zostatkom. Takýto softvér potrebuje niekoľko obrázkov produktu na odhalenie nedostatkov vo veľmi krátkom časovom rámci.

V inteligentných továrňach inšpirovaných moderným výrobným priemyslom uľahčuje používanie *AI* rýchle rozhodovanie na základe údajov v reálnom čase a historických údajov s minimálnym zapojením

ľudí. S pomocou *AI* je teda možné vytvoriť vzdialený systém mechanického dizajnu produktov, ktorý využíva *AI* na spracovanie obrazu a rozpoznávanie vzorov a využíva bezdrôtovú komunikáciu klient/server. Pomocou *AI* je možné navrhnúť algoritmus, ktorý predpovedá zostávajúcu životnosť a použiteľnosť priemyselných zariadení [6-8, 10].

4 VZŤAH METÓD RIADENIA VÝROBY, TECHNOLOGIÍ A MARKETINGOVEJ STRATÉGIE

Je dôležité si uvedomiť, že v marketingu marketingová stratégia ovplyvňuje všetky procesy, ktoré prebiehajú v podniku. Na dosiahnutie vytýčených cieľov a pružnú reakciu na zmeny vo firme je potrebné správne nastaviť prebiehajúce procesy vo výrobe.

Marketingová stratégia je plán procesov, ktoré zabezpečia plnenie cieľov konkrétneho podniku. Pre spoločnosť je to tiež efektívny spôsob, ako si udržať udržateľnú konkurenčnú výhodu so zameraním na potreby a želania zákazníkov. Hlavne ide o optimalizáciu a zvyšovanie produktivity výroby a všetkých podnikových procesov.

Špecifikácia cieľa je jedným z kľúčových krokov pri formulovaní stratégie. Spoločnosť musí definovať jasné ciele, aby určila, ako tieto ciele dosiahnuť.

Ciele musia byť vždy založené na podrobnom výskume, nie na predchádzajúcich výsledkoch, odhadoch alebo prirodzenej intuícii. Pri zostavovaní marketingovej stratégie musí podnik vykonať podrobnú analýzu.

Správne určiť stratégiu spoločnosti, ktorá zahŕňa určenie poslania spoločnosti a stanovenie jej základných strategických cieľov. Existujú určité ciele na založenie organizácie, ale časom sa môžu zmeniť.

Preto je potrebné vykonávať priebežnú marketingovú analýzu. Marketingová analýza začína komplexnou situačnou analýzou. Spoločnosti potrebujú analyzovať svoj trh a marketingové prostredie, aby našli atraktívne príležitosti a vyhli sa konverziám s okolím. Potrebuje analyzovať svoje silné a slabé stránky, získať informácie o sprostredkovateľoch, zákazníkoch, konkurencii a iných trhových faktoroch.

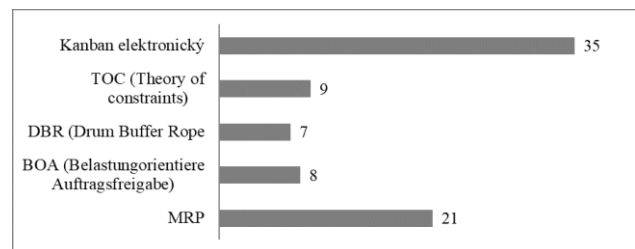
Vzniká otázka do akej miery môže ovplyvniť výber metód a technológií riadenia výroby naplnenie marketingovej stratégie. V rámci projektu vznikla úloha zistiť prostredníctvom prieskumu firiem používanie metód a technológií v procese riadenia výroby a ich vplyv na výkonnosť výrobného podniku pre zvolenú marketingovú stratégiu. Tento výskum pozostáva z dotazníka, v ktorom boli identifikované

firmy, metódy a technológie pre riadenie a používané marketingové stratégie.

Cieľom výskumu bolo identifikovať vzťah medzi úspešnými metódami, technológiami riadenia výroby a použitými marketingovými stratégiami.

Prieskumu sa zúčastnila vzorka 150 spoločností. Stručný popis reprezentatívnej vzorky zúčastnených spoločností v dotazníku. Najväčší podiel opýtaných bol z automobilového priemyslu (67 %).

Jenou z otázok prieskumu sa týkala zistenia používaných metód riadenia vo výrobe. Z prieskumu vyplýva, že najpoužívanejšou metódou riadenia je *Kanban* (obr. 1)



Obr. 1. Používané metódy riadenia výroby

K najpoužívanejším technológiám sa zaradila technológia *Cloud Computing*. Veľký záujem bol o *Data mining* a *Big data*. Z výsledkov dotazníkov vyplýva, že firmy už zbierajú dáta, ale ešte nevyužívajú požadovanú analýzu dát na získanie konkurenčnej výhody (obr. 2).

Je relevantné zistiť, ako má firma nastavenú komunikáciu so zákazníkmi, pretože spôsob komunikácie vo veľkej miere ovplyvňuje, ako flexibilne bude firma reagovať na zmeny a aké metódy a technológie sú nastavené na riadenie výrobného procesu.

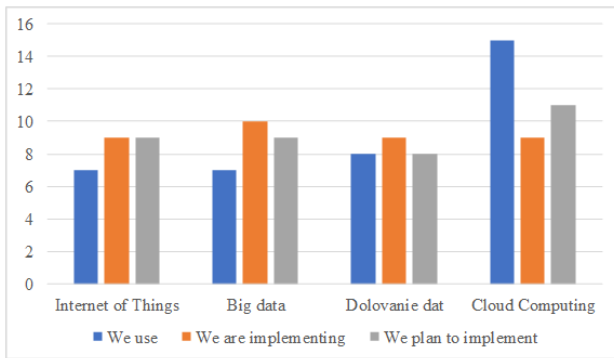
Ukázalo sa, že 35 % opýtaných používa na komunikáciu web. Zaujímavosťou je, že 14 % opýtaných preferuje osobné stretnutie. Tento spôsob komunikácie je najvhodnejší pre sériový prenos, keď je špeciálny kontakt veľmi dôležitý (obr. 3).

Dôležitou otázkou je aj to, ako je nastavená stratégia firmy, či je prispôbená vnútornému prostrediu alebo vonkajšiemu prostrediu. Táto otázka odpovedá na to, čo je pre továreň dôležité.

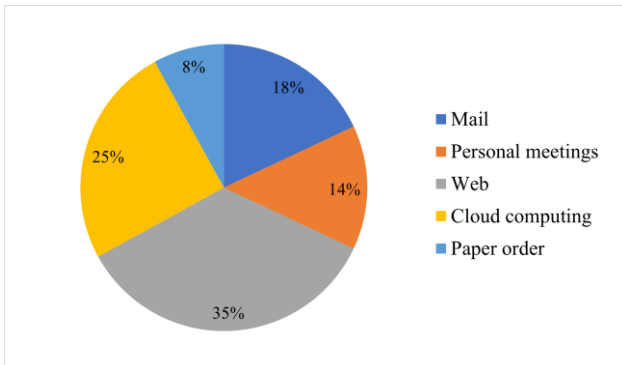
Vnútorné faktory, ktoré sú ovplyvnené použitými technológiami a metódami alebo aj ľudskými zdrojmi. A vonkajšie faktory, ktoré ovplyvňuje priemysel a konkurencia či dokonca samotný trh.

Ukázalo sa, že 59 % opýtaných má nastavenú stratégiu pre vnútorné prostredie firmy (obr.5.).

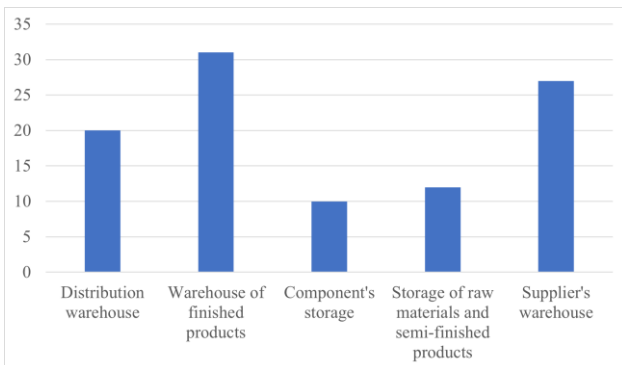
Prieskum ukázal, že 33 respondentov preferuje, aby miesto odpojenia objednávkou zákazníka bolo v sklade surovín a polotovarov (obr.4.).



