

**A** **F** **T**  
**ACTA**  
**FACULTATIS**  
**TECHNICAE**



---

**TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE**

**3**

**ROČNÍK: XVII**

**ZVOLEN 2012**



# OBSAH

## VEDECKÉ ČLÁNKY

<b>POSSIBILITIES OF THE USE SIMULATION PARAMETERS EVALUATION OF LIGHTING</b> MOŽNOSTI VYUŽITIA SIMULÁCIE VYHODNOTENIA PARAMETROV OSVETLENIA .....	7
Richard HNILICA – Martin JANKOVSKÝ – Miroslav DADO	
<b>URČENIE ZÁKLADNÝCH TECHNICKÝCH PARAMETROV PÔDNEHO SKÚŠOBNÉHO KANÁLA</b> DETERMINATION OF THE BASIC TECHNICAL SPECIFICATIONS OF THE TESTING SOIL CHANNEL .....	15
Milan MIKLEŠ – Milan HELEXA	
<b>POROVNANIE VYBRANÝCH METÓD PRE VIZUALIZÁCIU TEPLOTNÝCH POLÍ</b> COMPARISON OF CHOSEN METHODS FOR TEMPERATURE FIELDS VISUALISATION .....	25
Jozef ČERNECKÝ – Elena PIVARČIOVÁ – Ján KONIAR	
<b>PREDIKCIA VPLYVU PRODUKTOV KONTAKTNÝCH JAVOV A DEGRADAČNÝCH PROCESOV V PREVODOVOM MECHANIZME</b> THE PREDICTION OF CONTACT PHENOMENONS AND DEGRADING PROCESSES INFLUENCE IN A GEARING MECHANISM .....	33
Ján TURIS – Pavel BEŇO – Ján MARIENČÍK – Mária REMPEROVÁ	
<b>VPLYV INTENZITY A CHROMATICKOSTI OSVETLENIA NA PRACOVNÝ VÝKON</b> EFFECT OF ILLUMINANCE AND COLOUR TEMPERATURE ON WORK PERFORMANCE .....	43
Miroslav DADO – Silvia SLANČÍKOVÁ – Richard HNILICA	
<b>MODELOVANIE DETERMINOVANÉHO MECHATRONICKÉHO SYSTÉMU</b> MODELLING OF DETERMINED MECHATRONIC SYSTEM .....	49
Peter KOLEDA – Ľubomír NAŠČÁK	
<b>A CONTRIBUTION TO APPLICATION OF NI LABVIEW SYSTEM IN INVESTIGATION OF TIRE-TERRAIN INTERACTIONS</b> PRÍSPEVOK K APLIKÁCIÍ SYSTÉMU NI LABVIEW VO VYŠETROVANÍ KONTAKTU PNEUMATIKY A TERÉNU .....	59
Jaroslav MATEJ	
<b>HODNOTENIE KVALITATÍVNYCH VLASTNOSTI EKOLOGICKEJ PREVODOVO HYDRAULICKEJ KVAPALINY V PREVÁDZKOVÝCH PODMIENKÁCH</b> EVALUATION OF QUALITATIVE PROPERTIES OF THE ECOLOGICAL GEAR AND HYDRAULIC FLUID UNDER OPERATIONAL CONDITIONS .....	67
Zdenko TKÁČ – Radoslav MAJDAN – Juraj TULÍK – Ján KOSIBA – Bohuslav STANČÍK – Ivan ŠTULAJTER	
<b>MEDZIROČNÉ HODNOTENIE DOPRAVNÉHO PODNIKU S VYUŽITÍM NÁSTROJOV EKONOMICKEJ ANALÝZY</b> YEAR TO ASSESSMENT OF TRANSPORT COMPANY USING THE TOOLS OF ECONOMIC ANALYSIS .....	81
Ľubomír HUJO – Juraj JABLONICKÝ – Zdenko TKÁČ – Miroslav ŽITŇÁK – Brigita REČKOVÁ	

