

**A  
F  
T**

**ACTA  
FACULTATIS  
TECHNICAE**



---

**TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE**

**1**

**ROČNÍK: XXI**

**ZVOLEN 2016**

## **Medzinárodný poradný zbor / International Advisory Editorial Board**

**Vitaly. V. Amalickij (RU)**

Moscow State Forest University

**Pavol Božek (SK)**

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

**Csanády Etele (HU)**

University of West Hungary

**Peter Demeč (SK)**

Technical University of Košice

**Jiří Fries (CZ)**

VŠB – Technical University of Ostrava

**Vlado Goglia (HR)**

University of Zagreb, Faculty of Forestry

**Faud Hadžikadunič (BiH)**

University of Zenica

**Vladimír Jurča (CZ)**

Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Engineering

**Radomír Klvač (CZ)**

Mendel University in Brno, Faculty of Forestry and Wood Technology

**Dražan Kožak (HR)**

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Mechanical Engineering Faculty

**Stanisław Legutko (PL)**

Poznan University of Technology

**Aleksandar Makedonski (BG)**

Technical University of Sofia

**Nataša Náprstková (CZ)**

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

**Marián Peciar (SK)**

Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Mechanical Engineering

**Evgeny Razumov (RU)**

Volga State University of Technology

**Pavel V. Rudak (BY)**

Belarusian State Technological University

**Ruslan Safin (RU)**

Kazan National Research Technological University

**Marian Šušniar (HR)**

University of Zagreb, Faculty of Forestry

**Zdenko Tkáč (SK)**

Slovak University of Agriculture in Nitra, Faculty of Engineering

## **Medzinárodný zbor recenzentov / International Reviewers Board**

### **Alexander A. Bartashevich (BY)**

Belarusian State Technological University

### **Neucho Delijski (BG)**

University of Forestry in Sofia, Faculty of Forestry Industry

### **Jiří Dvořák (CZ)**

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

### **Ladislav Dzurenda (SK)**

Technical University in Zvolen, Faculty of Wood Sciences and Technology

### **Milan Gaff (CZ)**

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

### **Karel Janák (CZ)**

Mendel University in Brno, Faculty of Forestry and Wood Technology

### **Radek Knoflíček (CZ)**

Brno University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering)

### **Ružica Baljo Lučić (HR)**

University of Zagreb, Faculty of Forestry

### **Milan Malcho (SK)**

University of Žilina, The Faculty of Mechanical Engineering

### **Stanislav Marchevský (SK)**

Technical University of Košice, Faculty of Electrical Engineering and Informatics

### **Ján Mihalík (SK)**

Technical University of Košice, Faculty of Electrical Engineering and Informatics

### **Jindřich Neruda (CZ)**

Mendel University in Brno, Faculty of Forestry and Wood Technology

### **Kazimír Orłowski (PL)**

Gdansk University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering

### **Miroslav Rousek (CZ)**

Mendel University in Brno, Faculty of Forestry and Wood Technology

### **Juraj Ružbarský (SK)**

University of Žilina, Faculty of Mechanical Engineering

### **Sergej V. Shetko (BY)**

Belarusian State Technological University

### **Vladimír Štollmann (SK)**

Technical University in Zvolen, Faculty of Forestry



## OBSAH

### VEDECKÉ ČLÁNKY

- APLIKÁCIA PRÍRODNÉHO PRINCÍPU MINIMAXU PRI OPTIMALIZÁCII  
PREVÁDZKY VÝROBNÝCH SYSTÉMOV ŠTIEPKOVANIA DREVA**  
APPLICATION OF THE NATURAL MINIMAX PRINCIPLE  
TO OPTIMISE OPERATION OF A WOODCHIP PRODUCTION SYSTEM  
**Adolf Janeček<sup>1</sup>, Milan Mikleš<sup>2</sup>, Milan Helexa<sup>2</sup>.....9**
- ZHODNOTENIE KVALITY PRÁCE STATICKÝCH VÝSUVNÝCH  
MIKROPOSTREKOVAČOV**  
EVALUATION OF THE WORK QUALITY OF THE STATIC MICRO SPRINKLER  
**Ján Jobbágy<sup>1</sup>, Jozef Pavel<sup>1</sup>, Henrich Bleho<sup>1</sup>, Jozef Krilek<sup>2</sup>, Ján Kováč<sup>2</sup> .....21**
- ANALÝZA TEPLÔT V OBLASTI KOKILY POČAS PROCESU ODLIEVANIA  
HLÁV VALCOV MOTOROV**  
ANALYSIS OF TEMPERATURES IN THE MOULD AREA DURING  
THE PROCESS OF ENGINE CYLINDER HEADS CASTING  
**Peter Koleda<sup>1</sup>, Pavol Koleda<sup>1</sup>, Slavomír Grúbel<sup>2</sup>.....31**
- PREVENTÍVNA ÚDRŽBA HYDRAULICKÝCH ŽERIAVOV POMOCOU  
ANALÝZY HYDRAULICKÝCH OEJOV**  
PREVENTIVE MAINTENANCE OF HYDRAULIC CRANES BY ANALYSIS  
OF THE HYDRAULIC OIL  
**Jozef Krilek<sup>1</sup> – Lucia Dobrotová<sup>2</sup>.....41**
- POROVNANIE KINEMATIKY U VYBRANÝCH HOMOKINETICKÝCH  
KLBOVÝCH MECHANIZMOV**  
COMPARISON OF KINEMATICS AT SELECTED CV JOINT MECHANISMS  
**Andrej Mazáň<sup>1</sup>, Mária Krajčovičová<sup>2</sup>, Štefan Barcík<sup>1</sup>.....55**
- VÝSKUM HMOTNOSTNO-GEOMETRICKÝCH PARAMETROV STROMU  
SMREKA PRE PROJEKTOVANIE LESNÝCH STROJOV**  
RESEARCH INTO MASS AND GEOMETRIC PARAMETERS OF SPRUCE  
TREE FOR PROJECTING OF FOREST MACHINES  
**Juraj Mikleš<sup>1</sup>, Milan Mikleš<sup>2</sup> .....63**
- ELIMINÁCIA STIAHNUTÍN V ODLIATKOCH PRI ODLIEVANÍ  
DO TRVALEJ FORMY**  
THE ELIMINATION OF THE SHRINKAGE CAVITIES IN CASTS AT CASTING  
PERMANENT MOULD  
**Miroslava Ťavodová<sup>1</sup>, Daniela Kalincová<sup>1</sup>.....77**

## REFERÁTY

### IDENTIFIKÁCIA OBJEKTOV V OBRAZE A JEJ VYUŽITIE VO VÝROBNEJ TECHNIKE

IDENTIFICATION OF IMAGE OBJECTS AND ITS APPLICATION  
IN THE MANUFACTURING TECHNOLOGY

**Elena Pivarčiová** .....91

## **VEDECKÉ ČLÁNKY**





# APLIKÁCIA PRÍRODNÉHO PRINCÍPU MINIMAXU PRI OPTIMALIZÁCII PREVÁDZKY VÝROBNÝCH SYSTÉMOV ŠTIEPKOVANIA DREVA

## APPLICATION OF THE NATURAL MINIMAX PRINCIPLE TO OPTIMISE OPERATION OF A WOODCHIP PRODUCTION SYSTEM

**Adolf Janeček<sup>1</sup>, Milan Mikleš<sup>2</sup>, Milan Helexa<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Klecany nad Vyhlídkou 697, 254 67, Praha, Česká republika*

<sup>2</sup>*Technická univerzita vo Zvolene, Katedra environmentálnej a lesníckej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, T. G. Masaryka, 24, 960 53, Zvolen, Slovenská republika, milan.mikles@tuzvo.sk*

**ABSTRAKT:** Článok sa zaoberá optimalizáciou práce technologického systému štiepkovania dreva. Ako optimalizačná metóda bola zvolená metóda prírodného princípu minimaxu umožňujúca zohľadňovať vzájomné väzby medzi spotrebou energie, ekonomikou prevádzky a ekologickou čistotou práce. Článok v stručnosti popisuje základné princípy tejto optimalizačnej metódy s uvedením základných rovníc a venuje sa rozboru energetickej náročnosti sekačích strojov, pričom stanovuje vzťah pre experimentálne určovanie štandardov použitej optimalizácie. Výhodou optimalizačnej metódy prírodného princípu minimaxu je jej univerzálnosť, ktorá vyplýva z jej matematického vyjadrenia. Metódu je možné po príslušnej úprave použiť aj pre optimalizačné úlohy iných výrobných systémov v lesníctve, a dokonca aj v samotnej konštrukcii lesníckych mechanizačných prostriedkov. Optimalizačná metóda bola pre praktické účely pretavená do počítačovej, programovej podoby, optimalizujúcej výrobný systém štiepkovania dreva. V práci je uvedená základná štruktúra a stavba tohto počítačového programu, s uvedením výhod, ktoré užívateľovi prináša. Záver článku je zameraný na diskusiu všeobecných prínosov a nedostatkov aplikovanej optimalizačnej metódy, ktoré prirodzene vyplývajú zo šírky záberu optimalizácie a uvedené sú prvé skúsenosti s jej aplikáciou prostredníctvom vytvorenej počítačovej simulácie.

**Kľúčové slová:** sekačka; dendromasa; štiepky; merná energia; programová optimalizácia

**ABSTRACT:** This paper discusses the optimisation of work in a technological wood chipping system. The natural minimax principle was chosen as the optimal method to take into account the interrelationships between energy consumed, economy of operation and ecological purity of the work performed. It briefly describes the basic principles of this optimisation method, showing the basic equations and analysing the energy intensity of chipping machines, while determining the relationship for experimentally defining the standards to be used in optimisation. The advantage of employing the natural minimax principle as an optimisation method is its versatility, implied in

its mathematical expression. The method can also be used after relevant adjustment to optimise the roles of other forest production systems, even after actual construction of forestry mechanisation. The optimisation method was recast for practical purposes into a computer-programmable form which optimises woodchip production systems. The paper presents the basic structure and construction of the computer program, showing the advantages it brings to users. It concludes by concentrating on a discussion of general benefits and drawbacks of the applied optimisation method that inherently result from the width of the optimisation image and presents initial experiences with the application through creation of a computer simulation.

**Key words:** wood chipper; wood biomass; chips; specific energy; programmed optimisation

## ÚVOD

Rýchly rozvoj lesníckej výroby kladie vyššie požiadavky hlavne na proces riadenia a zvlášť na optimálne plánovanie výrob. Pri riadení veľkých výrobných celkov sa jedná predovšetkým o to, ako vyriešiť značné množstvo vzájomných vzťahov a závislostí. Pri zvyšovaní a intenzifikácii výrob je nutné riešiť technicko-ekonomické, ekologické a energetické problémy. Preto sa hľadajú nové metódy, prostredníctvom ktorých by bolo možné tieto problémy, vznikajúce pri rýchlom tempe výrob, zvládnuť. Je možné ich zhruba rozdeliť do dvoch skupín:

1. Rýchle spracovanie údajov operatívno-technickej evidencie a kontinuálne poskytované informácií o všetkých stavoch a pohyboch výrobného procesu,
2. Poskytovanie informácií o zložitých vzájomných vzťahoch a väzbách v lesníckych technologických systémoch s možnosťou využívania týchto poznatkov k cieľovému riadeniu či optimalizácii výroby.

Problémy prvej skupiny sa v súčasnej dobe riešia používaním personálnych počítačov. Evidencia je mechanizovaná do tej miery, že vedenie môže zistiť k ľubovoľnému termínu stavy na jednotlivých úsekoch výrobných činností. Pri riešení problémov druhej skupiny, to je skúmaní rôznych vzťahov v rôznych sústavách, sa používajú matematické metódy (modely) (Birge & Wets 1986). Tieto modely sa aplikujú predovšetkým na technicko-ekonomické problémy kvalitatívnej povahy, menej na technologické systémy. Modelom lesníckeho technologického systému sa potom rozumie teoretická konštrukcia, ktorá zjednodušene vyjadruje funkciu buď celého lesníckeho technologického systému, alebo jeho určitej časti. Model odráža skutočnosť s väčšou alebo menšou aproximáciou s ohľadom na stupeň abstrakcie. Kritériá, prostredníctvom ktorých sa hodnotí správnosť modelového riešenia, musia obsahovať popri energetickom hľadisku tiež hľadisko ekonomické či ekologické (Sokolov 2011). Pri optimalizácii akejkoľvek činnosti, teda aj výrobného systému, sa jedná o to, dosiahnuť určitého optima pri minimálnej spotrebe energie a pri maxime užitočných materiálových tokov. Aby efekt bol čo najpriaznivejší, je nutné predovšetkým správne formulovať problematiku, ďalej navrhnuť matematický model a vykonať jeho optimalizáciu. Predkladaná práca pojednáva o matematickom optimalizačnom prístupe k riešeniu výrobného systému štiepkovania plantážnicky pestovaných rýchlorastúcich drevín prostredníctvom mobilných sekáčich adaptérov nesených traktormi. Ako optimalizačná metóda tu bol použitý princíp prírodného minimaxu (Janeček 1996, Mikleš 2012), ktorý

ďalej bližšie uvedieme. Pre potreby praktického riešenia a aplikácie predmetnej metódy, bol zostavený počítačový program optimalizujúci výrobné systavy štiepkovania lesnej dendromasy.

## PRINCÍP METÓDY PRÍRODNÉHO MINIMAXU

Prezentované riešenie problému optimalizácie technologických a technických parametrov systému štiepkovania rýchlorastúcich drevín vychádza jednak po stránke analytickej, tak po stránke experimentálneho sledovania dôsledne z prírodného princípu, ktorý sme pracovne nazvali princíp minimaxu. Princíp minimaxu má obecný charakter a vyjadruje väzby medzi vstupmi do ľubovoľného systému, umelého alebo vytvoreného prirodzenou cestou (Norikin et al. 1998). Vstupy majú energetický a materiálový charakter. U systémov vyššej hierarchie sú uvažované aj vstupy v podobe pracovnej sily. Ide v podstate o optimalizačnú metódu, ktorej hlavným cieľom je minimalizovať maximálne množstvo strát (z toho názov minimax), predovšetkým vynaloženej energie, do sledovaného systému (Shapiro & Kleywegt 2002). Obecne je objektom skúmania systém. Do systému vstupujú energetické a materiálové vstupy. Po prevedení rôznorodých vstupov na rovnakého menovateľa na vstupe do systému, je energia, hmota či pracovná sila prepočítaná na energiu. Systém má určitú konštrukciu a funkciu vždy takú na ktorú bol navrhnutý. Systém vykonáva konkrétne činnosti. Výsledkom konkrétnej činnosti je práca vo fyzikálnych jednotkách. Na úseku štiepkovania drevnej hmoty sú to  $m^3$  spracovanej hmoty za jednotku času ( $m^3 \cdot h^{-1}$ ). Intenzita práce realizovaná systémom má vplyv na množstvo energie, ktorú je potrebné dodať, aby systém vykonal prácu (Mikleš 2011, Mikleš 2013). Energia, ktorá prechádza systémom štiepkovania dreva má v konkrétnych konštrukčných realizáciách, či častiach sekacieho mechanizmu, rôznu rýchlosť pohybu a prechádza rôznym prierezom konštrukčného prierezu stroja rôznou rýchlosťou. Inými slovami translačná energia  $E_T$  a energia rotačného pohybu  $E_R$  sa pri konaní operácie, technologického procesu menia (Cherkaev & Cherkaev 2008). Platí relácia:

$$E_T(F, v) \neq Const. \quad [J] \quad (1)$$

$$E_R(M_K, \omega) \neq Const. \quad [J] \quad (2)$$

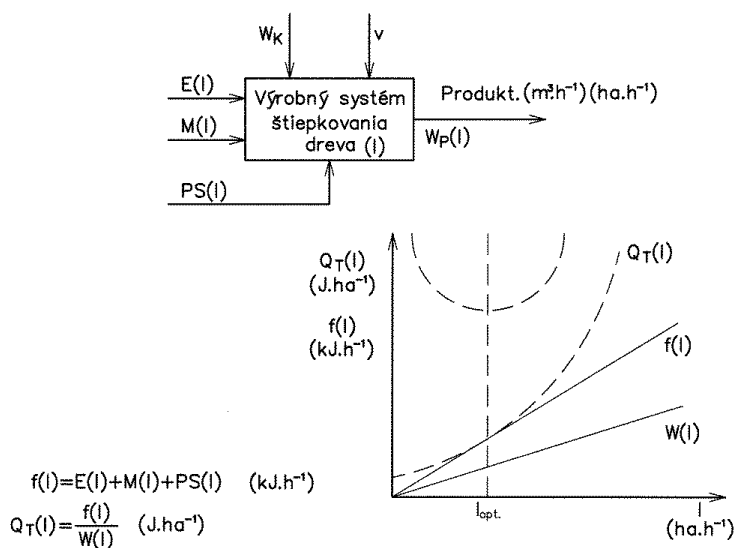
kde:  $M_K$  – momentové pôsobenie transformujúcej sa energie [N.m],  
 $\omega$  – rýchlosť zmien transformácie prechádzajúcej rotačnej energie [rad.s<sup>-1</sup>],  
 $F$  – silové pôsobenie transformujúcej sa energie [N],  
 $v$  – rýchlosť zmien transformácie prechádzajúcej energie [m.s<sup>-1</sup>].

V dôsledku realizácie procesu vzniká stratová či disipatívna energia  $E_Z$ . Disipatívna energia je tým väčšia, čím systém pracuje s vyššou intenzitou práce (Downarowicz 2011). Intenzita práce systému štiepkovania dreva je špecifikovaná transformáciou energie v procese prechodu energie systémom. Pre celkovú energiu  $E_C$  dodanú mechanickému systému štiepkovania dendromasy teda platí:

$$E_C = E_T + E_R + E_Z \quad [J] \quad (3)$$

kde:  $E_Z$  – disipatívna energia vznikajúca v procese transformácie energie [J].

Prechod energie pracujúcim systémom štiepkovania dreva je charakterizovaný prierezom energetického toku a rýchlosťou pohybu (transformácie) energie. Čím rýchlejšie prebieha transformácia energie vykonávajúca prácu, tým vyššie sú straty vznikajúce v technologickom procese realizovanom výrobným systémom štiepkovania lesnej dendromasy (Ott 2002). Inými slovami povedané, čím je vyššia intenzita transformácií vykonávaných sledovaným systémom štiepkovania dendromasy, tým vyššie sú straty vznikajúce v tom ktorom mechanizačnom prostriedku. Ak sa zvyšuje výkonnosť systému, to je pracovného stroja lineárne, potom k zaisteniu lineárneho rastu výkonnosti musí stroj prijímať energiu  $E_T$  a  $E_R$  exponenciálne rastúcu (Beer & Johnston 1987). Na zaistenie výkonnosti  $W_p$ , ktorá je funkciou  $S$ , prierezu toku energie a  $v$  rýchlosti toku energie, to je výkonnosti rastúcej lineárne, musí stroj na realizáciu trendu prijať energiu rastúcu exponenciálne. Pokiaľ je sledovaný mechanizačný prostriedok správne skonštruovaný a celý systém štiepkovania správne navrhnutý, môžeme nájsť taký režim jeho práce, kedy systém vykoná množstvo fyzickej práce  $W$  a na toto množstvo fyzickej práce systém vynaloží minimum energie. Vyššie uvedené tvrdenie je formálne graficky vyjadrené na obr. 1.



Obr. 1. Grafické znázornenie chovania sa prírodného princípu minimaxu

Ak existuje unifikovaná rada výrobného systému špecifikovaná radou inštalovaných síl, príkonov a pod., potom je možné z daných mechanizačných prostriedkov danej unifikovanej rady vybrať stroj, alebo skupinu strojov, ktoré vykonajú daný pracovný objem tak, že do procesu výroby bude vložená minimálna energia, vzťahujúca sa na jednotku objemu spracovaného materiálu (Mikleš 2011). Odpoveď na túto otázku dáva práve princíp prírodného minimaxu. Inými slovami, pomocou prírodného princípu minimaxu možno nájsť optimálny mechanizačný prostriedok a optimálny energetický zdroj charakterizovaný optimálnou hmotnosťou či veľkosťou a optimálnou intenzitou práce.

Riešenie problému výberu optimálneho člena unifikovanej rady (sekačky) danej veľkosti  $w$  je daný riešením nasledovných rovníc:

$$f_i(I, W_{ki}) = E(I, W_{ki}) + M(I, W_{ki}) + PS(I, W_{ki}) \quad [\text{kJ}\cdot\text{h}^{-1}] \quad (4)$$

$$Q_T(I, W_{ki}) = \frac{f_i(I, W_{ki})}{W(I, W_{ki})} \quad [\text{kJ}\cdot\text{ha}^{-1}] \quad (5)$$

$$\frac{\partial Q_T(I, W_{ki})}{\partial I} = 0 \rightarrow (W_{ki}, I) \text{ opt.} \quad (6)$$

kde:  $I$  – intenzita práce systému [ $\text{ha}\cdot\text{h}^{-1}$ ],  
 $W_{ki}$  – konštrukčná výkonnosť členov unifikovanej rady [ $\text{ha}\cdot\text{h}^{-1}$ ],  
 $W$  – prevádzková výkonnosť [ $\text{ha}\cdot\text{h}^{-1}$ ],  
 $E$  – energetické vstupy do členov unifikovanej rady [J],  
 $M$  – materiálové vstupy do členov unifikovanej rady [kg.],  
 $PS$  – vstupy pracovných síl do členov unifikovanej rady [Euro],  
 $Q_T$  – merná energia, vzťahujúca sa na jednotku opracovanej plochy [ $\text{J}\cdot\text{ha}^{-1}$ ].

Z posledne uvedenej rovnice 6 je vidieť, že jej riešením sa môžeme dopracovať k optimálnym hodnotám konštrukčnej výkonnosti a intenzity práce sledovaného systému alebo sekacieho mechanizačného prostriedku.

## ENERGETICKÁ NÁROČNOSŤ STROJOV PRE ŠTIEPKOVANIE

Pri hodnotení energetickej náročnosti strojov pre štiepkovanie budeme v ďalšom texte uvažovať s výrobným systémom pre zber plantážnicky pestovaných rýchlorastúcich drevín. Takto pestované dreviny je možné zberať plne mechanizovane pomocou sekacích adaptérov nesených univerzálnymi traktormi alebo inštalovanými na samopojazdnom podvozku. Zber a spracovanie drevín je v tomto prípade prakticky podobné zberu poľnohospodárskych plodín ako napr. kukurice. Vyrobená štiepka sa potom automaticky zo sekacieho ústrojenstva vynáša na korbu odvozného prostriedku. Základnými kvantitatívnymi charakteristikami takéhoto systému je pracovná rýchlosť  $v(t)$  a pracovná výkonnosť daná veľkosťou opracovanej plochy za jednotku času  $W_p$ .

Energetická náročnosť je vyjadrená prácou či energiou vo fyzikálnych jednotkách (J), prípadne príslušnou prácou vyjadrenou vo fyzikálnych jednotkách vzťahnutých na jednotku času, to je výkonom. Pre energetickú náročnosť pracovnej súpravy realizujúcej štiepkovanie platí základný vzťah:

$$N(t) = F(t) \cdot v(t) \cdot \eta_{c1}(t) + M_K(t) \cdot \omega(t) \cdot \eta_{c2}(t) \quad [\text{W}] \quad (7)$$

kde:  $N(t)$  – energia potrebná v jednotke času na prácu pracovnej súpravy [W],  
 $F(t)$  – sila potrebná k prekonaniu odporov konštrukčných prvkov [N],  
 $v(t)$  – pracovná rýchlosť súpravy [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ],  
 $M_K(t)$  – krútiaci moment nutný k prekonaniu odporov konštrukčných prvkov [N.m],  
 $\omega(t)$  – uhlová rýchlosť rotujúcich pracovných či nepracovných orgánov [ $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ ],  
 $\eta_{c1,2}$  – účinnosť prenosu energie z hnacieho motora na pracovné orgány súpravy konajúce translačný alebo rotačný pohyb [–].

Veličiny charakterizujúce energiu vnášanú do procesu štiepkovania sa menia s časom. Vyššie uvedenú rovnicu 7 je možné uviesť do tvaru, kde bude energetická náročnosť pracovnej súpravy vyjadrená v spotrebe paliva na opracovanú plochu:

$$Q_H = \frac{10^{-3}}{T_p \cdot \gamma} \cdot \int_0^{T_p} \left[ \frac{10^{-3} \cdot F(t) \cdot v(t)}{\eta_{c1}(t) \cdot W_p(t)} + \frac{10^{-3} \cdot M_K(t) \cdot \omega(t)}{\eta_{c2}(t) \cdot W_p(t)} \right] \cdot q(t) dt \quad [\text{l} \cdot \text{ha}^{-1}] \quad (8)$$

kde:  $W_p$  – pracovná výkonnosť [ $\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$ ],  
 $\gamma$  – merná hmotnosť paliva [ $\text{kg} \cdot \text{l}^{-1}$ ],  
 $T_p$  – čas práce [h],  
 $q$  – merná spotreba [ $\text{g} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ].

Uvedená rovnica 8 nemá analytické riešenie. Jej význam spočíva v tom, že na jej základe je možné experimentálne merať množstvo energie potrebnej na opracovanie určitého množstva drevnej hmoty pri operácii štiepkovania. Rovnicu je možné využiť na výpočet štandardov optimalizácie automatizovaným alebo neautomatizovaným spôsobom. Na základe tejto rovnice určené energetické štandardy operácií štiepkovania bližšie uvádza Janeček (2010).

## SOFTWAREVÁ OPTIMALIZÁCIA

Pre potreby praktického riešenia uvedenej optimalizačnej metódy bol na Českej zemědělskej univerzite zostavený počítačový program zameraný práve na problematiku optimalizácie výrobných systémov štiepkovania dendromasy.

Program na volá „Optimalizace výrobních systémů při štěpkování dendromasy z hlediska energetiky, ekonomiky a ekologické čistoty práce“ (ďalej len program) a je určený pre jednoduché a rýchle určenie energetickej náročnosti, výšky nákladov a emisné zaťaženie prostredia spôsobené pri nasadení výrobných systémov štiepkovania dendromasy bežne používaných v lesnom hospodárstve. Program je vypracovaný v českom jazyku. Je koncipovaný ako výpočtový kalkulátor výkonnosti, spotreby, emisného zaťaženia a nákladov pri prevádzke vybraného systému s prepočtom rozčleneným na výsledné ukazovatele výkonnosti, energetickej náročnosti, energetickej straty, poškodenie porastu, emisné zaťaženie a jednotkové priame náklady. Nákladové ukazovatele sú navyše členené podľa druhu nákladov. Vo výpočtoch sú parametricky zohľadnené prírodné podmienky za ktorých je práca vykonávaná a technické a ekonomické charakteristiky systému.

Program je spracovaný v prostredí MS Access 2007 a rešpektuje všetky bežne používané technické prostriedky a konvencie používané firmou Microsoft. Pre správnu funkciu programu sa doporučuje prevádzkovať ho na počítači vybavenom mikroprocesorom minimálne Pentium II s operačnou pamäťou minimálne 128 MB a pamäťovou kapacitou interného HD aspoň 20 GB. Program je spracovaný ako sprievodca jednotlivými obrazovkami so stručným popisom jednotlivých blokov a aktívnych tlačidiel doplnených textovou časťou obsahujúcou možnosti, postupy a výsledky pri aktivácii jednotlivých prvkov programu. Program je tvorený dvomi základnými segmentami:

1. Segment A – tvorí databázu výrobných systémov,
2. Segment B – tvorí optimalizačný výpočet.

V Segmente A programu je možné zadávať základné technické a ekonomické parametre sledovanej pracovnej zostavy, prípadne tieto priamo vybrať z vlozenej databázy. Program tiež umožňuje priebežne verifikovať obsah zadanej databázy. Základné výsledky tohto segmentu programu sú tvorené šiestimi tabuľkami:

1. Výkonnosť výrobného systému [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ], [ $\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$ ],
2. Energetická náročnosť, udaná v množstve spotrebovaného paliva [ $\text{l} \cdot \text{ha}^{-1}$ ], [ $\text{l} \cdot \text{h}^{-1}$ ],
3. Energetické straty [ $\text{l} \cdot \text{ha}^{-1}$ ], [ $\text{l} \cdot \text{h}^{-1}$ ],
4. Poškodenie porastu [%],
5. Emisné zaťaženie [ $\text{g} \cdot \text{ha}^{-1}$ ], [ $\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$ ],
6. Jednotkové priame náklady [ $\text{Kč} \cdot \text{ha}^{-1}$ ], [ $\text{Kč} \cdot \text{h}^{-1}$ ].

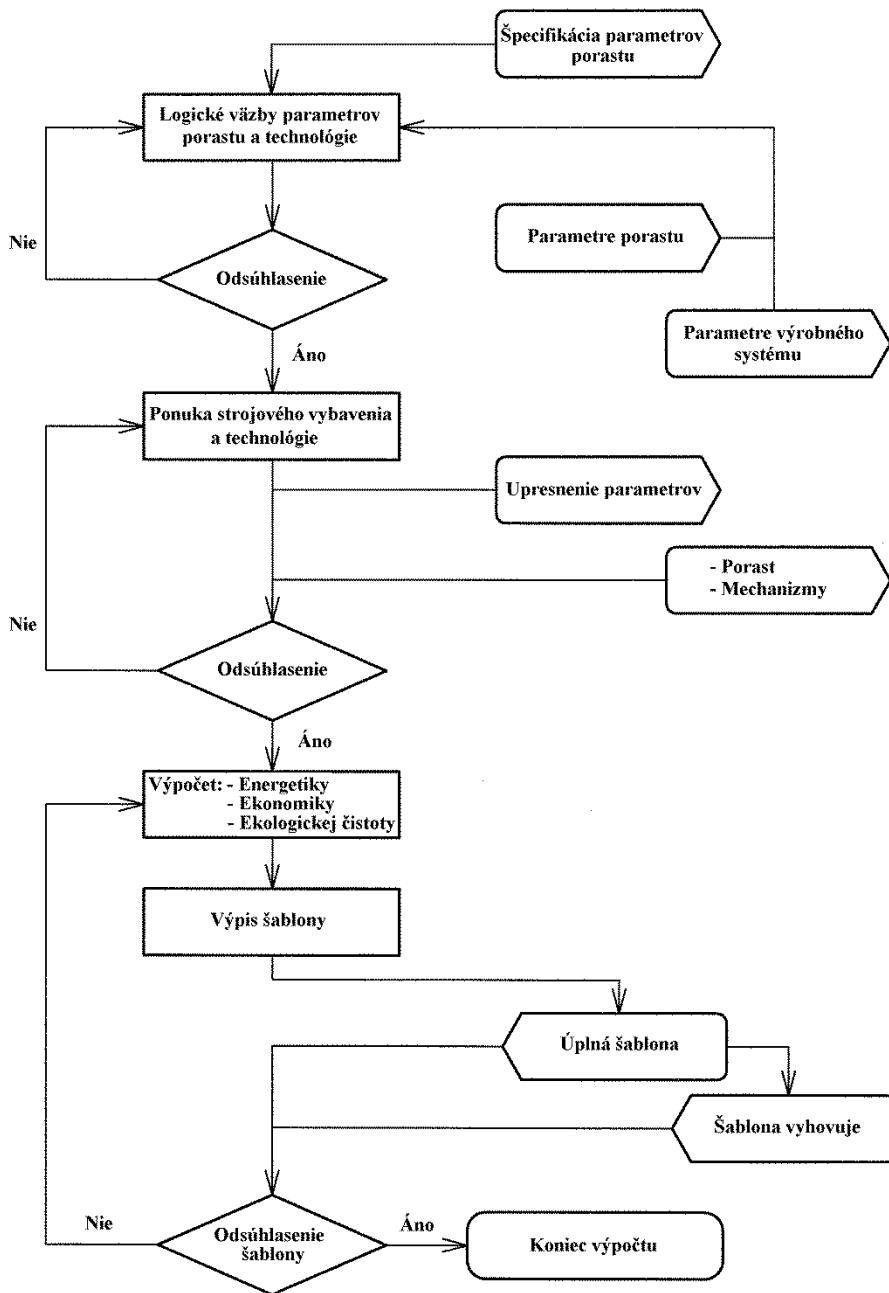
V segmente B programu je možné vykonávať samotný proces optimalizácie parametrov sledovanej pracovnej súpravy. Táto sekcia je tvorená štyrmi tabuľkami:

1. Zoznam vybraných systémov,
2. Zadávanie parametrov optimalizácie,
3. Výber optimalizačného kritéria,
4. Výsledky a parametre pre vybraný systém.

Vo všeobecnosti môžeme o vytvorenom softwarovom produkte povedať, že dáva užívateľovi odpoveď na nasledovné otázky:

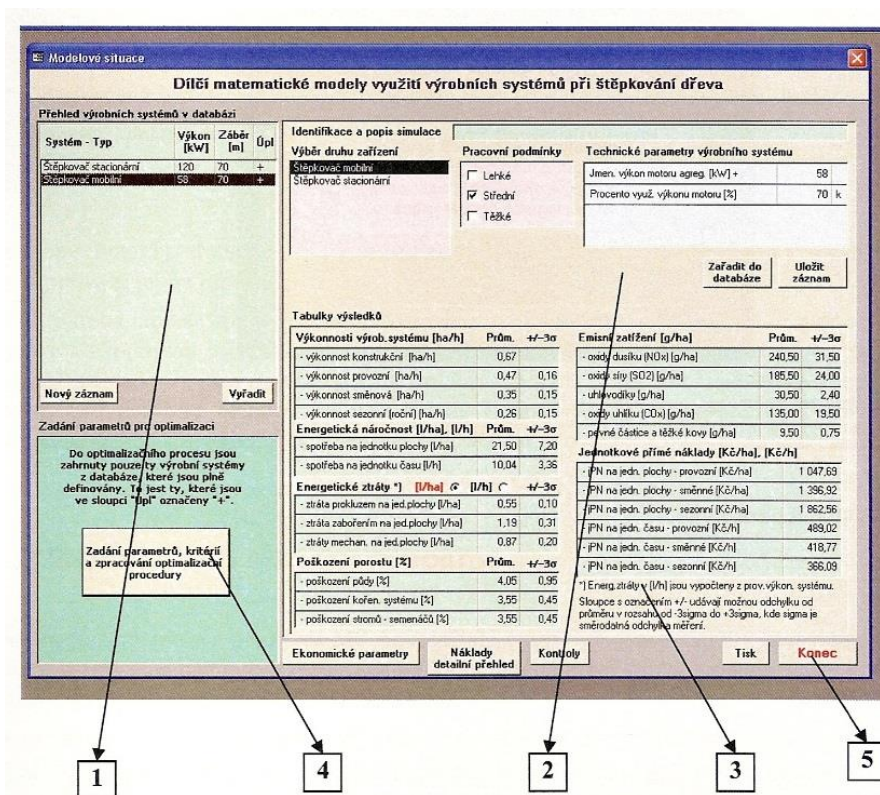
1. Aký systém špecifikovaný hmotnosťou, či konštrukčnou výkonnosťou je vhodný z hľadiska kritéria energetiky, ekonomiky, či ekologickej čistoty pre vykonanie danej práce,
2. Aký je vplyv konštrukčných či prevádzkových parametrov na výšku minima energetického, ekonomického, či na optimálnu hodnotu ekologickej čistoty práce,
3. Či je optimálny konštrukčný, či prevádzkový návrh špecifikujúci vzájomný vzťah motora a pracovného či technologického systému,
4. Či systém štiepkovania lesnej dendromasy z hľadiska ekonomiky, energetiky, či ekologickej čistoty práce je navrhnutý tak, aby bol konkurencieschopný,
5. Či je zvolený mechanizačný prostriedok (sekačka) z hľadiska koncepcie, konštrukčne vhodný pre použitie v daných terénnych podmienkach.