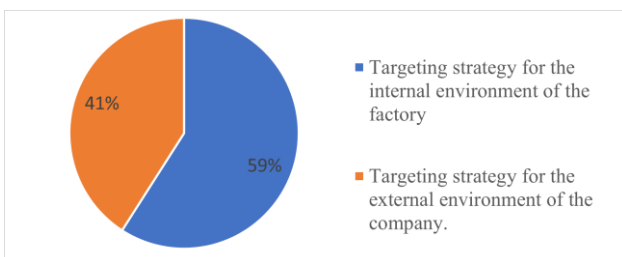
Obr. 2. Používané progresívne technológie



Obr. 3. Spôsoby komunikácie



Obr. 4. Miesto odpojenia objednávky



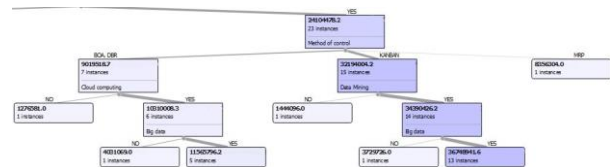
Obr. 5. Použitá marketingová stratégia

5 HODNOTENIE VPLYVU METÓD A TECHNOLÓGIÍ RIADENIA NA MARKETINGOVÚ STRATÉGIU

Pre získanie odpovede na hypotézu či používanie vybraných metód a technológií v procese riadenia výroby vplyvajú kladne alebo záporne na zvolenú marketingovú stratégiu. Prostredníctvom navrhnutého modelu bol porovnávaný vplyv na výkonnosť výrobného podniku pri použití vybraných

technológií a plnení zvolených marketingových stratégií.

Model pozostáva z charakteristík spoločnosti, ktorá zahŕňa skupinu informácií ako typ odvetvia, typ použitého zariadenia, technológie používané na riadenie výroby, ako aj získané charakteristiky použitej marketingovej stratégie. Na vyhodnotenie hypotézy bol použitý systém analýzy dát *ORANGE*. Z realizovaných testov na skúmaných spoločnostiach boli podľa použitej stratégie zistené, že podniky, ktoré majú necielenú stratégiu pre vonkajšie prostredie, nevykazujú hodnoty sledovanej výkonnosti a efektívnosti výroby uspokojujúce aj z pohľadu hodnotenia samotnej spoločnosti. Podniky, ktoré majú stratégiu, ktorá nie je zameraná len na vnútorné prostredie, boli ziskovnejšie a efektívnejšie. Zo zistených testov bolo zistené, že spoločnosti líšili podľa použitých metód a technológií vo výrobnom procese.



Obr. 6. Analýza použitých metód riadenia

Ďalej pri rozdelení spoločností podľa použitia metód riadenia sa ukázalo, že spoločnosti využívajúce systém *KANBAN* sú výhodnejšie ako spoločnosti využívajúce systémy *MRP* alebo *BOA*, *DBR*. (obr. 6). Analýza používania technológií uvedených v predchádzajúcej kapitole prispievku preukázala, že vysokou mierou ovplyvňujú výber marketingovej stratégie.

ZÁVER

Úspech výrobnnej spoločnosti závisí od uspokojovania vznikajúcich spoločenských a trhových potrieb. Postupom času sa však trhy presýtili a dopyt už nebol konštantný, ale bol predvídateľný. V tom momente trh prestal byť homogénny a začali sa uplatňovať flexibilné výrobné systémy, ktoré spoločnostiam umožňujú uspokojiť potreby. Z príspevku vyplýva, že je potrebné aby každá firma dôsledne reagovala na výber metód a technológií riadenia výrobných procesov v súlade s postavenou marketingovou stratégiou. Spoločnosti, ktoré sa rozhodnú pre implementáciu pokročilých výrobných koncepcií, musia neustále analyzovať marketingové prostredie v ktorom pôsobia aby sa investícia vložená do technológií v požadovanej miere vrátila.

Podakovanie

This research was funded by Slovak research and development agency, grant number APVV-19-0305.

REFERENCES

- [1] DEEN, S. M. (2003): *Agent-Based Manufacturing: Advances in the Holonic Approach*.
- [2] FURMANN, R. - FURMANNOVÁ, B. - WIECEK, D. (2017): *Interactive design of reconfigurable logistics systems*. High Tatras, SLOVAKIA.
- [3] GRZNÁR, P. - GREGOR, M. - MOZOL, Š. - KRAJČOVIČ, M. - DULINA, Ľ. - GAŠO, M. - MAJOR, M. (2019): *A system to determine the optimal work-in-progress inventory stored in interoperation manufacturing buffers*. In: Sustainability. ISSN 2071-1050.
- [4] CHENG, T. - TEIZER, J. (2010): *Real-time data collection and visualization technology in manufacturing*. Manufacturing Research Congress.
- [5] JARVIS, D.H. - JARVIS, J.H. (2003): *Holonic Diagnosis for an Automotive Assembly Line*. In: Agent-Based Manufacturing: Advances in the Holonic Approach.
- [6] KRAJČOVIČ, M. - GABAJOVÁ, G. - FURMANNOVÁ, B. - VAVRIK, V. - GASO, M. - MATYS, M. (2021): *A Case Study of Educational Games in Virtual Reality as a Teaching Method of Lean Management*. In: Electronics.
- [7] ŤAŽKÝ, M. - RAKYTA, M. (2006): *Increasing the effectiveness of service activities*. In: Management: journal of contemporary management issues.
- [8] PAPPA, J. - TOKODYB, D. - FLAMMINIC, F. (2018): *From traditional manufacturing and automation systems to holonic intelligent systems*. In: Procedia Manufacturing.
- [9] VAVRÍK, V. - GREGOR, M. - MARSCHALL, M. - GRZNÁR, P. - MOZOL, Š. (2019): *The design of manufacturing line configurations with multiagent logistics system*. In: TRANSCOM.
- [10] ZHANG, Y. (2019): *Research on key technologies of remote design of mechanical products based on artificial intelligence*.
- [11] MICIETA, B. - EDL, M. - KRAJČOVIČ, M. - DULINA, Ľ. - ĎURICA, L. - BIŇASOVÁ, V. (2018): *Delegate MASs for coordination and control of one-directional AGV systems: a proof-of-concept*. In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology [print, electronic]. Roč. 94, č. 1-4, s. 415-431, ISSN 0268-3768.

Vplyv tepelného spracovania na morfológiu intermetalických fáz v zliatinách Al-Si-Cu-Mg

Martina Sýkorová, Ing.*

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: martina.sykorova@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2771

Dana Bolibruchová, prof. Ing., PhD.

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: danka.bolibruchova@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2772

Effect of heat treatment on the morphology of intermetallic phases in Al-Si-Cu-Mg alloys

Abstract: The present study was undertaken to examine the effect of iron, copper and magnesium on the morphology of intermetallic phases of *Al-Si-Cu-Mg*-based alloys under different heat treatment conditions. Due to the heat treatment *T5*, there isn't significant change in the morphology of the intermetallic phases Mg_2Si and Al_2Cu , which is beneficial for the resulting mechanical properties of the castings. Further, spheroidization of eutectic silicon is not noted. In general, precipitation hardening of *Al-Si* based alloys, due to the presence of intermetallic phase Mg_2Si and Al_2Cu is a result of heat treatment *T6*. The morphology of *Fe*-rich phases is not changed by *T6*. The positive effect of heat treatment on the morphology of *Fe*-rich phases is recorded with the simultaneous effect of additive elements such as *Mn*, *Zr*, *Co*. The ability to predict intermetallic phases is important in terms of determining the resulting mechanical properties of *Al-Si-Cu-Mg* castings.