<b>ZÁVISLOSŤ KRÚTIACEHO MOMENTU A OSOVEJ SILY OD HODNOTY UHLA CHRBTÁ VRTÁKA</b>	
DEPENDENCE OF TORQUE AND AXIAL FORCE BY THE VALUES CLEARANCE ANGLE ON THE DRILL BITS .....	91
Jaroslav L'ALÍK – Ľubomír JAVOREK	
<b>URČOVANIE POSUVNEJ RÝCHLOSTI REŤAZOVEJ PÍLY PRI SPIĽOVANÍ STROMU HARVESTOROM</b>	
DETERMINATION OF THE RATE OF CHAIN SAW FEED DURING TREE FELLING BY A HARVESTER .....	101
Milan MIKLEŠ – Juraj MIKLEŠ	
<b>TRIBODIAGNOSTIKA AKO ÚČINNÝ NÁSTROJ HODNOTENIA MOTOROVÝCH OLEJOV STAVEBNÝCH MECHANIZMOV</b>	
TRIBODIAGNOSTICS AS AN EFFECTIVE TOOL EVALUATION OF ENGINE OILS OF CONSTRUCTION MACHINERY .....	107
Zdeněk ALEŠ – Tomáš HUBÁLOVSKÝ – Marián KUČERA	
<b>HODNOTENIE KVALITY OBROBENÉHO POVRCHU HLINÍKOVEJ ZLIATINY PO HYDROABRAZÍVOM DELENÍ</b>	
ASSESSMENT OF QUALITY OF CUTTING ZONE ALUMINUM ALLOY AFTER ABRASIVE WATER JET MACHINING .....	113
Miroslava ŤAVODOVÁ	
<b>KONTAKTNÉ PROCESY PRI ELASTICKOM A PLASTICKOM KONTAKTE V TRIBOLOGICKOM SYSTÉME</b>	
THE CONTACT PROCESSES OF ELASTIC AND PLASTIC CONTACT IN TRIBOLOGICAL SYSTEM.....	123
Ján MARIENČIK – Ján TURIS – Pavel BEŇO – Mária REMPEROVÁ	
<b>PLÁNOVANIE KVALITY VO VÝROBNÝCH ORGANIZÁCIÁCH NA SLOVENSKU</b>	
QUALITY PLANNING IN MANUFACTURING ENTERPRISES OPERATING IN THE SLOVAK REPUBLIC.....	131
Helena ČIERNA – Andrea DANKOVÁ	
<b>ANALÝZA HLUKU MOTOROVEJ PÍLY PÔSOBIACEHO NA ĽUDSKÝ ORGANIZMUS</b>	
ANALYSIS OF THE NOISE OF CHAIN SAW INFLUENCE AN THE HUMAN BODY .....	139
Ján KOVÁČ	
<b>ANALÝZA OPOTREBOVANIA REZNEJ HRANY HOBĽOVACÍCH NOŽOV PÍLOVEJ REŤAZE MOTOROVEJ PÍLY</b>	
ANALYSIS OF THE CUTTING EDGES WEARING BY CUTTER TOOTH SAW CHAIN OF CHAINSAW .....	147
Ján KOVÁČ – Jozef KRILEK	
<b>ŠTÚDIA PROCESU VRTANIA – OSOVÁ SILA, KRÚTIACI MOMENT, TVORBA TRIESKY A DRSNOSŤ POVRCHU</b>	
STUDIES OF DRILLING PROCESS – FEED FORCE, TORQUE MOMENT, CHIP FORMATION AND SURFACE ROUGHNESS.....	159
Ľubomír JAVOREK – Simona M. BARBU – Loredana A. BADESCU	
<b>NÁVRH METÓDY MERANIA ŠÍRKY REZNEJ ŠPÁRY S VYUŽITÍM ČÍSLICOVÉHO SPRACOVANIA OBRAZU PO PROCESE REZANIA DREVA ZVÁZKOM ŽIARENIA</b>	
THE DESIGN OF KERF WIDTH MEASUREMENT METHOD USING DIGITAL IMAGE PROCESSING AFTER THE PROCESS OF CUTTING WOOD BY BEAM RADIATION .....	165
Juraj SUJA – Milada GAJTANSKA	



## **VEDECKÉ ČLÁNKY**



## POSSIBILITIES OF THE USE SIMULATION PARAMETERS EVALUATION OF LIGHTING

### MOŽNOSTI VYUŽITIA SIMULÁCIE VYHODNOTENIA PARAMETROV OSVETLENIA

**Richard HNILICA – Martin JANKOVSKÝ – Miroslav DADO**

**ABSTRACT:** Selection and correct the use of simulation software considerably affects the whole project. If an unsuitable program is chosen, the simulation could be ineffective. This is why the decision which program to use is so difficult. This paper tries to clarify the work procedures and lighting system evaluation in DIALux and Relux programs.

**Keywords:** simulation, lighting, software

**ABSTRAKT:** Výber a použitie správneho simulačného softvéru výrazne ovplyvňuje celý projekt, čo v prípade zvolenia nesprávneho programu môže spôsobiť, že simulácia bude málo efektívna. Z tohto dôvodu nie je jednoduché zvoliť ten najvhodnejší program. Uvedený príspevok preto dáva určitú predstavu o spôsoboch práce a vyhodnocovania osvetlenia pomocou softvérových programov DIALux a Relux.

**Kľúčové slová:** simulácia, osvetlenie, softvér

## INTRODUCTION

A lighting model which enables verification and improvement of calculations and simultaneously enables us to test different alternatives of technical designs for individual parts of the lighting system is an important criterion when evaluating the lighting system quality. An intense expansion in the field of lighting programs enabled the development of tools capable of complex designs and parameters calculation in the lighting systems which take light effects created by artificial lighting and natural light into account. They can generate the brightness, colour and structure of 3D space very realistically.

Simulation is a convenient tool for enhancement of the design, calculation and modelling process. It can be helpful in eliminating various problems e.g. when eliminating unnecessary overdesign of the lighting system's elements, bad design of particular parts of the system and it also enables to visually review the quality and esthetics of the design without the need to employ expensive physical models. The selection and utilization of

suitable software affects the project heavily. Selection of unsuitable software the whole simulation becomes ineffective.

## 1 MATERIAL AND METHODS

This paper concerns with comparing the DIALux and Relux software bundles used for lighting system simulation. The comparison was based on evaluating the visualization output of settings and technical calculations.

These lighting software products, depending on their configuration, enable through their graphic interface and input parameters of the reviewed object to outline the positions of the lighting units from the database, visualize the outcomes for a visual evaluation of the lighting system. They are also capable of interactive calculation of the lighting system with a multi alternative output for easy evaluation of the system and pick of the best solution.

### *DIALux*

DIALux is a lighting software used for calculations of interior and exterior lighting with the option of photorealistic visualization and simple and intuitive control. It supports import of photometric data from lighting producers. It supports CAD programs, dxf and dwg formats with the possibility of importing buildings as 3D objects. For the needs of lighting object it is equipped with a video sequence editor. The resulting documentation can be printed or exported into pdf format and the visualization can be exported to jpg.

### *Relux*

Relux is the most complex tool used for calculating various types of lighting systems and visualization. It has a sophisticated graphic interface with management of outcomes and print. This ensures maximum simplicity when projecting and processing the outcomes. This product is capable of simulating work station lighting, roads and design applications import from AutoCAD program. Besides the simulations and imports mentioned it is capable of realistic visualization of the project and video sequence creation.

## 2 RESULTS

It is important to pick a suitable software product to ensure the effectiveness and optimal design. There are many lighting software products on the market, some of which are freeware and others are paid for.

This paper aims on evaluating two programs used for simulation of lighting in industrial conditions. These are DIALux and Relux software bundles. Based on surveys and the research of data from lighting producers to these programs we found out, that the DIALux program is used more frequently than the Relux program (see Figure 1).

The layout with main internal elements of the work space for the simulation can be seen on figure 2. Relevant data were obtained from actual plant, where assembly, disassembly and service is carried out. The plant where the simulations took place is located in Slovakia.