Na obrázku 2 je znázornená vnútorná štruktúra toku dát v uvedenom programovom produkte. Na obrázku 3 je ako príklad užívateľského prostredia programu znázornené aplikačné okno „Zoznam systémov v databáze“.



Obr. 2. Vnútrná štruktúra toku dát vo výpočtovom (optimalizačnom) programe





Obr. 3. Zoznam systémov v databáze

1. Sekcia pre aktualizáciu databázy, 2. Sekcia pre zadávanie parametrov pracovných podmienok a technických parametrov, 3. Sekcia výsledných ukazovateľov pre vybraný systém, 4. Sekcia pre pustenie segmentu Optimalizácia, 5. Ukončovacie tlačidlo

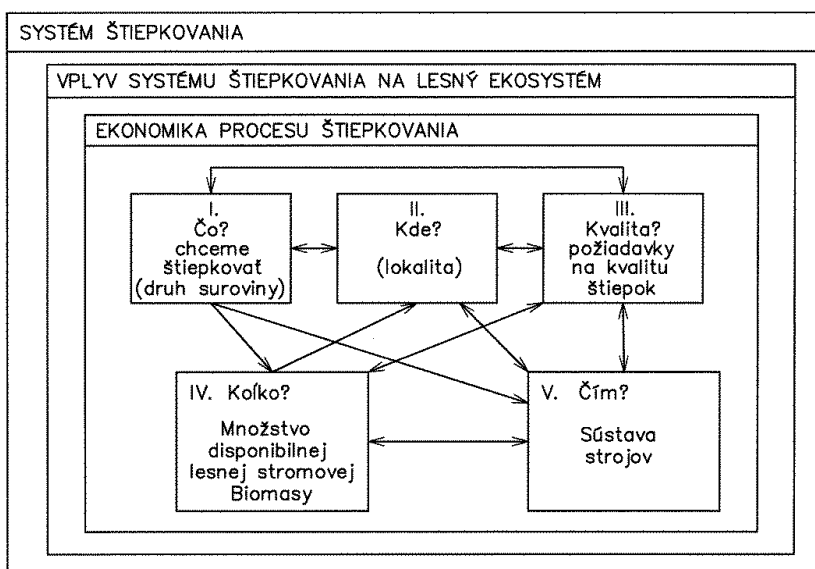
## DISKUSIA

Výhodou uvedenej optimalizačnej metódy je jej univerzálnosť. Dá sa aplikovať nielen na systémy štiepkovania dendromasy ale aj na optimalizáciu ďalších lesníckych technologických činností, súvisiacich napr. s pestovaním lesa, jeho ošetrovaním ako aj ťažbou a dopravou drevnej hmoty (Sokolov 2011). Metódu je možné dokonca využiť aj v samotnom procese vývoja lesníckych mechanizačných prostriedkov a navrhnuť tak optimálnu technologickú zostavu pre daný účel a dané prírodné podmienky (Gulan & Mazurkovič 2009, Mikleš 2014, Seyranian et al. 1994).

Uvedená univerzálnosť metódy vyplýva z matematickej povahy jej vyjadrenia. Na druhej strane však čisto matematicky poňatá optimalizácia prináša určité úskalia, ovplyvnené najmä rôznymi ekonomickými kritériami. Ak z čisto matematického hľadiska optimalizujeme určitý technologický systém pre určité vstupné a prevádzkové podmienky, tak tento pre iné aj menej odlišné podmienky čisto exaktne vyhovovať nebude. Nie je možné z praktických hľadísk a určitých racionálnych a ekonomických zásad žiadať výrobcov

techniky o výrobu netypizovaných zariadení, ktoré by ideálne vyhovovali našim podmienkam. Toto je jeden z problémov viackriteriálnej optimalizácie (Guddat 1985). Preto pri vyhodnocovaní takýchto optimalizačných úloh je potrebné zvážiť konkrétne reálne podmienky.

Zložitosť situácie optimálneho výberu vhodnej sekačky alebo návrhu celého technologického zariadenia štiepkovania dreva znázorňuje schéma na obr.4, ktorú uvádzajú autori Alexandr a Roček (1991). Z uvedenej schémy je jasné, že táto otázka je netriviálnym a multikriteriálnym problémom. Navyše musíme rátať aj s tým, že stroj po vykonaní našej úlohy, pokiaľ ostane v našom vlastníctve, budeme chcieť využívať aj v iných technologických podmienkach štiepkovania dendromasy. My si plne uvedomujeme zložitosť týchto vzťahov a netvrdíme, že uvedená optimalizačná metóda a na jej základe zostavený počítačový program plne a vyčerpávajúco napĺňajú naznačené vzťahy. Napriek uvedeným nedostatkom môžeme považovať uvedenú optimalizačnú úlohu a na jej základe navrhnutý software za určitý prínos v oblasti možnej racionalizácie a zefektívňovania lesníckych technologických činností na úseku štiepkovania dendromasy. V súčasnosti môžeme badať určité snahy po automatizácii a presnom riadení technologických a výrobných činností najmä v poľnohospodárstve. Myslíme si, že je len otázkou času kedy sa tieto činnosti začnú uplatňovať aj v lesníckej výrobe (Gerasimov & Karjalainen 2008).



Obr. 4. Bloková schéma vzťahov v systéme štiepkovania dreva

Systém uvedeného optimalizačného programu je otvorený a prípadné ďalšie činitele, ktoré sa časom ukážu ako dôležité, je možné do neho doprogramovať. Jeho určitým problémom zostáva báza vytvorených dát mechanizačných prostriedkov, ktorá je z určitej časti odkázaná na výsledky experimentov a sledovania zariadení v reálnej pracovnej činnosti.

Prvé realizované výpočty v navrhnutom optimalizačnom programe naznačujú, že daný systém pracuje správne a je schopný poskytovať reálne výsledky. Prevedený overovací výpočet s uvedením čiastkových výsledkov pre sekačku menovitého výkonu 50 kW uvádza Janeček et al. (2012). Môžeme však povedať, že vykonaná analýza matematického modelu preukázala dominantný vplyv výkonnosti pracovného stroja (sekačky) a jeho hmotnosti na sledované prevádzkové parametre a konštrukčné vlastnosti sekačky. Výsledky prvých overovacích výpočtov ukázali, že zmeny analyzovaných parametrov v rozsahu 5 % až 10 % sa odrážali na zmenách mernej spotreby energie, ekonomiky prevádzky a sledovaných ekologických aspektoch o 40 % až 50 %.

Ako sme už uviedli vyššie, metóda prírodného minimaxu je univerzálna optimalizačná metóda. Jej využitie v súčasnosti je predovšetkým vo vedách matematických a v oblasti teórie riadenia a regulácie technologických procesov. Uvedený článok uvádza možnú aplikáciu tejto optimalizačnej metódy aj v oblasti lesníckych výrobných technológií a to predovšetkým v perspektívnej oblasti mechanizovaného zberu plantážnicky pestovaných rýchlorastúcich drevín, čo možno považovať za originálne riešenie danej problematiky. V budúcnosti by sme chceli uvádzané teoretické úvahy overiť aj experimentálnymi meraniami v teréne.

## ZÁVER

Výsledky analýzy princípu minimaxu ukázali, že kritériá energetické, ekonomické a ekologické sú navzájom previazané. Bolo zistené, že keď systém energetický zdroj – pracovný stroj nepracuje racionálne z hľadiska energetiky, nepracuje tiež racionálne aj z hľadiska ekonomiky aj z hľadiska ekologických aspektov. Táto téza podporuje známu skutočnosť, že stratová energia, vznikajúca pri práci energetického systému nielen zvyšuje spotrebu energie, zhoršuje ekonomiku prevádzky, ale negatívne ovplyvňuje pôsobenie systému na okolité prostredie.

Uvedená optimalizačná metóda pretavená do softvérového produktu dáva užívateľovi do rúk nástroj, ktorý umožňuje prakticky stanoviť množstvo spotrebovanej energie, emisií cudzorodých látok, poškodenie pôdy či stojacich stromov. Jednoduchým inžinierskym výpočtom získa užívateľ kvantitatívne charakteristiky s ktorými môže argumentovať pri obhajobách svojich názorov o použití tej ktorej techniky na danom poraste. Argumentácia kvantitatívneho charakteru je zvlášť dôležitá pri plánovitom vykonávaní prác v chránených oblastiach.

## LITERATÚRA

- ALEXANDR, P., ROČEK, I., 1991. Technika a technologie výroby lesních štěpek. Praha: Editpress, 1991, 134 s. ISBN 80-213-0095-7
- BEER, F.P., JOHNSTON, E.R., 1987. Mechanics for engineers. Dynamics. New York: McGraw-Hill Book, 1987, pp.435-926. ISBN 0-07-100135-2
- BIRGE, J. R., WETS, J. R. B., 1986. Designing approximation schemes for stochastic optimization problems, in particular for stochastic programs with recourse. In: Mathematical Programming Studies, (27), 1986, pp.54-102. ISSN 0303-3929

- CHERKAEV, E., CHERKAEV, A., 2008. Minimax optimization problem of structural design. In: Computers and structures, 86 (2008), pp.1426-1435 ISSN 0045-7949
- DOWNAROWICZ, T., 2011. Entropy in dynamical systems. Cambridge: Cambridge university press, 2011, 391pp. ISBN 978-052-1888-851
- GERASIMOV, Y., KARJALAINEN, T., 2008. Development program for improving wood procurement in Northwest Russia based on SWOT analysis. In: Baltic forestry 14 (1), pp.85-90 ISSN 1392-1355
- GUDDAT, J., 1985. Multiobjective and stochastic optimization based on parametric optimization. Berlin: Akademie, 1985, 175 pp.
- GULAN, L., MAZURKIEVIČ, I., 2009. Mobilné pracovné stroje. Teória a metódy projektovania. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2009, 180s. ISBN 978-80-227-3026-6
- JANEČEK, A., 1996. Optimalizace struktury a postupů lesních výrobních systémů v lesním hospodářství. Praha: ČZU, 1996, 34s. ISBN 80-213-0305-0
- JANEČEK, A., ULRICH, R., NERUDA, J., MIKLEŠ, M., 2012. Princip minimaxu ve výrobním systému štěpkování dendromasy. Brno: Tribun EU, 2012, 120s. ISBN 978-80-263-0090-8
- JANEČEK, A., SUCHOMEL, J., STRÁNSKÝ, V., 2010. Standardy a optimalizace výrobních systémů štěpkování dřeva v lesním hospodářství. Kostlec nad Černými lesy: Nakladatelství a vydavatelství Lesnická práce, 2010, 60s. ISBN 978-80-87154-55-7
- MIKLEŠ, J., 2011. Ťahové skúšky a vlastnosti špeciálneho lesného traktora. In: Acta facultatis technicae, XVI, 2011 (1), s.95-105 ISSN 1336-4472
- MIKLEŠ, J., 2014. Určenie veľkosti nákladu pre lesný kolesový ťahač. In: Acta facultatis technicae, XIX, 2014 (2), s.31-37 ISSN 1336-4472
- MIKLEŠ, M., 2011. Stabilita lesných traktorov na svahoch. In: Acta facultatis technicae, XVI, 2011 (2), s.135-139 ISSN 1336-4472
- MIKLEŠ, M., 2012. Odvaľovanie hnacieho kola lesného stroja s elasticou pneumatikou. In: Acta facultatis technicae, XVII, 2012 (1), s.67-77 ISSN 1336-4472
- MIKLEŠ, M., 2013. Dynamická stabilita lesného kolesového traktora s nákladom a odolnosť proti prevráteniu. In: Acta facultatis technicae, XVIII, 2013 (1), s.119-126 ISSN 1336-4472
- NORKIN, V.I., PFLUG, G.C., RUSZCZYNSKI, A., 1998. A branch and bound method for stochastic global optimization. In: Mathematical Programming Studies, (83), 1998, pp.425-450 ISSN 0303-3929
- SOKOLOV, A., 2011. Ergonomic characterization of wood harvesting systems in Russia. In: International conference Formec, October 9-13, 2011, Graz, pp.1-12.
- OTT, E., 2002. Chaos in dynamical systems. Cambridge: Cambridge university press, 2002, 478pp. ISBN 978-052-1811-965
- SEYRANIAN, A.P., LUND, E., OLHOFF, N., 1994. Multiple eigenvalues in structural optimization problems. In: Journal of Structural and Multidisciplinary Optimization, (8), 1994, pp.207-227 ISSN 1615-1488
- SHAPIRO, A., KLEYWEGT, A., 2002. Minimax analysis of stochastic problems. In: Optimization Methods and Software, Vol. 17, pp.523-542 ISSN 1055-6788

**Kontaktná osoba:**

Ing. Milan Helexa, PhD., tel.: +421 45 5206 552, e-mail: milan.helexa@tuzvo.sk

## ZHODNOTENIE KVALITY PRÁCE STATICKÝCH VÝSUVNÝCH MIKROPOSTREKOVAČOV

### EVALUATION OF THE WORK QUALITY OF THE STATIC MICRO SPRINKLER

Ján Jobbágy<sup>1</sup>, Jozef Pavel<sup>1</sup>, Henrich Bleho<sup>1</sup>, Jozef Krilek<sup>2</sup>, Ján Kováč<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Katedra strojov a výrobných biosystémov, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 94976 Nitra, SR, Jan.Jobbagy@uniag.sk*

<sup>2</sup>*Katedra environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 96001, Zvolen, SR, jkrilek@gmail.com*

**ABSTRACT:** In the paper we are focused to determine the uniformity of the Claber Rainjet 90006 static micro-sprinkler. The measurements were performed on two lawns covering an area of 75 m<sup>2</sup> (pitch 1) and 52 m<sup>2</sup> (pitch 2). Irrigation system consisted of three sections. The first section consisted of two nozzles, the second section of the 3 and the third section was composed of five nozzles. The first and second section was placed on the field 2 and a third section on the field first. Aim of my work was to evaluate the coefficient of uniformity of the spray of micro-sprinklers. Coefficient of uniformity Cu by Christiansen in the lawn 1 reached 44.85 % (working only section 3) and lawn 2 reached 40.47 % (operating section 1 and section 2). Mean depth of water application was 25.06 mm (lawn 1) and 19.77 mm (lawn 2). The coefficients of variation amounted to 67.35 % (for field 1) and 73.16 % (for lawn 2). Results on the measured values, we found that lawn 1 (Cu=44.85 %) would need to fine-tune individual micro-sprinklers, thus achieving higher value of Cu. On the lawn 2 was different situation, because irrigation consisted of two sections (Cu=40.47 %). The results showed that it is necessary to fine-tune micro-sprinklers in both section. The highest value of the work quality was by irrigation with all sections (Cu=52.62%). The results showed, that quality of work wasn't achieve, which is defined by the standard (Cu> 90). Micro-sprinkler supplementing into individual sections and the setting of their spacing (overlap irrigation doses), higher values of Cu could be achieved.

**Keywords:** irrigation; coefficient of Cu; micro-sprinklers

**ABSTRAKT:** V príspevku sme sa zamerali na stanovenie rovnomernosti postreku mikropostreko-vačov Claber Rainjet 90006. Merania sa uskutočnili na dvoch trávnikoch o rozlohe 75 m<sup>2</sup> (trávnik 1) a 52 m<sup>2</sup> (trávnik 2). Závlahový systém pozostával z 3 sekcií. Prvá sekcia pozostávala z 2 dýz, druhá sekcia z 3 a tretia sekcia bola zostavená z 5 dýz. Prvá a druhá sekcia bola umiestnená na trávniku 2 a tretia sekcia na trávniku 1. Koeficient rovnomernosti Cu u trávniku 1 dosiahol hodnotu 44,85 % (v prevádzke len sekcia 3) a u trávniku 2 dosiahol hodnotu 40,47 % (v prevádzke sekcia 1 a sekcia 2). Priemerná závlahová dávka bola 25,06 mm (u trávniku 1) a 19,77 mm (u trávniku 2). Priemerná hodnota variačného koeficienta dosiahla hodnotu 67,35 % (u trávniku 1) a 73,16 % (u trávniku 2). Na základe nameraných hodnôt, môžeme skonštatovať, že u trávniku 1 (Cu = 44,85 %) by bolo

treba doladiť jednotlivé mikropostrekovače, a tým dosiahnuť vyššie hodnoty Cu. U trávnik 2 bola situácia iná, keďže závlaha pozostávala z dvoch sekcií (Cu = 40,47 %). Z výsledkov vyplynulo, že je treba doladiť mikropostrekovače u oboch sekcií. Najvyššia hodnota kvality práce bola pri chode všetkých troch sekcií (52,62 %). Výsledky poukázali na nedosiahnutie kvality práce, ktorá je definovaná normou (Cu>90). Vyššie hodnoty Cu by bolo možné dosiahnuť doplnením mikropostrekovačov do jednotlivých sekcií a správnym nastavením ich rozstupov (t.j. prekrytí závlahových dávok).

**Kľúčové slová:** závlaha, koeficient Cu, mikropostrekovač

## ÚVOD

Mikropostrekovače môžu byť umiestnené priamo na potrubí, na hadičke alebo upevnené na stojane zapichnutom do pôdy. Zavlažujú porast jemnými kvapkami v sadoch alebo krytých vegetačných priestoroch pri úprave atmosféry (Findura a kol., 2013). Závlaha mikropostrekom zaručuje zavlaženie celú plochu, avšak je treba dbať na správne prekrytia. Systémy sú zložené s mnohých na seba nadväzujúcich prvkov – v zásade z postrekovačov s tryskami, potrubí, senzorov, ventilov a radiacej jednotky (Jobbágy, Štofík, 2011). Kvalita zavlažovania sa posudzuje správnou intenzitou a rovnomernosťou zavlažovania. Intenzita vyjadruje množstvo vody v mm dodané zavlažovačom za časovú jednotku (Jobbágy, 2011). Kvalita zavlažovacieho systému postrekovačov je často krát hodnotená na základe hodnoty koeficienta rovnomernosti získaného zo vstupnej databázy údajov (Topak et al., 2005). Cieľom vedeckého príspevku bolo zhodnotiť kvalitu práce sekcií mikropostrekovačov, ktoré zavlažujú trávnik, stromčeky a okrasné kvety.

## MATERIÁL A METÓDY

Pre zavlažovanie trávnik, ktorý bol rozdelený na dve samostatné plochy, bola použitá sústava mikropostrekovačov usporiadaná do troch sekcií (obr.1). V sekcií 1 boli zapojené dva postrekovače, v sekcií 2 to boli tri postrekovače a v sekcií 3 to bolo päť postrekovačov. Rozmerovo možno charakterizovať trávnik 1 ako obdĺžnik s rozmermi 25 m x 3 m s celkovou plochou 75 m<sup>2</sup>. Trávnik 2 pripomína skôr mnohouholník s celkovou plochou 52 m<sup>2</sup>. V jednotlivých sekciách sa použil rovnaký typ mikropostrekovača Claber Rainjet 90006 (výška výsuvu 101,6 mm). Tento regulovateľný výsuvný mikropostrekovač je možné nastaviť na rozptyl od 0 do 350°. Technické parametre mikropostrekovača sa uviedli v tabuľke 1.

Zdrojom závlahovej vody bola studňa s čerpadlom s maximálnym prietokom 1,15 l.s<sup>-1</sup> (otáčky 1450 min<sup>-1</sup>, výkon 2,05 kW). Rozvádzač slúži na rozvádzanie vody do závlahového systému. Reguluje sa tu prietok vody a taktiež sa tu zapájajú jednotlivé sekcie. Závlahový systém je riešený tak, aby bolo možné ovládať samostatne každú sekciu a tým vytvoriť kombinácie pre zavlažovanie a prekrytia.

**Tabuľka 1** Technické parametre mikropostrekovača  
**Table 1** Parameters of Micro-sprinkler

Tlak <sup>1)</sup> , kPa	Prietok <sup>2)</sup> , l.min <sup>-1</sup>				Dostrek <sup>3)</sup> , m	Rozstup mikropostrekovačov <sup>4)</sup> , m
	90°	180°	270°	350°		
0	2,8	5,3	7,7	9,2	4,0	5,7
200	3,3	5,8	9,0	10,8	4,5	6,4
300	4,0	6,9	10,8	13,0	5,0	7,1

<sup>1)</sup> Pressure, <sup>2)</sup> Flow, <sup>3)</sup> Throw radius, <sup>4)</sup> Spacing of micro-sprinkler

Na meranie sa použili zrážkomerné nádoby z plastickej hmoty, kruhového tvaru o priemeru 12 cm. Rozstup nádob pozdĺž trávniku bol 1,5 m. Počet rozmiestnených nádob pri meraní trávniku číslo 1 bol 51 ks. Pri meraní trávniku číslo 2 bol počet nádob 32 ks. Každé meranie trvalo 1 hodinu. Teplota vzduchu sa pohybovala v intervale 20 – 22 °C. Rýchlosť vetra bola v rozsahu stanovenej normou. Merania v teréne sme vykonali v nasledovných kombináciách:

- každá sekcia zvlášť S<sub>1</sub> alebo S<sub>2</sub> alebo S<sub>3</sub> (zvyšné dve ostanú zatvorené),
- kombinácie všetkých dvojíc sekcií – S<sub>1</sub>+S<sub>2</sub> alebo S<sub>2</sub>+S<sub>3</sub> alebo S<sub>1</sub>+S<sub>3</sub> (zvyšná ostáva zatvorená),
- všetky tri sekcie súčasne S<sub>1</sub>+S<sub>2</sub>+S<sub>3</sub>.

Pre zhodnotenie kvality práce sme postupovali podľa normy ISO/DIS 7749-2 a výpočty sme vykonali podľa Christiansena.

Výpočet sa uskutočňuje podľa nasledovného vzťahu (Zdražil, Spitz, 1966):

$$Cu = 100 \cdot \left[ 1 - \frac{\sum_{i=m}^n |Vi - \bar{Vi}|}{n \cdot \bar{Vi}} \right] \quad (1)$$

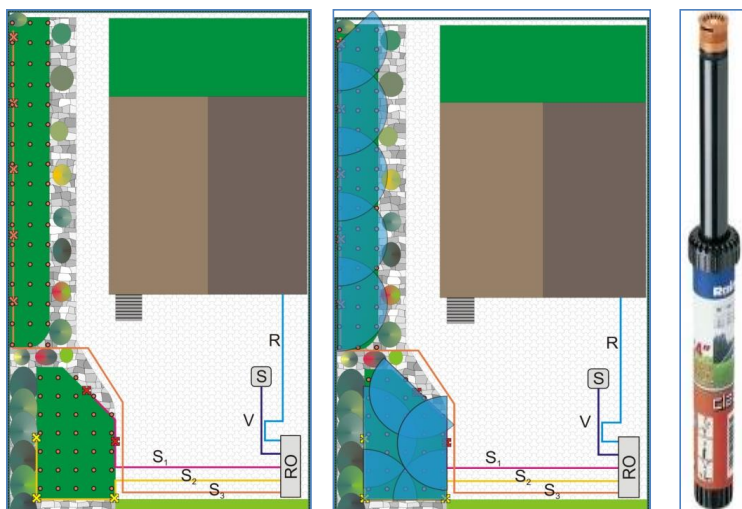
kde:

$V_i$  – dávka vody na elementárnych plochách, mm

$\bar{V}_i$  – priemerná dávka vody, mm

$n$  – počet rovnako veľkých elementárnych plôch, na ktoré sa zavlažovaná plocha rozdeľí, pričom plochy musia byť rovnako veľké, ks,

$\sum_{i=m}^n |Vi - \bar{Vi}|$  – absolútna suma odchýliek od priemernej dávky.



**Obr. 1** Záujmové územie: a)  $S_1$  – sekcia 1,  $S_2$  – sekcia 2,  $S_3$  – sekcia 3, R – rezerva, S – studňa, V – vstup vody, RO – rozvádzač, x – mikropostrekovače, b) ukážka zavlažovania – 3 sekcie, c) Mikropostrekovač

**Fig. 1** Irrigation area: a)  $S_1$  – section one,  $S_2$  – section two,  $S_3$  – section three, R – reserve, S – water well, V – input of water, RO – switchboard, x – micro-sprinkler, b) example of irrigation with section three, c) Micro-sprinkler

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Merania prebehli podľa metodiky za bezvetria. Jednotlivé sekcie sa premerali z dôvodu prehľadného posúdenia kvality práce jednotlivých sekcií. Samostatné sekcie na trávniku 2 jednoznačne nemôžu vykazovať na celom trávniku hodnoty rovnomernosti vyššie ako 70 %, ako vyplýva z obr. 2 (pre správnu činnosť musia byť v prevádzke súčasne sekcia 1 a 2). V prípade zavlažovania trávniku 1 prebiehalo zavlažovanie piatimi postrekovačmi sekciou 3 u ktorej boli mikropostrekovače usporiadané tak, že sa prekrývali v záberoch (obr.1). Pre základný výskum sme si určili za cieľ posúdiť kvalitu práce troch sekcií, ktoré je možné ovládať samostatne. Z toho dôvodu sme si aj výskum rozdelili na tri piliere a to zhodnotiť kvalitu práce každej sekcie zvlášť – prvý pilier, ako druhý pilier – kombinácia dvoch sekcií a na záver boli všetky tri sekcie v prevádzke – tretí pilier.

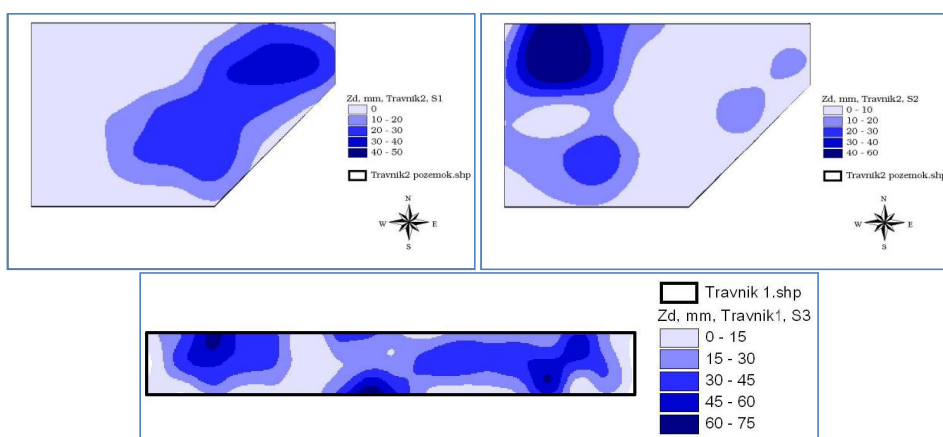
### 1. Jednotlivé sekcie $S_1$ , $S_2$ a $S_3$

Na začiatku výskumu boli stanovené základné vstupné požiadavky. Z hľadiska prehľadnejšieho zhodnotenia výstupov, bude pre nás významná hlavne výstupná mapa a kvalita práce sekcie 3, ktorá slúži na zavlažovanie trávniku 1 ako samostatná jednotka. Z výsledkov možno usúdiť, že závlahová dávka sa pohybovala v rozpätí od 0 do 75 mm. Zaujímavosťou bolo zistenie, že v troch posledných nádobách na trávniku 1 sme mali nulové hodnoty závlahovej dávky. Jednoznačne odporúčame upraviť nastavenia jednotlivých postrekovačov, tým dosiahneme zvýšenie kvality práce. Celková hodnota rovno-



mernosti postreku dosiahla hodnotu 44,85 %. Nízka hodnota bola spôsobená nesprávnym nastavením výstrekových uhlov jednotlivých mikropostrekovačov. Grafické zhodnotenie výsledkov je na obr. 2.

Pri meraniach sekcie 1 a sekcie 2 na trávniku 2 sme dosiahli ešte nižšie hodnoty koeficientov rovnomernosti postreku Cu, a to 2,09 % (Sekcia 1) a 9,79 % (Sekcia 2). Nízke hodnoty boli spôsobené tým, že sme vyhodnocovali celý zameraný trávnik 2, pričom bola v činnosti vždy len jedna sekcia. Hodnoty koeficientov rovnomernosti pri tomto meraní nám poslúžili len ako informatívne. Grafické zhodnotenie výsledkov je uvedené na obr.2. Závlahová dávka pri týchto meraniach dosiahla hodnoty 0 až 60 mm. Pre zvýšenie kvality práce je treba hodnotiť prevádzku oboch sekcii súčasne.



**Obr. 2** Závlahová dávka, Sekcia S<sub>1</sub>, Sekcia S<sub>2</sub>, Sekcia S<sub>3</sub>  
**Fig. 2** Irrigation rate, Section S<sub>1</sub>, Section S<sub>2</sub>, Section S<sub>3</sub>  
 Zd – irrigation rate, S – section, Trávnik – lawn

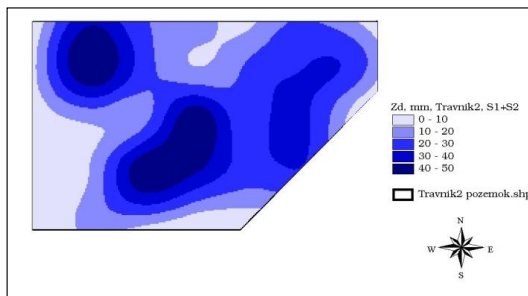
## 2. Kombinácie sekcií S<sub>1</sub> a S<sub>2</sub>, S<sub>2</sub> a S<sub>3</sub> a S<sub>1</sub> a S<sub>3</sub>

Ako ďalšiu skupinu meraní a hodnotení rovnomernosti postreku s mikropostrekovačmi sa zvolili kombinácie jednotlivých sekcií. Pre nás bolo zaujímavé hlavne meranie na trávniku 2 – kde išlo o kombináciu sekcie S<sub>1</sub> a sekcie S<sub>2</sub>. Ďalšie výskumy sa zamerali na kombinácie sekcií S<sub>1</sub>+S<sub>3</sub> a S<sub>2</sub>+S<sub>3</sub>. Pri týchto meraniach bolo pre nás skôr dôležité posúdiť zmenu kvality práce sekcií S<sub>1</sub> a S<sub>2</sub> na trávniku 2, pri zapojení do činnosti aj sekcie S<sub>3</sub>.

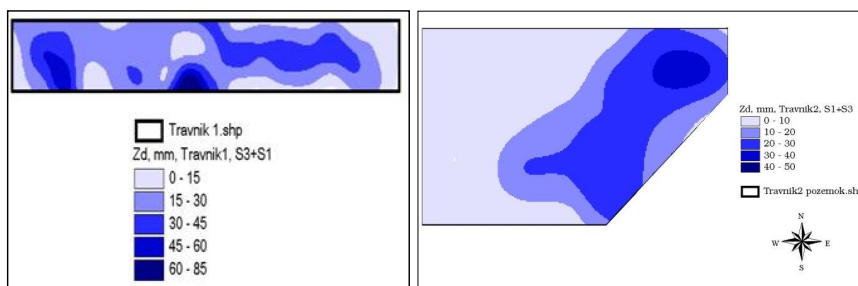
Priemerná závlahová dávka bola pri zavlažovaní trávniku 2–19,77 mm. Hodnota variabilného koeficienta bola dosť vysoká a dosiahla hodnotu 73,16 %. Koeficient rovnomernosti postreku (Cu = 40,47 %) však nedosiahol nami požadované (t.j. aj normou požadované hodnoty). Grafické zobrazenie výsledkov je uvedené na obr. 3. Z mapy variability závlahovej dávky jednoznačne vyplýva široké rozpätie hodnôt 0–50 mm, kde značná časť plochy bola zavlažená len dávkou maximálne 10 mm.

Pri aplikácii druhej kombinácie sme dosiahli hodnoty koeficientov rovnomernosti postreku u sekcie S<sub>1</sub> (37,91 % – s uvažovaním len nádob v ktorých bola voda) a u sekcie S<sub>3</sub> (51,33 %). U sekcie S<sub>3</sub> došlo k zvýšeniu kvality práce o 6,48 %. Priemerná závlahová

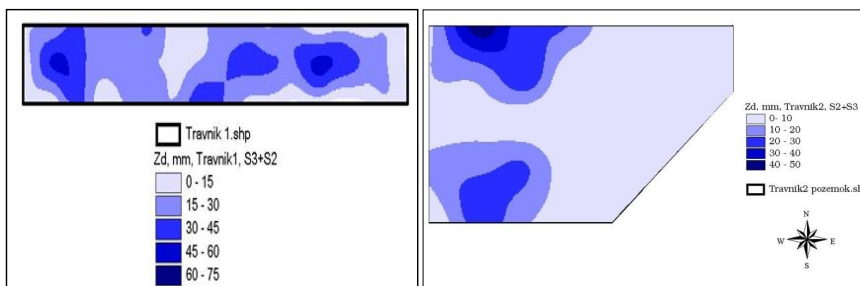
dávka bola 16,98 mm. Grafické zobrazenie výsledkov je na obr. 4. Variabilita u tejto kombinácie závlahy dosiahla hodnoty v rozpätí od 0 až do 85 mm. Ak by sme však uvažovali trávniky 1 a 2 bez funkčnej sekcie  $S_2$  hodnota koeficienta rovnomernosti postreku Cu by bola len 37,19 %.