ÚVOD

Al-Si zliatiny nachádzajú uplatnenie v automobilovom a leteckom priemysle v dôsledku vynikajúcich zlievarenských vlastností, koróznej odolnosti, odolnosti voči opotrebeniu a vyhovujúcich mechanických vlastností. Mechanické vlastnosti *Al-Si* zliatin závisia od chemického zloženia, technológie odlievania, rýchlosti tuhnutia, obsahu Si a prítomných intermetalických fáz.

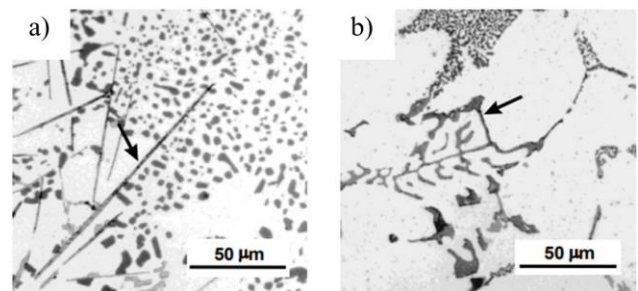
Tvorbu intermetalických fáz rôzneho chemického zloženia spôsobujú legujúce prvky a prímеси, ktoré sú v zliatinách na báze *Al* prítomné. Legujúce prvky *Mg* a *Cu* významne zvyšujú mechanické vlastnosti prostredníctvom intermetalických fáz Mg_2Si a Al_2Cu , ktoré v dôsledku tepelného spracovania spevnia tuhý roztok α (*Al*). Dôležitú súčasť mikroštruktúry *Al-Si-Cu-Mg* zliatin tvoria intermetalické fázy na báze *Fe*, ktoré negatívne ovplyvňujú výsledné mechanické vlastnosti zliatiny. *Fe* je škodlivý prvok, ktorý nemožno efektívne odstrániť zo zliatin *Al*.

Cieľom tepelného spracovania *Al-Si-Cu-Mg* zliatin je transformovať morfológiu eutektického *Si* a dosiahnuť maximálnu rozpustnosť a homogénnosť legujúcich prvkov v tuhom roztoku α (*Al*). Štúdia skúma vplyv tepelného spracovania *T5* a *T6* na zliatinu *Al-Si-Cu-Mg*.

1 INTERMETALICKÉ FÁZY NA BÁZE *Fe*

Fe vytvára tvrdé a krehké intermetalické fázy. Koncentrácia *Fe*-fáz závisí od hm. % *Fe*. Intermetalické *Fe*- fázy majú negatívny účinok na ťažnosť, pevnosť, húževnatosť a pórovitosť odliatkov.

V zliatinovom systéme *Al-Si-Cu-Mg* sú dominantné stabilne fázy β ($Al_{15}FeSi$) a α ($Al_{12}Fe_2Si_2$) [2, 7].



Obr. 1. Intermetalické fázy na báze *Fe*:
a) β -fáza, b) α -fáza [2]

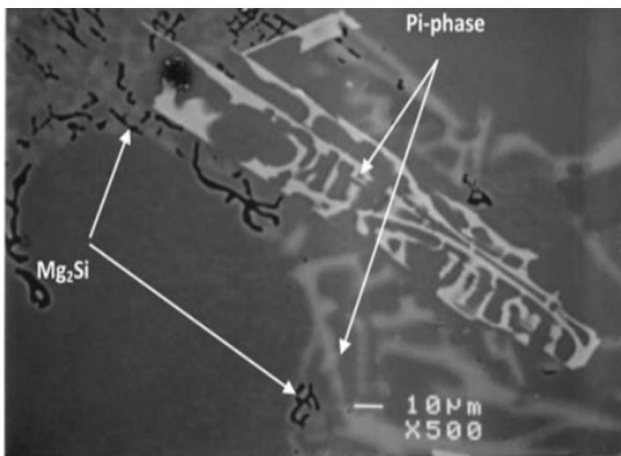
V rovine metalografického výbrusu možno β -fázu pozorovať vo forme dlhých ihlíc, ktorých konce pôsobia ako koncentrátoři napätia (obr. 1a). Škodlivé účinky β -fázy možno eliminovať pridaním prísadových prvkov (*Mn*, *Cr*, *Be*). Dochádza k zmene morfológie β -fáz vylúčených v podobe ihlíc na energeticky výhodnejší stav napr. kostrové útvary,

tvar čínskeho písma. Fázu β možno ďalej eliminovať zmenou rýchlosti ochladzovania, čím dochádza k vylučovaniu fázy α ($Al_{12}Fe_2Si_2$). Na obr. 1b, možno pozorovať fázu α ($Al_{12}Fe_2Si_2$) vylúčenú vo forme kostrových útvarov, ktoré majú priaznivejší vplyv na mechanické vlastnosti [1, 2, 7].

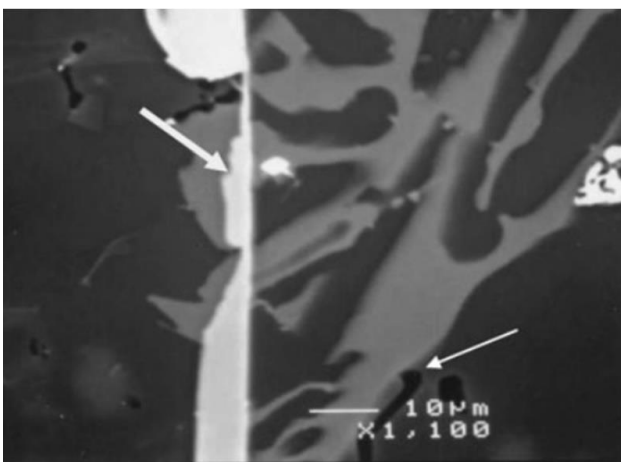
2 INTERMETALICKÉ FÁZY NA BÁZE Mg

Mg sa podieľa na tvorbe intermetalických fáz Mg_2Si . V rovine metalografického výbrusu zliatiny v liatom stave možno pozorovať fázu Mg_2Si vo forme jemných kostrových útvarov (obr. 2). Intermetalické fázy Mg_2Si majú tendenciu vylučovať sa po hraniciach intermetalickej fázy π [2, 4].

Vplyvom prísady Mg dochádza k transformácii ihlicovej intermetalickej fázy β (Al_5FeSi) na fázu π ($Al_8FeMg_3Si_6$). Na obr. 2 možno pozorovať intermetalickú fázu π vo forme kostrových útvarov. Transformácia intermetalickej fázy β na fázu π je sprevádzaná zmenou prierezu intermetalických fáz, ako možno vidieť na obr. 3. Veľkosť a koncentrácia fázy π závisí od koncentrácie Fe , Mg , Sr a Be [1, 2].



Obr. 2. Intermetalické fázy Mg_2Si a π ($Al_8FeMg_3Si_6$), REM [2]

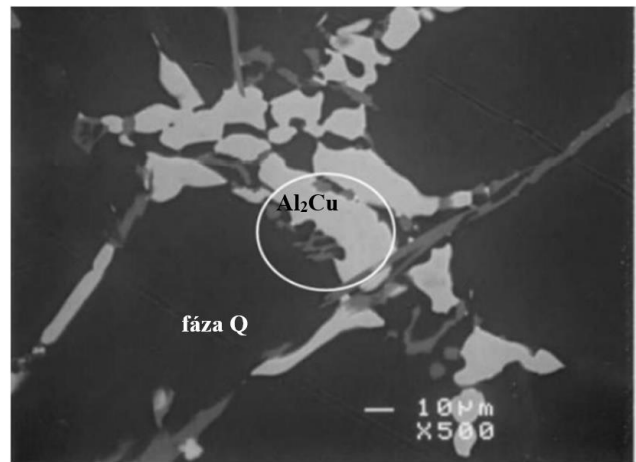


Obr. 3. Transformácia fázy- β na fázu- π ($Al_8FeMg_3Si_6$), REM [2]

3 INTERMETALICKÉ FÁZY NA BÁZE Cu

V štruktúre $Al-Si-Cu-Mg$ zliatin sú prítomné aj intermetalické fázy bohaté na Cu . Prísada Cu v zliatinách $Al-Si-Cu-Mg$ znižuje ťažnosť, zhoršuje koróznú odolnosť a zvyšuje tvrdosť a pevnosť.