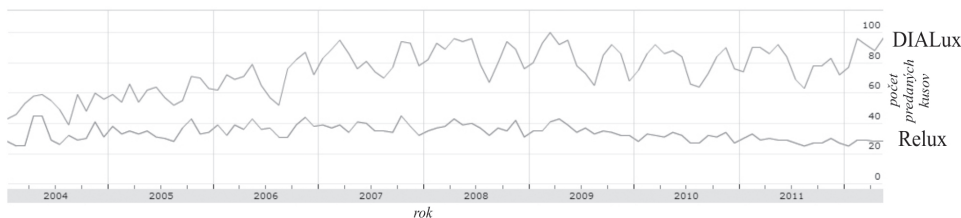


Figure 1 The trend searching the words DIALux and Relux through the service Insights for Search beta by Google

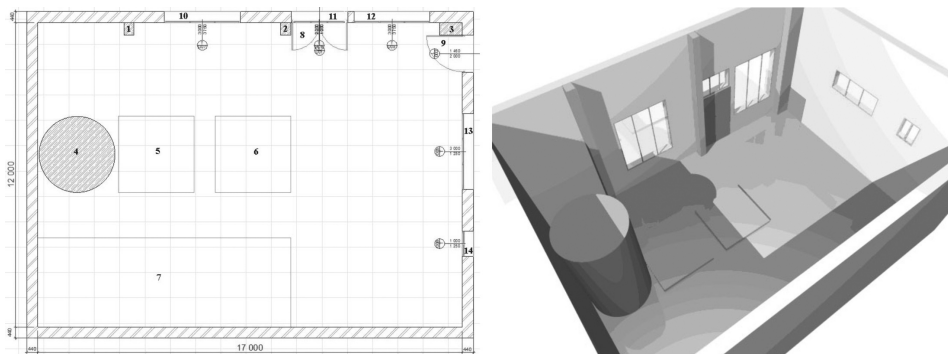


Figure 2 The layout with main internal elements of the work space (1, 2, 3 – rectangular column; 4 – technological equipment; 5, 6, 7 – stage; 8, 9 – door; 10, 11, 12, 13, 14 – window)

When designing the lighting system, it is necessary to proceed in such a way which can be applied to both compared programs. It consists of several phases.

*In the first phase* of the design the type of project is determined, basic information about the object (plant) are set, type and dimensions of the plant is set. Integrated assistants which enable data input are built in the programs.

*The second phase* is done through CAD programs, where the user can adjust the dimensions of the room and insert various elements to the room (windows, doors, pillars, furniture etc.). A 3D design is a part of this phase.

*In the third phase* the lighting system is designed by setting the type, number and the arrangement of the lights. Another step is to input the calculation areas on a comparison plane and where the visual tasks are performed in the work spaces.

*The fourth phase* is characteristic by the beginning of calculation of the lighting parameters of the lighted scene with all the elements, objects and lighting system. The calculations take the recommendations of CIE and relevant standards into consideration. The outcome of the project after defining the desired presentation will be an extensity of lighting parameters and object (plant) information, its elements and the designed lighting scene.

*In the fifth phase* the approved concept of the designed scene is evaluated and the results are compared to relevant standards. In this phase it is determined whether the simulated design is sufficient or not. If the design is sufficient, the project documentation is printed or exported.

### ***Lighting simulation through the DIALux program***

The design of lighting system simulation in this program begins with a preliminary design of the space (input data and parameters) through the integrated assistant. Working with this assistant is easy and intuitive. The selection of lighting system set up has little variability and thus is unable to fulfil the needs of preliminary design in many cases.

The next part of the simulation is dedicated to room geometry processing through a CAD environment and elements and 3D object inserting by mouse cursor or by assigning dimension and position data of the objects (see Fig. 3a).

In the end the calculation areas are set, the lighting system is designed utilizing either an on-line database or, as in this case, a plug-in with photometric data of the lighting accessible on web site of the lighting producer. Subsequently the desired output is defined and evaluated. The result is a design of the lighting with the statement whether the lighting is acceptable or not.

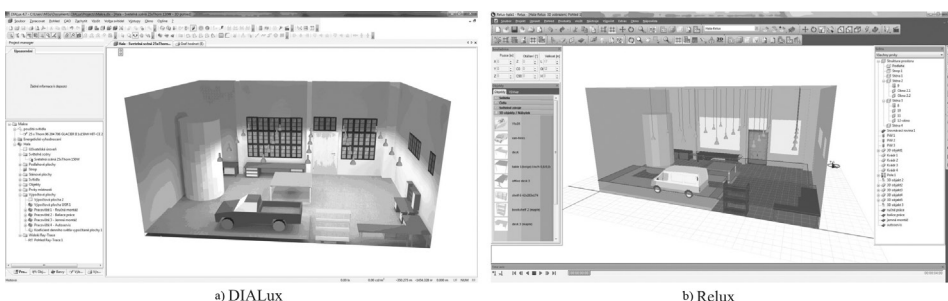


Figure 3 The work environment of simulation software DIALux and Relux

### ***Lighting simulation through the Relux program***

The Relux program is equipped with a more advanced integrated assistant of preliminary data input, which compared to the DIALux program presents well arranged information on the lighting units used (the luminance curve, brightness, UGR, threshold brightness lines, conic diagram, lighting unit specifications and lighting unit visualization).

The strength of the assistant has shown itself in preliminary design of the lighting system, where there was a better selection of the lighting system's placement with the possibility of its dimensioning. It is also capable of 3D and 2D visualization of the lighting scene (see Fig. 3b). The assistant is always linked with the database of standards and gives a clear review which standard is being used in the design. This version of the program worked with a ČSN EN 12464-1 standard and CIE standards. The assistant lacked the possibility of changing the dimension and position of the plane of the lighting system which can be done in the further steps of the design. The assistant offers input of desired outputs of the preliminary documentation of the project, a review and content with subsequent printing or export options into pdf. The result is a simulated design of lighting with the statement whether the lighting is acceptable or not.