**Obr. 3** Závlahová dávka, Sekcia  $S_1$  a  $S_2$   
**Fig. 3** Irrigation rate, Sections  $S_1$  and  $S_2$   
 Zd – irrigation rate, S – section, Trávnik – lawn



**Obr. 4** Závlahová dávka, trávnik 1 – Sekcia  $S_3$  a trávnik 2 – Sekcia  $S_1$   
**Fig. 4** Irrigation rate, Lawn one – Section  $S_3$  and lawn 2 – Section  $S_1$   
 Zd – irrigation rate, S – section, Trávnik – lawn



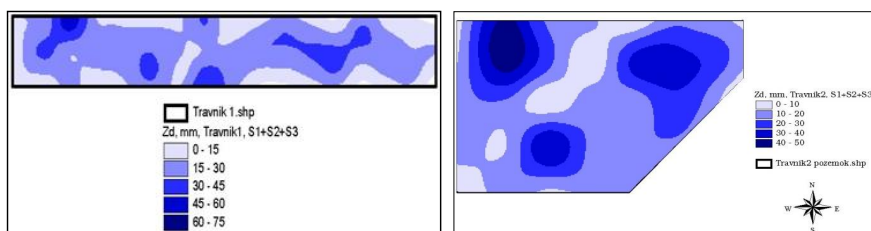
**Obr. 5** Závlahová dávka, trávnik 1 – Sekcia  $S_3$  a trávnik 2 – Sekcia  $S_2$   
**Fig. 5** Irrigation rate, Lawn one – Section  $S_3$  and lawn 2 – Section  $S_2$   
 Zd – irrigation rate, S – section, Trávnik – lawn

Pri aplikácii závlahovej dávky s treťou kombináciou, t.j. sekciami  $S_2$  a  $S_3$ , sa dosiahli hodnoty koeficientov rovnomernosti postreku 54,71 % (Sekcia 3), čo bolo v porovnaní

s meraním predtým vyššie o 3,38 %. U sekcii 2 sa dosiahla hodnota Cu len 24,73 % (aj keď sme výsledok uvažovali bez nádob s nulovou hodnotou závlahovej dávky). Priemerná závlahová dávka bola v tomto prípade 15,79 mm s variabilitou v rozpätí od 0 do 75 mm. Grafické zobrazenie výsledkov je uvedené na obr. 5. Zmena koeficienta rovnomernosti pri zmene sekcie z  $S_1$  na  $S_2$  a funkčnej sekcie  $S_3$  bola len nepatrná ( $Cu = 36,2$  %).

### 3. Rovnomernosť postreku trávnik 1, 2 – Sekcia 1, Sekcia 2 a Sekcia 3

Pri tomto meraní sa využili všetky sekcie menovite sekcia 1, sekcia 2 a aj sekcia 3 s priemernou dávkou 18,11 mm (obr.6). Celkovo možno konštatovať, že kvalita práce bola v tomto zapojení a celkovom hodnotení 52,62 %. Avšak pri porovnaní s normou požadovanými hodnotami je táto hodnota nepostačujúca ( $Cu = \text{min. } 90$  %). Pri hodnotení sekcií resp. trávnikov zvlášť možno povodať, že kvalita práce pri činnosti všetkých sekcií dosiahla u trávniku  $Cu = 51,83$  % a u trávniku 2  $Cu = 54,34$  %. Variabilita závlahovej dávky je zobrazená na obr. 6. Z obrázkov jednoznačne vyplýva vysoká hodnota viariability závlahovej dávky, rozpätie 0 až 75 mm.



Obr. 6 Závlahová dávka, všetky sekcie,  $S_1$ ,  $S_2$  a  $S_3$

Fig. 6 Irrigation rate, all sections,  $S_1$ ,  $S_2$  a  $S_3$

Zd – irrigation rate, S – section, Trávnik – lawn

### 4. Celkové zhodnotenie

Mikopostrekovače patria medzi najčastejšie spôsoby závlah trávnikov. Ich maximálne dostreky môžu byť viac ako 15 m. Pri ich zavádzaní do prax by bolo vhodnejšie poznať, a to pri konkrétnych vstupných podmienkach, závlahové krivky. Vzájomným nastavovaním prekrytia týchto kriviek sa dosiahne vždy iná hodnota koeficienta rovnomernosti postreku podľa Christiansena  $Cu$ . V tabuľke 2 sú uvedené dosiahnuté a vypočítané výsledky nameraných hodnôt. Z výsledkov vyplýva, že je neehospodárne uplatniť závlahovú dávku samostatne sekcií  $S_1$  a  $S_2$  na pozemku 2. Jednoznačne o tom hovoria výsledky  $Cu$  (2,09 % a 9,79 %). Ich spoločným zavlažovaním, a tým zavlažením celého trávniku 2, sa kvalita prác zvýšila na 40,47 %. Spustením sekcie  $S_3$  a činnosti sekcií  $S_1$  a  $S_2$  sa hodnota  $Cu$  ešte viac zvýšila a to až o 11,36 %. Bolo to spôsobené tým, že celkový prietok sa rozdelil na všetky sekcie. Najvyššia kvalita práce sa dosiahla pri zavlažovaní všetkými sekciami.

Mikropostrekovače (micro-sprinkler) sa stávajú preferovanou metódou zavlažovania pre použitie vody v sadoch. Pri zavlažovaní v sadoch sa aplikovala štvorcová sieť odmerných nádob s rozstupom 0,5 m x 0,5 m. Výsledkom bolo zistenie, počas siedmich dní

závlahy ovocného sadu, že vysoké hodnoty evaporácie boli už počas zavlažovania a hneď po ňom. Efektivita zavlažovania teda bola 73 až 79 %. Hodnotenie kvality mikropostreku – koeficienta rovnomernosti Cu prebiehalo podľa Christiansena. Pri aplikačnej dávke 1,7 mm.h<sup>-1</sup> bola hodnota koeficienta rovnomernosti 45 % (Koumanov a kol., 1997).

Tabuľka 2 Závlahová dávka, popisná štatistika, koeficient rovnomernosti postreku podľa Christiansena Cu

Table 2 Irrigation Rate, Descriptive Statistics, Christiansen Coefficient of Uniformity (Cu)

Parameter <sup>1)</sup>	Hodnota <sup>8)</sup>						
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>1</sub> +S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub> +S <sub>3</sub>	S <sub>2</sub> +S <sub>3</sub>	S <sub>1</sub> +S <sub>2</sub> +S <sub>3</sub>
Priemerná hodnota <sup>2)</sup> , mm	10,01	11,7	25,06	19,77	16,98	15,79	18,11
Minimum <sup>3)</sup> , mm	0	0	0	0	0	0	0
Maximum <sup>4)</sup> , mm	33,19	59,00	64,53	50,39	73,74	49,16	52,24
Variačné rozpätie <sup>5)</sup> , mm	33,19	59,00	64,53	50,39	73,74	49,16	52,24
Variačný koeficient <sup>6)</sup> , %	111,85	126,10	67,35	73,16	82,45	80,37	61,16
Cu <sup>7)</sup> , %	2,09	9,79	44,85	40,47	37,19	36,20	52,62

<sup>1)</sup> parameter, <sup>2)</sup> average, <sup>3)</sup> minimum, <sup>4)</sup> maximum, <sup>6)</sup> variation range, <sup>7)</sup> Cu – coefficient of uniformity, <sup>8)</sup> Value

Keď je hodnota Cu približne 70 % alebo vyššia, namerané závlahové dávky v nádobách majú tendenciu nasledovať normálne rozdelenie. V prípade keď je priemerná závlahová dávka rovná požadovanej aplikačnej dávke, 50 % zavlažovanej plochy bude zavlažená podpriemerne a zvyšných 50 % nadpriemerne (resp. primerane zavlažená). To je spôsobené tým, že normálne rozdelenie je symetrické okolo strednej hodnoty (Merkley, 2001).

Koeficient rovnomernosti vyjadruje uniformné rozvádzanie vody na ploche. Najčastejšou a všade uznávanou metódou je výpočet podľa Christiansena a to pre pásové zavlažovače a mikropostrekovače (Jobbágy, 2011; Abdul-razzaq, Jahad, 2014; Udai Adnaid, 2010).

Zlepšenie kvality práce, teda zvýšenie hodnoty koeficienta rovnomernosti postreku je možné dosiahnuť správnym nastavením a prerozdelením tlakov. U tradičného systému dochádza k zmene tlaku vplyvom zvyšujúcej sa vzdialenosti medzi zdrojom vody a postrekovačom. Zapojenie systému do slučky, respektíve aj slučky s rozvádzacom, skúmali v Babylone (Khagan Village, Governorate, Irak) a to v období medzi novembrom a decembrom. K vyhodnoteniu výsledkov a k modelovaniu použili softvér Epanet. Výsledky poukázali na značné zmeny tlakov pri zapojení klasickým alebo do slučky. Priemerne sa zvýšila hodnota koeficienta rovnomernosti o 13,21 % pri praktickom meraní a pri teoretickom až o 17,62 %. Pre výpočet koeficienta použili metódu podľa Christiansena (Udai Adnaid, 2010).

Čiastočnú zmenu rovnice podľa Christiansena použili pri hodnotení kvality práce autori Maroufpoor (2010) a Wilcox and Swailes (1947) označovaný ako C<sub>ws</sub>. Rozdiel je v tom, že Christiansen používa v rovnici sumu odchýlok ku priemernej hodnote, a Wilcox a Swailes sumu odchýlok štvorcov, ktorú potom odmocňuje.

Metodiku podľa Christiansena uplatnil pre pásové zavlažovače a mikropostrekovače aj Látečka (2000). Výsledkom výskumu bolo hodnotenie kvality práce postrekovačov

umiestnených v štvorcových, obdĺžnikových a trojuholníkových sponoch. Pri aplikácii závlahovej dávky v štvorcových sponoch sa ani v jednom prípade nedosiahla kvalita práce podľa uvedeného kritéria. Štvorcový spon sa použil v rozpätí od (30x30) do (54x54) m, pričom výsledné hodnoty Cu boli maximálne 79,36 %. U obdĺžnikových sponov bola kvalita práce vyššia, kde sa dosiahla normou definovaná a požadovaná hodnota Cu (93,76 %) pri spone 24x48 m. Pracovný tlak mal pri tomto meraní hodnotu 0,5 MPa (Látečka, 2000).

## ZÁVER

Mikropostrekovače produkujú jemnú aplikáciu závlahovej dávky pri zavlažovaní poľných plodín, okrasných rastlín a trávnikov. U tejto závlahovej techniky si však treba uvedomiť dôležitú skutočnosť, že rozdelenie vody od stredu mikropostrekovača smerom von je normálne resp. až na nejaké nerovnomernosti takmer normálne (postrehy z našich meraní). Znamená to, že výška závlahovej dávky smerom od postrekovača klesá. Z tohto dôvodu je potrebné, pre každý typ postrekovača, nastaviť prekrytie postreku a tým dosiahnuť vyššiu kvalitu práce. Výsledky poukázali na nízke hodnoty Cu, menej ako 90 %, pričom sa jednoznačne preukázala situácia nesprávneho nastavenia prekrytia a rozmiestnenia mikropostrekovačov. Merania tiež poukázali, že najnižšie hodnoty Cu boli na trávniku 2 pri aplikácii sekcií  $S_1$  a  $S_2$  samostatne. V praxi sa však táto kombinácia u danej lokality nevyužíva. Riešením pre zvýšenie kvality práce by u trávniku 1 mohlo byť rozšírenie sekcie  $S_3$  o jeden až dva mikropostrekovače umiestnených oproti terajším piatim distribútorom. Výskum tiež poukázal na to, že koeficient rovnomernosti postreku mal najvyššiu hodnotu pri chode všetkých troch sekcií.

## LITERATÚRA:

1. ABDUL-RAZZAQ, Khalid Adel – JAHAD, Udai Adnain. 2014. Evaluation of Uniformity Coefficients for Sprinkler Irrigation System under Traditional and Looped Network Field Conditions. Journal of Babylon University/Engineering Sciences/ No.1, Vol.22. <http://www.iasj.net/iasj?func=fulltext&aId=85719>
2. FINDURA, Pavol – JOBBÁGY, Ján – VOZÁROVÁ, Vlasta – BOŽIKOVÁ, Monika – KOVALYŠYN, Stepan Josyfovyč. Stroje pre rastlinnú výrobu : technika pre chemickú ochranu rastlín a zavlažovanie. 1. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2013. 113 s. ISBN 978-80-552-1124-4.
3. ISO/DIS 7749-2: Irrigation Equipment – Rotating Sprinklers – Distribution Uniformity – Test Methods.
4. JOBBÁGY, Ján. 2011. Hodnotenie závlahovej techniky z hľadiska rovnomernosti závlahy postrekom : vedecká monografia. 1. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2011. 123 s. ISBN 978-80-552-0617-2.
5. JOBBÁGY, Ján – ŠTOFIK, Dušan. 2011. Automatizácia prevádzky zavlažovania. In Roľnícke noviny. ISSN 1335-440X, 14.12. 2011, roč. [81], č. 50, s. 18.
6. KOUMANOV, K.S. – HOPMANS, J.W. – SCHWANKL, L.J. – ANDREU, L. – TULI, A. 1997. Application efficiency of micro-sprinkler irrigation of almond trees. Agricultural Water Management 34 (1997) 247-263
7. LÁTEČKA, M. 2000. Rovnomernosť postreku pri závlaha otáčavými postrekovačmi. In: Monografia. Nitra, 2000. 58 s. ISBN 80-7137-678

8. MAROUFPOOR, Eisa – FARYABI, Arsalan – GHAMARNIA, Houshang – MOSHREFI, Goran Yamin. 2010. Evaluation of Uniformity Coefficients for Sprinkler Irrigation Systems under Different Field Conditions in Kurdistan Province (Northwest of Iran), *Soil & Water Res.*, 5, 2010 (4): 139–145.
9. MERKLEY G.P. (2001): Design Efficiency for Sprinkler Irrigation Systems. Lecture Notes. Utah State University, Logan.
10. TOPAK R., SUHERI S., CIFTCI N., ACAR B. (2005): Performance evaluation of sprinkler irrigation in a semi-arid area. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 8: 97–103.
11. UDAI ADNAIN JAHAD. 2013. Study the emission uniformity coefficients for sprinkler irrigation system with different layouts. *Euphrates Journal of Agriculture Science*. (5) 4: 256-266, ISSN: 38752072
12. WILCOX, J.C. – SWAILES, G.E. 1947. Uniformity of Water Distribution by Some Undertree Orchard Sprinklers. In: *Sci. Agric.* 27, 11.
13. ZDRAŽIL, K. – SPITZ, P. 1966. Stanovenie optimálnych dešťoměrných křivek u otočných postřikovačů. In: *Vod. Hosp.*, 1966, č. 5, s. 203–204.

**Kontakt:**

Doc. Ing. Ján Jobbágy, Ph.D. Slovak University of Agriculture in Nitra, Faculty of Engineering, Department of Machines and Production systems, Tr. A. Hlinku 2, Nitra 949 76, Slovak Republic, phone: + 421 37 641 4796, e-mail: Jan.Jobbagy@uniag.sk

## ANALÝZA TEPLÔT V OBLASTI KOKILY POČAS PROCESU ODLIEVANIA HLÁV VALCOV MOTOROV

### ANALYSIS OF TEMPERATURES IN THE MOULD AREA DURING THE PROCESS OF ENGINE CYLIN- DER HEADS CASTING

Peter Koleda<sup>1</sup>, Pavol Koleda<sup>1</sup>, Slavomír Grúbel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Katedra riadenia strojov a automatizačnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 960 53, Zvolen, Slovenská republika, peter.koleda@tuzvo.sk*  
<sup>2</sup>*Nemak Slovakia, s. r. o., Ladomerská Vieska 394, 965 01 Žiar nad Hronom, Slovenská republika*

**ABSTRACT:** The article deals with problems of mould temperature sensing during an automated production cycle of aluminium engine heads. Temperature affects the quality of the casting moulds, as the casting can arise insufficiently filled locations as well as structures with undesirable properties. For sensing of temperature the infrared temperature sensor is used. Solution proposes to stop the production of subsequent casting as far as temperature inside the mould goes down to the desired interval.

**Key words:** casting, mould, infrared temperature sensor, PLC

**Abstrakt:** Článok sa zaoberá problematikou snímania teploty kokily v priebehu automatizovaného cyklu výroby hliníkových hláv valcov motorov. Teplota kokily ovplyvňuje kvalitu odliatku, keďže pri odlievaní môžu vzniknúť nedostatočne vyplnené miesta, príp. štruktúry s nežiadúcimi vlastnosťami. Pre snímanie je využitý infračervený senzor teploty. Je navrhnuté riešenie zastavenia výroby následného odliatku pokiaľ neklesne teplota vo vnútri kokily do požadovaného intervalu.

**Kľúčové slová:** odlievanie, kokila, infračervený snímač teploty, PLC

## ÚVOD

Výroba hliníkových odliatkov je zložitý technologický proces skladajúci za z viacerých krokov, pri ktorých je potrebné striktné dodržiavanie technologických postupov. Výrobcom dodané odliatky musia spĺňať kritériá kvality z hľadiska celistvosti, homogenity, bezchybovosti a musia byť zbavené zvyškov zlievarenských pieskov, náliatkov, otrepov po mechanickom obrábaní a pod. tak, aby ich bolo možné okamžite zabudovať do finálneho výrobku (Krajný, 2012). Je známe (Pius, 2000), že podmienky tavenia a liatia priamo alebo nepriamo ovplyvňujú také mechanické vlastnosti liatych materiálov, ako sú:

tvrdosť, pomerné predĺženie, pomerné zníženie húževnatosti atď. Výskumom rýchlosti liatia niektorých farebných kovov (Warrendale, 1981; Fu, 1999) bolo zistené, že kovy, napr. ocele, majú veľmi vysokú rýchlosť tuhnutia v porovnaní s väčšinou iných zliatin. Optimálna rýchlosť liatia je funkciou veľkosti a tvaru odliatku.

Hliníkové odliatky je možné vyrábať vysokotlakým alebo gravitačným liatím. Pri výrobe hliníkových hláv motorov v spoločnosti NEMAK Slovakia, s. r. o., je potrebné vytvoriť v odliatkoch dutiny pre privádzanie chladiaceho média a odvod spalín zo spaľovacieho priestoru. Na vytvorenie takýchto dutín sa využívajú jadrá vyrobené z piesku. Jadrá sú tvorené zmesou piesku, furánovej živice a vytvrdzovacieho roztoku. Po vytvrdnutí sú jadrá založené do formy kokilového stroja, kde sú následne zaliate roztaveným hliníkom. V tejto fáze výroby je dôležité dodržať presne stanovenú teplotu odlievacej formy. V prípade, že je teplota formy príliš vysoká, pri tuhnutí odliatku sa vytvorí jemná štruktúra a odliatok je tak náchylnejší na tvorbu trhlín. V prípade, že je teplota formy nízka, roztavený kov pri styku s touto plochou zatuhne a tým dôjde k nedostatočnému vyplneniu priestoru formy roztaveným hliníkom (Grill, 1982; Lancer, 1981). Udržiavaním teploty kokily v povolenom intervale je možné dosiahnuť menšiu chybovosť odliatkov a tým aj znížiť nákladovosť výroby.

Po vychladnutí odliatku je nasledujúcou operáciou odstránenie piesku z dutín v odliatku. To sa vykonáva na odjadrovacom stroji, kde dôjde vplyvom úderov vybíjajúcich kladív o odliatok k rozdrobeniu jadier a tie následne vypadnú z odliatku. Po dôkladnom odjadrení sú odliatky finálne spracovávané na CNC strojoch, kde sú ofrézované a sú do nich vytvárané otvory požadovaných rozmerov. Opracované odliatky sa kontrolujú na prítomnosť, tesnosť a priechodnosť všetkých otvorov.

## MATERIÁL A METÓDY

Teplota kokily pri odlievani hláv motorov ovplyvňuje kvalitu odliatku. Metodika eliminácie vznikajúcich chýb by mala spočívať v zabránení styku liateho kovu so stenami kokily, ktorých teplota sa pohybuje mimo predpokladaných vhodných intervalov. Na snímanie teploty kokily, príp. technologických zariadení, ktoré s ňou prichádzajú do styku, je vhodné použiť bezkontaktný snímač. Aby bolo možné zasiahnuť a upraviť technologický proces liatia, predpokladá sa, že teplota bude automaticky vyhodnocovaná a bude upravený systém riadenia a spúšťania automatizovaného cyklu liatia. Riadiaci systém pozostáva z programovateľného automatu a jeho periférnych zariadení (senzory, akčné členy, komunikačné rozhrania). Všetky použité postupy musia byť popísané s ohľadom na vnútornú politiku firmy NEMAK Slovakia, s. r. o. so zachovaním výrobného tajomstva.

Každý objekt vyžaruje určité množstvo infračerveného žiarenia závislého na teplote. Zmena teploty sa prejaví aj na zmene intenzity tohto žiarenia. Spomenutá vlastnosť telies sa využíva pri bezkontaktnom meraní teploty, a to v intervaloch vlnovej dĺžky od 1 do 20  $\mu\text{m}$ . Schopnosť vyžarovať energiu sa nazýva emisivita a dá sa vyjadriť vzťahom (Fricke, 2013)

$$\varepsilon_{\lambda,\Omega} = \frac{L_{e,\Omega,\lambda}}{L_{e,\Omega,\lambda}^0} [-] \quad (1)$$

kde  $L_{e,\Omega,\lambda}$  je vlnová dĺžka spektrálnej radiácie plochy [m],

$L_{e,\Omega,\lambda}^0$  je vlnová dĺžka spektrálnej radiácie čierneho telesa pri tej istej teplote [m].



Výber vhodného bezkontaktného teplotného snímača je determinovaný jeho meracím rozsahom a potrebnými vstupnými a výstupnými rozhraniami. Ručné zariadenia na meranie teploty sú veľmi vhodné na rýchle sporadické meranie teploty objektov. Možno ich vziať k rôznym objektom, uchovať namerané hodnoty a neskôr ich sprístupniť na dokumentáciu. Často sa takéto zariadenia používajú pri údržbe a inšpekčných úlohách. V tejto oblasti sú k dispozícii rôzne výkonové triedy zariadení. Najjednoduchšie zariadenie od spoločnosti Micro-Epsilon má merací rozsah od  $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+420\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Merací bod sa zobrazuje pomocou bodového lasera a je vhodný na štandardné merania. Snímač s označením thermo METER LS využíva štvorlúčový laserový kurzor, ktorý pre každú vzdialenosť vykresľuje reálnu veľkosť meracieho bodu. Obzvlášť je to výhodné pri meraní veľmi malých objektov. Ručné snímače teploty nie sú však vhodné pre automatizované výrobné linky.

Stabilne upevnené snímače existujú v rôznych výkonových triedach a veľkostiach. Micro-Epsilon ponúka pre štandardné aplikácie snímač thermo METER CS alebo CS-micro. Ide o miniatúrne snímače so zabudovanou vyhodnocovacou jednotkou. Ak možno merací bod vykresliť dvomi laserovými bodmi, používajú sa snímače radu thermo METER Ctlaser. Snímač typu CTLM-3H je použitý na meranie teploty kokily v experimente.

Senzory rady CTL predstavujú bezkontaktné infračervené snímače teploty. Ich súčasťou je zameriavanie pomocou dvojitého lasera, ktorý na akúkoľvek vzdialenosť dokáže na povrchu predmetu označiť skutočnú pozíciu meracieho bodu a jeho veľkosť. Kryt senzora CTL je vyrobený z nerezovej ocele s triedou ochrany IP65. Elektronika senzora je inštalovaná v samostatnom puzdre vyrobenom z liateho zinku (Micro-Epsilon, 2008).



Obr. 1. Snímač CTLM-3H (Micro-Epsilon, 2008)

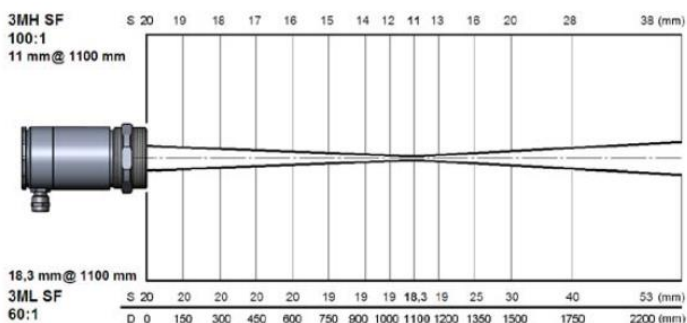
Fig. 1. Sensor CTLM-3H

Parametre snímača CTLM-3H sú nasledovné (Micro-Epsilon, 2008):

- merací rozsah: 100 až  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,
- teplotné prostredie:  $-20$  až  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,
- napájacie napätie: 8 – 36 VDC,
- vstupný prúd: 160 mA,
- výstup (voliteľný): 0/4 – 20 mA; 0/5 – 10 V; termočlánok J, termočlánok K,

- digitálne rozhranie: USB, RS232, Profibus DP, Ethernet,
- spektrálny rozsah: 2,3  $\mu\text{m}$ ,
- optické rozlíšenie: 100:1,
- presnosť: 0,3%,
- rýchlosť odozvy: 1 ms.

Merací senzor má možnosť voľby optiky tak, aby bol zabezpečený optimálny priemer meracieho bodu v závislosti na vzdialenosti meracieho senzora od meraného objektu. Maximálna vzdialenosť medzi senzorom a meraným predmetom je daná veľkosťou tohto predmetu a optickým rozlíšením snímača. Aby nedošlo k chybnému meraniu, meraný objekt by mal mať minimálne rovnakú veľkosť ako merací bod. Snímač CTLM-3H je schopný zo vzdialenosti 1100 mm merať objekt o veľkosti 11 mm (obr. 2), čo je v experimentálnom meraní postačujúce.



Obr. 2. Tvar laserového zväzku snímača (Micro-Epsilon, 2008)  
Fig. 2. Shape of sensor laser beam

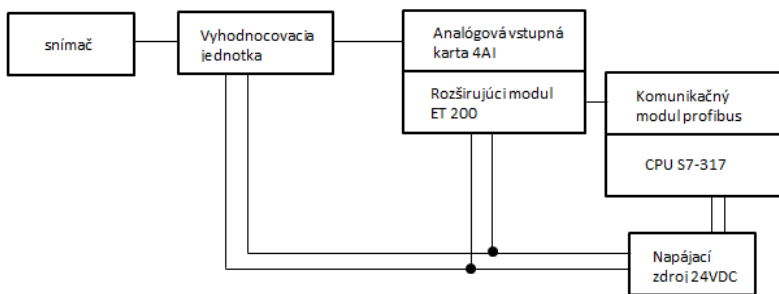
Vyhodnocovacia jednotka môže byť voliteľne vybavená rozhraním USB, RS232, RS485, CAN Bus, Profibus DP alebo ethernetovým rozhraním.



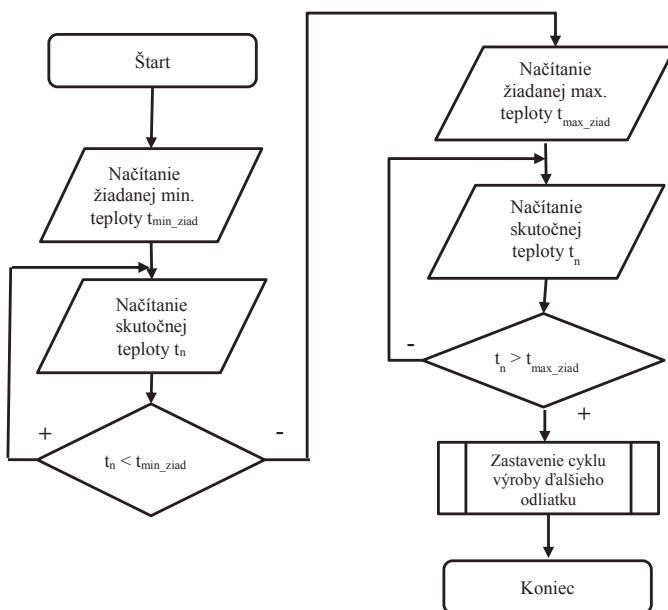
Obr. 3. Vyhodnocovacia jednotka s osadenou doskou USB rozhrania  
Fig. 3. Evaluation board with USB communication interface

Vzhľadom na veľkosť odlievacej linky a množstva použitých snímačov, sú na viacerých častiach linky umiestnené rozširovacie moduly SIMATIC ET 200S. Sú to multifunkčné, vysoko modulárne I/O systémy s krytím IP20 s možnosťou presného prispôbenia pre danú aplikáciu.

Modulárny systém ET 200S ponúka ucelený rad modulov – zdrojové moduly, digitálne alebo analógové vstupné a výstupné moduly, technologické moduly, spúšťače motorov alebo pneumatické rozhrania, atď. Vďaka svojej robustnej konštrukcii je možné ET 200S použiť v podmienkach vysokého mechanického namáhania. V aplikácii využitý modul 4AI TC ST je analógový vstupný modul so štyrmi analógovými vstupmi, ktoré sa dajú využiť na pripojenie termočlánkov rôznych typov, alebo na meranie napätia o veľkosti  $\pm 80$  mV s rozlíšením 15 bitov.



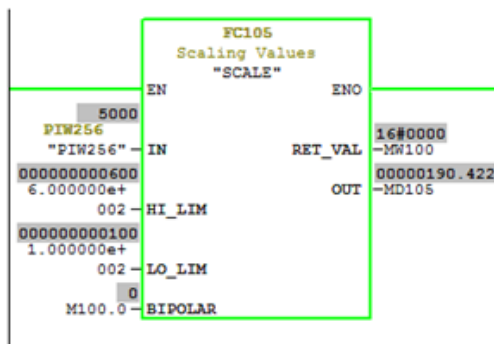
Obr. 4. Bloková schéma pripojenia  
Fig. 4. Connection of devices



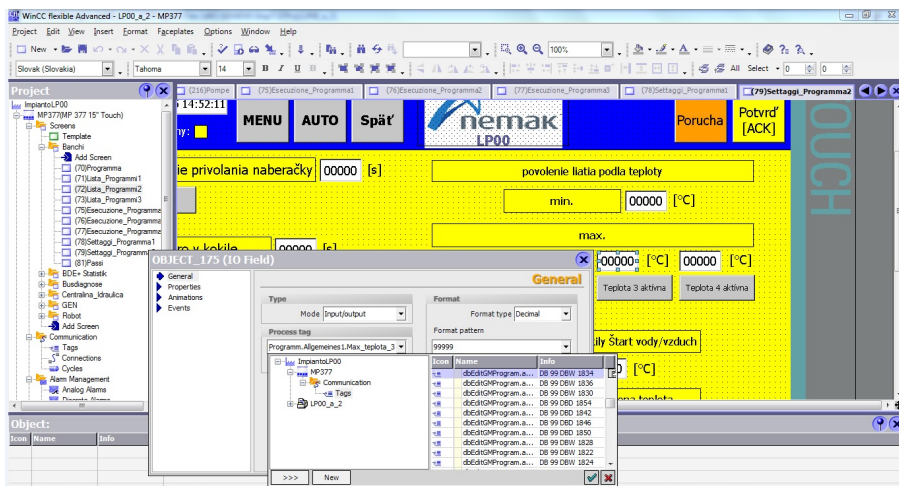
Obr. 5. Vývojový diagram merania a vyhodnotenia teploty  
Fig. 5. Algorithm of sensing and evaluation of temperature

Na obr. 5 je znázornený vývojový diagram navrhnutého programu. Po načítaní aktuálnej teploty a žiadanej minimálnej sa tieto porovnávajú a v prípade, že nameraná teplota je vyššia, znamená to, že teplota sa pohybuje v intervale prípustných teplôt. Následne sa znovu načíta aktuálna teplota a žiadaná maximálna a v prípade, že je aktuálna vyššia, riadiaci program pozastaví automatizovaný cyklus výroby odliatkov.

Softvérová úprava programu spočíva v načítaní analógovej hodnoty zo vstupu analógovej karty a v jej prepočte na skutočnú hodnotu. Pre správny prepočet je potrebné zadať horný a dolný limit na vstupy bloku HI\_LIM a LO\_LIM. Horná hranica pri meraní bola nastavená na hodnotu 600 a dolná hranica na hodnotu 100 podľa limitných rozsahov pripojeného snímača. Vstup BIPOLAR umožňuje merať len kladné hodnoty, ak má logickú úroveň 0. Na výstupe OUT je prepočítaná analógová hodnota. Výstup RET\_VAL slúži pre čítanie informácií o chybách a stave prepočtu.



Obr. 6. Prepočet analógovej hodnoty  
Fig. 6. Calculation of analogue value



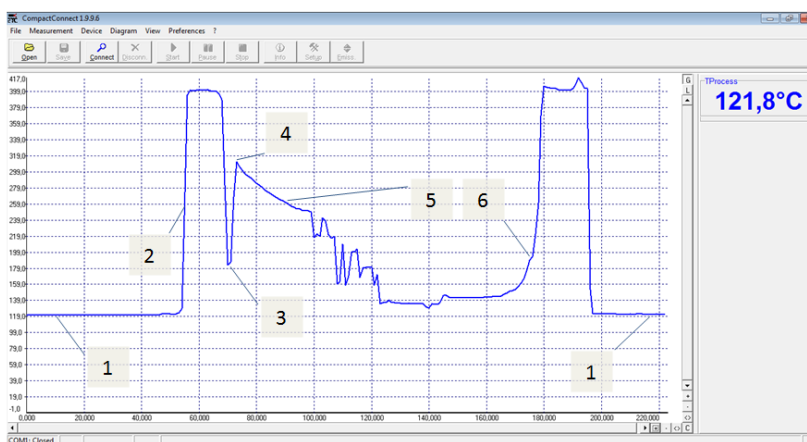
Obr. 7. Úprava obrazovky operačného panela  
Fig. 7. Operation panel modification

K úprave operačného panelu je použitý software Simatic WinCC Flexible, ktorý umožňuje projektovanie všetkých prístrojov Simatic HMI. Win CC podporuje komunikáciu cez najpoužívanejšie protokoly MPI, PPI, Profibus, prípadne čoraz častejšie využívaný Ethernet. Umožňuje použiť v projekte predpripravené grafické knižnice, ako aj vytváranie vlastných. V aplikácii bol použitý projekt dodávaný výrobcom zariadenia, pričom tento bol upravený tak, aby bolo možné priamo na operačnom paneli nastavovať maximálnu požadovanú teplotu nameranú infračerveným snímačom (obr. 7).