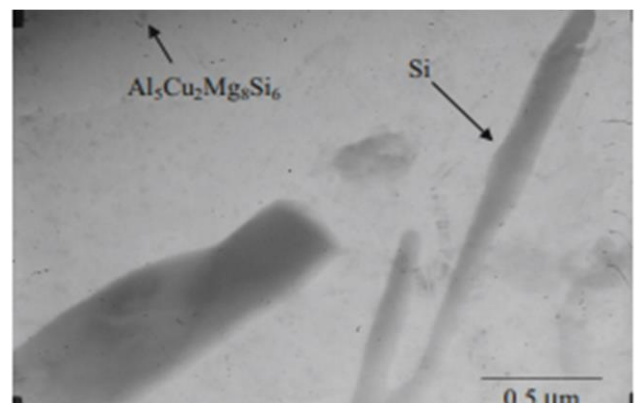
Na obr. 4 možno pozorovať intermetalické fázy θ - Al_2Cu a Q ($Al_5Cu_2Mg_8Si_6$), ktoré sú vylúčené vo forme hrubých blokových útvarov. Takto vylúčené intermetalické fázy nemajú pozitívny účinok na výsledné mechanické vlastnosti zliatiny. Intermetalická fáza Al_2Cu pôsobí ako potenciálny nukleačný zárodok pre rast intermetalickej fázy Q ($Al_5Cu_2Mg_8Si_6$) [2, 3].



Obr. 4. Intermetalická fáza Al_2Cu a fáza Q ($Al_5Cu_2Mg_8Si_6$), REM [2]

4 VPLYV T5 NA MOROFOLÓGIU INTERMETALICKÝCH FÁZ

Vytvrdzovanie $Al-Si-Cu-Mg$ zliatin prostredníctvom tepelného režimu $T5$ pozostáva z umelého starnutia uskutočneného pri nízkych teplotách bez homogenizačného žihania. Tepelné spracovanie $T5$ sa aplikuje s cieľom stabilizovania rozmerov a tvarov odliatkov.



Obr. 5. Intermetalická fáza Q zliatiny $Al-Si-Cu-Mg$ po aplikácii $T5$ [5], TEM

Nízkoteplotný režim nevedie k precipitačnému vytvrdzovaniu zliatiny prostredníctvom intermetalických fáz Mg_2Si a Al_2Cu . Zvýšenie

mechanických vlastností vplyvom $T5$ je dôsledkom homogénneho rozloženia intermetalických fáz Q ($Al_3Cu_2Mg_8Si_6$) a π ($Al_3FeMg_3Si_6$) v porovnaní s liatym stavom [5].

Ako možno vidieť na obr. 5, vplyvom tepelného spracovania $T5$ nedochádza k sféroidizácii eutektického Si a k zmene morfológie intermetalických fáz na báze Fe . Na obr. 5 možno pozorovať homogénne rozloženie precipitátov ($Al_3Cu_2Mg_8Si_6$) [5].

5 VPLYV $T6$ NA MORFOLÓGIU INTERMETALICKÝCH FÁZ

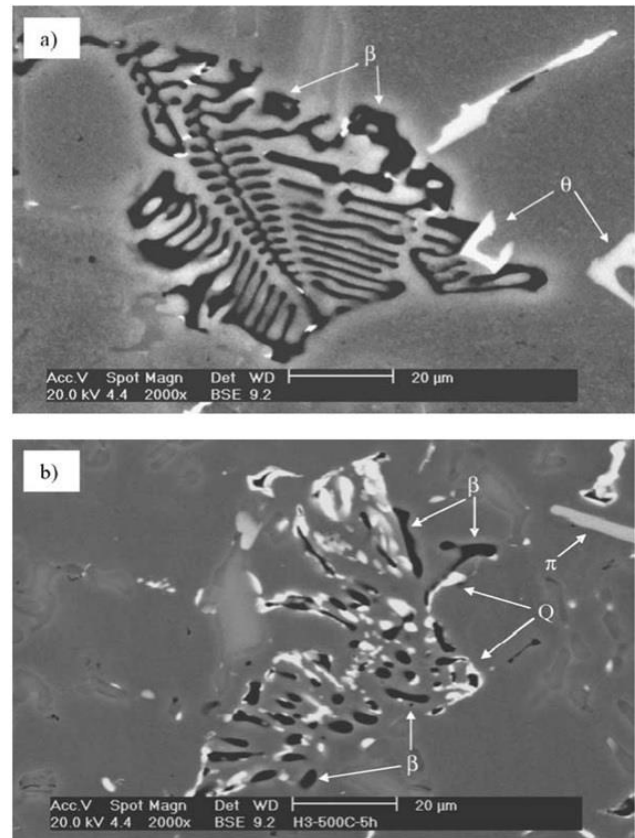
Tepelné spracovanie $T6$ pozostáva z troch etáp:

- Rozpúšťacie žihanie – ohrev nad krivku zmeny rozpustnosti s cieľom získať presýtený tuhý roztok α (Al).
- Rýchle ochladzovanie z homogenizačnej teploty.
- Precipitačné vytvrdzovanie – difúzny po-chod, pri ktorom sa ochudobňuje presýtený tuhý roztok α (Al) za vzniku semikoherentných a koherentných precipitátov zvyšujúcich mechanické vlastnosti [3].

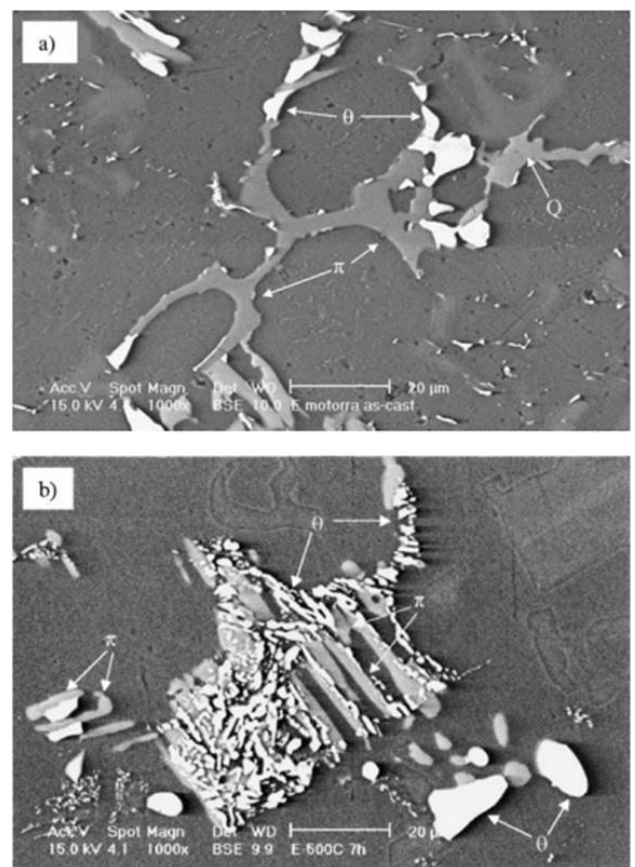
Vplyvom tepelného režimu $T6$ dochádza v zliatinách $Al-Si-Cu-Mg$ k rozpadu pôvodne kompaktných útvarov Mg_2Si a Al_2Cu , ktoré sa v priebehu starnutia vylúčia vo forme precipitátov. Z hľadiska predikcie výslednej mikroštruktúry zliatiny $Al-Si-Cu-Mg$ po tepelnom spracovaní je významný pomer $Cu : Mg$. Štúdie preukázali, že pri nízkych hodnotách pomeru $Cu : Mg$ dochádza prevažne k vylučovaniu Q - fázy ($Al_3Cu_2Mg_8Si_6$). Naopak pri vyššom pomere $Cu : Mg$ možno vo výslednej mikroštruktúre pozorovať vo väčšej miere intermetalickú fázu Al_2Cu [5, 6].