### ***Results comparison***

The output of the programs is project documentation, through which the designer evaluates qualitative and quantitative parameters of the system. The evaluation measures

securing three basic human needs: visual comfort, productivity of the visual performance and safety. In this paper we compared and evaluated the outcomes of visualization outputs and their graphic illustration with the possibility of presenting the lighting values.

Both programs provide a wide palette of outputs (see Fig. 4) in form of tables, graphs, line and graphic depiction of lighting values (isoline, planar maps of illumination), 3D illustration of lighting and photorealistic depiction of the scene. These outputs offer sufficient data to evaluate the state and to reach a conclusion whether the design is sufficient or not. It is however necessary to point out that the data is only informative and does not have to be 100% compliant with the real project if it is to be carried out.

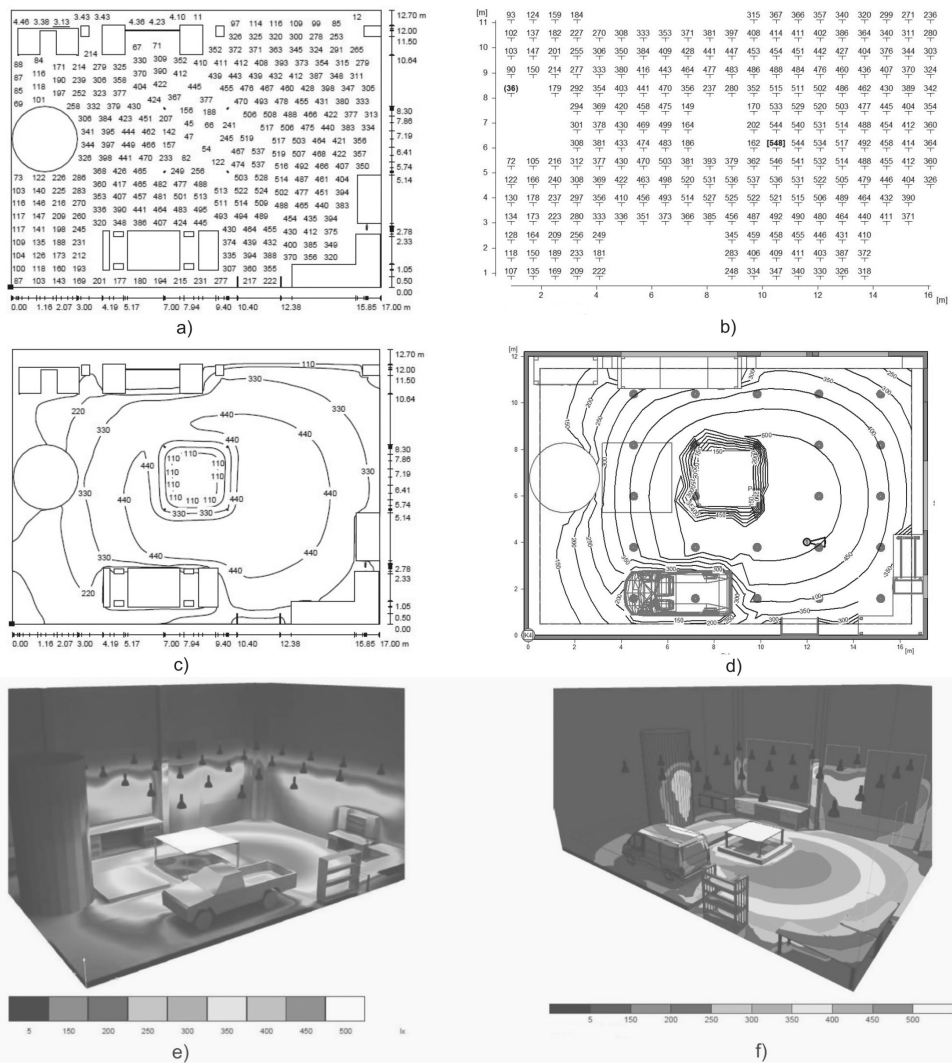


Figure 4 Outputs of programs DIALux (a, c, e) and Relux (b, d, f) in form: numerical representation of the calculated values of illumination (a, b); isoline (c, d); planar maps of illumination (e, f)

The Relux program is furthermore capable of generating special models of illumination in the measured space with a demonstrative 3D raster graph (see Fig. 5). From the graph it is possible to read informative values of lighting intensity in particular points of the plan of the measured space.

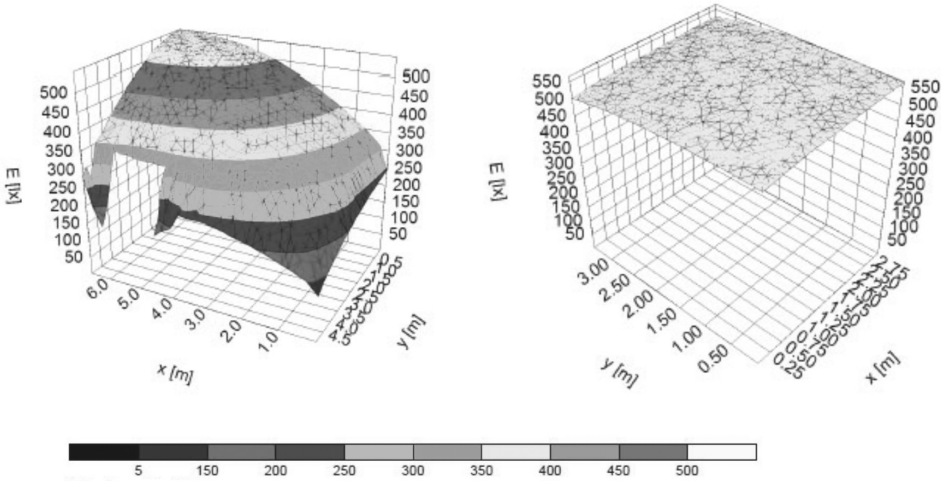


Figure 5 3D raster graph of illumination in the measured space

A complete 3D photorealistic depiction of the lighting in the evaluated plant is depicted in Fig. 6. At this place it is necessary to say that the Relux program is not completely free, because the plug-in used to trace the ray (Ray-tracing), which is needed to be able to make a photorealistic depiction is charged with a fee. The DIALux software on the other hand offers the possibility to create a high quality image through the POV-Ray.