## VÝSLEDKY

Automatický cyklus stroja začína zo základnej polohy, kedy sú pomocné vyhadzovače zdvihnuté a bočné časti kokily otvorené. Po zatlačení tlačidla spustenia cyklu sa vyhadzovače vysunú do spodnej polohy tak, aby mohli byť do formy vložené jadrá. Po vložení jadier je zatlačené tlačidlo na požiadavku naliatia kovu do formy. Zatlačením tohto tlačidla sú zavreté bočné časti kokily a následne je do formy za pomoci robotického ramena naliaty kov. Po naliatí je spustený časovač, ktorý odpočítava čas potrebný na vytvrdenie odliatku. Následne sa otvoria bočné časti kokily a odliatok je za pomoci vyhadzovačov vyzdvihnutý z kokily tak, aby ho bolo možné odobrať. Vzhľadom na to, že infračervené snímače teploty sú nainštalované stacionárne a neustále snímajú teplotu v presne zameranom bode, pričom automatický cyklus stroja a výrobné podmienky nedovoľujú stály „výhľad“ na meranú oblasť vo vnútri kokily, bolo potrebné rozhodnúť, v ktorom čase sa bude merať teplota a ktorú časť programu je potrebné blokovat'. Na obr. 8 je znázornený priebeh nameraných teplôt počas jedného automatického cyklu stroja:

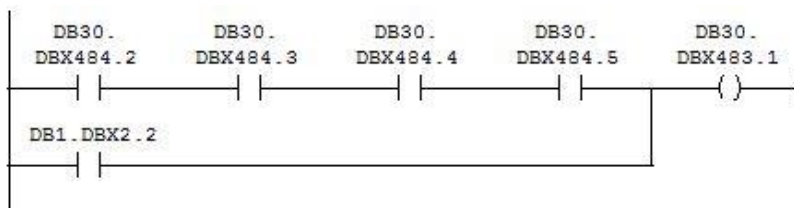
- oblasť 1 – teplota odsávacieho poklopu, ktorý odsáva výpary vznikajúce pri spaľovaní pieskových jadier vo forme,
- oblasť 2 – teplota odliatku po otvorení odsávacieho poklopu,
- oblasť 3 – teplota klieštin robota pri odoberaní odliatku,
- oblasť 4 – teplota kokily v mieste merania po odobraní odliatku z kokily,
- oblasť 5 – zakladanie jadier do kokily a manipulácia s nimi,
- oblasť 6 – nárast teploty spôsobený naliatím kovu do kokily.



Obr. 8. Graf nameraných hodnôt teplôt  
Fig. 8. Course of measured valued of temperature

Z priebehu teplôt je zrejmé, že v oblasti 4 je zabezpečená priama viditeľnosť na vnútro kokily, ktorá sa v tomto čase nachádza v „základnej“ polohe, a preto bude najvhodnejšie v tomto čase blokovat' ďalšie spustenie automatického cyklu.

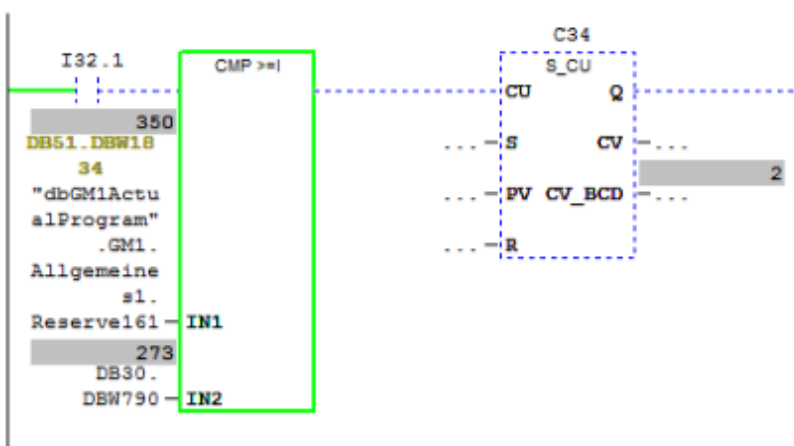
Blokovanie automatického cyklu je realizované v bloku kontroly teplôt, kedy po splnení všetkých podmienok nie je blokované spustenie vyhadzovákov smerom dole.



Obr. 9. Blokowanie automatického cyklu  
Fig. 9. Blocking of automatic cycle

Pre možnosť vyhodnotenia prínosu realizácie infračerveného merania teploty sa v programe vytvoril blok na záznam prekročenia teploty, ktorý je tvorený jedným komparátorom porovnávajúcím zadanú hodnotu teploty z dátového bloku DB51.DBW1834 so skutočne nameranou hodnotou z bloku DB30.DBW790. Porovnanie sa vykonáva pri aktívnom vstupe I32.1, ktorý predstavuje stav koncového snímača zdvihnutých vyhadzovačov, čím sa zabezpečí optimalizácia programu, keďže porovnanie sa vykonáva len v stanovenom bode automatického cyklu.

Na výstup komparátora je zaradený čítač, ktorý zaznamenáva počet prekročení požadovanej teploty pri zdvihnutých vyhadzovačoch. Počet prekročení teploty je možné vidieť na výstupe CV\_BCD a je ho možné zobrazit' na operačnom paneli.



Obr. 10. Zaznamenanie prekročenia teploty  
Fig. 10. Recording of overtemperature

## DISKUSIA

V riadiacom programe bol vytvorený blok, ktorý zaznamenával počet prekročení teploty v sledovanom čase. Počas cyklu výroby odliatku prekročila teplota v mieste merania 2 krát hornú hranicu maximálnej teploty – v čase liatia kovu do kokily a v čase, keď bol odliatok z kokily vybratý. Zastavenie automatického cyklu výroby ďalšieho odliatku je však najvhodnejšie práve v čase pred spustením ďalšieho samostatného cyklu výroby, čiže pred vkladáním jadier. Je samozrejmé, že meranie sa nezaoberalo snímaním teploty roz-taveného kovu (Sozer, 2000), keďže túto úlohu realizujú iné senzorické systémy. Mnoho štúdií v tejto oblasti sa však opiera len o výsledky získané počítačovou simuláciou (Turng, 2002).

Vzhľadom na to, že po prekročení teploty bol zablokovaný automatický cyklus stroja do doby pokiaľ teplota neklesla na požadovanú úroveň, dá sa predpokladať, že sa podarilo zabrániť výrobe dvoch potenciálne chybných kusov. Tento predpoklad sa ale preukáže až po viacerých výrobných cykloch, výstupných kontrolách odliatkov a porovnaním počtu vyrobených kusov za dlhšie časové obdobie.

## ZÁVER

Dodržiavanie technologických postupov je v zlievarenstve dôležité a zohráva hlavnú úlohu pre dosiahnutie potrebnej kvality produkovaných výrobkov. Chyby odliatkov sú výsledkom niekoľkých príčin a ich vzájomného pôsobenia, ktoré sa zisťujú nedeštruktívnymi a deštruktívnymi metódami (Semanová, 2013).

Technologické postupy obsahujú nielen presne popísané vykonávané činnosti, ale aj požadované parametre procesu, medzi ktoré patrí aj teplota, ktorá je v zlievarenstve nesmierne dôležitá. Nežiaduce vplyvy pri odlievaní a následnom chladnutí je preto potrebné identifikovať a eliminovať do čo najväčšej miery. Navrhnutý a odskúšaný spôsob automatického pozastavenia výroby odliatku umožňuje znížiť početnosť ich chýb, čo však preukáže až porovnanie chybových výrobkov za dlhšie časové obdobie.

## LITERATÚRA

- FRICKE, J., BORST, W. L. 2013. *Essentials of Energy Technology*. Wiley-VCH. s. 37. ISBN 978-3527334162.
- FU, M., W. et al. 1999. Undercut feature recognition in an injection mould design system. *Comput Aided Design*, 31 (1999), s. 777–790. ISSN: 0010-4485.
- GRILL, P. L. 1982. *Principle of Metal Casting*. McGraw-Hill Book Company, New York; 1982. s. 160–166.
- KRAJNÝ, Z. 2009. Využitie vodného lúča na čistenie odliatkov a odstraňovanie otrepov. [online] [cit. 2016-01-15]. In *Technika* 2009, č. 10 [cit. 2013-17-01]. Dostupné na internete: <<http://www.techpark.sk/technika-122009/vyuzitie-vodneho-luca-na-cistenie-odliatkov-a-odstranovanie-otrepov.html>>
- LANCER, N. C. 1981. *Guidelines for Establishment of Foundry*, MIR Publishers, Moskva; 1981. s. 72–75.
- MICRO-EPSILON Messtechnik, GmbH & Co. 2008 *Thermometer CTL – instruction manual*. [online] [cit. 2016-01-15]. Dostupné na: <<http://www.micro-epsilon.com/download/manuals/man--thermoMETER-CTL--en.pdf>>

- PIUS, A. P. 2000. Effect of Some Casting Parameters on the Mechanical Properties of Aluminum Alloy and Medium Carbon Steel. Dept. of Mechanical Engineering, Federal University of Technology, Minna; 2000.
- SEMANOVÁ, P., KALINCOVÁ, D. 2013. Kvalita odliatkov hláv valcov – hodnotenie chýb. *Acta facultatis technicae*, XVIII, 2013 (1), s. 151-158. ISSN 1336-4472.
- SOZER, E., M. et al. 2000. On-line strategic control of liquid composite mold filling process *Composites: Part A: Applied Science and Manufacturing*, 31(2), s. 1383–1394. ISSN 1359-835.
- TURNG, L., S., PEIC, M. 2002. Computer-aided process and design optimization for injection moulding. *Journal of Engineering Manufacturing*, 216 (2002), s. 1523–1532. ISSN: 2041-2975.
- Vnútorné predpisy spoločnosti Nematik Slovakia, s. r. o., Ladomerská Vieska 394, 965 01 Žiar nad Hronom.
- WARRENDALE, J. L. 1981. Pouring Rate of Some Ferrous and Non-Ferrous Metals. *Fourth – Fifth Pittsburgh Annual Meeting of American Society of Metallurgical Engineers*, 20. apríl, 1981, s. 37–45.

**Kontaktná osoba:**

Ing. Peter Koleda, PhD., tel.: +421 45 5206 569, e-mail: peter.koleda@tuzvo.sk



## PREVENTÍVNA ÚDRŽBA HYDRAULICKÝCH ŽERIAVOV POMOCOU ANALÝZY HYDRAULICKÝCH OLEJOV

### PREVENTIVE MAINTENANCE OF HYDRAULIC CRANES BY ANALYSIS OF THE HYDRAULIC OIL

Jozef Krilek<sup>1</sup> – Lucia Dobrotová<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Katedra environmentálnej a lesníckej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26., 960 53, Zvolen, Slovensko, jkrilek@gmail.com*

<sup>2</sup>*BRC Slovakia s.r.o., Francúzskych partizánov 43B, 038 61 Vrútky, l.dobrotova@brcslovakia.sk*

**ABSTRACT:** The article deals with analysis and practical measurements for the enumeration of mechanical impurities and water content of the hydraulic oil in the hydraulic cranes. Diagnostics of the hydraulic oils was performed using monitoring equipment IcountOS. The next section discusses the ways in which pollutants get into the hydraulic oil, and what kinds of pollutants in the hydraulic oil. Measurements are detected insufficient cleanness of the hydraulic oil used in the hydraulic cranes that exceed the reference values of mechanical impurities for the type machine ISO 18/16/13. The water is present of the hydraulic oil in the both hydraulic cranes, but its concentration is lower than the allowed limit value of 200 ppm.

**Key words:** hydraulic oil , dirt, monitoring equipment, water content

**ABSTRAKT:** Článok sa zaoberá analýzou a praktickým meraním počtu mechanických nečistôt a obsahu vody v hydraulickom oleji hydraulických žeriavov. Diagnostika hydraulických olejov bola vykonaná pomocou monitorovacieho zariadenia IcountOS. V ďalšej časti pojednáva o spôsoboch akými sa znečisťujúce látky dostávajú do hydraulických olejov a aké sú druhy znečisťujúcich látok v hydraulických olejoch. Meraním sa zistila nedostatočná čistota hydraulického oleja používaného v hydraulických žeriavoch, ktorá prekračuje odporúčané hodnoty mechanických nečistôt pre daný typ zariadenia ISO 18/16/13. Voda je prítomná v hydraulickej náplni obidvoch hydraulických žeriavoch, avšak jej koncentrácia bola nižšia ako dovolená prípustná hodnota 200 ppm.

**Kľúčové slová:** hydraulický olej, nečistota, monitorovacie zariadenie, obsah vody

## ÚVOD

Strojné oleje rôznych druhov majú široké použitie v prevádzke strojov a v dôsledku periodicky sa opakujúcej zmeny kvality po každej výmene sa stávajú významným nositeľom diagnostických signálov. V podstate ide o signály charakterizujúce stav oleja a teda potrebu výmeny, alebo ide o signály charakterizujúce opotrebenie strojových prv-

kov, s ktorými olej prichádza do styku a splodiny ich opotrebenia absorbuje. Z hľadiska funkčného pôsobí olej najčastejšie ako mazivo (motor, prevody) alebo ako prvok prenosu energie (hydraulické sústavy), prípadne má funkciu tesniacu, chladiacu, filtračnú (Hnilica & Dado, 2012). Vo všetkých prípadoch je možné zmenu prevádzkovej kvality oleja využiť. Znečistenie spôsobuje väčšinu porúch v hydraulike. (Balog et al., 2002, Graça et al., 2011) Cieľom analýzy oleja je získať čo najviac parametrov z oleja aj zo stroja, aby pri čo najmenších nákladoch poskytli dostatočne verný obraz o stave oleja a stroja.

Skúsenosti projektantov a užívateľov hydraulických a mazacích systémov potvrdili nasledujúce skutočnosti a to že viac ako 85% všetkých porúch je priamym dôsledkom znečistenia (Štollmann, 2010). Náklady vplyvom znečistenia rastú stupňovite a majú za následok: straty vo výrobe (prestoje), náklady na výmenu poškodených prvkov a častú výmenu kvapaliny, drahé odstraňovanie následkov, celkový nárast nákladov na údržbu, nárast nákladov za nepodarky.

Správna veľkosť, inštalácia a údržba hydraulickej filtrácie hrá kľúčovú úlohu pri plánovaní preventívnych opatrení pre údržbu stroja.

#### Funkcie hydraulickej kvapaliny

Znečistenie rušivo zasahuje do štyroch funkcií hydraulických kvapalín:

1. Pôsobí ako médium prenášajúce energiu.
2. Maže pohybujúci sa diel prvkov.
3. Slúži k prenosu tepelnej energie.
4. Tesní vôle medzi pohybujúcimi sa dielcami.

Ak je ktorákoľvek z týchto funkcií narušená, hydraulický systém nebude vykonávať funkciu podľa projektu. Následkom toho vzniknú prestoje – straty u veľkých zariadení môžu ľahko dosiahnuť tisíce eur za hodinu. Údržba hydraulickej kvapaliny pomáha zabrániť alebo znížiť neplánované prestoje. Toho sa dosiahne len trvalým zdokonaľovaním programu, ktorý minimalizuje vznik nečistôt a zaisťuje ich odstraňovanie.

Funkciou filtra je čistiť olej, ale účelom je znížiť prevádzkové náklady.

#### Častice spôsobujúce znečistenie

Veľkosti častíc sú zvyčajne merané a uvádzané v mikrometroch. Jeden mikrometer (často len mikrón) je jedna milióntina metra alebo 39 milióntin palca. Prach viditeľnosti ľudí je približne 32 mikrónov. Uvedomte si a pamätajte, že v hydraulických a mazacích systémoch najviac škodia častice menšie než 14 mikrónov. Pretože sú mikroskopické, nemôže byť pozorovaný ľudským okom.

Častice spôsobujúce znečistenie sú všeobecne klasifikované ako „prach“ alebo „triesky“. Prach je definovaný ako nahromadenie častíc menších ako 5 $\mu$ m za určitú dobu. Po určitej dobe je tento typ znečistenia tiež príčinou poruchy prvku v systéme. Naproti tomu triesky sú častice > 5 $\mu$ m a môžu hneď zapríčiniť katastrofickú poruchu. Obidva, ako prach, tak aj triesky, môžu byť ešte klasifikované ako tvrdé častice (kremičitany, uhlík, kovy) a mäkké častice (guma, vlákna, organické zlúčeniny). (Příručka filtrační techniky, 2015)

„Aditíva v hydraulických kvapalinách sú obecné menšie ako 1  $\mu$ m a nie sú ovplyvňované bežnými filtračnými metódami.“

„Nová kvapalina (nefiltrovaná) nie je dostatočne čisté médium. Bežne nová kvapalina čerpaná zo suda nie je vhodná pre hydraulické či mazacie systémy.“ (Příručka filtrační techniky, 2015)

Každý prvok (hydrogenerátor) zariadenia má odporúčané hodnoty ISO kódového čísla výrobcom pre zaručenie funkčnosti. Stanovenie ISO kódového čísla pre celé zariadenie napr. hydraulický žeriav sa určí podľa toho, ktorý prvok má najnižšie odporúčané hodnoty.

#### Zdroje nečistôt

- Vznikajú pri zhotovovaní dielov a ich montáži v celok.
- Pridávajú sa s novou kvapalinou.
- Vťahujú sa do nádrže za prevádzky pri kolísaní hladiny v nádrži.
- Vznikajú vo vnútri mechanizmu pri jeho prevádzke.
- Degradácia kvapaliny.

#### Zdroje vonkajšieho znečistenia

Najviac nečistôt sa dostáva do systému nádržou so starými zavzdušňovacími filtrami a od piestnic hydraulických valcov.

#### Znečistenie – kontaminácia vodou

Je vhodnejšie venovať pozornosť údržbe kvapaliny, než výmene príslušných dielov. Voda je skutočne bežnou nečistotou a musí byť odstránená z pracovnej kvapaliny rovnako ako pevné nečistoty. Voda môže byť vo forme rozpustnej (viazanej), alebo ako „voľná“ voda. Voľná alebo emulgovaná voda je definovaná ako voda nad saturačným bodom určitého média. Nad týmto bodom kvapalina nemôže rozpúšťať ani viazať žiadnu vodu. Voľná voda sa pozná vždy ako „mliečne“ zafarbená kvapalina (Day & Bauer, 2007).

Obsah vody v pracovných kvapalinách, ktoré nie sú jej zmesou, je prípustný iba vo veľmi malých množstvách. V hydraulickom oleji je to 0,02%. Pri vyššom obsahu dochádza až k jeho znehodnoteniu.

Voda urýchľuje oxidáciu oleja a následný vzrast kyslosti oleja. Pri obsahu vody v hydraulickom oleji nad 200 ppm je nebezpečenstvo vnútornej korózie systému.

Obsah vody môžeme vyjadriť dvomi spôsobmi. Absolútny obsah vody v ppm (parts per million) vyjadruje koncentráciu častíc – počet častíc na 1 milión ostatných častíc. Relatívny obsah vody v percentách nasýtenia (%) vyjadruje množstvo vody v oleji vzhľadom k úrovni nasýtenia pri danej teplote. Vyjadrenie obsahu vody v oleji je uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1. Typické saturačné body podľa typu kvapaliny (Příručka filtrační techniky, 2015)

Table 1. Typical saturation points according to the type of fluid

Typ kvapaliny	ppm	%
Hydraulické kvapaliny	300	0,03%
Mazacie kvapaliny	400	0,04%
Transformátorové kvapaliny	50	0,005%

## Znečistenie typy a zdroje

Protioterové aditíva degradujú za prítomnosti vody a tvoria kyseliny. Kombinácia vody, ohrevu a rozdielnych kovov vedú ku vzniku galvanických článkov. Pitting a korózia povrchu kovu je konečným výsledkom. Ďalšia komplikácia nastane, ak poklesne teplota, pretože kvapalina má menšiu schopnosť viazať vodu. Ak klesne pod bod mrazu, vytvárajú sa kryštáliky ľadu, ktoré úplne napádajú celkovú funkčnosť systému. Činnosť systému sa tiež môže spomaliť alebo celkom zastaviť.

Elektrická vodivosť sa prejaví ako problém, ak je pracovná kvapalina znečistená vodou, jej izolačné vlastnosti klesnú, a tým sa zníži i dielektrické napätie. (Příručka filtrační techniky, 2015)

Jednoduchý „test praskaním“ nám povie, ak je v kvapaline voľná voda. Použite plameň pod dnom nádoby. Ak vznikajú bubliny za súčasného „praskotu“ v mieste privedeného tepla, je voľná voda prítomná v kvapaline.

Kvapaliny sú trvale vystavené vplyvu vody a vodnej pary pri ich skladovaní a manipulácii s nimi. Napr. je bežné skladovať kvapalinu vonku v sudoch a kontajneroch. Voda sa môže zrážať na povrchu nádrže (sudu) nad hladinou a pri zmene teplôt je nasatá dovnútra kontajnera. Voda sa môže dostať do kontajneru tiež pri jeho otvorení a plnení.

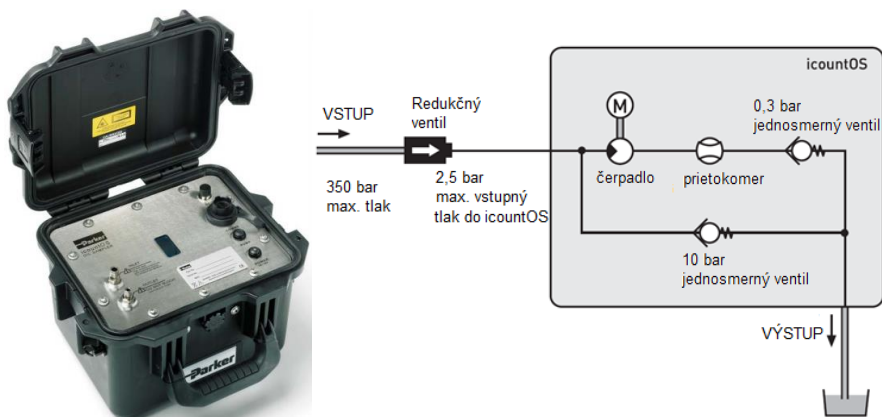
Voda sa môže dostať do systému cez opotrebované tesnenie hydraulických valcov, alebo tesnenie aktuátora, alebo pri otvorení nádrže. Ak kvapalina chladne v nádrži, vodné pary budú kondenzovať na vnútornom povrchu, čo má za následok koróziu alebo niektoré iné korózne problémy.

Hydraulické kvapaliny majú schopnosť prijať viac vody so stúpajúcou teplotou. Mútna pracovná kvapalina sa stáva viac čírou pri ohreve systému. (Příručka filtrační techniky, 2015)

## MATERIÁL A METODIKA

Cieľom analýzy oleja je získať čo najviac parametrov z oleja aj zo stroja, aby pri čo najmenších nákladoch poskytli dostatočne verný obraz o stave oleja a stroja. Pre zvýšenie životnosti hydraulického systému hydraulického žeriavu je potrebné kontrolovať čistotu a množstvo vody obsiahnuté v oleji. Pre dané sledované parametre sa použila diagnostická jednotka IcountOS (Obr. 1) na hydraulických žeriavoch ESSEL 180Z, Palfinger Epsilon 250 Z (Obr. 4), ktoré využíva na odvoz dreva VŠLP vo Zvolene.

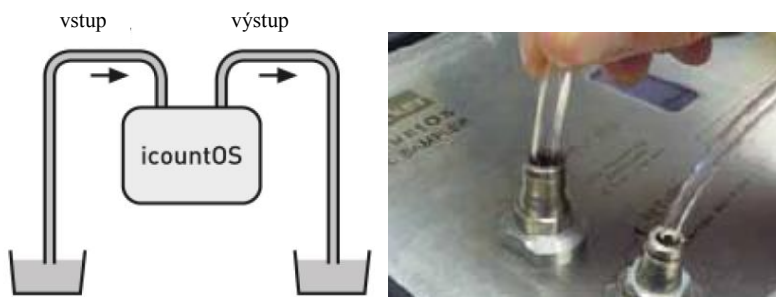
Jednotka IcountOS spoločnosti Parker Hannifin je laserové monitorovacie zariadenie oleja. Tento detektor kontaminácií kvapalín na báze minerálnych olejov alebo leteckých palív je konštruovaný pre použitie za náročných podmienok okolitého prostredia a preto je jeho obal vyrobený z vysoko odolnej živice HPX. Ventil Vortex umožňuje odľahčenie tlaku bez vypúšťania vody a mäkká rukoväť jednotky IcountOS je konštruovaná so zreteľom na vysokú trvanlivosť, funkčnosť a na možnosť budúceho zákaznickeho prispôsobenia príslušenstvom.



Obr. 1. Jednotka IcountOS spoločnosti Parker Hannifin (Icount Oil Sampler, 2011)  
Fig. 1. Icount oil sampler by Parker Hannifin

Táto jednotka má dve hydraulické prípojky, ktoré umožňujú prenos kvapaliny jednotkou za účelom jej analýzy. Jednotka IcountOS (IOS1220) je dodávaná s nízkotlakovými hadicami (ACC6NN031) a s tlakovým redukčným ventilom (ACC6NN027). Dodávajú sa tiež vysokotlakové hadice (ACC6NN034) pri pripojení PRV (Pressure Reducing Valve) k systému.

Meranie sa vykoná pri prevádzkovej teplote hydraulického oleja hydraulických zariadení, aby bol olej dostatočne premiešaný. Následne sa nízkotlakové hadice dajú do olejovej nádrže hydraulického zariadenia a vykoná sa meranie pomocou diagnostického zariadenia IcountOS. Dĺžka merania nie je nijako obmedzená.



Obr. 2. Schéma zapojenia pre nízkotlaké pripojenie (Icount Oil Sampler, 2011)  
Fig. 2. Scheme of the involvement for low-pressure connection

Postup merania:

1. Demontujú a uskladnia sa krytky. Nasadíme krytky (zátky) späť na miesto po dokončení testovania, aby sa zamedzilo úniku kvapalín a znečisteniu okolia.
2. Pripojíme hadicu VÝSTUP (Ø 4mm). Prekontrolujeme, či je hadica pevne zasunutá (Obr. 2).

3. Pripojíme VSTUP (Ø 6mm) hadicu. Prekontrolujeme, či je hadica pevne zasunutá.
4. Pripojíme hadicu k externému vypúšťaniu/systému hydrauliky – nádrž (Obr. 2).
5. Stlačíme spínač POWER. Prekontrolujeme stav nabitia a v prípade potreby pripojíme nabíjací zdroj.
6. Stlačíme spínač PUMP a prebieha meranie.

Po skončení merania sa nám na displeji zobrazia hodnoty znečistenia oleja podľa ISO 4406: 1999 alebo NAS1638 podľa toho ako si nastavíme jednotku pred meraním a hodnota relatívnej vlhkosti oleja (Obr. 3).



Obr. 3. Obrazovka výsledkov displeja IcountOS  
Fig. 3. Digital display results IcountOS

1. Horný riadok (Obr. 3) na obrazovke displeja výsledkov roluje pre zobrazenie MTD© (tzn. Medium Test Dust (stredné znečistenie) (kalibrované)), ID jednotky a IP adresa.
2. Veľkosti kanálov (4, 6 a 14 µm v tomto prípade). Zobrazuje sa striedavo s nastavením limitov alarmu (Obr. 3).
3. Čísla sú kódy podľa ISO alebo NAS (Obr. 3), tie priamo indikujú úrovne kontaminácií podľa noriem pre reporty ISO 4406: 1999 alebo NAS1638.
4. Indikátor úrovne nabitia vnútorného akumulátora (Obr. 3).
5. Percentá relatívnej vlhkosti oleja (Obr. 3) (Icount Oil Sampler, 2011)

Meranie prebiehalo najprv diagnostikovaním novej náplne hydraulického oleja OTHP 32 a potom následne sa diagnostikovali použité oleje hydraulických žeriavov. Po vyhodnotení znečistenia hydraulických olejov sa výsledky vzájomne porovnali.



Obr. 4. Hydraulický žeriav ESSEL 180Z (vľavo), Hydraulický žeriav Epsilon Palfinger E250Z (vpravo),  
Fig. 4. Hydraulic crane ESSEL 180Z (left), Hydraulic crane Epsilon Palfinger E250Z (right),

Tabuľka 2. Technické údaje hydraulického žeriavu ESSEL 180 Z a Epsilon Palfinger E250Z  
Table 2. Technical parameters hydraulic crane ESSEL 180 Z a Epsilon Palfinger E250Z (ESSEL 180Z, 2015; Epsilon 250 Z, 2013)

Technické údaje	180Z	E 250Z
Max. klopň moment (kNm)	183,6	210
Max. vodorovný dosah (m)	9,0	9,5
Nosnosť (m/kg)	9,0 / 1950 6,0 / 2950	9,0 / 2200 4,0 / 5150
Uhol otoče (°)	380	395
Krútiaci moment otoče (kNm)	37,1	36
Obsah olejovej nádrže (l)	195	195
Pracovný tlak (MPa)	25	26
Max. prietok oleja (l/min)	2 x 62	2 x 90
Hmotnosť (kg)	2630	2980

Hydraulické žeriavy ESSEL 180Z a Epsilon 250 Z (Obr. 4) sa zaraďujú medzi lesnícke žeriavy, typu Z (podľa tvaru zloženia hydraulického žeriavu). Svojou konštrukciou sú predurčené na manipuláciu s drevnou hmotou, hlavne v dĺžkach, v lese a drevoskladoch (Tab. 2). Podľa druhu prídavných zariadení je tento typ možné použiť aj v iných priemyselných odvetviach na nakladanie a vykladanie kusového materiálu. Hydraulické prvky pre žeriavy sú citlivé a spoľahlivé. K dispozícii je široký sortiment prídavných zariadení.

Tento typ hydraulického žeriavu je podľa skúseností najvhodnejší do súpravy na odvoz drevnej hmoty v dĺžkach, v kombinácii s otočnými oplienami a oplienovými polopríviesmi, oplienovou plošinou či klanicovou nadstavbou. (ESSEL 180Z, 2015; Epsilon 250 Z, 2013)

Hydraulický žeriav ESSEL 180Z je namontovaný na nákladnom vozidle Iveco Trakker s klanicovým návesom (Obr. 4). Hydraulický žeriav Epsilon Palfinger E250Z je namontovaný na nákladnom vozidle Iveco Trakker s klanicovým polopríviesom (Obr. 4). Pre dané hydraulické žeriavy je odporúčaná hodnota ISO kódového čísla **18 / 16 / 13**.

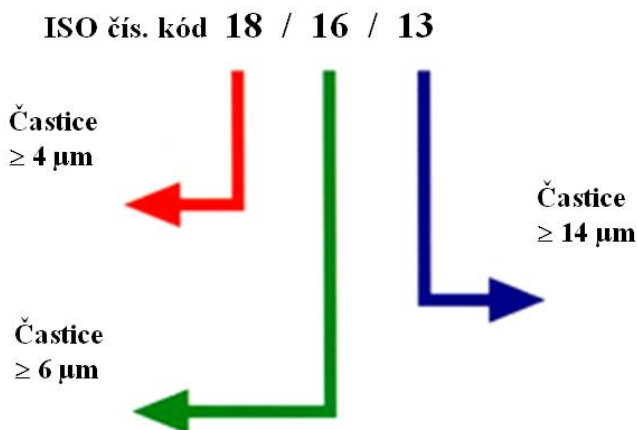
V hydraulických zariadeniach sa používa hydraulický olej OTHP 32. Hydraulický olej OTHP 32 je určený hlavne na použitie vo veľmi záťažových sústavách prenosu sily a hydraulického riadenia t.j. hydraulických prevodoch, regulačných a riadiacich mechanizmoch a podobných zariadeniach, v ktorých vznikajú pracovné podmienky (tlak do 25 MPa v ozubených čerpadlách a tlak 35 MPa v piestových čerpadlách) a všade tam, kde sa vyskytuje zvýšená teplota a vlhkosť prostredia.

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Sledované parametre nám ovplyvňujú veľkosť životnosti jednotlivých častí hydraulického systému (rozvádzač, čerpadlo, hydromotor, ...). Pre daný výskum bola jednotka nastavená podľa ISO 4406: 1999.

Za účelom stanovenia stavu a jeho zlepšenie (nápravu) sa používa relatívny stupnica znečistenia. Čítanie častíc nečistôt je najbežnejšia metóda pre odvodenie štandardu úrovne čistoty. Používajú sa veľmi citlivé optické prístroje k určeniu počtu častíc nečistôt v premenných rozsahoch priradených k veľkosti častíc. Tieto hodnoty sú potom uvádzané ako číslo (počet) častíc väčších než určitá (určená) veľkosť, ktorá bola nájdená v danom objemu kvapaliny.

Nový štandard úrovne čistoty ISO 11171 nahradzuje ISO 4406 a súčasne prijíma ISO MTD (stredná hodnota testovacieho-umelého) prachu ako náhradu za používaný prach ACFDT v starej norme. Najviac je rozšírené rozloženie rady vo veľkostiach nečistôt väčších než 4, 6 a 14 mikrometrov v jednom mililitru kvapaliny. Počet častíc 4+ a 6+ mikrometrov je použitý ako referenčný bod pre častice tvoriaci „prach-bahno“. Veľkosť 14+ uvádza množstvo väčších nečistôt, ktoré najčastejšie spôsobujú katastrofické poruchy prvkov. Kódové číslo sa priraduje pre každú veľkostnú kategóriu zvlášť a výsledný kód čistoty zodpovedá najhoršiemu kódovému označeniu z jednotlivých veľkostných kategórií častíc (Dálik, 2011).



Obr. 5. Popis ISO 4406 číselného kódu (Příručka filtrační techniky, 2015)  
Fig. 5. Description of the code number ISO 4406



V prvom kroku sa vyhodnotil nový hydraulický olej pomocou diagnostickej jednotky IcountOS, kde namerané hodnoty boli **ISO 19 / 17 / 14**. Výsledky sú vyhodnotené podľa obrázku 5 a tabuľky 3. Z daného výsledku nám vyplýva, že už nový olej vykazuje vyššiu mieru znečistenia. Obsah vody nového hydraulického oleja je 65%, čo je **195 ppm**. V tomto prípade je koncentrácia vody v hydraulickom oleji na hranici ako je dovolená prípustná hodnota 200 ppm. Dané výsledky potvrdzujú, že nová kvapalina čerpaná zo suda nie je vhodná pre hydraulické či mazacie systémy (Príručka filtrační techniky, 2015).

Tabuľka 3. Tabuľka hodnôt ISO 4406:1999

Table 3. Table of values ISO 4406:1999 (Príručka filtrační techniky, 2015)

<b>ISO 4406:1999 tabuľka hodnôt</b>		
<b>Kódové číslo</b>	<b>Počet častíc na ml</b>	
	<b>viac než</b>	<b>až do vrátane medze</b>
24	80,000	160,000
23	40,000	80,000
22	20,000	40,000
21	10,000	20,000
20	5,000	10,000
19	2,500	5,000
18	1,300	2,500
17	640	1,300
16	320	640
15	160	320
14	80	160
13	40	80
12	20	40
11	10	20
10	5	10
9	2,5	5
8	1,3	2,5
7	0,64	1,3
6	0,32	0,64

Pre vozidlo Iveco Trakker ZV-104 BX na ktorom je namontovaný hydraulický žeriav Palfinger **Epsilon 250 Z** boli namerané hodnoty (ISO číselný kód) **21 / 20 / 18**.

Z daného číselného kódu nám vyplýva, že častice o veľkosti 4 mikrónov a viac sa nachádzajú v 1 mililitri oleja od 10000 – 20000 častíc. Častice väčšie ako 6 mikrónov sa pohybujú od 5 000 – 10 000 častíc na 1 ml oleja. Častice väčšie ako 14 mikrónov sa pohybujú od 1 300 – 2 500 častíc na 1 ml oleja.