Na obr. 6a, možno pozorovať mikroštruktúru $Al-Si-Cu$ zliatiny pred tepelným spracovaním. Intermetalické fázy Al_2Cu a Q ($Al_3Cu_2Mg_8Si_6$) sú vylúčené v podobe hrubých kompaktných útvarov, ktoré negatívne ovplyvňujú mechanické vlastnosti zliatiny v liatom stave. Fázu π možno pozorovať vo forme hrubých kostrových útvarov. Vplyvom tepelného spracovania $T6$ dochádza k vylúčeniu drobných precipitátov Al_2Cu pozdĺž intermetalických fáz na báze Fe , ktoré môžu pôsobiť ako nukleačné zárodky (obr. 6b). Intermetalická fáza π nadobudla vplyvom $T6$ kompaktnjší tvar. Štúdie preukázali, že hustota intermetalickej fázy Al_2Cu vzrastá s narastajúcim časom rozpúšťacieho žihania. Naopak početná hustota Q -fázy klesá s narastajúcim časom rozpúšťacieho žihania [5].

Na obr. 7a, možno pozorovať mikroštruktúru $Al-Si-Mg-Cu$ zliatiny pred tepelným spracovaním. Intermetalická fáza β - Mg_2Si je vylúčená v podobe kostrových útvarov. Fáza Al_2Cu je vylúčená vo for-



Obr. 6. Intermetalické fázy β - Mg_2Si , θ - Al_2Cu , π ($Al_3FeMg_3Si_6$), Q ($Al_3Cu_2Mg_8Si_6$): a) liaty stav, b) tepelné spracovanie $T6$ [5], REM



Obr. 7. Intermetalické fázy θ - Al_2Cu , π ($Al_3FeMg_3Si_6$), Q ($Al_3Cu_2Mg_8Si_6$): a) liaty stav, b) tepelné spracovanie $T6$, [5], REM

me hrubých kompaktných útvarov. Vplyvom tepelného spracovania T6 dochádza k rozpúšťaniu intermetallickej fázy Mg_2Si , ktorá sa následne vylúči vo forme malých precipitátov. Fáza β - Mg_2Si bola čiastočne nahradená fázou Q ($Al_5Cu_2Mg_8Si_6$) (obr. 7b) [4, 5].

Vplyvom tepelného spracovania T6 nedochádza k zmene morfológie intermetalických fáz na báze Fe. K rozpúšťaniu intermetalických fáz na báze Fe dochádza pri dlhodobom tepelnom spracovaní za pôsobenia vysokých teplôt. Dlhodobé tepelné spracovanie s účelom zmeny morfológie Fe-fáz je ekonomicky a ekologicky nevýhodné. Pozitívny vplyv tepelného spracovania na morfológiu intermetalických fáz je zaznamenaný so súčasným účinkom prísadových prvkov, ako napr. Mn, Zr, Co, Mo [3, 7].

ZÁVER

Zliatiny na báze Al-Si-Cu-Mg sú významné zliatiny pre aplikácie používané v automobilovom a leteckom priemysle. Al-Si-Cu-Mg disponujú výhodnou kombináciou mechanických a zlievarenských vlastností, ktoré úzko súvisia s prítomnými intermetalickými fázami.

Legujúce prvky Mg a Cu zvyšujú mechanické vlastnosti prostredníctvom intermetalických fáz, ktoré v dôsledku tepelného spracovania spevnia tuhý roztok prostredníctvom intermetalických fáz Mg_2Si a Al_2Cu . Negatívne ovplyvnenie mechanických vlastností je spôsobené prítomnosťou intermetalických fáz na báze Fe, ktoré sú ťažko rozpustné konvenčnými postupmi tepelného spracovania.

Vplyvom tepelného spracovania T5 nedochádza k významným zmenám morfológie eutektického Si, Mg_2Si a Al_2Cu . Mechanické vlastnosti sú zvýšené prostredníctvom rovnomernejšieho rozloženia fázy Q v porovnaní s liatym stavom.

Vplyvom tepelného spracovania T6 dochádza k sféroidizácii eutektického Si a k vylúčeniu

semikoherentných a koherentných precipitátov Mg_2Si a Al_2Cu . Pozitívny vplyv tepelného spracovania na morfológiu Fe-fáz je zaznamenaný so súčasným účinkom prísadových prvkov.

Pod'akovanie

Článok bol vytvorený v rámci projektu grantovej spoločnosti KEGA 022ŽU-4/2021. Autori ďakujú agentúre za podporu.

LITERATÚRA

- [1] CHAUDHURY, S. K. et al. (2015): *Microstructure and mechanical properties of heat-treated B319 alloys Diesel cylinder heads*: Metallurgical and Materials Transactions, Vol. 46, 3276-3286 p.
- [2] LASA, L. - RODRIGUEZ-IBABE, J. M. (2004): *Evolution of the main intermetallic phases in AL-Si-Cu-Mg casting alloys during solution treatment*. Journal of Materials Science, Vol. 39, 1343-1355 p.
- [3] MOHAMED, A. M. A. - SAMUEL, F. H. (2012): *A review on the heat treatment of Al-Si-Cu/Mg castings alloys*. Intech, 55-72 p.
- [4] BINGRONG, Z. et al. (2020): *Achievement of high strength and ductility in Al-Si-Cu-Mg alloys by intermediate phase optimization in As-cast and heat treatment conditions*. Materials, Vol. 13, 14 p.
- [5] MOHAMED, A. M. A. et al. (2012): *Intermetallics formation during solidification of Al-Si-Cu-Mg cast alloys*. Materials, Vol. 15, 26 p.
- [6] SANG-WON, K. et al. (2021): *Experimental investigation n tensile properties and yield strength modelling of T5 heat-treated counter pressure cast A356 aluminum alloys*. Metals, Vol. 11, 17 p.
- [7] TAYLOR, J. A. et al. (2012): *Iron-containing intermetallic phases in Al-Si based casting alloys*. Procedia Materials Science, Vol. 1, 19-33 p.

Vplyv zmeny stratégie na riadenie podnikových procesov

Juraj Čapek, Ing.

Matador Group, a. s.,
Továrenská 1 018 41, Dubnica nad Váhom.
E-mail: juraj.capek@matador-industries.sk

Peter Bubeník, doc. Ing., PhD.*

Katedra priemyselného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: peter.bubenik@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2719, Fax.: + 421 41 525 0000

Miroslav Rakyta, doc. Ing., PhD.

Katedra priemyselného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: miroslav.rakyta@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2737, Fax.: + 421 41 525 0000

Vladimíra Biňasová, Ing., PhD., DiS.

Katedra priemyselného inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: vladimira.binasova@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2727, Fax.: + 421 41 525 0000

Abstract: This article focuses on the impact of a strategy change on the business process management of a manufacturing company. A strategy is a term for a long-term plan created to achieve one or more goals. The strategy serves both to transfer the requirements of the owners to the management of the organization and to the management of the organization to organize, unify and guide the behaviour and actions of all people in all parts of the organization. The main processes that fulfil the basic strategic direction of the organization and their outputs are intended for external customers. The adopted strategies gradually influenced the set business processes, which needed to be gradually adapted and other action plans applied in the assessment of the business case. The research confirms that the adopted strategies gradually influenced the set business processes, which need to be effectively adapted.

1 DEFINÍCIA STRATÉGIE

Stratégia (*Strategy*) je označenie pre dlhodobý plán vytvorený na dosiahnutie určitého cieľa alebo viac cieľov. Stratégia je jedným z výstupov strategického riadenia.