In conclusion we can state, that the process of designing lighting systems through the Relux and DIALux is very much alike. Working in Relux program was visually more attractive. It offered more information during the design with better options in modifying the lighting system. The output in the Relux program offered more possibilities and is more transparent.

The advantage of DIALux program is a free plug-in for photorealistic depiction of the illuminated space model, through which the designer can visually evaluate the appearance of the design and its appropriateness. The DIALux has, compared to Relux, a more extensive language support, which means larger user community and overall support.

The Relux program has overall a more sophisticated assistant, the work environment and work with the outputs. On the other hand it has no freely accessible CAD and Ray-tracing plug-ins. This proves to be a disadvantage, because of the photorealistic imagery, which is in many cases the only way to show the customer the outcomes of the project, because the customer does not have to understand terms like lux, brightness, UGR, etc.



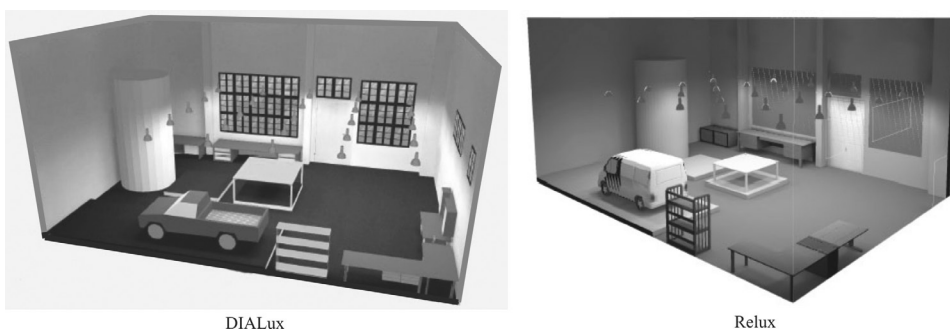


Figure 6 Photorealistic depiction of the lighting in the evaluated plant

Relux and DIALux have an extensive support from the producers and are competing products. Producers update the programs regularly, shorten the time needed for calculations, improve the functional elements, extend the database of lighting units and attention is paid to the support of the community.

## CONCLUSION

Currently it is necessary to focus on quality of the lighting conditions, as one of the fundamental factors of worker performance quality. That is why it is necessary to evaluate the quality of the lighting in work spaces by lighting projects which design a better lighting system. The illumination parameters of the designed system should not negatively affect the visual performance but contribute to the worker's visual comfort. Realistic visualization of lighting parameters through the software products helps in lighting system design.

## LITERATÚRA

- [1] BUDAK, V. P., MAKAROV, D. N., SMIRNOV, P. A. 2006. Přehled a porovnání počítačových programů pro navrhování osvětlovacích soustav. In *Světlo*, [on-line]. [cit. 2011-09-27] Dostupný na internete: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=35914](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=35914)>
- [2] DADO, M., HNILICA, R. 2008. *Faktory pracovného prostredia [elektronický učebný text] : svetlo a osvetlenie*. Technická univerzita vo Zvolene, 2008. 139 s. ISBN 978-80-228-1858-2
- [3] HABEL, J. a kol. 1995. *Svetelná technika a osvetlovaní*, FCC PUBLIC, 1995, ISBN 80-901985-0-3
- [4] HNILICA, R., DADO, M. 2008. Hodnotenie osvetlenia v prevádzke drevospracujúceho priemyslu. In *Rizikové faktory pracovného prostredia v drevospracujúcom priemysle : kolokvium ku grantovej úlohe VEGA 1/3445/06*, Technická univerzita vo Zvolene, 2008, s. 28–33, ISBN 978-80-228-1959-6
- [5] MIHÁLIKOVÁ, J. Problém výberu simulačného nástroja pre simulačný projekt, [on-line]. [cit. 2011-09-12] Dostupný na internete: <<http://www.sjf.tuke.sk/novus/papers/392-396.pdf>>
- [6] Softvérový balík Relux Suite [online] [cit. 2011-09-27]. Dostupné na internete: <<http://www.asb.sk/tzb/osvetlenie-a-elektroinstalacie/softverovy-balik-relux-suite-891.html>>

- [7] SUJOVÁ, E. 2008. Analýza úrazovosti v organizáciách spracovania dreva v pôsobnosti inšpek-torátu práce Banská Bystrica. In *Rizikové faktory pracovného prostredia v drevospracujúcom priemysle : kolokvium ku grantovej úlohe VEGA 1/3445/06*, Technická univerzita vo Zvolene, 2008, s. 81–86, ISBN 978-80-228-1959-6
- [8] THORN lighting. [on-line]. [cit. 2011-09-10] Dostupný na internete: <[http://www.thornlighting.cz/cz/cs/res\\_calculation\\_progams\\_f.htm](http://www.thornlighting.cz/cz/cs/res_calculation_progams_f.htm)>

*Príspevok bol spracovaný v rámci riešenia vedeckého grantového projektu KEGA 016TUZVO-4/2011 „Tvorba modelov pre posudzovanie miery rizika práce vlesníckych činnostiach a strojárskych prevádzkach“.*

**Kontaktná adresa:**

Ing. Richard Hnilica, PhD., Ing. Miroslav Dado, PhD.,  
Katedra výrobných technológií a materiálov, FEVT, TU vo Zvolene,  
Študentská 26, 960 53 Zvolen,  
tel.: +421-455206596, e-mail: [hnilica@tuzvo.sk](mailto:hnilica@tuzvo.sk), [dado@tuzvo.sk](mailto:dado@tuzvo.sk)