Obsah vody nameraný prístrojom IcountOS je 50%, čo je **150 ppm**, čo predstavuje 0,015% relatívneho obsahu vody v oleji vzhľadom k úrovni nasýtenia pri danej teplote.

Pre vozidlo Iveco Trakker ZV-364 BG na ktorom je namontovaný hydraulický žeriav **ESSEL 180Z** boli namerané hodnoty (ISO číselný kód) **22 / 21 / 20**.

Z daného číselného kódu nám vyplýva, že častice o veľkosti 4 mikrónov a viac sa nachádzajú v 1 mililitri oleja od 20000 – 40000 častíc. Častice väčšie ako 6 mikrónov sa pohybujú od 10 000 – 20 000 častíc na 1 ml oleja. Častice väčšie ako 14 mikrónov sa pohybujú od 5 000 – 10 000 častíc na 1 ml oleja.

Obsah vody nameraný prístrojom IcountOS je 48%, čo je **144 ppm**, čo predstavuje 0,0144% relatívneho obsahu vody v oleji vzhľadom k úrovni nasýtenia pri danej teplote.

## DISKUSIA

Tribotechnická diagnostika je časťou bezdemontážnej techniky zaoberajúca sa zisťovaním technického stavu trecích uzlov na základe odobranej vzorky maziva, ktorým sú tieto uzly mazané (Kučera, 2000, 2003). Jej úlohou je laboratórne zistiť stav, vyhodnotiť a oznámiť výskyt cudzích látok v mazive a aj jeho zmenu, a to z hľadiska kvantitatívneho a kvalitatívneho. Tribotechnická diagnostika nám umožňuje racionálne a ekonomické využívanie mazív, včasnú identifikáciu vznikajúcich porúch pri prevádzke strojov a zariadení (Hnilicová & Kučera, 2013, Hnilica & Dado, 2012).

Daná metóda zisťovania a stanovenia počtu mechanických nečistôt patrí medzi najčastejšie využívané v prevádzke, nakoľko je z hľadiska ekonomického a časového najmenej náročná a dostatočne presná (Graça et al., 2011).

Treba si však uvedomiť, že sa neustále pohybujeme v oblasti rozhodnutia, ktoré môže zničiť veľmi drahý stroj, alebo môžeme ušetriť veľa peňazí za drahé mazacie náplne. Aby bolo naše rozhodnutie správne, musíme mať objektívne výsledky o stave mazacej náplne. Otázkou ostáva, čo treba analyzovať, nakoľko parametrov na vyhodnocovanie je pomerne dosť. Autori Hnilicová & Kučera, 2013 poskytujú širší pohľad na metódy, ktoré sa používajú pre analýzu hydraulických olejov.

Obdobnou problematikou sa zaoberal aj Ilčík et al., (2011), kde diagnostika resp. prevádzková analýza vzorky oleja na hydraulickom žeriave ESSEL 180Z bola vykonaná prostredníctvom prenosného olejového laboratória od firmy KLEENTEK. Na základe vykonanej diagnostiky aktuálneho stavu znečistenia vzorky oleja bolo zistené, že sa jedná o veľmi silné znečistenie. Na základe výsledkov vykonanej diagnostiky, vzorka bola zaradená podľa etalónu do triedy čistoty NAS 12, čomu zodpovedá trieda čistoty ISO 23/21/18 (Ilčík et al., 2011).

Hydraulické oleje zaradili do skupiny priemyselných olejov, v ktorých by obsah vody nemal prekročiť hranicu 500 ppm (0,05 %). Doporučená maximálna hranica obsahu vody by sa mala pohybovať na úrovni 200 ppm (0,02%) (Nováček, 2011, Příručka filtrační techniky, 2015). Z výsledkov merania obsahu vody novej kvapaliny hydraulických olejov je na hranici dovolenej prípustnej hodnoty 200 ppm. Nakoľko kvapaliny sú dlhodobo a trvale vystavené vplyvu vody a vodnej pary pri ich skladovaní a manipulácii s nimi. Voda sa môže zrážať na povrchu sudu (kontajnera) nad hladinou a pri zmene teplôt je nasatá dovnútra sudu. Napr. je bežné skladovať kvapalinu vonku v sudoch a kontajneroch, čo spôsobuje vysoké percento koncentrácie nasýtenej vody v oleji. Z výsledkov meraní sme zistili, že voda síce je prítomná v hydraulickej náplni obidvoch hydraulických žeriavoch, avšak jej koncentrácia bola nižšia ako dovolená prípustná hodnota.

V daných zaradeniach je potrebné vykonávať pravidelnú diagnostiku a filtráciu olejových náplní, čo potvrdzuje aj výskum autorov Ilčík et al. (2011), Hnilicová (2015), Fitch a Troyer (2011), kde 85% porúch hydraulických systémov vzniká v dôsledku znečistenia hydraulického oleja (Štollmann, 2010).

## ZÁVER

Pri opotrebovaní trecích povrchov kinematických častíc stroja dochádza k odstraňovaniu častíc zväčša mikroskopických rozmerov. Priemerne zaťažených olejových systémoch sa nachádza 70 až 80% pevných častíc s veľkosťou 1 až 5  $\mu\text{m}$  a 10% pevných častíc väčších ako 10  $\mu\text{m}$ . Kritické pevné častice, ktoré sú zodpovedné za nadmerné opotrebovanie, možno pokladať častice nad 5 až 10  $\mu\text{m}$ . Cieľom článku bolo vykonať praktické meranie pre stanovenie počtu mechanických nečistôt a obsahu vody v hydraulickom oleji hydraulických žeriavov. Meraním boli zistené nedostatky stavu sledovaných hydraulických žeriavov ako aj novej kvapaliny. Nedostatky sa týkali hlavne vysokého počtu nečistôt, ktoré spôsobujú poškodenie pohyblivých častí hydraulického systému ako aj netesností, čo skracuje samotnú životnosť hydraulického žeriavu. Na základe výsledkov merania by bolo vhodné hydraulický olej prečistiť od hrubých nečistôt a vymeniť filtre v hydraulických žeriavoch. Po prefiltrovaní oleja je potrebné prekontrolovať olej na nečistoty. V neposlednom rade netreba zabúdať, že už nová kvapalina (nefiltrovaná) nie je dostatočne čisté médium (Příručka filtrační techniky, 2015), kde odporúčané hodnoty oleja pre dané zariadenia je ISO 18/16/13. Bežne nová kvapalina čerpaná zo suda nie je vhodná pre hydraulické či mazacie systémy. Obsah vody je tolerovateľný do hodnoty 200 ppm. Pre zníženie rizika obsahu vody v oleji je najvhodnejšie nakupovať hydraulický olej priamo u predajcu ako uskladňovať veľké množstvo v sklade mazív.

U lesných strojov, a nie len u nich, vedie zanedbanie starostlivosti o oleje k výraznej ekonomickej strate spôsobenej dlhými prestojmi v dôsledku poruchovosti na hydraulických zariadeniach. Netreba preto robiť lacné kompromisy, ktoré nás v konečnom dôsledku prídu drahé, ale je potrebné investovať do kvalitnej filtrácie. Táto investícia sa neskôr odzrkadlí na znížení nákladov na náhradné diely, servis, spotrebu času, prestoje spôsobené poruchami. Používať kvalitné jemné vzduchové filtre pre filtráciu zavzdušňovania nádrží agregátov. Starostlivo voliť tlakové či vratné filtre, filtre na samostatných filtračných vetvách. Dbáť na údržbu filtrov, vymieňať pravidelne a hlavne včas filtračné vložky. Plniť hydraulické systémy len pomocou filtračného zariadenia, ktoré v prípade potreby využívať aj ako Off-line filtráciu. Takýmito opatreniami predĺžujeme životnosť nie len hydraulického oleja ale aj samotného hydraulického zariadenia.

## LITERATÚRA

- BALOG, J., CHOVANEC, A., KIANICOVÁ, M., 2002. Technická diagnostika, Vydala Trenčianska univerzita Alexandra Dubčeka v Trenčíne v spolupráci s VOP 027 š.p. Trenčín a vydavateľstvom GC Tech, 2002, 115 s., ISBN: 80-88914-66-3
- DAY, M., BAUER, CH., 2007. Water Contamination in Hydraulic and Lube Systems. In *Practicing Oil Analysis*. [online databáza]. Court, Tulsa : NORIA Corporation, September 2007. [cit. 10.

- marca 2016]. Dostupné na internete: <<http://www.machinerylubrication.com/Read/1084/water-contamination-lube>>
- DÁLIK, P. 2011. Diagnostika hydraulických olejov. In *Tribotechnika*. Žilina : Vydavateľstvo Tech-Park, o.z. ISSN 1338-0524, 2011, ročník IV, číslo 4, s. 18-19.
- EPSILON 250Z, [www.palfingerepsilon.com](http://www.palfingerepsilon.com), 2013, [ cit. 05.06.2015 ]. Dostupné na webovskej stránke (world wide web): <http://www.palfingerepsilon.com/en/international/application-areas/4/long-wood-haulage-142/#ui-tabs-downloads-3>
- ESSEL 180Z, [www.essel.sk](http://www.essel.sk), 2015, [ cit. 05.06.2015 ]. Dostupné na webovskej stránke (world wide web): <http://www.vendormedia.com/essel/?goto=B10-1-5-1&lng=sk>
- FITCH, J., TROYER, D., 2011. Setting Limits and Targets for Effective Oil Analysis. In *Machinery Lubrication*. [online elektronický časopis]. Court, Tulsa : NORIA Corporation. USPS 021-695, July-August 2011, Volume 11. Number 4. [cit. 06. marca 2016]. Dostupné na internete: <[static.ow.ly/docs/ML\\_July\\_August\\_2011\\_R\\_jdi.pdf](http://static.ow.ly/docs/ML_July_August_2011_R_jdi.pdf)>. s. 14-17.
- GRAÇA, B., SEABRA, J., SOUSA, P., 2011. Lubricant Analysis in Steam Turbines. In *Machinery Lubrication*. [online databáza]. Court, Tulsa : NORIA Corporation, October 2011. [cit. 12. marca 2016]. Dostupné na internete: <<http://www.machinerylubrication.com/Read/28580/lubricant-analysis-in-steam-turbines->>.
- HNILICA, R., DADO, M. 2012. Basic mechanisms of metalworking fluid mist formation. Použitie ekologicky vhodných médií v hydraulických a mazacích systémoch lesných strojov : *Kolokvium ku grantovej úlohe VEGA 1/0525/09*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2012, s. 56–60. ISBN 978-80-228-2320-3.
- HNILICOVÁ, M., 2015. Tribotechnická diagnostika hydraulických náplní v drevospracujúcich zariadeniach. [Dizertačná práca] – Technická univerzita vo Zvolene. Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky. Katedra mechaniky, strojnictva a dizajnu. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2015. 143 s.
- HNILICOVÁ, M., KUČERA, M., 2013. Tribotechnická diagnostika hydraulických olejov v laboratórnych a prevádzkových podmienkach. *Acta facultatis technicae : vedecký časopis Fakulty environmentálnej a výrobnjej techniky*. 2013. zv. Roč. 18, č. 1, s. 65--76. ISSN 1336-4472.
- ICOUNT OIL SAMPLER. [www.parker.com](http://www.parker.com), 2011, [ cit. 05.06.2015 ]. Dostupné na webovej stránke (world wide web): <http://www.parker.com/literature/Hydraulic%20Filter/ConMon/icount%20Oil%20Sampler.pdf>
- ILČÍK, Š., ŠTOLLMANN, V., ŠMAL, P., 2011. Technologická úprava olejov na Technickej univerzite vo Zvolene. In *TriboTechnika*. Žilina : Vydavateľstvo TechPark, o.z. ISSN 1338-0524, 2011, ročník IV, číslo 2, s. 30-32.
- KUČERA, M., 2003. Biologicky rýchlorozložiteľné hydraulické oleje v hydrostatických systémoch lesných strojov. In *Acta Facultatis Technicae*. s. 43--49.
- KUČERA, M., 2000. Verträglichkeit von Dichtungsmaterialien den hydraulischen Elementen der Forstmachinen mit biologisch leicht Abbaubaren Hydraulikölen auf Rapsölbasis. In *Forest and wood technology vs. environment : proceedings of the international scientific conference Mendel University of Agriculture and Forest Brno*. Brno: Mendel University of Agriculture and Forestry, 2000, s. 197--202. ISBN 80-7157-471-6.
- NOVÁČEK, V., 2011. Několik příkladů z proaktivní údržby hydraulických systémů. In *Tribotechnické informace*. [online elektronický časopis]. Praha : Technický týdeník, 2011, číslo 2. [cit. 06. marca 2015]. Dostupné na internete: <<http://www.tribotechnika.cz/images/casopis/2011-2.pdf>>. s. 18-20.
- PŘÍRUČKA FILTRAČNÍ TECHNIKY, FDHB289 CZ, 2015. Parker Hannifin, s.r.o., 38 s.
- ŠTOLLMANN, V., 2010. Nezabúdajme na hydraulické systémy. In *TriboTechnika*. Žilina : Vydavateľstvo TechPark, o.z. ISSN 1338-0524, 2010, ročník III, číslo 3, s. 24-26.

Článok bol vypracovaný v rámci projektu KEGA MŠ SR 019TU Z-4/2015 „Inovácia foriem a metód vyučovacieho procesu v oblasti poľnohospodárskej a lesníckej techniky“.

**Kontaktná adresa:**

Ing. Jozef Krilek, PhD., tel.: +421 45 5206 554, e-mail: jkrilek@gmail.com



## POROVNANIE KINEMATIKY U VYBRANÝCH HOMOKINETICKÝCH KLBOVÝCH MECHANIZMOV

### COMPARISON OF KINEMATICS AT SELECTED CV JOINT MECHANISMS

Andrej Mazáň<sup>1</sup>, Mária Krajčovičová<sup>2</sup>, Štefan Barcík<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Katedra riadenia strojov a automatizačnej techniky, Fakulta Environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická Univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 53, Zvolen, Slovensko, xmazan@is.tuzvo.sk*

<sup>2</sup>*Katedra výrobnjej techniky a manažmentu kvality, Fakulta Environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická Univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 53, Zvolen, Slovensko, krajcovicova@is.tuzvo.sk*

**ABSTRACT:** Mechanisms such as system of bounded bodies and frames allow a motion transformation of input driving bodies to output driven working bodies. Articulated mechanisms are the latest trend in this branch. The article is dedicated to two selected hinge mechanisms which meet the conditions of CV mechanisms. One of the main conditions of constant velocity mechanisms is a constant transfer speed from the driving shaft to the driven shaft, which is the subject of an investigation and inquiry on created virtual models of individual arrangements using the simulation programs.

**Keywords:** CV joint, mechanism, kinematics, angular velocity

**ABSTRAKT:** Mechanizmy ako systavy viazaných telies a rámov umožňujú transformáciu pohybov vstupných hnacích telies na výstupné hnané pracovné telesá. Najnovším trendom v mechanizmoch sú práve klbové mechanizmy. Článok je venovaný dvom vybratým klbovým mechanizmom, ktoré spĺňajú podmienky homokinetických mechanizmov. Jednou z hlavných podmienok homokinetickosti mechanizmov je konštantný prenos otáčok zo vstupného hnacieho hriadeľa na výstupný hnaný hriadeľ, čo predmetom skúmania a dokazovania na vytvorených virtuálnych modeloch jednotlivých mechanizmov použitím simulačných programov.

**Kľúčové slová:** homokinetický klbový mechanizmus, kinematika, uhlová rýchlosť

## ÚVOD

Vo svete sa používa veľké množstvo rôznych typov mechanizmov. Jedným z týchto typov sú práve homokinetické klbové mechanizmy. Ich história vývoja nesiahá ďaleko do minulosti. Jedným z prvých klbových mechanizmov ktorý spĺňal hlavnú podmienku homokinetickosti vytvoril britský vedec a astronóm Robert Hooke (1635–1703). Jeho návrh sa zakladá na spojení dvoch klbových mechanizmov vytvorených vedcom Girolamo Cardano

(1501–1576) pomocou súčiastky nazvanej medzihriadeľ. Aby kĺbový mechanizmus Roberta Hookea spĺňal hlavnú podmienku, musia byť osi rotácie hnacieho a hnaného hriadeľa voči sebe rovnobežné alebo musia voči medzihriadeľu zvierat rovnaký uhol, čo dnešné inovácie tohto kĺbového mechanizmu umožňujú (Botanica, 2014).

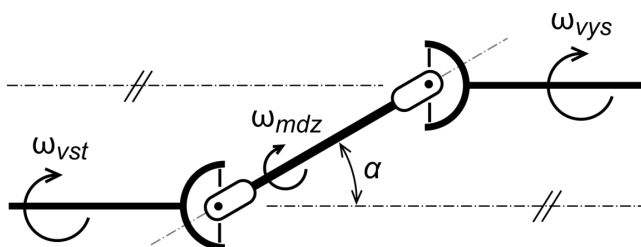
Jeden z najnovších návrhov homokinetických kĺbových mechanizmov vytvoril austrálsky univerzitný profesor Glenn Alexander Thompson. Jeho návrh kĺbového mechanizmu vychádza z návrhu Roberta Hookea. Avšak na rozdiel od Hookea a ďalších vynálezcov, Thompson elegantne vyriešil kardinálny problém dvojice Hookeových kĺbov, zabezpečiť úplne identické uhly naklopenia medzi hnacím hriadeľom a medzihriadeľom, a medzi medzihriadeľom a hnaným hriadeľom. Thompson umiestnil jeden univerzálny kĺb súosovo do druhého univerzálného kĺbu a problém rovnakých uhlov naklonenia hnacieho a hnaného hriadeľa voči medzihriadeľu vyriešil pomocou sférického paralelogramu (Mazáň, 2015).

V článku je popísané porovnanie modelu kĺbového mechanizmu Roberta Hookea v uložení v ktorom hnací a hnaný hriadeľ majú rovnobežné osi rotácie, s homokinetickým kĺbovým mechanizmom Glenna Alexandra Thompsona. Kinematickou analýzou je popísaný samotný prenos rýchlosti otáčania jednotlivých návrhov homokinetických kĺbových mechanizmov. Pre podporu konštruovania, výskum a vývoj je viacprvková dynamická simulácia účinným nástrojom, umožňujúcim analyzovať dynamické správanie mechanizmov bez výroby fyzikálnych prototypov (Matej, 2014).

## MATERIÁLY A METÓDY

### Hookeov kĺbový mechanizmus

Problém rovnomerného prenosu pohybu vyriešil vedec zapojením medzihriadeľa do obvodu, avšak musela byť dodržaná rovnobežnosť osí hnacieho a hnaného hriadeľa. Rovnobežnosť osí vytvorila rovnosť uhlov, ktoré sú medzi hnacím hriadeľom, medzihriadeľom a hnaným hriadeľom. Konštrukčná stavba R. Hookeovho kĺbového mechanizmu je zobrazená na kinematickej schéme (Obr. 1).



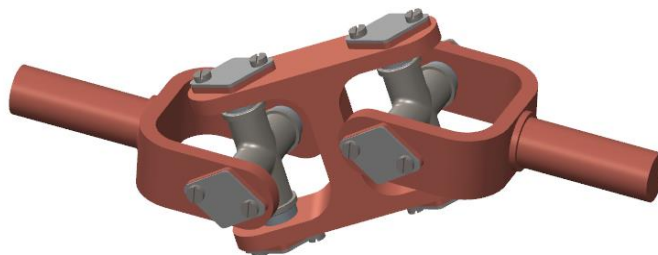
Obr. 1: Kinematická schéma Hookeovho kĺbového mechanizmu.

Podľa kinematickej schémy bol vytvorený virtuálny model Hookeovho kĺbu, ktorý bol následne podrobený kinematickej analýze. Model bol vymodelovaný v programe Creo Parametric 2.0 a následne bola vykonaná kinematická analýza v ideálnom prostredí (prostredie, v ktorom nepôsobia vonkajšie vplyvy na skúmané zariadenie) vytvorenom prostredníctvom vstavaného modulu programu Creo Parametric Mechanism (Seherr-Thoss, 2013).



Na hnací hriadeľ bola privedená uhlová rýchlosť o veľkosti  $10^{\circ}.s^{-1}$  (10 stupňov za sekundu). Uhol medzi hnacím hriadeľom a medzihriadeľom bol menený na veľkosti 15, 20, 25, 30°. Osi hnacieho hriadeľa a hnaného hriadeľa sú rovnobežné.

Model Hookeovho kĺbového mechanizmu bol vytvorený prispôbením návrhu Cardanového kĺbu využitého vo vojenskej technike (obr. 2).



Obr. 2: Virtuálny model Hookeovho kĺbového mechanizmu.

Vytvorená analýza prostredníctvom výpočtového programu má výstup v tvare grafického znázornenia z min uhlovej rýchlosti na jednotlivých komponentoch mechanizmu v závislosti na čase (Toogood, 2015).

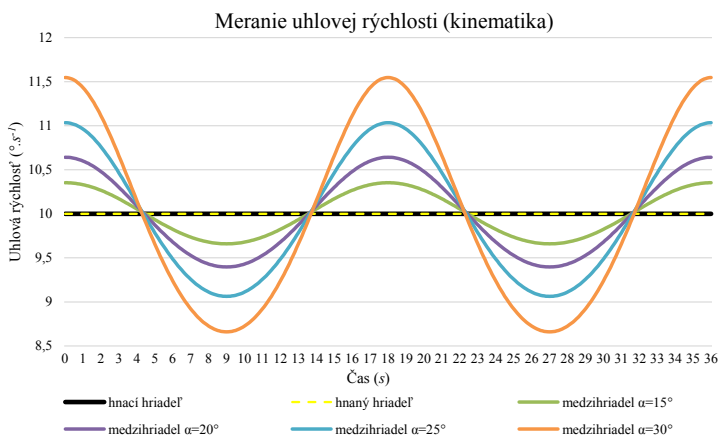
Analýza predstavuje tri uhlové rýchlosti týkajúce sa hnacieho hriadeľa, hnaného hriadeľa a medzihriadeľa. Uhlové rýchlosti budú prezentované v stupňoch za sekundu –  $^{\circ}.s^{-1}$ . Čas trvania analýzy vzhľadom na hnaciu uhlovú rýchlosť bol stanovený na 36 sekúnd (obr. 3).

Vstupné hodnoty :

$$\omega_{vst} = 10^{\circ}.s^{-1}$$

$$\alpha = 15, 20, 25, 30^{\circ}$$

$$t = 36 s$$



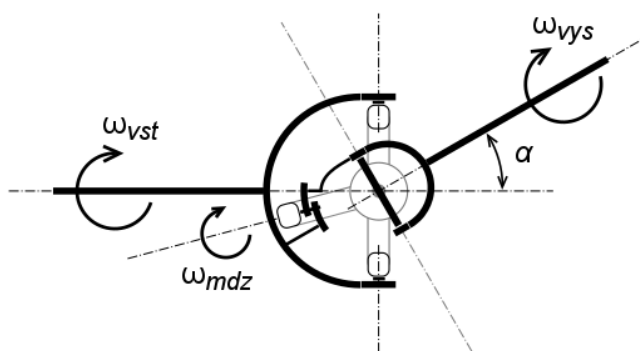
Obr. 3: Grafické zobrazenie kinematickej analýzy Hookeovho homokinetického kĺbového mechanizmu.

kde  $\omega_{vst}$  je hnacia rýchlosť [ $^{\circ}.s^{-1}$ ],  
 $\omega_{vys}$  je hnaná rýchlosť [ $^{\circ}.s^{-1}$ ],  
 $\omega_{mdz}$  je rýchlosť medzihriadeľa [ $^{\circ}.s^{-1}$ ],  
 $\alpha$  je uhol naklonenia [ $^{\circ}$ ],  
 $t$  je trvanie analýzy [ $^{\circ}$ ].

Hnacia rýchlosť otáčania je rovná hnanej rýchlosti otáčania (Shih, 2014).  $\omega_{vst} = \omega_{vys}$

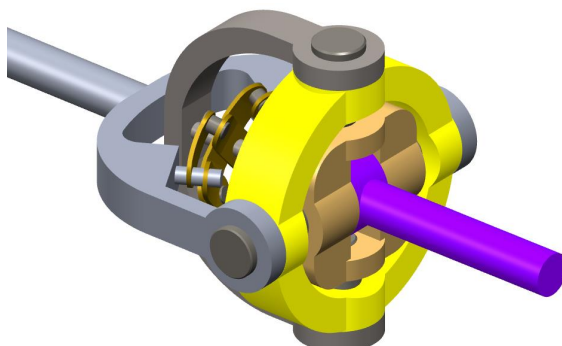
### Thompsonov homokinetický kĺbový mechanizmus

Prvý skutočný homokinetický kĺb navrhol austrálsky profesor Glenn Alexander Thompson. Toto tvrdenie vyplýva z faktu, že konštrukcia tohto kĺbového mechanizmu umožňuje prenos konštantných otáčok v jednom bode. Na kinematickej schéme Thompsonovho kĺbového mechanizmu je zjednodušené zobrazená samotná funkčnosť mechanizmu (obr. 4).



Obr. 4: Kinematická schéma Thompsonovho kĺbového mechanizmu.

Z materiálov patentového úradu bol pre porovnávacie účely vytvorený približný model Thompsonovho homokinetického kĺbu (Thompson, 2001). Pomocou programu Creo Parametric. Model bol podrobený analýze v ideálnom prostredí ako to bolo u predošlého modelu (obr. 5).

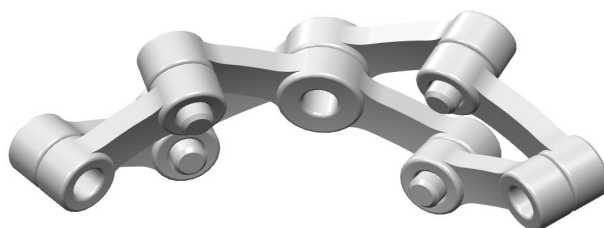


Obr. 5: Virtuálny model Thompsonovho kĺbového mechanizmu

Thompsonov model disponuje prvkom zvaným sférický paralelogram. Pomocou sférického paralelogramu sa vyriešil problém s rovnosťou uhlov medzi hnacím hriadeľom a medzihriadeľom a hnaným hriadeľom a medzihriadeľom. Funguje na jednoducho pákovom princípe kedy sa uhol medzi stredovou osou a bočnou osou prenáša na druhú bočnú os.

Sférický paralelogram je zložený z dvoch pák a štyroch ramien. Na koncoch pák sú čapy, a na koncoch ramien sú diery, čo umožňuje jednoduché prepojenie a vytvorenie sférického kĺbového mechanizmu príbuzného s rovinným kĺbovým mechanizmom. Do dier na koncoch ramien sférického paralelogramu sa zasúvajú čapy, ktoré sú vhodne umiestnené na hnacom a hnanom hriadeľi. Stredová diera v konštrukciách pák slúži na uchytenie a následné unášanie medzičlánku Thompsonovho mechanizmu.

Model sférického paralelogramu bol vytvorený tak, aby požadovaný uhol naklonenia nebol pre model sústavy pri vytváraní analýze kolízny (obr. 6).



Obr. 6: Virtuálny model sférického paralelogramu.

Thompsonov kĺbový mechanizmus bol podrobený v princípe rovnakej analýze ako Hookeov kĺbový mechanizmus, s tým rozdielom, že tento krát uhol naklonenia bol priamo medzi hnacou osou hriadeľa a hnanou osou hriadeľa. Medzi článok pôsobením sférického paralelogramu si aktívne zachovával uhol natočenia medzi hnacou a hnanou osou otáčania hriadeľov.

Pre lepšie porovnanie analýz bol hnací hriadeľ Thompsonovho kĺbu zaťažený uhlovou rýchlosťou o veľkosti  $10^{\circ}.s^{-1}$ . Uhol medzi hnacím a hnaným hriadeľom mal veľkosť rovnakú ako v predošlej analýze (15, 20, 25,  $30^{\circ}$ ).

Vytvorená analýza prostredníctvom výpočtového programu má výstup v tvare grafického znázornenia zmien uhlovej rýchlosti na jednotlivých komponentoch mechanizmu v závislosti na čase (Kuang-Hua, 2015).

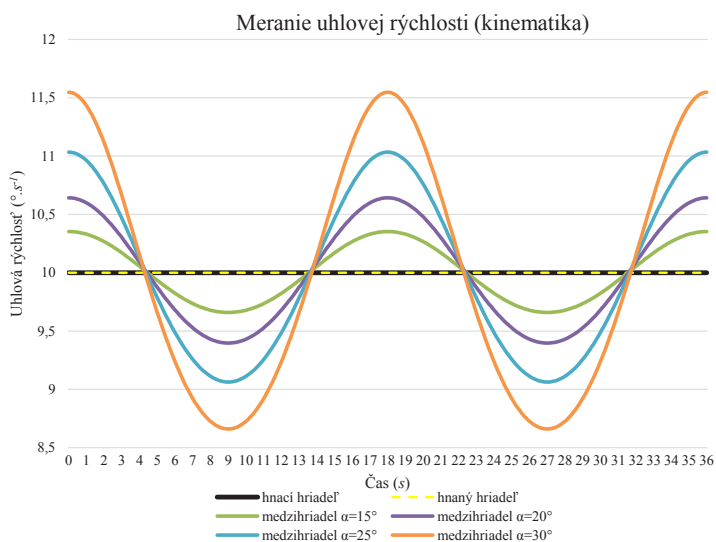
Analýza predstavuje tri uhlové rýchlosti týkajúce sa hnacieho hriadeľa, hnaného hriadeľa a medzihriadeľa. Uhlové rýchlosti sú prezentované v stupňoch za sekundu –  $^{\circ}.s^{-1}$ . Čas trvania analýzy vzhľadom na hnaciu uhlovú rýchlosť bol stanovený na 36 sekúnd (obr. 7).

Vstupné hodnoty:

$$\omega_{vst} = 10^{\circ}.s^{-1}$$

$$\alpha = 15, 20, 25, 30^{\circ}$$

$$t = 36 s$$



Obr. 7: Grafické zobrazenie kinematickej analýzy Thomsonovho homokinetickeho kĺbového mechanizmu.

kde  $\omega_{vst}$  je hnacia rýchlosť [ $^{\circ}.s^{-1}$ ],  
 $\omega_{vys}$  je hnaná rýchlosť [ $^{\circ}.s^{-1}$ ],  
 $\omega_{mdz}$  je rýchlosť medzihriadeľa [ $^{\circ}.s^{-1}$ ],  
 $\alpha$  je uhol naklonenia [ $^{\circ}$ ],  
 $t$  je trvanie analýzy [ $^{\circ}$ ].

Hnacia rýchlosť otáčania sa rovná hnanej rýchlosti otáčania.  $\omega_{vst} = \omega_{vys}$

## VÝSLEDKY

Rýchlosť medzihriadeľa je definovaná sínusovou charakteristikou. Rýchlosť medzihriadeľa je závislá na troch veličinách, hnacej rýchlosti, uhlu naklonenia a uhlu momentálneho natočenia hnacieho hriadeľa voči počiatočnej polohe hnacieho hriadeľa:

$\gamma$  je uhol natočenia hnacieho hriadeľa [ $^{\circ}.s^{-1}$ ].

Charakteristika rýchlosti medzihriadeľa sa dá definovať vzťahom:

$$\omega_{mdz} = \frac{\omega_{vst} \cos \alpha}{1 - \sin^2 \alpha \cos^2 \gamma} [^{\circ}.s^{-1}] \quad (1)$$

Táto rovnica je platná pre obe prevedenia kĺbových mechanizmov.

## ZÁVER

Pozorovaním obidvoch kinematických analýz sa dá pozorovať zmena rýchlosti otáčania na medzi článku mechanizmu a následne jej upravenie do pôvodnej podoby. Pri prechode uhlovej rýchlosti cez komponenty kĺbového mechanizmu z konštantnej charakteristiky do sínusovej a znova konštantnej, sa dá u oboch analýzach dospieť k záveru, že pre prenos uhlovej rýchlosti pri týchto mechanizmoch je nutné, aby na medzičlánku/medzihriadeli bola sínusová charakteristika prenášanej veličiny. Analýzami bolo dokázané splnenie hlavnej podmienky homokinetickosti oboch mechanizmov, avšak pri potrebe modernej mobilnej techniky je len Thompsonov kĺb vhodný po všetkých stránkach na použitie. Thompsonov kĺb spĺňa všetky podmienky homokinetickosti. Jeho konštrukcia umožňuje konštantný prenos rýchlosti otáčania v jednom bode bez žiadnych nepresností a zásadných obmedzení.

## LITERATÚRA

- [1] MAZÁŇ A., 2015. Návrh konštrukčného riešenia homokinetického mechanizmu. Diplomová práca, Zvolen: *Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky*. 2015.
- [2] SEHERR–THOSS H., SCHMELZ F., AUCKTOR E., 2013. *Universal Joints and Driveshafts: Analysis, Design, Applications*. Springer Science & Business Media, 2013. ISBN 978–36–620–2746–2
- [3] TOOGOOD ROGER, 2015. *Creo Parametric 3.0 Tutorial*. SDC Publications, 2015. ISBN 978–15–850–3948–7
- [4] KUANG–HUA CH., 2015. *Mechanism Design and Analysis Using PTC Creo Mechanism 3.0*. SDC Publications, 2015. 978–15–850–3946–3
- [5] SHIH R., 2014. *Introduction to Finite Element Analysis Using Creo Simulate 3.0*, SDC Publications, 2014. ISBN 978–15–850–3915–9
- [6] MATEJ J., 2014. Aplikácia systému Chrono:Engine v modelovaní a simulácii kolesového vozidla. *Acta facultatis technicae*, roč. 19, č. 2, s. 7–12. ISSN 1336–4472
- [7] Encyclopedia Britannica Online, s. v. Robert Hooke. Accessed, 2014. <http://www.britannica.com/biography/Robert-Hooke>.
- [8] THOMPSON, GLENN ALEXANDER, 2001. Zverejnená medzinárodne prihláška vynálezu WO 2002–077479 *Constant Velocity Joint and Control System Therefor*, WIPO, 2001.
- [9] MALIK L., MEDVECKÝ Š., DZIMKO M., 2004. *Časti a mechanizmy strojov v príkladoch a úlohách*, Žilinská univerzita, 2004. ISBN 978–80–807–0260–1
- [10] KOŽENIKOV S.N., JESOPENSKO J. I., JAKOV MICHALOVIČ R., 1960. *Mechanizmy*, preložil: Vladimír Bardoš, SVTL, 1960.

*Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia vedeckého grantového projektu KEGA 018TU Z–4/2014*

### Kontaktná osoba:

Ing. Andrej Mazáň, tel.: +421 45 5206 571, e-mail:mazan.andrej@gmail.com



## VÝSKUM HMOTNOSTNO-GEOMETRICKÝCH PARAMETROV STROMU SMREKA PRE PROJEKTOVANIE LESNÝCH STROJOV

### RESEARCH INTO MASS AND GEOMETRIC PARAMETERS OF SPRUCE TREE FOR PROJECTING OF FOREST MACHINES

**Juraj Mikleš<sup>1</sup>, Milan Mikleš<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Katedra environmentálnej a lesníckej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita vo Zvolene, Študentská, č. 26, 96053, Zvolen, Slovensko,  
e-mail: miklesj@tuzvo.sk*

<sup>2</sup>*Katedra environmentálnej a lesníckej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita vo Zvolene, Študentská, č. 26, 96053, Zvolen, Slovensko,  
e-mail: mikles@tuzvo.sk*

**ABSTRACT:** Designing the constructions of forest machines and mechanisms, it is necessary to have enough information on the working process – practical operating conditions: this will indivate the load of the machine and its mechanisms. The subject for the work of a forest machine is a tree or a stem. Therefore the characteristics of trees and stems must be known to comply with the requirements of machine constuction. They are mainly the mass and geometrical parameters of trees and stems that are to be investigated: mass of trees (stems) and their parts, coordinates of the center of mass, geometrical dimensions of trees (stems) and their parts. Applying the results of experimental measurments, these parameters were determined for spruce and their relations to the breast-height diameter of tree  $d_{1,3}$  and tree height, and/or stem lenght, were stated.

**Key words:** forest machinery, forest mechanization, forest exploitation, working process, spruce

**ABSTRAKT:** Pri projektovaní lesných strojov a mechanizmov je potrebné mať dostatok informácií o pracovnom procese – prevádzkových podmienkach, z čoho vyplýva zaťaženie stroja a jeho mechanizmov. Predmetom práce lesného stroja je strom alebo kmeň. Preto pri konštrukcii strojov vystupuje požiadavka poznať charakteristiky stromov a kmeňov. V podstate ide o hmotnostno – geometrické parametre stromov a kmeňov. Medzi tieto patria: hmotnosť stromov (kmeňov) a ich jednotlivých častí, súradnice ťažiska, geometrické rozmery stromov (kmeňov) a ich jednotlivých častí. Na základe experimentálnych meraní boli tieto parametre určené pre smrek a nájdené ich závislosti od prsného priemeru stromu  $d_{1,3}$  a výšky stromu, resp. dĺžky kmeňa.

**Kľúčové slová:** lesnícka technika, lesnícka mechanizácia, lesná ťažba, pracovný proces, smrek

## ÚVOD

Pre správnu konštrukciu mechanizmov používaných v lesnom hospodárstve na ťažbu a sústreďovanie dreva vzniká nevyhnutnosť určenia hmotnostno-geometrických charakteristík stromov a vytvorenie informačných prehľadov – tabuliek, ktoré obsahujú dynamické charakteristiky stromov. K týmto charakteristikám patria: hmotnosť stromov a ich jednotlivých častí, súradnice ťažísk, rozmery stromov a ich častí, na základe čoho možno vypočítať hmotný moment zotrvačnosti stromov a ich častí. Hmotný moment zotrvačnosti je základným parametrom patriacim k dynamickým charakteristikám stromov a kmeňov.

## PREHLAD SÚČASNÉHO STAVU

Problematika určovania hmotnostno-geometrických parametrov stromov (kmeňov) je v súčasnosti dostatočne rozpracovaná u nás a v zahraničí.

Predmetná problematika je podrobne rozpracovaná v učebniciach dendrometrie (napr. Korf, V. 1972) a v rade prác tohto odboru (napr. Hubáč, K. 1964, 1973, Čermák, J. 1978, Halaj, J. 1987, Petráš, R., Nociar, V. 1991). V prácach sa nachádzajú údaje o hrúbkach, výškach a objemoch jednotlivých stromov a kmeňov, a to v závislosti od štádiového vývoja porastu. Podobne je to v poslednom období práce s touto problematikou (Herich I. 2012, Petráš R. et. al. 2006, Halaj J., Petráš, R. 1998) neposkytujú údaje potrebné pre konštrukciu lesných strojov.

Tieto údaje sa používajú pri prácach Lesoprojektu pre stanovenie objemu zásob dreva v jednotlivých porastoch. Niektoré údaje z dendrometrických tabuliek po dosadení do príslušných vzťahov je možné použiť priamo len na určenie hmotnostno – geometrických charakteristík.

V zahraničí v súčasnosti existuje už mnoho prác, ktoré sa zaoberajú dynamickými charakteristikami stromu i kmeňa. Predovšetkým sú to práce ruských a kanadských autorov: (Adamovich, L. L. 1970, 1975, 1979, Korotjajev, L. V. 1991).

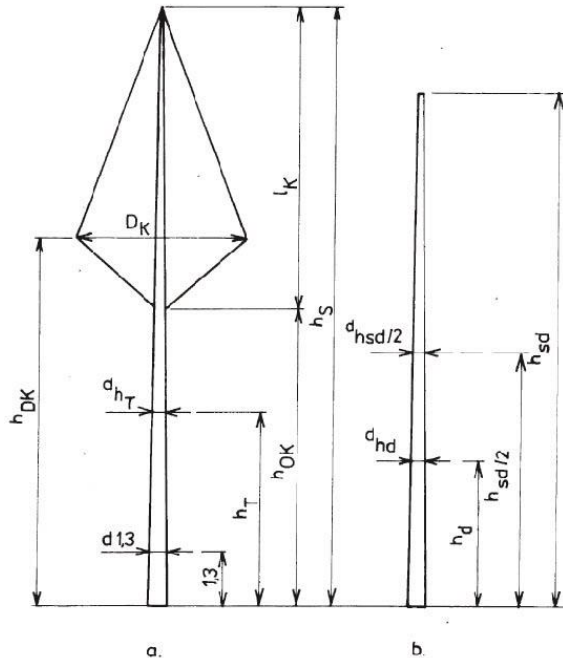
Tieto inžinierske charakteristiky sú podkladom na projektovanie lesných strojov (Štollmann, V., Slugeň, J.).

Pri konštrukcii lesných strojov je nevyhnutné poznať rozloženie hmotnosti v závislosti od výšky stromu, polohu ťažiska stromu a jeho častí, lebo ovplyvňujú dynamické zaťaženie pracovných prvkov stroja.

## MATERIÁL A METÓDY

Hmotnostno-geometrické parametre stromov a kmeňov sa merali pre našu hospodársky dôležitú drevinu smrek (120 kusov). Merania pre smrek prebiehali na Vysokoškolskom lesnom podniku TU vo Zvolene, polesie Budča, dielec 774.





Obr. 1 Označenie určovaných veličín pre smrek  
 Fig. 1 Symbols of the characteristics determined in spruce

Na priblížených stromoch sa zistili tieto veličiny (obr. 1); hrúbka  $d_{1,3}$ ; hrúbka v strede kmeňa; hrúbka v ťažisku stromu a kmeňa od miesta rezu  $h_T$ ,  $h_d$ ; dĺžka stromu  $h_S$ ; dĺžka kmeňa  $h_{sd}$ ;

vzdialenosť miesta merania šírky koruny  $h_{DK}$  od miesta rezu; šírka koruny  $D_K$ ; výška nasadenia koruny  $h_{OK}$ ; dĺžka koruny  $l_K$ ; hmotnosť stromu a kmeňa  $m$ ,  $m_d$ .

Ťažisko a hmotnosť stromov a kmeňov sa zisťovali pomocou hydraulického žeriavu a dynamometra. Metodický postup pri zisťovaní ťažiska bol veľmi jednoduchý, spočíval v uchopení stromu (stromu) drapákom hydraulického žeriavu. Nasledovalo postupné prechytávanie a posúvanie drapáka po kmeni stromu a dvíhanie do výšky. Keď po zdvihnutí zostal strom vo vodorovnej polohe, ťažisko bolo správne určené. Miesto uchytenia je poloha ťažiska. Zmerala sa hrúbka stromu v ťažisku a vzdialenosť ťažiska od čela. V mieste ťažiska sa reťazami upevnil dynamometer (rozsah 6 t), jedna časť dynamometra ku stromu, druhá časť ku drapáku hydraulického žeriava. Po zdvihnutí stromu sa prekontrolovala poloha ťažiska (vodorovná poloha stromu) a odčítaním na stupnici dynamometra sa zistila hmotnosť stromu (viď obr. 2). Postup pre určenie polohy ťažiska pre kmeň a jeho hmotnosť bol analogický. Z nameraných údajov sa tiež určil objem podľa sortimentačných tabuliek pre ihličnaté dreviny, a to objem kmeňa ( $V_d$ ) a objem hrubiny ( $V_{hr}$ ) bez kôry na základe hrúbky  $d_{1,3}$  a výšky stromu.



Obr. 2 Zisťovanie ťažiska a hmotnosti stromov  
Fig. 2 Determination centre of gravity and weight trees

Pri výpočtoch sme použili priemernú mernú hmotnosť pre smrek  $793 \text{ kg.m}^{-3}$ . Priemerná merná hmotnosť bola stanovená na základe našich meraní a následného výpočtu. Vlhkosť dreva nebola sledovaná. Autorom bolo zrejmé, že merná hmotnosť stromu sa mení po jeho výške. Podľa prác zahraničných autorov (Korotjajev L. V.) je vplyv zmeny mernej hmotnosti na výsledky zanedbateľný, preto sme s touto zmenou neuvažovali.

Zisťovala sa merná hmotnosť pre každý kmeň podľa vzorca:

$$\rho = \frac{m_d}{V_d} \text{ (kg.m}^{-3}\text{)}$$

kde:  $\rho$  – merná hmotnosť ( $\text{kg.m}^{-3}$ ),

$m_d$  – hmotnosť kmeňa (kg),

$V_d$  – objem kmeňa ( $\text{m}^3$ ).

Objem stromu sa vypočítaval podľa vzorca:

$$V = \frac{m}{\rho} \text{ (m}^3\text{)}$$

kde:  $V$  – objem stromu ( $\text{m}^3$ ),

$m$  – hmotnosť stromu (kg),

$\rho$  – merná hmotnosť ( $\text{kg.m}^{-3}$ ).

Vzdialenosť stredu koruny od miesta rezu sa určila podľa vzorca:

$$h_{DK} = h_{OK} + \frac{l_K}{2} \text{ (m)}$$

kde:  $h_{DK}$  – vzdialenosť stredu koruny od miesta rezu (m),  
 $h_{OK}$  – výška nasadenia koruny (m),  
 $l_K$  – dĺžka koruny (m).

Pri určovaní pozdĺžneho prierezu koruny pre smrek sme uvažovali tvar koruny v podobe obrátených kužeľov s totožnou základňou. Z toho vyplýva najväčší prierez koruny v pozdĺžnom smere, ako súčet plôch rovnoramenných trojuholníkov. Plochu koruny u smreka ( $P_K$ ) sme vypočítali zo vzťahu:

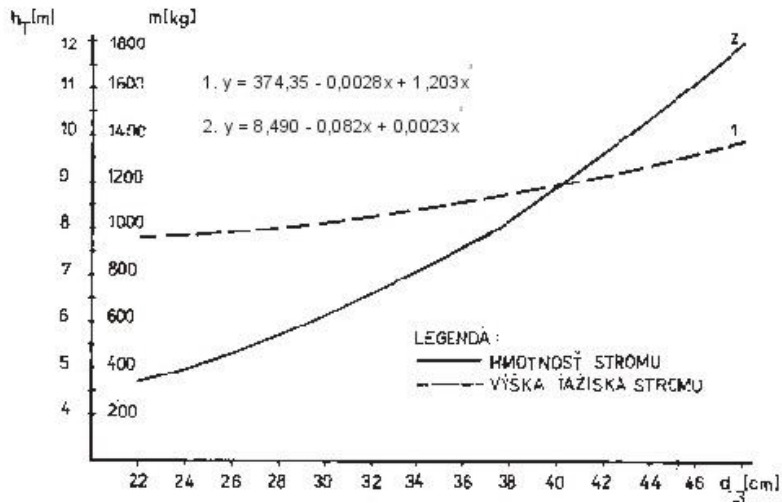
$$P_K = \frac{D_K l_K}{2} \text{ [m}^2\text{]}$$

kde:  $l_K$  – dĺžka koruny (m),  
 $D_K$  – šírka koruny (m).

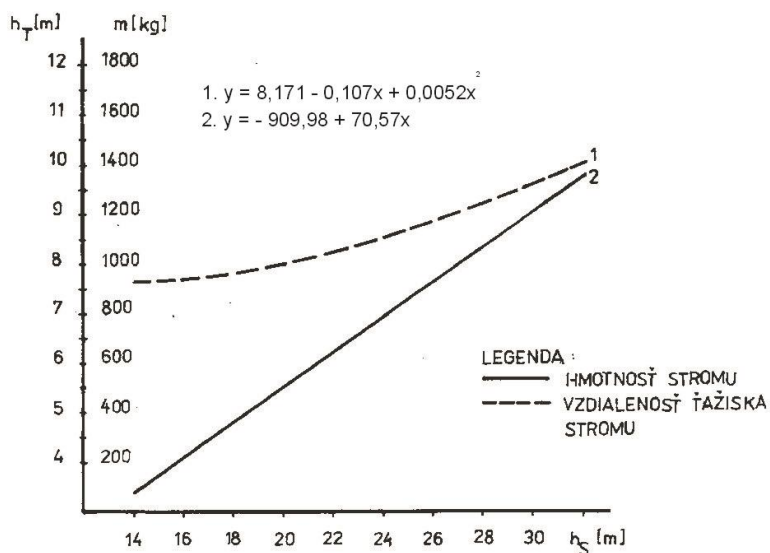
## VÝSLEDKY

Zostavili sme prehľady na vyjadrenie závislosti medzi výsledkami získanými terénnymi meraniami a vypočítanými hodnotami. U hrúbky  $d_{1,3}$  sme zvolili interval 2 cm, u výšky interval 2 m.

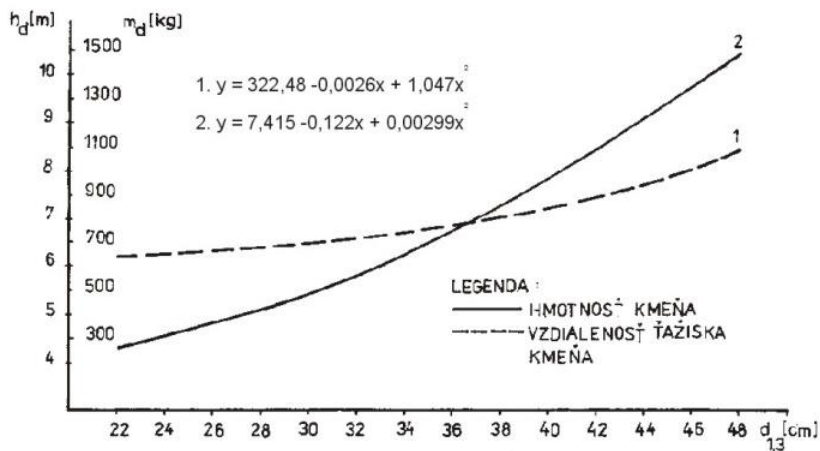
Na základe týchto prehľadov boli stanovené súradnice x a y pre výpočet polynómov 1. a 3. stupňa počítačom, pričom súradnice x boli hrúbkové stupne  $d_{1,3}$  alebo výškové stupne a súradnice y sledované hmotnostno-geometrické charakteristiky. Prehľady vyjadrovali tieto vzťahy: hmotnosť a výšku ťažiska v závislosti od  $d_{1,3}$  a) pre smrek – strom (obr. 3), b) pre smrek – kmeň (obr. 5), hmotnosť a výšku ťažiska v závislosti od výšky stromu a) pre smrek – strom (obr. 4), b) pre smrek – kmeň (obr. 6), vzdialenosť stredu koruny a miesta merania najväčšej šírky koruny od miesta rezu v závislosti od  $d_{1,3}$  (obr. 7), vzdialenosť stredu koruny a miesta merania najväčšej šírky koruny od miesta rezu v závislosti od výšky (obr. 8), najväčšiu šírku koruny a plochu koruny v závislosti od  $d_{1,3}$  (obr. 9), najväčšiu šírku koruny a plochu koruny v závislosti od výšky stromov (obr. 10).



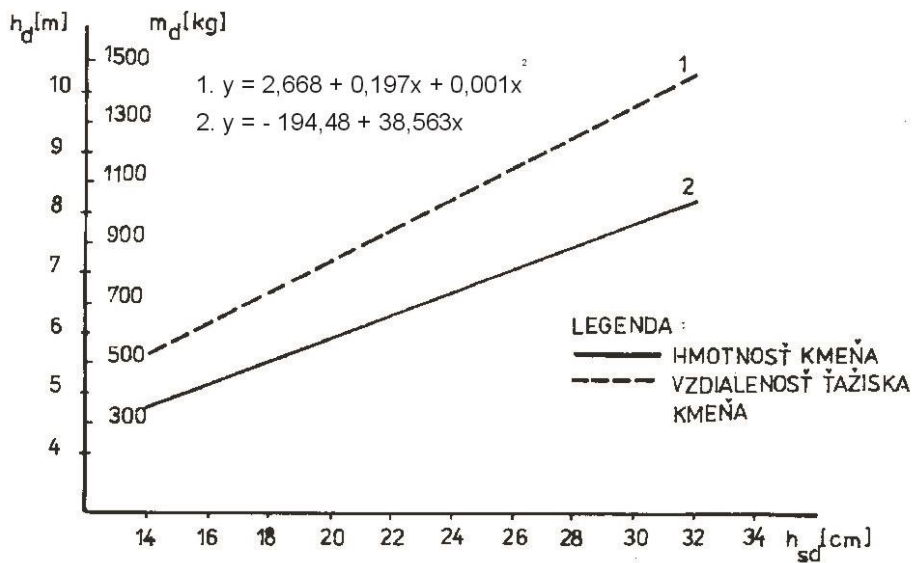
Obr. 3 Hmotnosť stromu ( $m_S$ ) a výška ťažiska stromu ( $h_T$ ) v závislosti od hrúbky ( $d_{1,3}$ ) pre smrek  
 Fig. 3 Tree mass ( $m_S$ ) and the height of the center of tree mass ( $h_T$ ) in relation to tree diameter ( $d_{1,3}$ ) for spruce



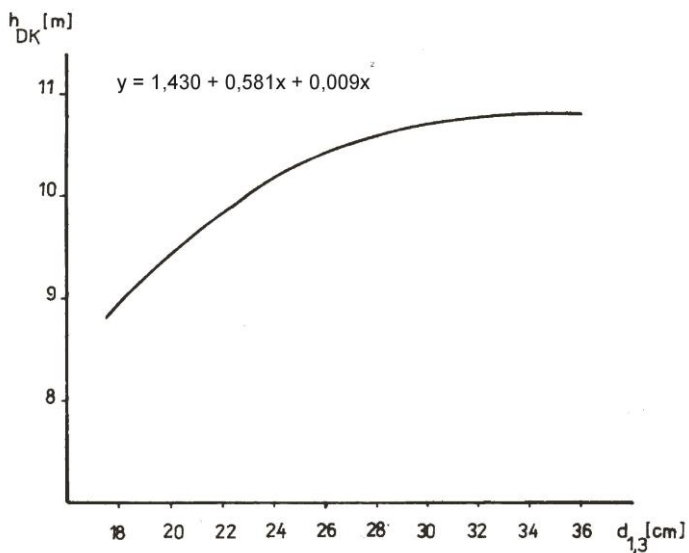
Obr. 4 Hmotnosť stromu ( $m_S$ ) a výška ťažiska stromu ( $h_T$ ) v závislosti od výšky stromu ( $h_S$ ) pre smrek  
 Fig. 4 Tree mass ( $m_S$ ) and height of the center of tree mass ( $h_T$ ) in relation to tree height ( $h_S$ ) for spruce



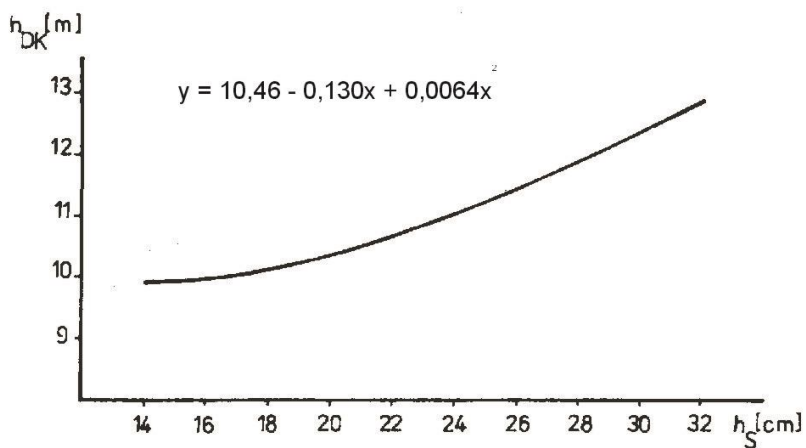
Obr. 5 Hmotnosť kmeňa ( $m_d$ ) a výška ťažiska kmeňa ( $h_d$ ) v závislosti od hrúbky ( $d_{1,3}$ ) pre smrek  
 Fig. 5 Stem mass ( $m_d$ ) and the height of the center of stem mass ( $h_d$ ) in relation to diameter ( $d_{1,3}$ ) for spruce



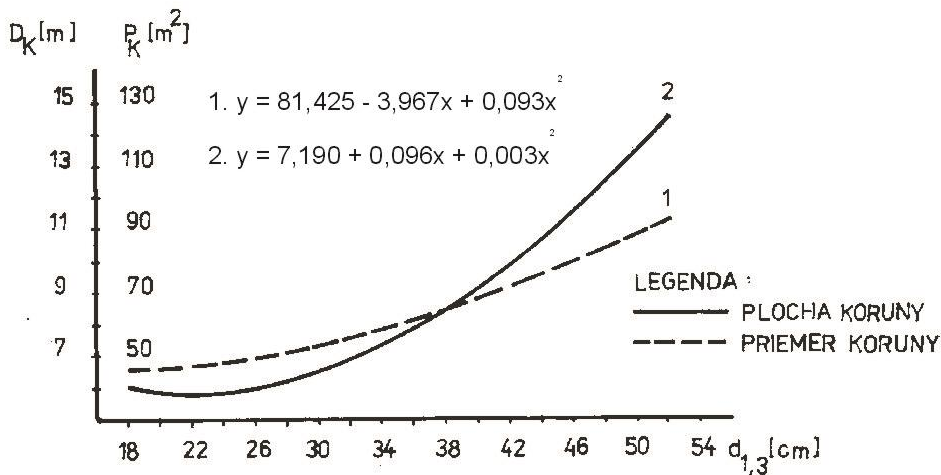
Obr. 6 Hmotnosť kmeňa ( $m_d$ ) a výška ťažiska kmeňa ( $h_d$ ) v závislosti od dĺžky ( $h_{sd}$ ) kmeňa pre smrek  
 Fig. 6 Stem mass ( $m_d$ ) and the height of the center of stem mass ( $h_d$ ) in relation to stem length ( $h_{sd}$ ) for spruce



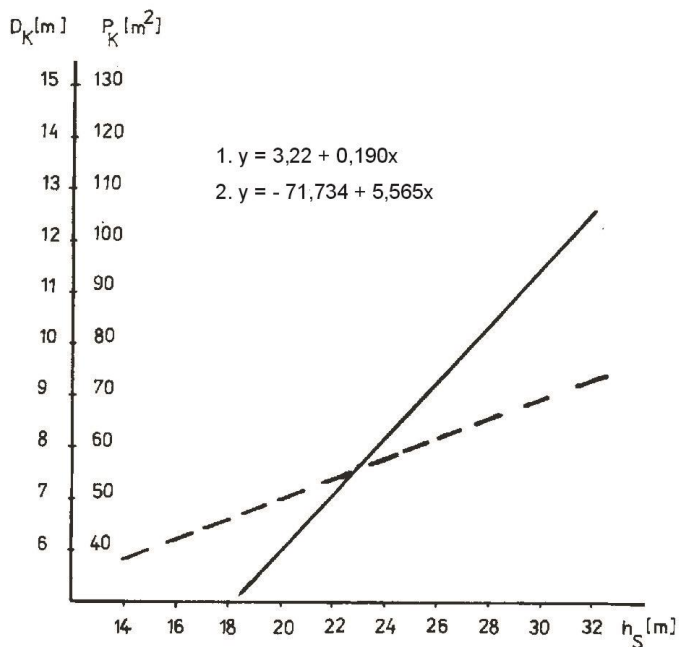
Obr. 7 Vzdialenosť stredu koruny ( $h_{DK}$ ) v závislosti od hrúbky ( $d_{1,3}$ ) pre smrek  
 Fig. 7 The distance of the crown center ( $h_{DK}$ ) in relation to diameter ( $d_{1,3}$ ) for spruce



Obr. 8 Vzdialenosť stredu koruny ( $h_{DK}$ ) v závislosti od výšky stromu ( $h_S$ ) pre smrek  
 Fig. 8 The distance of the crown center ( $h_{DK}$ ) in relation to tree height ( $h_S$ ) for spruce



Obr. 9 Priemer koruny ( $D_K$ ) a plocha koruny ( $P_K$ ) v závislosti od hrúbky ( $d_{1,3}$ ) pre smrek  
 Fig. 9 The diameter of crown projection ( $D_K$ ) and crown projection area ( $P_K$ ) in relation to diameter ( $d_{1,3}$ ) for spruce



Obr. 10 Priemer koruny ( $D_K$ ) a plocha koruny ( $P_K$ ) v závislosti od výšky stromu ( $h_s$ ) pre smrek  
 Fig. 10 The diameter of crown projection ( $D_K$ ) and crown projection area ( $P_K$ ) in relation to tree height ( $h_s$ ) for spruce

## Vyhodnotenie hmotnostno-geometrických charakteristík stromov

Namerané údaje boli štatisticky spracované so súčasným určením základných charakteristík: aritmetický priemer, stredná chyba priemeru, smerodajná odchýlka, rozptyl, variačný koeficient.

Výška ťažiska v závislosti od  $d_{1,3}$  a od výšky stromu

Všetky úlohy riešiacie mechaniku stromu sa nezaobídu bez poznania hmotnostno-geometrických údajov, ktoré majú veľký význam v procese vzájomného pôsobenia ťažbový stroj – strom. Ich význam spočíva napríklad v tom, že sila, ktorou pôsobí koruna a kmeň, môže byť nahradená výslednicou  $G$ , pôsobiacou v ťažisku stromu v bode  $T$  so súradnicami  $x_T$  a  $y_T$ .

Ako vyplýva z grafického znázornenia, výška ťažiska u kmeňa (stromu) v závislosti od  $d_{1,3}$ , ako aj od výšky prebieha podľa rovníc uvedených v grafoch, pričom tieto platia pre rozpätie:

$$d_{1,3} = 22 \text{ až } 48 \text{ cm}, h_s = 16 \text{ až } 28 \text{ m}, h_{sd} = 12 \text{ až } 26 \text{ m}.$$

Priemerná výška ťažiska meraných stromov:

$$h_T = 0,344 \cdot h_s,$$

kde:  $h_T$  – výška ťažiska stromu (m),

$h_s$  – výška stromu (m).

Štatistické charakteristiky:

variačný koeficient = 3,866

rozptyl = 0,00017

stredná chyba priemeru = 0,00173

smerodajná odchýlka = 0,0133

Pre kmeň:

$$h_D = 0,340 \cdot h_{sd},$$

kde:  $h_D$  – výška ťažiska kmeňa (m),

$h_{sd}$  – výška kmeňa (m).

Štatistické charakteristiky:

variačný koeficient = 3,235

rozptyl = 0,000123

stredná chyba priemeru = 0,00144

smerodajná odchýlka = 0,0110

Priemerná výška ťažiska kmeňa v závislosti od výšky stromu:

$$h_d = 0,263 \cdot h_s.$$



Štatistické charakteristiky:

variačný koeficient = 13,992

rozptyl = 0,0013

stredná chyba priemeru = 0,0048

smerodajná odchýlka = 0,0368

Hmotnosť stromu (kmeňa) v závislosti od  $d_{1,3}$  a výšky prebieha podľa rovníc uvedených na obr. 3, 4, 5, 6.

Hmotnosť kmeňa možno vyjadriť priemernou hodnotou:

$$m_d = 0,822m_s,$$

kde:  $m_d$  – hmotnosť kmeňa (kg),

$m_s$  – hmotnosť stromu (kg).

Štatistické charakteristiky:

variačný koeficient = 10,596

rozptyl = 0,0076

stredná chyba priemeru = 0,0113

smerodajná odchýlka = 0,0871

Priemerná výška ťažiska koruny:

$$\frac{h_K}{h_s} = 0,632,$$

kde:  $h_K$  – výška ťažiska koruny (m),

$h_s$  – výška stromu (m).

Výška ťažiska koruny je priemerne 0,632 výšky stromu.

Charakteristika koruny v závislosti od  $d_{1,3}$  a výšky stromu

Vzťahy medzi vzdialenosťou stredu koruny a miestom rezu, šírkou a plochou koruny v závislosti od hrúbky  $d_{1,3}$  a výšky stromu sú uvedené v grafoch (obr. 7, 8, 9, 10).

Priemerná vzdialenosť stredu koruny od miesta rezu v závislosti od výšky stromu:

$$h_{DK} = 8,611 h_s,$$

kde:  $h_{DK}$  – vzdialenosť stredu koruny od miesta rezu (m),

$h_s$  – výška stromu (m).

Štatistické charakteristiky:

variačný koeficient = 6,023

rozptyl = 0,00135

stredná chyba priemeru = 0,00479

smerodajná odchýlka = 0,0368

Priemerná výška miesta najväčšej šírky koruny sa nachádza vo vzdialenosti 0,183 výšky stromu pod stredom koruny.

## DISKUSIA

Na základe experimentálnych meraní boli zostrojené grafy vyrovnávajúcich polynómov vyjadrujúce vzťahy medzi fyzikálnymi charakteristikami stromov a kmeňov smreka.

Pri skúmaní korelačnej závislosti na základe nameraných hodnôt sa ukázalo ako najvhodnejšie vyjadriť korelačnú závislosť medzi znakmi polynómami 1. a 2. stupňa. Uvedené funkcie sú vždy uvedené pri ich grafickom znázornení.

Na meranie stupňa lineárnej, resp. nelineárnej závislosti bol použitý index korelácie. Z tabuliek 1 a 2, kde sú zmienené (vypočítané) hodnoty uvedené, môžeme konštatovať tesnosť korelácie, resp. vhodnosť vyrovnávajúcej krivky. V tabuľke 1 sa nachádzajú štatistické charakteristiky závislostí geometricko–hmotnostných parametrov stromu (kmeňa) od hrúbky  $d_{1,3}$ . Z indexu korelácie je zrejmé, že ide o veľký stupeň korelačnej závislosti predovšetkým u hmotnostných parametrov, stredný stupeň korelácie je medzi šírkou, resp. plochou koruny a  $d_{1,3}$ . Malý stupeň korelácie je medzi výškovými parametrami ( $h_T$ ,  $h_d$ ,  $h_{DK}$ ) a  $d_{1,3}$ .

Výsledky, ktoré sa dosiahli pri hlavných sledovaných parametroch, čím bolo ťažisko stromu a ťažisko kmeňa sa významne nelíšia od zahraničných autorov (Adamovich, L.L. 1970, 1975, 1979, Korotjajev, L.V. 1991). Pretože ťažisko sa vo všeobecnosti v odbornej literatúre u stromu (kmeňa) uvažuje v 1/3 výšky stromu (kmeňa) od prízemku. Možno konštatovať, na základe výskumu, že pri výpočtoch a simulácii premiestňovania stromu pri dynamických výpočtoch konštrukcie harvesterov sa nedopúšťame významnej chyby, keď počítame s týmto údajom.

Tab. 1

	$A_0$	$A_1$	$A_2$	Kvadratická odchýlka	Reziduálny rozptyl	Index korelácie	Platí pre rozpätie $d_{1,3}$
$h_T$	8,490	-0,08297	0,002329	54,862	0,9625	0,32154	18 až 52 cm
$m_s$	374,35	-0,002821	1,203	142 550,0	2500,88	0,9789	18 až 52 cm
$h_d$	7,415	-0,1223	0,002999	50,765	0,8905	0,3556	18 až 52 cm
$m_d$	322,487	-0,0026	1,047	106 213,0	1863,392	0,9778	18 až 52 cm
$h_{DK}$	1,430	0,5812	0,00907	142,245	2,495	0,2154	18 až 52 cm
$D_K$	7,190	0,09607	0,00334	89,766	1,575	0,4214	18 až 52 cm
$P_K$	81,425	-3,967	0,09315	14 487,7	254,17	0,5467	18 až 52 cm

V tabuľke 2 sú štatistické charakteristiky geometricko-hmotnostných parametrov stromu (kmeňa) od jeho výšky (dĺžky). Z indexu korelácie vidíme väčší stupeň strednej korelačnej závislosti pre hmotnostné parametre od výšky (dĺžky) stromu (kmeňa). Takisto je to so závislosťou ťažiska kmeňa od jeho dĺžky. Pomerne veľmi malý stupeň korelácie sa javí medzi výškou ťažiska stromu, výškou stredu koruny a výškou (dĺžkou) stromu (kmeňa).

Tab. 2

	$A_0$	$A_1$	$A_2$	Kvadratická odchýlka	Reziduálny rozptyl	Index korelácie	Platí pre rozpä- tie $d_{1,3}$
$h_T$	8,171	-0,1074	0,00524	214,799	3,768	0,1407	16 až 28 m
$m_s$	-909,985	70,573		1 941 010,0	33 465,69	0,6575	16 až 28 m
$h_d$	2,668	0,1969	0,001319	31,07	0,5451	0,6821	16 až 28 m
$m_d$	-184,483	38,563		1 737 270,0	29 952,87	0,5323	16 až 28 m
$h_{DK}$	10,46	-0,1303	0,006416	247,351	4,340	0,1615	16 až 28 m
$D_K$	3,222	-0,1906		98,359	1,695	0,3143	16 až 28 m
$P_K$	-71,734	5,565		11 472,1	197,794	0,6669	16 až 28 m

$h_T$  – výška ťažiska stromu,  $m_s$  – hmotnosť stromu,  $h_d$  – výška ťažiska kmeňa,  $m_d$  – hmotnosť kmeňa,  $h_{DK}$  – vzdialenosť stredu koruny,  $D_K$  – priemer koruny,  $P_K$  – plocha koruny

Z uvedeného vyplýva, že stanovené rovnice regresných kriviek nie sú veľmi vhodné pre určovanie polohy ťažiska stromu a ukazuje sa značný vplyv variability koruny. Početnosť uvedeného súboru sa tiež ukazuje ako nedostatočná, preto by bolo potrebné v ďalšej etape v uvedenom výskume pokračovať. Pre zabezpečenie všeobecných regresných rovníc treba vykonávať merania v rôznych lokalitách, aby sa tým zaistila použiteľnosť v projekčných a konštrukčných prácach na lesných strojoch. Pretože ide o jednorázové meranie v jednom poraste, treba výsledky brať ako vstup do uvedenej problematiky.