Historicky sa pojem stratégie používal vo vojenstve. Jedná sa o slovo gréckeho pôvodu, ktoré znamená “umenie veliť vojsku”.

- Stratégia (a jej odlišenie od taktiky) svoj dnešný význam získala vďaka práci *Carla von Clausewitz*a a najmä vďaka nemu nadobudla viac politický, diplomatický a psychologický význam, ktorý je typický aj pre podnikovú prax.
 - Jedna z najstarších definícií stratégie pochádza od *A. Chandler*a, ktorý ju definuje ako: určenie základných dlhodobých cieľov podniku, spôsoby ich dosiahnutia a alokácia zdrojov nevyhnutných na uskutočnenie týchto cieľov -
- chápe stratégiu ako súbor cieľov, prostriedkov a zdrojov.
- *J. B. Quinn* vníma stratégiu ako model alebo plán, ktorý integruje hlavné ciele podniku, politiky a aktivity do súdržného celku – ciele ako súčasť stratégie.
 - *William F. Glueck* definuje stratégiu ako jednotný, súhrnný a integrovaný plán, ktorý je navrhnutý, aby zabezpečil dosiahnutie základných cieľov podniku - stratégia ako spôsob dosahovania cieľov.
 - Stratégia sa pokladá za spôsob, metódu, prostriedok, nástroj dosahovania vopred vytýčených cieľov, pričom jestvuje viac ciest, ako realizovať navrhnuté ciele. Stratégia vzniká ešte predtým, ako podnik začne reálne konať a je výsledkom racionálnych úvah.
 - *G. Johnson* a *K. Scholes* zostavili komplexnú definíciu stratégie, uvádzajú takého

charakteristiky: Stratégia ako prirodzený výber, stratégia ako plán, Stratégia ako postupnosť čiastkových krokov, stratégia ako kultúra, stratégia ako politika, stratégia ako vízia.

- *H. Mintzberg* hlavný predstaviteľ netradičného prístupu k definovaniu stratégie ju definoval ako šablónu (vzorec, model) v záplave (prúde) rozhodnutí alebo činov [1-3].

Stratégia je výstupom strategického riadenia - v praxi sa jedná sa spravidla o formalizovaný dokument, ktorý obsahuje opis prvých dvoch fáz strategického cyklu, teda opis misie organizácie, jej vízie a strategických cieľov a harmonogram ich realizácie.

V organizáciách by mala existovať jedna hlavná stratégia (niekedy označovaná ako firemná, obchodná či globálna stratégia), ktorá určuje celkové smerovanie organizácie alebo podniku ako celku. Veľké organizácie podľa svojich potrieb ďalej pracujú s hierarchiou ďalších podriadených stratégií, ako sú napríklad [4]:

- Finančná stratégia.
- Stratégia riadenia ľudských zdrojov (Personálne stratégie).
- Stratégia majetku.
- Informačná stratégia.
- *ICT* stratégia.
- Technologická stratégia.
- Marketingová stratégia.
- Výrobná stratégia.
- Stratégia kvality.
- Bezpečnostná stratégia.
- Stratégia zvyšovania výkonnosti.

2 IMPLEMENTÁCIA STRATÉGIE

Implementácia stratégie predstavuje rovnako významnú časť procesu strategického riadenia ako formulovanie stratégie. Úspech závisí od priebehu jej realizácie. Na úspešnú realizáciu stratégie je potrebné analyzovať zdroje moci a zdroje možných konfliktov. Strategické riadenie je nepretržitý proces.

Keď je stratégia implementovaná, jej fungovanie musí byť stále sledované, aby bolo zrejmé, do akej miery sa vytýčené ciele reálne plnia. Spätná väzba slúži na potvrdenie jestvujúcich cieľov a stratégií alebo odporúča zmenu.

Uvedený proces strategického riadenia má charakter tradičného prístupu. Spontánne stratégie však vznikajú vnútri podniku bez predchádzajúceho plánovania. Aby nespôsobovali chaos, vedenie podniku ich musí testovať. Znamená to porovnať každú spontánnu stratégiu s cieľmi podniku, vonkajšími hrozbami a príležitosťami, vnútornými

silami a slabosťami. Porovnávaním sa má zistiť, či spontánna stratégia je v súlade s potrebami a schopnosťami podniku [5, 6].

3 MODELY APLIKOVANÉ V STRATEGICKOM MANAŽMENTE

BCG matica (*Boston Consulting Group*) - predstavuje dve dimenzie hodnotenia postavenia podniku na trhu. Na vodorovnej osi sa znázorňuje podiel na trhu a na vertikálnej osi rast trhu.

Táto matica využíva dva varianty úrovne, a to úroveň nízka a úroveň vysoká.

V tejto dvojdimenzionálnej matici nám vznikajú štyri kvadranty, ktoré sú pomenované: hviezdy, otázniky, dojné kravy a psy, každý z týchto kvadrantov zastupuje určitú skupinu výrobkov:

- Otázniky - predstavujú výrobky, ktoré sú vo fáze zavádzania. Očakávaný je vysoký rast trhu a na druhej strane nízky relatívny podiel na trhu. Výdavky výrazne prevyšujú príjmy.
- Hviezdy - predstavujú výrobky, ktoré sú vo fáze rastu. Majú vysoký relatívny podiel na trhu a je možné očakávať vysoký rast trhu. Príjmy sú približne rovnaké výdavkom.
- Kravy - predstavujú výrobky, ktoré sú vo fáze zrelosti. Podiel na trhu je vysoký, ale budúci rast trhu je nízky. Príjmy prevyšujú výdavky.
- Psy - predstavujú výrobky, ktorých životnosť sa končí s ohľadom na nasýtenosť trhu.. Majú nízky podiel na trh a rast trhu sa už neočakáva. Príjmy sa rovnajú výdavkom, aj keď sú nižšie ako u hviezd.

GEC matica – je obdobou *BCG* matice, ktorá má odstrániť jej nedostatky. Má dvojdimenzionálne hodnotenie, ale má tri varianty (nízky, priemerný a vysoký).

Úroveň trhu sleduje dlhodobu podľa kritérií, ktorými sú veľkosť trhu, miera rastu trhu, hrozby a príležitosti, sezónne a cyklické vplyvy a pod. Pri úrovni podnikateľskej sily, resp. konkurenčnej pozície sú nasledované kritériá: podiel na trhu, porovnanie s konkurenciou, znalosť trhov, kvalita manažérov apod. Každé z týchto kritérií je charakterizované dvomi faktormi, a to váhou a bodovým hodnotením.

Výsledkom tohto hodnotenia môžu byť pozície: priemer. postavenie, produkovanie zisku, otáznikové postavenie.

PIMS analýza (*Profit Impact of Marketing Strategy*) - táto analýza sa zameriava na vplyv marketingovej stratégie na zisk z hľadiska jednotlivých strategických podnikateľských jednotiek. Predstavuje bázu dát, ktorá predstavuje vzťah medzi výkonom podnikateľských jednotiek a základnými parametrami marketingových stratégií [8, 9].

Zaoberá sa:

- Trhové prostredie.
- Konkurenčnú pozíciu na konkrétnom trhu.
- Na uplatňovanú marketingovú stratégiu.
- Hospodársky výsledok.

GE matica - bola vypracovaná firmami *General Electric* a *McKinsey*. je založená na týchto kritériách:

- Atraktivita trhu (veľkosť trhu, zisková marža, konkurenčné správanie, miera rastu na trhu, sezónnosť, výhodnosť vyplývajúca z veľkých objemov).
- Konkurenčná pozícia (relatívny podiel na trhu, výrobná kapacita, rozsah poznatkov o trhu, o klientoch, kvalita služieb distribučná kapacita, výkonnosť a efektívnosť ľudských zdrojov).