Ing. Martin Jankovský,  
Katedra lesnej ťažby a mechanizácie, LF, TU vo Zvolene,  
T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen,  
e-mail: [jankovskyma@gmail.com](mailto:jankovskyma@gmail.com)

## URČENIE ZÁKLADNÝCH TECHNICKÝCH PARAMETROV PÔDNEHO SKÚŠOBNÉHO KANÁLA

### DETERMINATION OF THE BASIC TECHNICAL SPECIFICATIONS OF THE TESTING SOIL CHANNEL

**Milan MIKLEŠ – Milan HELEXA**

**ABSTRACT:** The article deals with the issue of design of the testing soil channel for tyres. Basic advantages and disadvantages of realization of the tractional tests of the means of mechanization as well as the assets of observation of the tyre interaction processes with the soil in the testing soil channels are mentioned at the beginning. The article also describes in raw features the construction solution of the device and delineates the basic methodology of setting the most important technical specifications of the device. The end of the article is focused on description of the basic disadvantages of the stated research methodology of the tyre interaction with soil and indicates its possible future development.

**Key words:** testing soil channel, tyre, soil, propelling force, tractional force

**ABSTRAKT:** Článok sa venuje problematike návrhu pôdneho skúšobného kanála pneumatikových kolies. V úvode sú spomenuté základné nevýhody a problémy realizácie ťahových skúšok mechanizačných prostriedkov ako aj prednosti sledovania interakčných procesov pneumatikových kolies s pôdou v pôdnych skúšobných kanáloch. Ďalej článok popisuje v hrubých črtách konštrukčné riešenie predmetného zariadenia a popisuje základnú metodiku určenia najdôležitejších technických parametrov zariadenia. Záver článku sa venuje popisu základných nevýhod danej metodiky výskumu interakcie pneumatikového kolesa s pôdou a naznačuje jeho ďalší možný rozvoj v budúcnosti.

**Kľúčové slová:** pôdny skúšobný kanál, pneumatika, pôda, hnacia sila, ťahová sila

## 1. ÚVOD

Výskum problematiky interakcie pneumatikového kolesa s pôdou je všeobecne známy a v podstate neustále aktuálny. Podstatou výskumu tejto interakcie je znižovanie poškodzovania pôd kolesovým pojazdom ústrojenstvom mobilných pracovných a dopravných prostriedkov za predpokladu dosiahnutia čo najväčšej efektivity využitia výkonu privedeného na kolesá.

Výskum interakcie pneumatikového kolesa s pôdou je možné realizovať v podstate dvomi spôsobmi. Prvým prípadom sú ťahové skúšky sledovaného mechanizačného

alebo dopravného prostriedku priamo v teréne. Získané výsledky sa však vždy vzťahujú na danú konštrukčnú konfiguráciu sledovaného mechanizačného prostriedku a vzťahnúť ich na konkrétne koleso (alebo pneumatiku) je veľmi náročné. K tomu potrebujeme poznať účinnosti a energetické pomery v samotnej transmisii sledovaného prostriedku.

Problémom realizácie ťahových skúšok v teréne je aj náročnosť získať čo možno najideálnejšie podmienky celého merania. Problémy tu spôsobuje najmä dosiahnutie požadovanej pozdĺžnej a priečnej rovinnosti skúšobnej dráhy ako aj homogenita a spôsob kultivácie pôdy na ktorej sa skúška realizuje. Problémom v súčasnosti je aj spôsob zaťažovania sledovaného prostriedku. Na úplne korektné a správne regulované zaťaženie je nutné použiť špeciálne zaťažovacie vozidlo. Z uvedeného vyplýva, že na realizáciu ťahových skúšok sú potrebné veľké investície súvisiace s vybudovaním skúšobnej dráhy a zakúpením zaťažovacieho vozidla.

Druhým spôsobom realizácie výskumu interakcie pneumatikového kolesa s pôdou je sledovanie tejto interakcie v laboratórnom pôdnom skúšobnom kanály. Jeho výhodou je, že umožňuje skúmať interakčné procesy len jednej pneumatiky, pričom jej pohon je značne jednoduchší než pohon kolesa u reálneho mechanizačného prostriedku. Je tu tiež predpoklad vytvorenia homogénnejších pôdnych podmienok než v prípade pôdy nachádzajúcej sa v prírode. Tým je zabezpečená lepšia rekultivácia pôdy a opakovateľnosť realizovaných meraní. Navyše náklady spojené s realizáciou tohto zariadenia sú nepomerne menšie než náklady na realizáciu štandardných alebo urýchlených ťahových skúšok mechanizačných a dopravných prostriedkov.

## 2. KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE SKÚŠOBNÉHO ZARIADENIA

Základom nami navrhovaného skúšobného zariadenia je pôdny kanál skriňovej konštrukcie (obr. 1, poz. 1). Jeho dĺžka dosahuje 6 550 mm, šírka 690 mm a hĺbka 500 mm. Jeho pracovný objem je teda 2,26 m<sup>3</sup>. Konštrukcia je riešená modulovo, takže v prípade potreby je možné ho predĺžiť na požadovanú dĺžku. Z dôvodu zabezpečenia pracovnej polohy sú nosné piliere kanála ukotvené do betónovej podlahy laboratória pomocou závitových kotiev.