## ZÁVER

Získané hmotnostno-geometrické parametre stromov a kmeňov by mali slúžiť ako podkladový materiál pri projektovaní lesných viacoperačných ťažbových strojov. Niektoré získané údaje možno použiť priamo, niektoré je možné vypočítať (napr. hmotný moment zotrvačnosti) a ďalšie bude potrebné určiť meraním, napr. ohybovej tuhosti stromu (kmeňa), frekvencie vlastných kmitaní. Tým sa získajú podklady pre vyšetrenie vzájomného pôsobenia lesný stroj – strom (kmeň).

## LITERATÚRA

- ADAMOVICH, L. L., 1970. Centre of gravity positions of open and stand grown second growth Western conifers. Am. Soc. Agric. Eng. Paper, 1970, č. 70 – 617. Mimeo, 30 s.
- ADAMOVICH, L. L., 1975. Engineering characteristics of Canadian trees: centre of gravity and green weight components of four species in Interior British Columbia. Can. For. Serv., 1975, FMI Inf. Rep. FMR – X – 74, 78 s.
- ADAMOVICH, L. L., 1975. Engineering characteristics of Canadian trees: centre of gravity and green weight components of three conifers in Interior British Columbia on poor growing sites. Can. For. Serv., 1975, FMI Ing. Rep. FMR – X – 82, 67 s.
- ADAMOVICH, L. L., 1971. Engineering characteristics of Canadian trees: Douglas – fir and Western hemlock in Interior British Columbia, FERIC Techn. Note 1979, č. TN – 27, 51 s.

- ČERMÁK, J., HUBAČ, K., 1978. Sortimentáčné tabuľky pre listnaté dreviny, 1978, Príroda, Bratislava, 203 s.
- HUBAČ, K., ŠEBÍK, L., 1964. Tabuľky kmeňových profilov a sortimentačné tabuľky. Zborník vedecký prác VŠLD, 1964, s. 19
- HUBAČ, K., 1991. Sortimentáčné tabuľky pre ihličnaté dreviny. 1973, Príroda, Bratislava, 222 s.
- KOROTJAEV, L. V., 1991. K rasčetu silovogo momenta ot vetrovoj nagruzki na jelovoje derevo. In: IVUZ Lesnoj žurnal, Archangel'sk, No 2 (1991), p. 50 – 56
- HERICH, I., 2012. Porovnanie skutočného a modelového vývoja stredných výšok a hrúbok smreka a buka počas dvoch decénií vo výberových súboroch porastov, Lesnícky časopis – Forestry Journal, 58 (1), 2012, p. 1 – 9 doi: 10.2478/v10114-011-0010-2
- PETRÁŠ, R., BREZINA, L., MECKO, J., 2006. Development of the primary values of yield tables of spruce in comparison with their development on permanent research plots, Journal of Forest Science, 52, 2006(4): 172 – 180, ISSN 1212-4834
- ŠTOLLMANN, V., SLUGENĚ, J., 2009. Návrh novej kategorizácie harvesterov na základe analýzy hmotnostných a výkonových parametrov, Acta Facultatis Forestalis Zvolen, LI, 2009, č. 1, s. 101–109, ISSN 0231-5785
- HALAJ, J., PETRÁŠ, R., 1998. Rastové tabuľky hlavných drevín, Bratislava, Slovak Academic Press, 325 p. ISBN 80-88908-22-1
- PETRÁŠ, R. NOCIAR, V., 1991. Sortimentáčné tabuľky hlavných drevín, Bratislava, Veda. 304 p. ISBN 80-224-0376-8

**Kontaktná osoba:**

Ing. Juraj Mikleš, PhD., tel.: +421 45 5206 553, e-mail: miklesj@tuzvo.sk

## ELIMINÁCIA STIAHNUTÍN V ODLIATKOCH PRI ODLIEVANÍ DO TRVALEJ FORMY

### THE ELIMINATION OF THE SHRINKAGE CAVITIES IN CASTS AT CASTING PERMANENT MOULD

Miroslava Ťavodová<sup>1</sup>, Daniela Kalincová<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Katedra výrobnjej techniky a manažmentu kvality, Fakulta environmentalnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 960 53, Slovensko, tavodova@tuzvo.sk, kalinco@va@tuzvo.sk*

**ABSTRACT:** An aluminium castings, a cylinder heads are subject to strict control for compliance the highest quality. The article describe the possibility of elimination internal shrinkage cavities, which occur during casting in a permanent moulds. The shrinkage cavities, which arising from directionally solidified casting in the permanent mould, causes the leakage of the casting. They are characterised by coarse-grained structure, which is assessed by DAS indexes. Limit values are determined according customers standards. Monitoring the effectiveness of cooling the entire mould was ensured by the thermovision camera. Thermograms show the places of the mould, where the values of temperature are exceeded. An experiment included four tests. They were for local directionally solidified casting used differently combinations of a paint and spray of foundation plate and sand core. Likewise, we used the heating cartridges for local directionally solidified casting. The aim was to reduce the temperature of the foundation plate to the acceptable value. The results of tests show the possibility local cooling in critical areas of the casting, which were assessed by DAS scans and the thermograms.

**Key words:** casting, cast quality, DAS scan, shrinkages cavities, thermovision.

**ABSTRAKT:** Hliníkové odliatky hláv motorov podliehajú prísnej kontrole pre dodržanie najvyššej kvality. Článok opisuje možnosti eliminácie vnútorných stiahnutí, ktoré sa vyskytujú pri odlievaní do trvalých foriem. Stiahnutiny, ktoré vznikajú pri neusmernenom tuhnutí odliatku v kokile, spôsobujú netesnosť odliatku. Sú charakterizované hrubozrnnou štruktúrou, ktorá sa hodnotí pomocou DAS indexov. Hraničné hodnoty sú určené zákazníkymi normami. Kontrola účinnosti chladenia celej formy bola zabezpečená termovíznou kamerou. Snímky ukázali tie miesta na forme, kde sú hodnoty teploty prekročené. Pri štyroch testoch v experimente boli použité rôzne kombinácie náterov a nástrekov základnej dosky a pieskového jadra a tiež chladiace vložky pre lokálne usmernenie tuhnutia odliatku. Mala sa tak znížiť teplota základnej dosky na prípustnú hodnotu. Výsledky testov ukázali možnosti lokálneho chladenia v kritických miestach na odliatkoch, ktoré boli vyhodnotené pomocou kontrolných DAS skenov a snímok z termovíznej kamery.

**Kľúčové slová:** odlievanie, kvalita odliatkov, DAS sken, stiahnutiny, termovízia

## ÚVOD

Zlievarenstvo je priemyselné odvetvie zaoberajúce sa výrobou predmetov liatím roz-taveného kovu do formy, ktorého dutina má tvar budúceho odliatku. Zlievarne zásobujú prakticky všetky odvetvia strojárrenskej výroby odliatkami tvarovo zložitých súčiastok, ktoré sa nedajú vyrobiť iným spôsobom ako je zváranie alebo obrábanie (Bolibruchová & Tillová 2005).

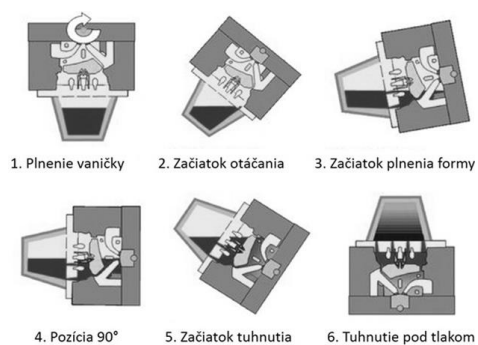
V dôsledku širokého uplatňovania automatizácie a robotizácie dochádza k rozvoju zlievarenskej výroby na vyššej kvalitatívnej úrovni. Existuje veľa technológií a spôsobov výroby odliatkov od najjednoduchších zlievarenských postupov, až po najmodernejšie progresívne zlievarenské technológie. Progresívne technológie (presné liatie, liatie pod tlakom a i.) umožňujú znížiť výrobné náklady pri porovnateľnom zachovaní kvality výroby, prípadne jej zvýšenia. (Kotus et al. 2015)

Vzhľadom na ochranu zákazníka pred dodaním nezhodných dielov, ktorú dodávateľom do automobilového priemyslu ukladá za povinnosť norma STN ISO/TS 16949:2009 je nevyhnutné analyzovať proces a produkt na základe zhromažďovania údajov o kvalite produktu (STN EN 1549-4:2003). Kvalita podľa (Čierna&Danková 2012) je schopnosť výrobku spĺňať požiadavky zákazníkov a ďalších zainteresovaných strán.

V zlievarenstve sa termovízia využíva na diagnostiku teplotných priebehov trvalých foriem a účinnosti ich chladenia. Kontroluje sa pomocou nej dodržiavanie pracovných postupov a technologických nastavení chladenia foriem. Pri procese odlievania hláv valcov z hliníkovej zliatiny majú chladiace okruhy za presne stanovených podmienok zabezpečiť usmerňovanie tuhnutia odliatku (Gustavsson 2009, Jánoš 2016). Tak by sa malo predísť vzniku vnútorných chýb, najmä stiahnutí, ktoré znižujú mechanické vlastnosti odliatkov. Podľa noriem sú stiahnutiny na niektorých miestach výrobku neprípustné (Tillová et al. 2011). Včasný odhalenie ich vzniku je možné pomocou merania teploty v kritických miestach termokamerou, použitím DAS skenov, prípadne CT skenov odliatkov.

## MATERIÁL A METÓDY

Odliatok, hlava valca pre dieselový agregát, pri ktorom sa vyskytli neprípustné chyby, ktoré znižovali jeho kvalitu a boli predmetom reklamácie je odlievajú do trvalej formy, ktorá je vyplnená pieskovými jadrami. Odlievanie prebieha technológiou liatia ROTA-CAST (Obr. 1.). Je to otočné liatie, kde sa forma otáča o 180°. Tento spôsob plnenia formy je schopný potlačiť turbulентné plnenie zlievarenskej formy na minimum. Výhodou takmer bezturbulentného plnenia je kombinácia vysokej tesnosti odliatkov a usmerneného tuhnutia. Tavenina tuhne smerom od základovej dosky (ZD) k náliatku. Forma je plnená z keramickej plniacej vaničky cez krycie jadro, kedy vrstvy taveniny postupne zaplňajú dutinu smerom od nalievacej bočnej časti kokily. Takýto spôsob odlievania usmerňuje tuhnutie, znižuje pórovitosť, znižuje DAS indexy a eliminujú sa oxidické blany z prierezov stien odliatkov. Technológia je veľmi produktívna, lebo sa dá odlievať s nízkou teplotou taveniny a veľmi nízkymi náliatkami (Michna&Nová 2008, Jánoš 2016). Pre výrobu odliatkov, hláv motorov sa používa hliníková zliatina AlSi10Mg(Cu). Je dodávaná vo forme ingotov.

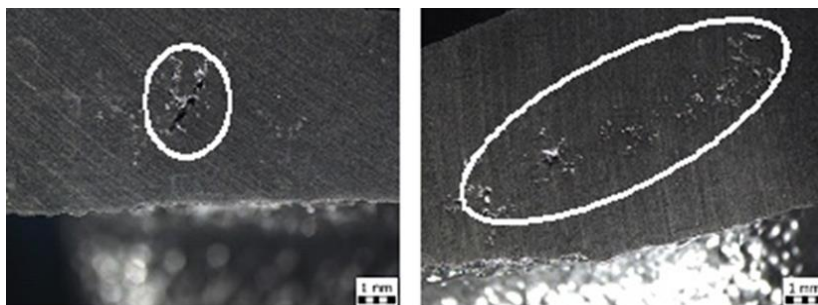


Obr. 1. Princíp odlievania technológiou ROTACAST  
 Fig. 1. Casting technology ROTACAST – principle

Príčiny vzniku vnútorných chýb v odliatkoch sú rôzne. Môžu byť spôsobené nevhodnou konštrukciou odliatku alebo jeho časti. Chyby môže zapríčiniť aj nízka teplota taveniny, ktorá má za následok studené spoje na vonkajších tvarových častiach, alebo nedoliečte časti kontúr odliatku. Vmestky v odliatkoch môžu byť zapríčinené nedostatočným vyčistením taveniny. Zmrašťovanie kovu v dutine formy je jedna zo zlievarenských vlastností materiálov. Má za následok vznik objemových chýb v odliatku. Sú to sústredené stiahnutiny a mikroťahnutiny – rozptýlené stiahnutiny (Pastirčák at al. 2009, Kotus et al. 2013).

Príklady stiahnutí, ktoré sú na Obr. 2. boli identifikované na nezhodnom výrobku počas výstupnej kontroly. Môžu mať dve hlavné príčiny:

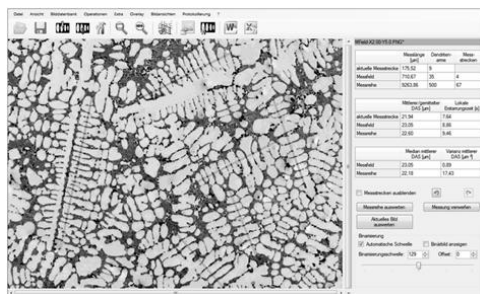
1. Neusmernené tuhnutie taveniny – vzniká sústredená stiahnutia, ktorá sa dá relatívne jednoducho odstrániť tak, že nasmerujeme tuhnutie tým správnym smerom (Neff 2010).
2. Vznik tepelných uzlov vo vnútorných častiach odliatku, ktoré sú lokálne prehriate a fungujú ako náliatkovanie pre okolité tvary a kanáliky. Tieto stiahnutiny je zložité odstrániť, nakoľko je potrebná konštrukčná, alebo dizajnová zmena na náradí alebo na pieskových jadrách a na to je potrebné schválenie od zákazníka (Kalinčová at al. 2015, STN 42 1240:1964).



Obr. 2. Príklady sústredenej a rozptýlenej stiahnutiny (mikroťahnutiny)  
 Fig. 2. Concentrated shrinkage cavities and microshrinkage cavities – examples

Pre hodnotenie pórovitosti, štruktúry a DAS indexov z DAS skenov sa používajú interné zákaznícke štandardy (Michna at al. 2011, Jánoš 2016).

Pre hodnotenie pórovitosti pre odlievane produkty sa klasifikujú póry do tried (A, B, C a D). Maximálna dĺžka póru je 1mm, maximálna plocha je 0.8mm<sup>2</sup> a rozstup medzi pórmí je minimálne 5mm. Zákaznícka norma pre hodnotenie štruktúry Al zliatin pre odlievane produkty stanovuje parametre tepelného spracovania a tvrdosť na povrchu odliatku po tepelnom spracovaní v spaľovacom a olejovom priestore. Hodnotí Si-fázy, Al<sub>2</sub>Cu s polymerickým eutektikom a Al-Si-(Fe-Mn) fázy (Čínske písmo).



Obr. 3. Príklad merania indexu DAS  
Fig. 3. DAS index measuring – an example

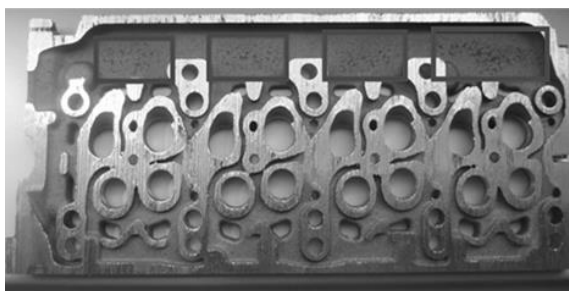
Štandard pre hodnotenie DAS pre Al zliatinu, hovorí o kontrole vzdialeností dendritických ramien. DAS – Dendrit Arm Spacing je vzdialenosť medzi dendritickými ramenami na jednom dendritickom „strome“ (Obr. 3.). Každý odliatok má vo výkrese stanovené miesto, ktoré je určené na hodnotenie indexu DAS. Vzorka má rozmery 15x15mm a DAS index sa hodnotí v hĺbke 1mm povrchom. Tak isto sa hodnotí štruktúra vzorky (modifikácia), tvar Si, prítomnosť Fe ihlič a pórovitosť. Hodnotia sa dve polia po 5 meraní pri 200µm. Meria sa na dvoch poliach o veľkosti 10x10mm. Na každom poli sa robí meranie na 5 ramenách, kde dve ramená sú dlhé, dve krátke a jedno stredne dlhé. Vzorky sa získavajú z DAS skenov, zhotovených v miestach, kde vznikli chyby odliatkov. Pri meraní teploty trvalej formy je potrebné mať správne nastavenú emisívitu meraného objektu, odrazenú teplotu, teplotu okolia a približnú vlhkosť vzduchu. Pri prvom meraní sa pre porovnanie presnosti merania forma premeria dotykovým pyrometrom (Bolibruchová & Richtárech 2013, Jánoš 2016).

Cykly odlievania sú 15 až 18 pracovných zmien. Potom sa formy vymenia za náhradné a použité sa očistia. Na začiatku cyklu sa funkčnosť chladenia formy kontroluje termovíziou kamerou. Tak môže byť porucha odhalená skôr ako sa vyrobia nezhodné diely (Grzničič 2012). Základová doska má dva okruhy chladenia. Každá dvojica kalôt má svoj okruh. Prípustná hodnota pre teplotu v meraných miestach základovej dosky je max. 250 °C. Pri meraní miest s výskytom stiahnutí sa meria pole a hodnota teploty je priemetom meraní daného poľa. Otvory kalôt sú chladené upravenou vodou s teplotou 20 °C.

Štandardne je forma ošetrovaná izolačným nástrekom WAGRASS EF WEISS, ktorý ju nie len chráni pred agresívnym pôsobením hliníkovej zliatinu a zabezpečuje dokonalú zabiehavosť taveniny, ale zároveň vytvára izolačnú vrstvu, ktorá zamedzuje nadmernému odvodu tepla. Pri výstupnej kontrole sa zistilo, že odliatok bol netesný zo strany spaľova-

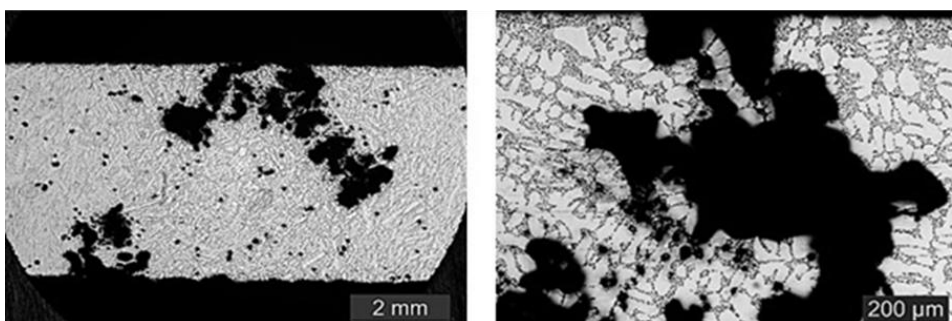


cích komôr, (Obr. 4). Netesnosť je v zlievarenstve definovaná ako uvoľnenie, vznikajúce necelistvosťou materiálu, ktorá sa prejavuje pri tlakovej skúške prenikaním skúšobného média (Neff at al. 2010, STN 04 6509:1978). Bola urobená analýza miesta výskytu chyby na odliatku. Po vypílení vzorky boli identifikované miesta na vnútornej strane vodného kanála s výskytom stiahnutí.



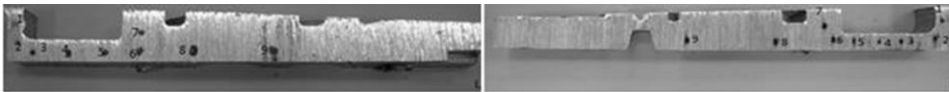
Obr. 4. Miesto netesnosti na spaľovacej strane s výskytom stiahnutí  
Fig.4 The casting leakage on the combustion chamber side with the shrinkage cavities

Platí, že čím je tavenina menej čistá, tým viac sú odliatky pórovité. Štruktúra sa preto stáva významným ukazovateľom kvality hliníkových odliatkov (Semanová&Kalincová 2013).



Obr. 5. Mikroštruktúra priečného rezu s identifikáciou stiahnutiny  
Fig. 5. Microstructure of the cross-section across with identification of the shrinkage cavities

Stav štruktúry sa hodnotí metalografickými metódami, ktoré sa neustále vyvíjajú a tak hodnotenie kvality odliatkov aj z hľadiska prípustných chýb v súlade s platnými normami STN EN nadobúda v praxi veľký význam (Míchna&Náprstková 2012). Mikroštruktúra materiálu (Obr. 5.) potvrdila, že chybu spôsobuje stiahnutina, ktorá vznikla pri neusmerenom tuhnutí odliatku vo forme a to v oblasti medzi ZD formy a vodným kanálom. Z miesta výskytu stiahnutí na odliatku boli pre DAS analýzu odbrané dve vzorky, ktoré boli vyleštené a vyznačili sme na ich deväť miest pre meranie. (Obr. 6.). Hodnoty DAS sken indexov priečných rezov z nezhodného výrobku (NOK) sú v Tabuľke 1.



Obr. 6. Vzorky odobrané z odliatku pre DAS analýzu  
 Fig. 6. The samples taken from the cast for DAS analyse

DAS index pre hodnotený produkt je max.  $25.0\mu\text{m}$ . Hodnoty v miestach merania 3 až 7 pri oboch vzorkách (tučne vyznačené) naznačujú, že v hodnotenej oblasti je hrubá štruktúra. Medzi dendridmi je veľká vzdialenosť a tak vzniká priestor pre vznik stiahnutín počas tuhnutia.

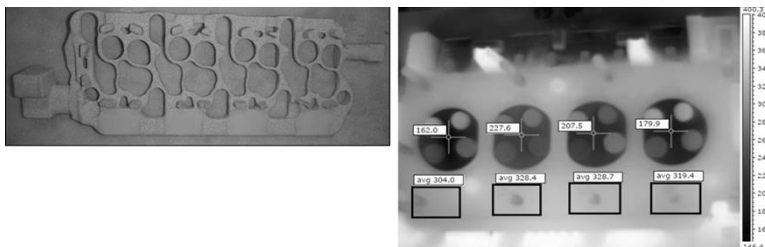
Tabuľka 1. Hodnoty DAS v meraných miestach  
 Table 1. The DAS values in measured places

Hodnoty DAS indexov ( $\mu\text{m}$ )		
Miesto merania	Vzorka I.	Vzorka II.
1	23.8	20.2
2	24.3	22.7
3	<b>26.2</b>	<b>25.4</b>
4	<b>26.9</b>	<b>26.2</b>
5	<b>26.1</b>	<b>25.4</b>
6	<b>26.7</b>	<b>26.2</b>
7	<b>28.8</b>	<b>28.3</b>
8	23.3	22.6
9	21.8	23.1

V experimente boli vykonané štyri testy. Kombinovali sa rôzne druhy náterov a nanonástrekov jadier a ZD pre usmernenie tuhnutia v kritickom mieste na odliatku. V poslednom teste boli v kokile pre usmernené chladnutie použité chladiace vložky. Testy boli zostavované na základe dlhodobých pozorovaní a skúseností so zabezpečovaním kvality pri odliavaní hláv. Termokamera bola nastavená 1.0m od objektu, s emisivitou  $e=0.98$  (emisivita uhlíka). Odrazová teplota od objektu bola  $T=150^{\circ}\text{C}$  a teplota okolia pri meraní  $T_0=25^{\circ}\text{C}$ .

## EXPERIMENT

### Test č.1 Jadro natreté náterom TELUR a ZD s nanonástrekom P6.

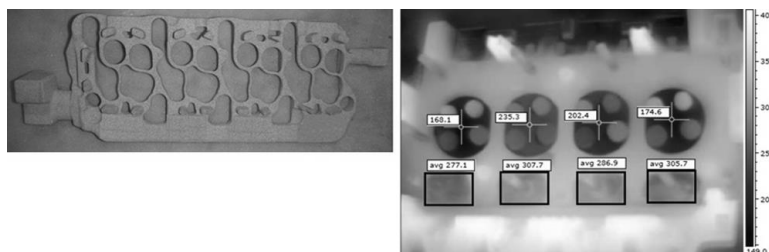


Obr. 7. Jadro s náterom TELUR a termogram ZD v mieste chyby ošetrenom nástrekom P6  
 Fig. 7. The core sprayed by TELUR and thermogram of foundation plate with nanospray P6

Pri prvom teste bolo jadro natreté na mieste výskytu stiahnutí náterom TELUR. Odráža od seba teplo vytvorené taveninou a dokáže tak čiastočne usmerniť tuhnutie. Miesta na ZD oproti natretým miestam na jadre boli očistené od nástreku a na očistené miesta bol nanesený nanonástrek P6, obr. 7. Nástrek má schopnosť rýchleho odvodu tepla z miesta jeho aplikácie. Napriek tomu však bola teplota v oblastiach stiahnutí vysoká a výskyt chyby bol vo vysokej miere. DAS sken sa nerobil, lebo teplota základovej dosky bola vysoká.

## Test č. 2 Sériové jadro bez náteru a ZD bez izolačného nástreku.

Pre druhý test bolo použité sériové nenatreté jadro a ZD bola v mieste stiahnutí očistená a bez izolačného nástreku (Obr.8.). Priemerné hodnoty teploty na základovej doske boli 227.1, 307.7, 286.9 a 305.7 °C.



Obr. 8. Sériové jadro bez náteru a termogram ZD bez izolačného nástreku

Fig.8. The serial core and the thermogram of the foundation plate without the insulating paint

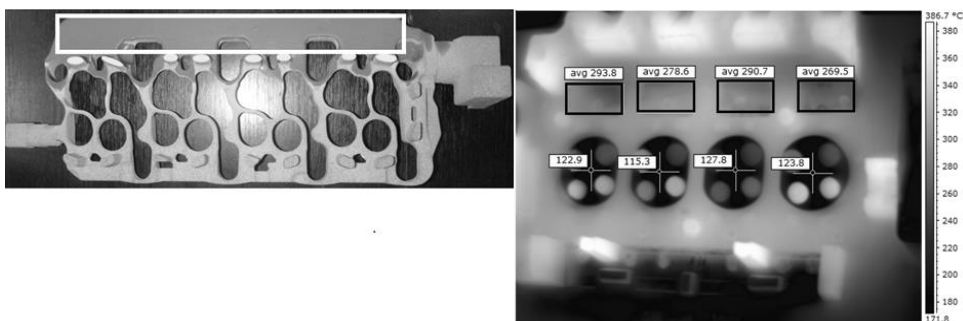
Predpoklad bol, že stiahnutina sa presunie bližšie ku povrchu odliatku a opracovaním na CNC bude mechanicky odstránená. DAS sken ukázal, že štruktúra dendritov (Tabuľka 2) je jemnejšia, takmer všetky hodnoty DAS indexov sú pod hodnotou 25.0 $\mu$ m. Stiahnutiny v mieste odberu vzoriek z nezhodného odliatku však neboli úplne odstránené a riziko vzniku netesností a tým aj vzniku nezhodného výrobku je stále vysoké.

Tabuľka 2. Hodnoty DAS v meraných miestach na vzorke z testu 2  
Table 2. The DAS values in measured places on the sample – test 2

Hodnoty DAS indexov ( $\mu$ m)		
Miesto merania	Vzorka I.	Vzorka II.
1	23.5	24.4
2	21.4	22.4
3	23.6	23.8
4	24.2	22.5
5	23.8	24.1
6	24.6	22.6
7	<b>27.0</b>	<b>25.0</b>
8	17.9	18.0
9	18.3	17.4

### Test č. 3 Jadro s náterom KERNTOP VW401200 a očistená ZD s nástrekom KS94.

Na jadrá bol použitý náter KERNTOP VW401200. Je to náter špeciálne vyvinutý pre tento experiment. V porovnaní s náterom TELUR má lepšie vlastnosti z pohľadu odrazivosti tepla. Na ZD bol na očistené miesta výskytu stiahnutí použitý nástrek KS94 (Obr. 9.). Slúži ako podkladový nástrek pre izolačný nástrek, má schopnosť lepšieho odvodu tepla, pretože nie je primárne určený na izoláciu. Test bol pozitívny, stiahnutiny medzi spaľovacou stranou a vodným priestorom boli drobné a netvorili zhluky, ktoré sú príčinou netesností. Hodnoty teploty na ZD boli podľa termogramu stále dosť vysoké – 293.8, 278.6, 290.7 a 269.5 °C.



Obr. 9. Jadro s náterom KERNTOP VW 401 200 a termogram ZD s nástrekom KS94  
Fig. 9. The core with KERNTOP VW401200 paint and the thermogram of the foundation plate with KS94 spray

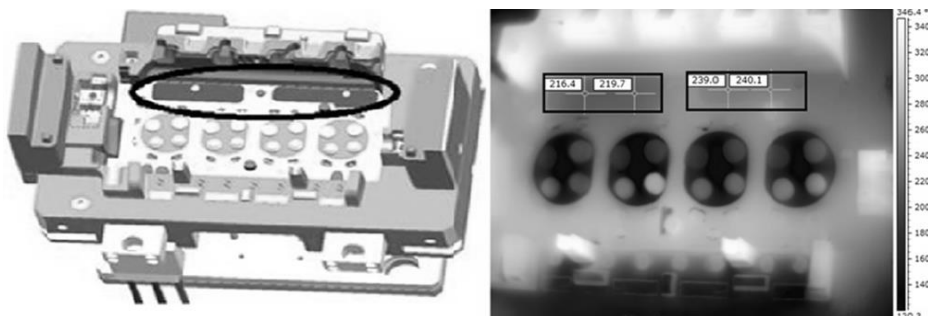
Pozitívny výsledok ukázal aj DAS sken, Tabuľka 3, kde je vidieť, že došlo k výraznému zjemneniu štruktúry materiálu v oblasti priečného rezu miestom výskytu stiahnutí.

Tabuľka 3. Hodnoty DAS v meraných miestach na vzorke z testu 3  
Table 3. The DAS values in measured places on the sample – test 3

Hodnoty DAS indexov ( $\mu\text{m}$ )		
Miesto merania	Vzorka I.	Vzorka II.
1	24.6	22.1
2	19.9	18.8
3	19.9	19.7
4	19.4	20.6
5	19.5	20.9
6	19.8	22.7
7	<b>26.3</b>	<b>27.2</b>
8	18.2	17.3
9	17.2	18.0

#### Test č. 4 Jadro nenatreté náterom s chladiacimi vložkami na základovej doske.

V poslednom teste bolo vodné jadro bez náteru. Na ZD formy boli vložené chladiace vložky (Obr. 10.).



Obr. 10. Aplikácia chladiacich vložiek vo forme  
Fig. 10. Application the heating cartridges to the mould

Vložky, vyrobené z nástrojovej ocele EN ISO X38CrMoV5-1, majú za úlohu zabezpečiť ochladenie miesta výskytu stiahnutí, bez dodatočného striekania jadier. Vložky chladenia zaberali celú plochu pod miestom výskytu stiahnutí a tuhnutie bolo usmernené tak, aby nevznikali stiahnutiny. Boli paralelne zapojené do okruhu chladenia formy, čím sa zabezpečilo rovnomerné rozloženie tepla v kokile chladiacim médiom. Účinnosť vložiek bola skontrolovaná pomocou termovízie. Po odliatí hláv valcov boli výsledky DAS analýzy uspokojivé (Tabuľka 4.). Ani v jednom meranom bode hodnota DAS indexu neprekročila hodnotu  $25.0\mu\text{m}$ . Dedritická štruktúra v sledovanom mieste bola teda jemnejšia. Stiahnutiny boli malé, netvorili zhluky a vyskytovali sa viac na povrchu odliatku.

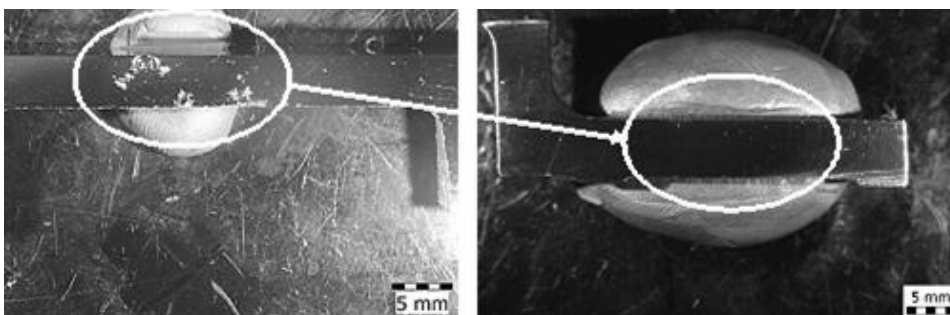
Kvalita odliatku v kritickom mieste sa tak výrazne zvýšila. Hodnoty teplôt na základovej doske, ako ukazuje termogram na Obr. 10., boli znížené – 216.4, 219.7, 239.0 a 240.1°C.

Tabuľka 4. Hodnoty DAS v meraných miestach na vzorke z testu 4  
Table 4. The DAS values in measured places on the sample – test 4

Hodnoty DAS indexov ( $\mu\text{m}$ )		
Miesto merania	Vzorka I.	Vzorka II.
1	22.6	21.0
2	18.9	17.9
3	18.5	18.6
4	17.9	19.8
5	18.6	19.3
6	18.7	20.4
7	21.3	25.0
8	18.3	17.6
9	17.4	18.2

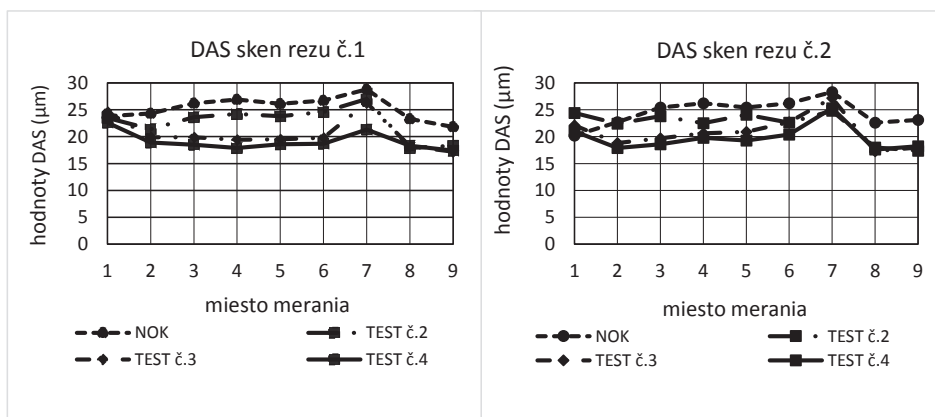
## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Na Obr. 11. je ukážka výskytu vnútorných chýb pred a po zavedení chladiacich vložiek. Ich účinok na kvalitu odliatku je jasne viditeľný. Podľa Weiss (2014) voľba typu zlievarenských foriem, technológie liatia a tým aj intenzita odvodu tepla sa prejavuje na veľkosti dendritických buniek a výskytu pórov a dutín.