Poznáme tri pásma matice *GE*:

- Ľavý horný roh - predstavuje výhodné postavenie strategickkej podnikateľskej jednotky.
- Pravý dolný roh - je nevýhodné postavenie strategickkej podnikateľskej jednotky.
- Uhlopriečne polia - hľadajú sa spôsoby ako zlepšiť ich postavenie.

BSC metóda - *Balanced Scorecard* alebo „bilančná kartička“ - vytvorili ju v 90-tych rokoch *Robert Kaplan* a *David Norton*. Je to metóda vytvárajúca väzbu medzi stratégiami a operatívnymi činnosťami, pričom sa kladie dôraz na merateľnosť výkonu, teda dôležité pre túto metódu je výkazníctvo podniku. Meria výkonnosť prostredníctvom týchto štyroch perspektív: finančná a zákaznícka, perspektíva interných procesov a učenia sa a rastu.

ABC analýza - *Activity Based Costing*- vznikla koncom 20. stor., vychádza z *Paretovho* pravidla, ktoré tvrdí, že: „80 % všetkých dôsledkov spôsobuje len asi 20 % príčin základom“. Podľa tejto analýzy by sa malo najskôr začať s úlohami skupiny *A*, ale v reálnom živote je to veľmi individuálna záležitosť [1-4].

4 PODNIKOVÁ STRATÉGIA

Podniková stratégia (stratégia podniku) rieši tieto čiastkové úlohy:

- Alokácia kapitálových investícií do jestvujúcich podnikaní.
- Redukcia investícií alebo zrušenie málo výnosných, či stratových podnikaní.
- Rozšírenie portfólia o nové podnikania a vybudovanie nových pozícií v atraktívnych odvetviach.
- Posilnenie konkurenčných pozícií a ziskovosti existujúcich podnikaní.

- Vytváranie konkurenčnej výhody na podnikovej úrovni prostredníctvom príbuzných podnikaní.
- Rozhodovanie o druhu a rozsahu diverzifikácie.

Podniková stratégia je formulovaná na najvyššej úrovni podnikového riadenia. Hlavné strategické rozhodnutia zvyčajne skúma a schvaľuje orgán vlastníkov (predstavenstvo, dozorná rada) podniku [7].

Stratégia podniku, ktorý sa skladá z viacerých podnikateľských jednotiek pôsobiacich v rozličných odvetviach, sa nazýva podnikovou stratégiou. Jej obsahom je riadenie portfólia - súboru podnikaní.

Podniková stratégia rieši nasledujúce úlohy:

- Vyhľadávanie atraktívnych podnikaní a rozhodovanie o spôsoboch vstupu a etablovanie sa v odvetviach, do ktorých sa podnik rozhodol vstúpiť (akvizícia, spoločné podnikanie a pod.).
- Zvyšovanie dlhodobej výkonnosti podnikového portfólia (posilňovať pozíciu existujúcich podnikaní, reinvestovať nevýnosné podnikania, zaraďovať nové podnikania).
- Identifikovanie strategického súladu medzi podnikaniami a jeho zmena na konkurenčnú výhodu.
- Hodnotenie ziskových perspektív každej SPJ (strategických podnikateľských jednotiek) a orientovanie podnikových zdrojov do najatraktívnejších strategických príležitostí [7].

Podnik volí niektorú z týchto 4 typov podnikových stratégií [7]:

1. Rastové stratégie.
2. Stabilizačné stratégie.
3. Revitalizačné stratégie.
4. Útlmové stratégie.

Metódy používané pri tvorbe stratégií v strategickom manažmente [7]:

- *SWOT* analýza.
- *SLEPT* analýza.
- *SPACE* analýza.
- *7s* analýza.
- *Balanced Scorecard*.

5 RIADENIE PODNIKOVÝCH PROCESOV

Procesy v podniku možno rozdeliť na hlavné procesy, ktoré napĺňajú základné strategické smerovanie organizácie a ich výstupy sú určené externým zákazníkom. Vedľajšie procesy sú tiež určené externému zákazníkovi, ale z hľadiska strategického smerovania ich výsledky možno definovať ako vedľajší produkt, ktorý vzniká niekedy ako doplnujúci produkt k hlavnému produktu/om, alebo ako dôsledok charakteru

hlavného procesu, ktorý vedľa strategického produktu produkuje aj ďalšie, vedľajšie produkty (zhodnotenie odpadu, poskytovanie služieb a podobne).

Riadiace procesy, procesy obsahujúce činnosti a aktivity, ktorými vlastník procesu/ov alebo organizácia reguluje a riadi všetky vnútorné procesy tak, aby ich činnosti zodpovedali strategickým cieľom vlastníka. Podporné procesy, na rozdiel od hlavných procesov sú určené väčšinou internému zákazníkovi a prípadne predstavujú jednotlivé funkčné procesy, ktoré sú nevyhnutné pre uskutočňovanie hlavných procesov.

Medzi základné faktory ovplyvňujúce procesy vo firme patria:

- Stratégia firmy.
- Politika kvality.
- Ciele kvality.
- Legislatívne zákony.
- Ochrana životného prostredia.

Sledovanie zmeny stratégie na riadenie podnikových procesov vyžaduje meranie výkonnosti podnikových procesov.

Naplnenie zámeru je potrebné vykonať v nasledovných krokoch:

1. Mapovať organizačnú štruktúru, prvky a väzby jednotlivých procesov, použité zdroje, inicializačné stavy, vzťahy a pracovné náplne pracovníkov a iné.
2. Mapovať ciele, každý prvok štruktúry má jasne zadefinované ciele, ktoré sú previazané. Ciele je možné rozložiť do merateľných alebo kalkulačných zložiek.
3. Získavanie údajov pre sledovanie a následné vypočítanie plnenia cieľov podniku.
4. Získanie jasných hraníc únosnosti a motivujúcich hodnôt pre zamestnancov na jednotlivých úrovniach, vizualizácia.
5. Hodnotiť podporu plnenia cieľov motivačným systémom.

6 RIADENIE PODNIKOVÝCH PROCESOV SO ZAHRNUTÍM ZMENY STRATÉGIE

Na základe realizovaných analýz vzniknutých problémov počas niekoľkých zmien stratégie v spoločnosti vznikol návrh krokov zabezpečujúcich plnú previazanosť a podporu stratégie na podnikové procesy.

Navrhovaný postup krokov:

1. Stanovenie strategických cieľov a schválenie.
2. Tvorba strategickej mapy modelu.
3. Výpočet váh strategických cieľov.

4. Aktualizácia procesného modelu podniku.
5. Stanovenie strategických cieľov hlavných procesov.
6. Určenie vzťahov príčin a dôsledkov.
7. Transformácia strategických cieľov do ukazovateľov *KPI*.
8. Výpočet trendu vývoja očakávaných cieľových hodnôt.
10. Skúmanie skutočných hodnôt ukazovateľov *KPI* v monitorovacích obdobiach, na základe výsledku hodnôt opakovať krok 4.
11. Transformácia získaných poznatkov na zmenu procesov a vybraných ukazovateľov *KPI*.
12. Prezentácia a zavedenie získaných poznatkov do procesov.

ZÁVER

Úspech výrobnjej spoločnosti závisí od uspokojovania vznikajúcich spoločenských a trhových potrieb.

Z príspevku vyplýva, že je potrebné aby každá firma dôsledne reagovala na skladbu podnikových procesov a pravidelne prehodnocovala ich efektívnosť, ktoré veľmi závislé na trhovom okolí a správanie sa zákazníka.

V prípade nízkej flexibility na vynútenú zmenu stratégie a tak aj nepružné prispôsobenie akéhokoľvek podnikového procesu môže stať spoločnosť pozíciu aktuálnej konkurenčnej výhody.

Pod'akovanie

This research was funded by Slovak research and development agency, grant number APVV-19-0305.