Popri pôdnom kanály je umiestnené vedenie pomocného rámu (obr. 1, poz. 2). Jeho dĺžka je 9 000 mm, pričom podobne ako v prípade pôdneho kanála je ho možné predĺžiť na požadovanú hodnotu pripojením ďalších zváraných oceľových pilierov. Nosné piliere vedenia pomocného rámu sú do betónovej podlahy laboratória tiež upevnené pomocou závitových kotiev. To zabezpečuje jeho stabilnú polohu a zachytávanie predovšetkým bočných a zvislých síl pôsobiacich na pomocný rám. Vedenie pomocného rámu (alebo bočné vedenie) slúži na pozdĺžne vedenie pomocného rámu (obr. 1, poz. 4), ktorého hlavná úloha je viesť v priamom smere hlavný nosný rám skúšaného kolesa (pneumatiky) (obr. 1, poz. 3). Pomocný (vodiaci) rám a hlavný rám s kolesom sú navzájom spojené prostredníctvom štyroch vodiacich tyčí štvorcového prierezu. Hlavný nosný rám kolesa obsahuje pohonový mechanizmus kolesa a zároveň nesie prídavné závažia prostredníctvom ktorých je možné meniť zvislé zaťaženie kolesa. Samotný hlavný rám kolesa má hmotnosť 450 kg, pričom pomocou prídavných závaží je možné túto hmotnosť zvýšiť až na 1 300 kg. Pohon skúšaného kolesa zabezpečuje elektromotor výkonu 7,5 kW s menovitým krútiacim momentom

49,2 N.m. Násobenie krútiaceho momentu je tu zabezpečené prostredníctvom prevodovky s celkovým prevodovým pomerom 40,6 a reťazovým prevodom s celkovým prevodovým pomerom 2. Celkový prevodový pomer mechanizmu náhonu kola teda je 81,2.

Ťahový odpor pri pojazde kola v kanály je vyvedený prostredníctvom brzdného zariadenia umiestneného na konci pôdneho kanála (obr. 1, poz. 5). To pozostáva z navijáka a navijacieho elektromotora výkonu 4 kW. Brzdny účinok je tu vyvedený mechanicky prostredníctvom brzdnych čeľustí, ktoré sú pritláčané na obvod brzdnych bubnov prostredníctvom pákového mechanizmu so závažiami. Takto vyvedená brzdna sila môže dosiahnuť veľkosti až 10 000 N. Navijací elektromotor slúži na spätný pohyb celého mechanizmu vedenia a pohonu kola. Zároveň umožňuje vykonávať merania aj na pneumatikách vlečených kolies, kedy motorický pohon kola je vyradený z činnosti a celý mechanizmus sa môže pohybovať len prostredníctvom navijania elektromotorom brzdy. Funkcia brzdy pri trakčných skúškach a navijania do východzej polohy prostredníctvom elektromotora navijáka je zabezpečená dvoma elektromagnetickými ovládanými spojkami, ktoré podľa potreby zapájajú do činnosti brzdu alebo elektromotor navijania.

Reálny pohľad na skúšobné zariadenie, čiastočne uvedené do prevádzky, je na obr. 2. Zariadenie je možné prevádzkovať aj v stave bez pôdneho kanála. Konštrukcia umožňuje rám kola s pohonom spustiť až na betónovú podlahu a vykonávať trakčné a ťahové skúšky na nej. To má význam najmä v prípadoch keď potrebujeme určiť efektívnu zložku valivého odporu po predchádzajúcich skúškach na pôde v skúšobnom kanále.

Pre potreby zisťovania trakčných, ťahových a iných energetických závislostí, bolo uvedené skúšobné zariadenie vybavené nasledovnými snímačmi fyzikálnych veličín. Za elektromotorom pohonu kola (obr. 3) bol osadený združený snímač krútiaceho momentu a otáčok, pomocou ktorého môžeme zisťovať celkový výkon privedený na skúšanú pneumatiku (koleso). Preklz skúšanej pneumatiky (kola), ako aj reálnu rýchlosť jej pohybu môžeme sledovať prostredníctvom dvoch indukčných snímačov osadených na hnačom reťazovom kolese. Veľkosť vyvedenej ťahovej sily je sledovaná prostredníctvom tenzometrického snímača sily menovitej veľkosti 10 kN. Signály z uvedených snímačov fyzikálnych veličín sú privádzané do meracieho záznamového zariadenia Spider 8 firmy HBM a ďalej spracované vo výpočtovom produkte Conmes Spider firmy Consynea.

### 3. STANOVENIE TECHNICKÝCH PARAMETROV

Pri voľbe technických parametrov sme vychádzali predovšetkým z podmienok, ktoré nám umožňujú naše laboratóriá. Za maximálny inštalovaný výkon hnacieho motora mechanizmu pohonu kola sme zobrali hodnotu 7,5 kW. To je hodnota výkonu, ktorú môžeme odoberať z elektrickej siete laboratória bez jej ďalšej úpravy alebo realizácie prídavného spúšťačieho obvodu elektromotora. Maximálne zaťaženie kola sme po predbežných výpočtoch stanovili na hodnotu 1 300 kg. Na základe prieskumu trhu vyrábaného sortimentu pneumatík bol maximálny priemer skúšanej pneumatiky stanovený na 850 mm a minimálny priemer na úroveň 450 mm. Pri návrhu sme uvažovali s maximálnou hodnotou súčiniteľa záberu na úrovni 0,8. Ten je možné dosiahnuť napr. na betónovom povrchu. Prevádzkovú hodnotu súčiniteľa záberu na pôde sme stanovili na hodnotu 0,65. Maximálnu hnaciu silu kola sme stanovili podľa vzťahu:

$$F_{H \max} = m \cdot g \cdot \mu \quad [N] \quad (1)$$

kde:  $m$  – maximálne zvislé zaťaženie kolesa, [kg]

$g$  – gravitačné zrýchlenie, [ $m \cdot s^{-2}$ ]

$\mu$  – súčiniteľ záberu, [-]

Za predpokladu, že  $\mu = 0,8$  (betónový povrch) a  $m = 1\,300$  kg, dostaneme hodnotu  $F_{H \max} = 10\,202,4$  N. Pre pôdny režim práce dostaneme hodnotu  $F_{H \max} = 8\,289,45$  N.

Hodnotu valivého odporu pneumatík sme stanovili predbežne podľa vzťahu:

$$F_V = m \cdot g \cdot f \quad [N] \quad (2)$$

kde:  $f$  – súčiniteľ valivého odporu, [-]

Za predpokladu, že  $f = 0,02$  (betónový povrch) a  $m = 1\,300$  kg, dostaneme hodnotu  $F_V = 255,06$  N. Za predpokladu, že  $f = 0,08$  (pôda v kanály) a  $m = 1\,300$  kg, dostaneme hodnotu  $F_V = 1\,020,24$  N.