Obr. 11. Veľkosť a množstvo stiahnutí pred a po zavedení chladiacich vložiek  
Fig.11. The volume and the quantity of shrinkage cavities before and after application of the heating cartridges

V grafoch (Obr.12.) je znázornený priebeh hodnôt DAS indexov z dvoch rezov na základe vykonaných testov v experimente. Môžeme konštatovať, že najnižšie DAS indexy boli dosiahnuté pri teste č.4, keď boli použité chladiace vložky na základovej doske. Test č.1 nie je v grafe znázornený. DAS sken sa nerobil, pretože teplota základovej dosky bola vysoká.



Obr. 12. Grafy priebehov hodnôt z DAS skenov  
Fig.12 Diagrams of DAS scans values

Stanovenie parametrov procesu, ktoré môžu vytvárať optimálne výsledky, je spravidla zložitý proces. Zvyčajne to vyžaduje veľa testovania a tak umožňuje určiť vplyv jednotlivých parametrov na vlastnosti konečného produktu. (Perec 2003)

Aj opatrenia, uvedené v teste č. 3 dokázali znížiť hodnoty DAS indexov. Pri tomto spôsobe však vzniklo vo výrobe úzke miesto. Jadrá museli byť odosielané na prevádzku, kde sa aplikoval nástrek. Ďalej pri manipulácii s jadrami, ktoré majú veľmi tenké časti (Obr. 9. vľavo), dochádzalo k ich nezvratnému poškodeniu. Tým sa zvýšil počet nezhodných kusov jadier. Vzhľadom na nákladnosť prípravy striekaných jadier nástrekom KERNTOP VW401200 a zníženú produktivitu pri výrobe jadier, je efektívnejšie použiť chladiace vložky. Ušetrí sa tým na cene nástreku, čas pri jeho aplikácii ako aj pracovná sila. Experiment, popísaný v článku trval vo výrobnom podniku 8 týždňov, čo bol čas potrebný na nájdenie riešenia a to zvýšenie kvality odliatkov, spokojnosť zákazníka pri udržaní nízkych interných nákladov a zároveň udržania vysokej produktivity.

## ZÁVER

Kvalitu odliatkov ovplyvňuje nielen konštrukčné riešenie, ale tiež spoľahlivosť trvalej formy na odlievanie. Pri tuhnutí zliatiny je dôležité dodržanie optimálnej teploty jednotlivých častí povrchu dutiny formy. Jedným z negatívnych následkov, ktoré môžu vzniknúť pri tuhnutí je vznik dutín v odliatku – stiahnutín. (Kotus et al. 2013, Jankajová et al. 2015)

Účelom vykonaných testov v experimente bolo vyriešiť problémy so vznikom vnútorných chýb, stiahnutín na odliatku hlavy valcov, ktoré zapríčiňovali netesnosť odliatkov. Tie znižovali kvalitu produktu a boli predmetom reklamácií od zákazníkov. Využitím vhodných metód a postupov, a to analýza štruktúry, ktorá vzniká pri tuhnutí odliatku vo forme – DAS sken a termovízia – kontrola teploty kokily, bola chyba odhalená a eliminovaná natoľko, že bola prípustná pre dodržanie kvality, aká je zákazníkom požadovaná. Termografia pomohla nastaviť a späťne kontrolovať nastavené parametre chladenia a regulovať tak prestup tepla v kritickej oblasti odliatku. Tak isto boli jednotlivé termogramy z rôznych fáz testov medzi sebou porovnávané a priradené ku DAS skenom, ktoré mali výpovednú hodnotu vzhľadom na usmernenie tuhnutia.

Dočasné nápravné opatrenia znamenali zvýšené náklady a nadprácu na jadre (natieranie) a základovej doske (čistenie). Poskytli však potrebný čas na upravenie formy chladiacimi vložkami, ktoré znamenali, že natieranie jadier bolo možné zrušiť a tak sa dostať na stav procesu a produktivitu takú, aká bola pred výskytom chýb.

## LITERATÚRA

- BOLIBRUCHOVÁ, D., RICHTÁRECH, L. 2013. Study of the gas content in aluminum alloys, *In: Manufacturing technology*, Vol. 3, No. 1, ISSN 1213–2489, pp.14-20.
- BOLIBRUCHOVÁ, D., TILLOVÁ, E. 2005. *Zliviarské zliatiny AlSi*, Žilinská univerzita v Žiline 2005, ISBN 80-8070-485-6.
- ČIERNA, H. DANKOVÁ, 2012. Plánovanie kvality vo vybraných organizáciách na Slovensku *In Acta facultatis technicae* – ISSN 1336-4472.- Roč. 17, č. 3 (2012), s.131-138.
- GRZINČIČ, M. 2012. Nemač Slovakia, spol. s r.o.–historie, súčasnosť a budúcnosť. *In VYHNE '12 – Produktivní řízení slévárny*. Brno: Česká slévárnská společnost, 2012. ISBN 978-80-02-02403-3, pp. 9-19.
- GUSTAVSSON, R. 2009. *Thermography a practical approach*. Norway : Printing ADT digitaltryck, 2009. 156 s. ISBN 978-91-974844-3-5.
- JANKAJOVÁ, E., KOTUS, M. 2015. Reliability evaluation in the production process of aluminum castings. *In Production Engineering Archives*. Vol. 6, No 1, pp. 49-51, 2015. ISSN 2353-5156.

- JÁNOŠ, V. 2016. *Sledovanie kvality hliníkových odliatkov pri odlievaní do trvalých foriem pomocou termografie*: bakalárska práca. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky. 2016. 42 s.
- KOTUS, M., HOLOTA, T., PAULÍČEK T., PETRÍK, M., SKLENÁR, M. 2013. Quality and Reliability of Manufacturing Process in Automation of Die-Casting. In *Advanced Materials Research (Materials, Technologies and Quality Assurance)*. Vol. 801 (2013), p.103-107. ISSN 1662-8985.
- KOTUS, M., JANKAJOVÁ, E., PETRÍK, M. 2015. Quality control of aluminium melt in production process. In *Research in Agricultural Engineering*. Vol. 61 (2015), Special Issue. pp.43-47. ISSN 1212-9151.
- KOTUS, M., MATISKOVÁ, D., MURA, L. 2013. Impact of Technological Factors on Dosing of Metal at Die-Casting. In *Advanced Materials Research (Materials, Technologies and Quality Assurance)*. Vol. 801 (2013), p.143-149. ISSN 1662-8985.
- KALINCOVÁ, D., ŤAVODOVÁ, M., ČIERNA, H. 2015. Root cause analysis for identifying defects in the process of cylinder head castings from aluminium alloy In. *Manufacturing Technology*. – Vol. 15, No. 4 ISSN 1213-2489, pp. 546-553.
- MICHNA, Š., NÁPRSTKOVÁ, N. 2012. The Application of Fractography to Resolve the Issue of Castings Quality in the Automotive Industry. *Manufacturing and Industrial Engineering*, 2012/3, Vol. XI, pp. 50–53, ISSN 1338–6549.
- MICHNA Š., NOVÁ, I. 2008. *Technologie a zpracování kovových materiálů*. Adin, s.r.o. Prešov 2008, ISBN 978-80-89244-38-6, 326 strán.
- NÁPRSTKOVÁ, N., MICHNA, Š., LUKÁČ, I. 2011. Aplikace fraktografie při řešení problematiky kvality odlitků. In *Strojírenská technologie*. FVTM UJEP Ústí nad Labem: 2011/4, ročník XVI, pp. 62–66. ISSN 1211-4162.
- NEFF, D. at al. 2010.  *Casting defects handbook, Aluminium and Aliminium alloys*. Schaumburg, USA : American foundry society, 2010. ISBN 978-0-87443-366-4.
- PASTIRČÁK, R. BOLIBRUCHOVÁ, D. SLÁDEK A. 2009. *Teória zlievania*, Žilinská univerzita v Žiline, 2009, ISBN 978-80-89401-04-8, 155 strán.
- PEREC, A. 2003. Some Aspects of Hydroabrasive Suspensive Jet Cutting of Aluminium Alloy. *7th Pacific Rim International Conference on Water Jetting Technology*. ISBN 899502662, 93550 Jeju, Korea 2003, pp. 349-356.
- SEMANOVÁ, P., KALINCOVÁ, D. 2013. Kvalita odliatkov hláv valcov – hodnotenie chýb. In *Acta facultatis technicae : vedecký časopis Fakulty environmentálnej a výrobnjej techniky*. – ISSN 1336-4472. – Roč. 18, č. 1 (2013), s. 151-158.
- STN 04 6509 *Tlakové liatie. Názvoslovie*. SÚTN 1978.
- STN EN 1559-4 *Zlievarenstvo. Technické dodacie podmienky. Časť 4: Dodatočné požiadavky na odliatky z hliníkovej zliatiny*. SÚTN 2003.
- STN ISO/TS 16949:2009 *SMK. Osobitné požiadavky na používanie ISO 9001:2008 v organizáciách na výrobu automobilov a ich náhradných dielcov*. SÚTN 2009.
- STN 42 1240 *Chyby odliatkov. Názvoslovie a triedenie chýb*. SÚTN 1964.
- TILLOVÁ, E., CHALUPOVÁ, M., HURTALOVÁ, L., ĎURINÍKOVÁ, E. 2011. Quality control of microstructure in recycled Al-Si cast alloys. In. *Manufacturing Technology*, Vol. 11, No. 11, ISSN 1213–2489, pp. 70-76.
- WEISS, V. 2014. Vliv různých forem k odlévání na vybrané vlastnosti experimentální slitiny AlZn5,5Mg2,5Cu1,5 In *Strojářenská technologie*. ISSN 1211–4162 Roč. XIX, č. 2 (2014).

**Kontaktná osoba:**

Ing. Miroslava Ťavodová, PhD., tel.: +421 45 5206 016, e-mail:tavodova@tuzvo.sk



## **REFERÁTY**



## IDENTIFIKÁCIA OBJEKTOV V OBRAZE A JEJ VYUŽITIE VO VÝROBNEJ TECHNIKE

### IDENTIFICATION OF IMAGE OBJECTS AND ITS APPLICATION IN THE MANUFACTURING TECHNOLOGY

**Elena Pivarčiová**

*Katedra riadenia strojov a automatizačnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,  
Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 960 01 Zvolen, Slovensko, pivarciova@tuzvo.sk*

**ABSTRACT:** The paper describes objects identification utilization possibilities in an image by a plugin of Matlab: Image Processing Toolbox. The library includes predefined functions designed for problems solution and tasks from image processing area. The paper addresses mainly the most applied methods for objects identification: the Ransac method and edges detection. These methods have been applied to the production technique and wood processing areas.

**Key words:** image, objects identification, Ransac, edges detection

**ABSTRAKT:** Príspevok popisuje možnosti využitia identifikácie objektov v obraze pomocou nadstavby Matlabu: Image Processing Toolbox. Knižnica obsahuje preddefinované funkcie určené na riešenie problémov a úloh z oblasti spracovania obrazov. Článok sa venuje hlavne najčastejšie používaným metódam na identifikáciu objektov: Ransac metóda a detekcia hrán. Tieto metódy boli aplikované na problematiku výrobnjej techniky a obrábania dreva.

**Kľúčové slová:** obraz, identifikácia objektov, Ransac, detekcia hrán

### ÚVOD

V posledných rokoch jasne vidieť prudký rozvoj praktických aplikácií spracovania a analýzy obrazov. V automobilovom priemysle, farmácii, vybavení polície a ozbrojených síl, v automatizovaných výrobných a meracích systémoch sa vo veľkej miere využívajú rôzne systémy vizualizácie. Počítačové videnie zahŕňa metódy pre získavanie, spracovanie, analýzu a verifikáciu obrazov a všeobecné získavanie údajov z reálneho sveta za účelom vytvorenia číselnej alebo symbolickej informácie, napr. pre účely rozhodovania. Predmetom vývoja v tejto oblasti je preniesť schopnosti ľudského videnia na elektronické vnímanie a verifikáciu obrazu. Obrazové údaje môžu nadobúdať mnoho podôb, ako sú videosekvencie, pohľady z viacerých kamier, viacrozmerné údaje z medicínskeho skeneru a pod.

Cieľom v počítačovom videní a spracovaní obrazov je zistenie, či údaje obrazu obsahujú alebo neobsahujú určitý objekt, rys alebo aktivitu. Uvedené ciele sa dajú potom charakterizovať ako:

- Rozpoznanie určeného objektu – známe sú napr. programy Google Goggles pre rozpoznávanie textu vo fotografiách cez aplikáciu v mobilnom telefóne alebo aplikácia LikeThat pre rozpoznávanie kvetov.
- Identifikácia jedného špecifického objektu – napr. identifikácia ľudskej tváre alebo odtlačku prsta, identifikácia podpisom, príp. identifikácia špecifického vozidla.
- Vyhľadávanie, kedy sa údaje obrázku prehládajú s cieľom zistenia stavu – ako napr. zisťovanie abnormálnych buniek v medicíne.

V súčasnosti sú najlepšie postupy pre riešenie týchto úloh založené na neurónových sieťach, známa je ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge. Ich výkon je už blízky schopnostiam ľudí. Aj najlepšie algoritmy ale narážajú na problémy pri drobných objektoch, napr. mravec na stonke kvetu, takisto ako pri obrázkoch upravovaných filtermi (veľmi častými pri moderných digitálnych fotoaparátach). Toto zvládajú lepšie ľudia, ktorí naopak, majú problémy pri klasifikácii objektov do jemne odlišených tried, čo neurónové siete zvládajú ľahšie.

Pri rozpoznávaní sa vyskytujú špecifické druhy úloh: nájdenie obrázkov vo väčšej množine, odhad polohy alebo orientácie objektu napr. pre vedenie ramena robota pri uchopení objektov z linky alebo zásobníka, optické rozpoznávanie znakov v texte, rozpoznávanie tvári a rozpoznávanie tvarov (napr. hlavy alebo ramien).

Niektoré úlohy slúžia na odhad rýchlosti objektov, napr. určovanie 3D pohybu (otáčania alebo presunu), sledovanie pohybov bodov alebo objektov a určenie, ako sa body pohybujú vzhľadom k ploche obrazu.

Rekonštrukcia obrazu znamená vytvorenie 3D modelu obrazu ako množiny 3D bodov alebo modelu celého 3D povrchu a následné odstránenie šumov, buď cez rôzne typy filtrov alebo na základe predpokladaného vzoru.

Všeobecné kroky pri počítačovej vizualizácii zahŕňajú:

- Získanie obrazu cez obrazové senzory, ako svetlocitlivé fotoaparáty, tomografické zariadenia, ultrasonické kamery a pod. Výsledný obraz môže byť 2D, 3D alebo videosekvencia. Hodnoty pixelov zodpovedajú intenzite svetla v šedej alebo farebnej škále.
- Predspracovanie metódami ako je redukcia šumu, zlepšenie kontrastu a výber rysov, napr. čiar, hrán a hrebeňov, lokálnych bodov.
- Detekcia ako výber množín zaujímavých bodov.
- Úprava údajov, ako je verifikácia a validácia, odhad parametrov napr. pozície a veľkosti, rozpoznanie obrazu a registrácia obrazu.
- Rozhodnutie, napr. „prešiel alebo zlyhal“ alebo „íšť/neíšť“ pre ďalšie posúdenie ľuďmi. Na stanovenie výsledku sa uskutočňuje porovnanie voči cieľovým hodnotám. Napríklad pri overovaní kódu alebo čiarového kódu, je načítaná hodnota porovnávaná s uloženou cieľovou hodnotou. Pri overovaní podobnosti sa nameraná hodnota porovnáva s prahovou hodnotou a toleranciou. Pre overenie alfanumerických kódov sa hodnota OCR (Optical Character Recognition) porovnáva so správnou alebo cieľovou hodnotou. Pri inšpekcii chýb sa nameraná veľkosť chýb porovnáva s maximami povolenými štandardmi kvality.

Hardware pre počítačové videnie zahŕňa zdroj, zariadenie na získanie obrazu (napr. fotoaparát, CCD a pod), procesorová jednotka s drôtovým alebo bezdrôtovým pripojením, displej pre sledovanie systému. Ďalším prvkom je software.

Počítačové videnie a priemyselné výrobné technológie ponúkajú nové príležitosti pre sektor záhradkárstva, potravinárskeho priemyslu, drevárstva aj strojárstva, sledovanie kvality výrobkov, či už z dreva alebo iných materiálov. Každá vlastnosť, neviditeľná pre ľudské oko, môže byť zviditeľnená modernými technológiami. S využitím moderných systémov počítačového videnia je možné riadiť roboty, triediť a odhadovať kvalitu produktov a zisťovať škodcov a choroby, poškodenia a kvalitu výrobkov.

S využitím počítačového videnia sa analyzujú technológie na odhad rôznych vlastností, ktoré súvisia s kvalitou. Ciele typického využitia takých systémov zahŕňajú klasifikáciu, odhad kvality podľa interných a externých charakteristík, dohľad nad stavom počas skladovania alebo vyhodnotenie experimentálnych ošetrení. Všeobecne počítačové systémy videnia nielen nahrádzajú manuálnu kontrolu, ale ju aj vylepšujú.

## **METÓDY IDENTIFIKÁCIE OBJEKTOV**

Medzi rutinné postupy v počítačovom videní patrí hľadanie kľúčových bodov (feature point). Bod je vybraný na základe vlastností obrazu a jeho okolia. Väčšinou sa jedná o štatisticky významné hodnoty, resp. o ciele skupiny hodnôt, ktoré vyhľadávajú rôzne vyhľadávače – detektory (detector). V problematike počítačového videnia sa tento bod označuje viacerými názvami, napr. feature point, point of interest, the path... (Matas, Chum, 2010), (Ma, Sun, Feng, Liu, 2009).

Nájdenie takéhoto bodu je len prvá časť. Druhá časť sa skladá z popisu okolia tohto bodu. Tu môžu byť použité popisovače – deskriptory (detector). Pokiaľ bod nemá svoj popis, nazývame ho bod záujmu (point of interest) (Gauglitz, Höllerer, Turk, 2011), (Lowe, Brown, 2002).

Kľúčové body majú široké pole použiteľnosti ale bez deskriptora nie je možné nájsť „ten istý“ kľúčový bod v inom obraze. Pokiaľ už máme nájdené kľúčové body spolu s ich deskriptormi, je možné napr. vyhľadávať už známe objekty, umožniť pospájať obraz, napr. panoráma alebo pospájanie snímok zo satelitu pre vytvorenie mapy, a pod.

Niektoré metódy spracovania obrazov sme overovali v prostredí MATLAB. Softvérový balík MATLAB je integrované prostredie pre vedecko-technické výpočty, modelovanie, analýzu a vizualizáciu údajov, spracovanie údajov a mnohé ďalšie. Umožňuje jednoduchú a rýchlu prácu s maticami reálnych alebo komplexných čísel, dokáže vypočítané výsledky zobrazit' graficky. Obsahuje mnoho hotových zabudovaných funkcií, ktoré uľahčia spracovanie údajov.

Image Processing Toolbox je nadstavbou Matlabu, jedná sa o špecializovanú knižnicu obsahujúcu preddefinované funkcie určené na riešenie problémov a úloh z oblasti spracovania obrazov. Poskytuje sadu funkcií a aplikácií pre editovanie obrazu, analýzu a vizualizáciu.

Identifikácia objektov znamená, že objekt má jedinečnú, nemennú identitu (Barry, 2010). Predpoklad opisu objektu v obraze sa nazýva identifikácia. Slúžia na to rôzne metódy, algoritmy, funkcie.

Najčastejšie sa používajú metódy na identifikáciu objektov:

- Ransac metóda (Ransac method)
- Detekcia hrán (Sobel Edge)

### **Ransac metóda**

Algoritmus Ransac bol prvýkrát predstavený Fischlerom a Boolesom v roku 1981, ako interakčná metóda pre odhad parametrov matematického modelu. Metóda dáva výsledok len s určitou pravdepodobnosťou. Využíva sa na riešenie problému, kde je cieľom určiť body v priestore, z ktorých sa následne vyhodnocuje zhoda dvoch objektov. Počet bodov si volí programátor. Čím viac bodov, tým je väčšie percento zhody jednotlivých bodov (Zuliani, 2008). Počet opakovaní je zvolený tak, aby zabezpečil pravdepodobnosť  $p$  (čo je približne 99 % a viac).

Výsledkom potom bude rovnica, ktorá vyhodnocuje minimálny počet opakovaní (Derpanis, 2010):

$$N = \frac{\log(1 - p)}{\log(1 - (1 - v)^m)} \quad (1)$$

kde:  $p$  – je pravdepodobnosť zhody,

$N$  – minimum opakovaní,

$m$  – potrebný počet bodov pre označenie,

$v = 1 - u$ , kde  $u$  predstavuje stanovený bod pre zhodu.

**RANSAC** sa vykonáva podľa nasledujúcich krokov (Derpanis, 2010):

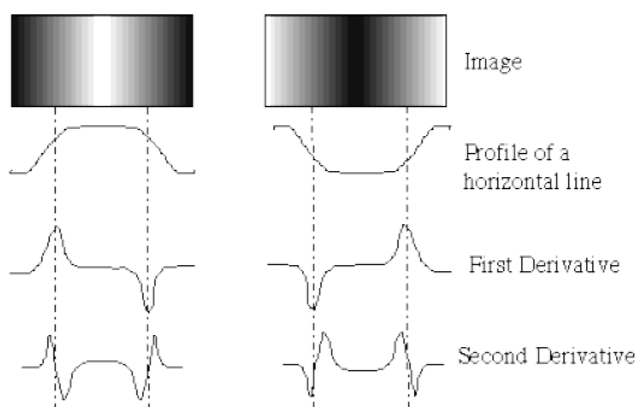
- náhodný výber podmnožiny dátového súboru,
- montáž modelu pre vybrané podmnožiny,
- určenie počtu bodov,
- opakovanie krokov a–c pre predpísaný minimálny počet opakovaní.

### **Detekcia hrán**

Svet sa skladá z rôznych objektov, ktoré majú rôzny tvar, farbu a textúru. Pokiaľ premietneme scénu na projekčnú rovinu, prenesú sa aj tieto rozdielnosti. V rôznych úlohách počítačového videnia je dôležité nájsť významné oblasti v obraze, ktoré sa nazývajú črty. Medzi črty patria rohové body a hrany telies. Hranový detektor hľadá skupiny obrazových bodov, kde rozdiel jasu prekračuje určitú hranicu (náhla prudká zmena). Tieto body sa označia ako hrana. Výsledkom algoritmu hľadania hrán je hranová mapa (väčšinou binárna bitová mapa), ktorá nesie informáciu o tom, či je daný pixel obrázku hrana. Hranový detektor odstráni z pôvodného obrázku veľké množstvo informácií, pričom dôležité informácie ostanú uchované (Meško, 2014).

Hrana vzniká v miestach prudkej zmeny jasu. Pokiaľ intenzitu jasu v bodoch pospájame do postupnosti, môžeme povedať, že je to prechod z nízkofrekvenčnej oblasti do vysokofrekvenčnej oblasti.

Ako ukazuje Obr. 1, dá sa povedať, že sa jedná o miesta, kde vo funkcii dochádza k rýchlemu rastu alebo poklesu. Tie sa dajú odhaliť prvou deriváciou funkcie, kde lokálne extrémny označujú miesta, kde sa mení stúpanie na klesanie. Tento prechod nie je spravidla vždy ostrý, čo sťažuje detekciu. To znamená, že nami viditeľné hrany majú priebeh veľmi pomalý a preto ich detektor nenájde (Torre, Poggio, 1986).



Obr. 1. Intenzita ako funkcia a jej derivácie (Meško, 2014)

Fig. 1. Intensity as a function and its derivations

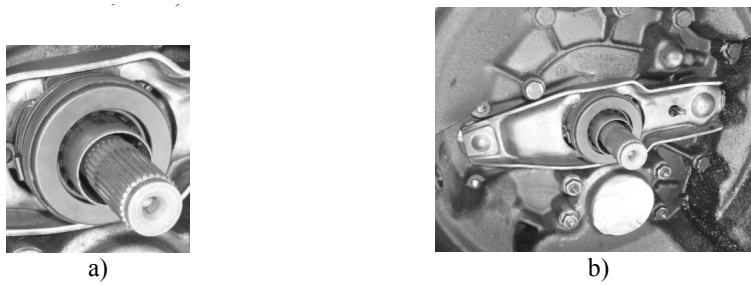
Základnou myšlienkou detekcie hrán je nájsť miesta v obraze, kde sa jas výrazne mení. Metódy detekcie hrán sú založené na veľkosti prvej derivácie jasu, veľkosti druhej derivácie jasu alebo aj detekcie zmeny znamienka derivácie (Haffner, Ravas, 2011).

Existuje niekoľko metód detekcie hrán. Najznámejšie sú: Sobel, Prewitt, Roberts a Canny operátory, ktoré nazývame filtre.

Kvalita identifikácie objektov je daná hlavne homogenitou pozadia a kontrastom častíc voči snímanému pozadiu. Voľba farby pozadia má preto veľký význam pre správne nájdenie analyzovaných častíc v obraze. Veľký vplyv na identifikáciu častíc má aj farba týchto častíc. Pri experimente boli použité piliny s rôznym odtieňom (Koleda, Hrčková, 2015).

## VÝSLEDKY

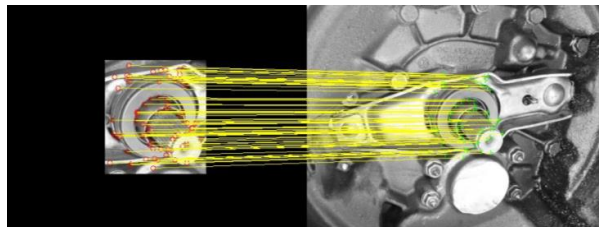
Na Obr. 2 – Obr. 5 je ukážka identifikácie ložiska na hriadelí v zostave. Pre identifikáciu boli použité funkcie Matlabu a metóda RANSAC pre identifikáciu referenčných bodov (MathWorks, 2014).



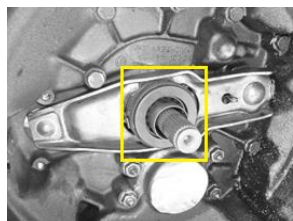
Obr. 2. Ložisko a zostava  
 Fig. 2. Shaft bearing and Setting  
 a) Ložisko na hriadeli (Shaft bearing), b) Zostava (Setting)



Obr. 3. Vygenerované body pre identifikáciu  
 Fig. 3. Generated points for the identification  
 a) Vygenerovaných 100 bodov (100 generated points), b) Vygenerovaných 300 najsilnejších bodov zo zostavy (The strongest 300 generated points from the setting)



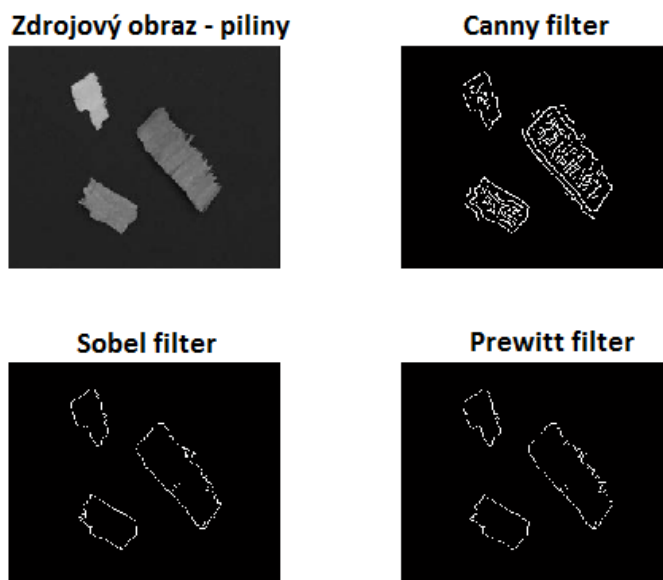
Obr. 4. Vyhľadanie polygónu v zostave  
 Fig. 4. Polygon finding in the setting



Obr. 5. Výsledný polygón v zostave (Chabada, 2015)  
 Fig. 5. Resulting polygon in the setting



Na Obr. 6 je ukážka využitia filtrov metódou detekcie hrán. Program detekuje objekty v obraze pomocou rôznych typov filtrov.



Obr. 6. Detekcia objektov v obraze pomocou rôznych typov filtrov  
Fig. 6. Image objects detection by various filter types

## ZÁVER

Súčasná doba prináša nové trendy v oblasti technológií rôzneho druhu. Výrobné podniky, ak chcú byť konkurencieschopné, nevyhnutne musia reagovať na tieto nové vývojové smery. Jednou z oblastí, ktorá sa vyvíja výrazným tempom je počítačové spracovanie obrazu, ktorého aplikácie zasahujú do rôznych oblastí výroby. Nárast kvality a výkonnosti výpočtovej techniky smeruje k cieľu napodobniť schopnosti živých organizmov technickými systémami, aby obraz bolo možné využívať v technickej praxi plnohodnotne z hľadiska využitia informácie, ktorú obsahuje. Metodika spracovania obrazu predstavuje rozsiahlu vednú disciplínu pozostávajúcu z viacerých oblastí. Jednou z nich je analýza obrazu (Hrčková, Koleda, 2014). Analýza digitálneho obrazu je v dnešnej dobe potrebná v každom odbore hospodárstva. Sú na nej založené rôzne meracie a vyhodnocovacie systémy, či už pri výrobe, skladovaní, distribúcii, ako aj pri vývoji a výskume rôznych javov a veličín (Koleda, Koleda, 2014).

Počítačové videnie je vedný odbor, ktorý sa snaží použitím prostriedkov elektroniky a informatiky napodobniť niektoré funkcie ľudského videnia, vnímania a vyhodnotenia obrazov a scén. Cieľom je vytvoriť taký systém, ktorý nepotrebuje prítomnosť človeka, prípadne je schopný uľahčiť prácu odborníkov pri analýze zložitých obrazových dát a tým zvýšiť rýchlosť a efektivitu práce. Počítačové videnie sa využíva v mnohých oblastiach ako napríklad, doprava, medicína, robotika, výroba, kontrola kvality, zábavný priemysel.

Uľahčuje konštruktérom a odborníkom prácu. V príspevku je ukážka metód pre identifikáciu objektov: Ransac metóda a detekcia hrán.

## LITERATÚRA

- BARRY, D. K., 2010. Service Architecture – Object Identification. Barry & Associates, Inc. [online]. Available in: <[http://www.service-architecture.com/articles/database/object\\_identification.html](http://www.service-architecture.com/articles/database/object_identification.html)>
- DERPANIS, G. K., 2010. Overview of the RANSAC Algorithm [online]. Available in: <[http://www.cse.yorku.ca/~kosta/CompVis\\_Notes/ransac.pdf](http://www.cse.yorku.ca/~kosta/CompVis_Notes/ransac.pdf)>
- GAUGLITZ, S., HÖLLERER, T., TURK, M., 2011. Evaluation of Interest Point Detectors and Feature Descriptors for Visual Tracking. Springer Science, *Int J Comput Vis*, 2011.
- HAFFNER, O., RAVAS, R., 2011. Seriál o Matlabe – Detekcia hrán v obraze [online]. Available in: <<http://www.posterus.sk/?p=11234>> ISBN 978-80-227-3508-7
- HRČKOVÁ, M., KOLEDA, P., 2014. Identifikácia objektov v obraze na základe geometrických príznakov. *Acta Facultatis Technicae XIX*, Zvolen, 2014 (2): s. 13–19
- CHABADA, M., 2015. Identifikácia objektov pomocou Matlab Image Processing Toolbox: Bakaľárska práca. Technická univerzita vo Zvolene
- KOLEDA, P., HRČKOVÁ, M., 2015. Analýza vplyvu prostredia na prahovanie objektov. In: *XVII. medzinárodná vedecká konferencia mladých*, 2015: Technická univerzita vo Zvolene, 2015. s. 48–53. ISBN 978-80-228-2781-2
- KOLEDA, P., KOLEDA, P., 2014. Závislosť analýzy špeciálneho obrazu na intenzite osvetlenia. *Acta Facultatis Technicae XIX*, Zvolen, XIX, 2014 (1): 53–60
- LOWE, D., BROWN, M., 2002. Invariant Features from Interest Point Groups [online]. Available in: <http://ece631web.groups.et.byu.net/References/Invariant%20features%20from%20interest%20point%20groups.pdf>>
- MA, L., SUN, Y., FENG, N., LIU, Z., 2009. Image Fast Template Matching Algorithm Based on Projection and Sequential Similarity Detecting. In: *IEEE: Fifth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, 2009.
- MATAS, J., CHUM, O., 2010. Local Feature Extraction and Description for Wide-Baseline Matching, Object Recognition and Image Retrieval Methods, Stitching and more [online]. Available in: <[http://cw.felk.cvut.cz/wiki/\\_media/courses/a4m33mpv/2010.02\\_local-features.pdf](http://cw.felk.cvut.cz/wiki/_media/courses/a4m33mpv/2010.02_local-features.pdf)>
- MATHWORKS, 2014. Object detection in a cluttered scene using point feature matching [online]. Available in: <<http://www.mathworks.com/help/vision/examples/object-detection-in-a-cluttered-scene-using-point-feature-matching.html?prodcode=VP&language=en>>
- MEŠKO, M. 2014. Identifikácia a monitorovanie mobilných objektov. Dizertačná práca. Žilinská univerzita v Žiline, 117 s.
- TORRE, V., POGGIO, T. A. 1986. On Edge Detection. In: *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 1986
- ZULIANI, M., 2008. RANSAC for Dummies. With examples using the RANSAC toolbox for Matlab™ & Octave and more [online]. Available in: <<http://vision.ece.ucsb.edu/~zuliani/Research/RANSAC/docs/RANSAC4Dummies.pdf>>

### Kontaktná osoba:

doc. Mgr. Elena Pivarčiová, PhD., tel.: +421 45 5206 477, e-mail: [pivarciova@tuzvo.sk](mailto:pivarciova@tuzvo.sk)