REFERENCES

- [1] ALEXY, J. - MEČÁR, M. (2006): *Strategický a krízový manažment*. Bratislava: Iris, 220 s. ISBN 80-89018-99-8
- [2] CHEBEŇ, J. (2009): *Strategický marketingový plán*. Bratislava: Vydavateľstvo Ekonóm, 216 s.
- [3] CHARVÁT, J. (2006): *Firemní strategie pro praxi*. Praha: Grada, 204 s. ISBN 80-247-1389-6
- [4] KASSAY, Š. - SOUČEK, Z. (1998): *Efektívna podniková stratégia*. Nové Zámky: Strateg, 140 s. ISBN 80-967919-0-7
- [5] IDENBURG, P. J. (1993): *FOUR Styles of Strategy Development*, Long Range Planning No.6.
- [6] SLÁVIK, Š. (2005): *Strategický manažment, SPRINT*, Bratislava.
- [7] SAKAL - PODSKAĽAN, A. (2004): *Strategický manažment*.
- [8] ANTONIUK, I. - MIČIETA, B. - KASAJOVÁ, M. - BIŇASOVÁ, V. (2021): *Trends in marketing*

for internet sales at the company [print, electronic]
In: Trends and Innovative Approaches in Business Processes [electronic] = Trendy a inovatívne prístupy v podnikových procesoch: 24th International Scientific Conference. - 1. vyd. - Košice: Technical University of Košice, ISBN 978-80-553-3835-4. - s. 77-82.

[9] ANTONIUK, I. - MIČIETA, B. - KASAJOVÁ, M. - BIŇASOVÁ, V. (2021): *Emotional intelligence in the work environment of companies selected results* [electronic]: InvEnt: Industrial engineering – Invention for enterprise [electronic, print] : proceedings. - 1. vyd. - Bielsko-Biała: Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humanistycznej. - ISBN 978-83-66249-77-6 (online). - s. 12-15 .

ŽIVOTNÉ JUBILEUM:

Dr.h.c. prof. Ing. Karol VASILKO, DrSc.



OBDIV, ÚCTA A LÁSKA - VÁŽENÝ PÁN PROFESOR

Významné výročie zaznamenáva v tomto roku celá slovenská, ale aj česká odborná „obrábačská“ verejnosť.

Dňa 17. februára tohto roku oslávi pán **Dr.h.c. prof. Ing. Karol Vasilko, DrSc. 80 rokov** svojho mimoriadne plodného života.

Pán profesor, iba málokto sa môže pochváliť skutočnosťou, že je v našej odbornej komunite tak váženou a významnou osobnosťou. Váš prístup k vede a hlavne k ľuďom, ktorých ste mali celý život okolo seba, ktorých ste vychovali a s ktorými ste spolupracovali, bol nebývalý. Za všetkých nás Vám úprimne a z celého srdca ďakujeme. Stopy, ktoré ste cestou životom pri svojej čínorodej práci zanechali, sa podpísali aj na životoch mnohých iných významných ľudí. Práve preto, nám, kolegom a spolupracovníkom, netreba pána profesora zvlášť predstavovať. Snáď len mladšej generácii, ktorej môže byť absolútnym vzorom tak urobíme.

Ako už bolo uvedené, *Dr.h.c. prof. Ing. Karol Vasilko, DrSc.* sa narodil 17. februára 1942 vo *Vaniškovciach*, okres *Bardejov*.

Základnú školu absolvoval v rodnej obci a vo *Vyšných Raslaviciach*.

Gymnázium ukončil v *Bardejove* v roku 1959.

Vysokoškolské štúdium ukončil na *VŠT v Košiciach* v roku 1964 v odbore *Strojárska technológia*, zameranie *Obrábanie*.

Pracovať začal v *Ústave pre racionalizáciu výroby ložísk v Žiline*, neskôr po zriadení ústavu *VUKOV Prešov* začal pracovať tam ako výskumný pracovník. Vedecký titul *CSc.* získal v roku 1971. V roku 1975 mu bol priznaný *Slovenskou akadémiou vied* vedecký kvalifikačný stupeň II - samostatný vedecký pracovník. Následne nastúpil do podniku *ZVL Prešov*, kde vo funkcii technického námestníka podniku pôsobil do roku 1979. Vedecko-pedagogickú hodnosť docenta *Fakulty SET VŠDS v Žiline* získal habilitáciou v roku 1977. Následných 10 rokov pracoval ako zástupca a neskôr vedúci *Katedry výrobných techník a technológie ložiskovej výroby na Strojníckej a elektrotechnickej fakulte v Žiline*. S účinnosťou od roku 1983 bol menovaný ako profesor pre odbor *Strojárska technológia*. „Veľký doktorát“ získal obhajobou svojej doktorskej dizertačnej práce v roku 1984. Zintegroval všetkých 11 katedier obrábania v *ČSFR* na riešení úlohy základného výskumu procesu obrábania.

Od roku 1991 pôsobí na *Technickej univerzite v Košiciach* na *Fakulte výrobných technológií so sídlom v Prešove* postupne ako dekan fakulty, prodekan a riaditeľ *Výskumného centra progresívnych metód obrábania*. V roku 2002 bol menovaný za člena korešpondenta zahraničnej inžinierskej akadémie a o rok neskôr sa stal akademikom. Je symbolické, ale nie náhodné, že sa v obradnej sieni *Starej radnice v Žiline* v roku 2011 uskutočnilo slávnostné zasadnutie *Vedeckej rady Žilinskej univerzity* rozšírenú o *VR Strojníckej fakulty*, na ktorom v zmysle tradícií a zvyklostí ako prejav najvyššej pocty prevzal profesor *Karol Vasilko* z rúk rektorky *ŽU v Žiline prof. Ing. Tatiany Čorejovej, PhD.* diplom a medailu titulu „*Doctor honoris causa*“. Takto bol ocenený za jeho celoživotné vynikajúce vedecko-odborné a pedagogické výsledky a spoluprácu so *Žilinskou univerzitou v Žiline*.

Rozvoj výrobných technológií predovšetkým v oblasti obrábania materiálov rôzneho druhu bol vždy jeho doménou. V danej oblasti eviduje veľké množstvo publikácií, má množstvo patentov a pôsobí ako pedagóg. Vedecká komunita zaznamenala výsledky jeho celoživotného veľmi plodného pôsobenia. Uverejnil takmer 200 vedeckých príspevkov v domácich a zahraničných časopisoch. Eviduje 21 monografií, 20 vysokoškolských učebníc, ktoré poznajú a často vo svojich prácach citujú aj zahraniční študenti a nielen oni. Rovnako eviduje 53 patentov a autorských osvedčení, ako aj stovky zahraničných aj domácich citácií. Za jeho odbornú činnosť mu bol v roku 2008 *Slovenským syndikátom novinárov* udelený titul „*Vedec roka*“.

Pedagogická činnosť pána profesora v oblasti výrobných technológií je tiež veľmi bohatá. Zaviedol novú štruktúru predmetov v odbore, ktorá rieši tzv. „*Účelové technologické procesy*“: *Technológia delenia a spájania, Technológia zmeny tvaru a rozmerov, Technológia zmeny vlastností materiálov, Technológia dokončovania povrchov, Montáž*.

Vo vedeckej činnosti aktívne riešil rad projektov, riadil „*Centrum progresívnych technológií obrábania*“. Podieľal sa na riešení grantových úloh, úloh medzinárodnej spolupráce a hospodárskej činnosti. Prehľad osobne vedených a riešených projektov je veľmi široký.

Vážený pán profesor, k Vášmu okrúhlemu životnému jubileu Vám chceme zaželať pevné zdravie, veľkú dávku životného optimizmu, ktorý Vám nikdy nebol cudzí, napriek nepriaznivej osudovej chvíle, ktorá Vás v živote zasiahla. Veľa šťastia a spokojnosti. Nech sa vo Vašom živote objavujú iba dobrí a ohľaduplní ľudia, s ktorými bude ešte veľmi dlho radosť žiť a spolupracovať.

Kolektív spolupracovníkov zo *Strojnickej fakulty Žilinskej univerzity v Žiline*, ako aj vedenie *Strojnickej fakulty a Žilinskej univerzity v Žiline*.

(jp)