Maximálnu ťahovú silu, vyvedenú brzdovým zariadením sme určili podľa nasledovného vzťahu:

$$F_{t \max} = F_{H \max} - F_V \quad [N] \quad (3)$$

Pre betónový povrch dostaneme hodnotu  $F_{t \max} = 9\,947,34$  N. Pre pôdu v pôdnom kanály táto veličina dosahuje hodnoty  $F_{t \max} = 7\,269,21$  N.

Hodnotu jazdovej rýchlosti pri maximálnom výkone motora sme stanovili podľa vzťahu:

$$v = \frac{P_{\max} \cdot \eta_c}{F_{H \max}} \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (4)$$

kde:  $P_{\max}$  – maximálna hodnota výkonu hnacieho motora kolesa, [W]

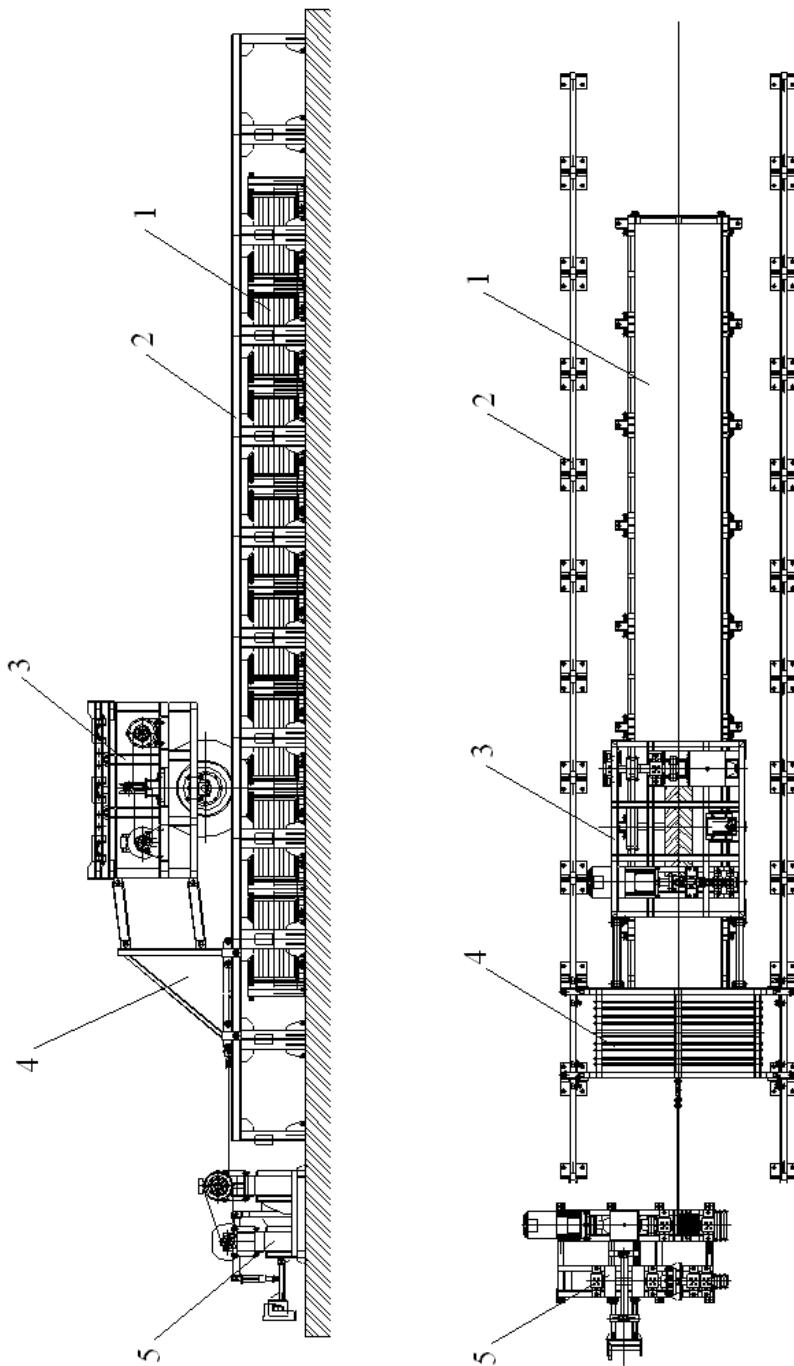
$\eta_c$  – celková účinnosť mechanizmu pohonu kolesa, [-]

Za predpokladu 90 % účinnosti mechanizmu pohonu kolesa získame pre rýchlosť hodnotu  $v = 0,662$   $m \cdot s^{-1} = 2,382$   $km \cdot h^{-1}$  pre betónový povrch a  $v = 0,81$   $m \cdot s^{-1} = 2,92$   $km \cdot h^{-1}$  pre povrch pôdny. Tu je potrebné pripomenúť, že tento výpočet je len orientačný a nezohľadňuje presne všetky odpory a účinnosti pohonového mechanizmu ako aj preklz kolesa pri pohybe po pôde. Navyše je hnací elektromotor pohonového mechanizmu riadený prostredníctvom frekvenčného meniča, takže výsledná rýchlosť je regulovaná prakticky od nuly až do maximálnej hodnoty. Z výpočtu však vyplýva, že vzhľadom na rozmery skúšobného kanála môžeme hodnotu rýchlosti  $v = 0,81$   $m \cdot s^{-1}$  považovať za hraničnú.

Maximálny krútiaci moment na kolese získame pomocou vzťahu tvaru:

$$M_{k \max} = F_{H \max} \cdot R_S \quad [N \cdot m] \quad (5)$$

kde:  $R_S$  – statický polomer valenia pneumatiky, [m]



Obr. 1 Pôdny skúšobný kanál (pohľad bočný a horný)  
 1. Konštrukcia pôdneho kanála, 2. Bočné vedenie, 3. Hlavný rám, 4. Vodiaci rám, 5. Brzdné zariadenie



Pre betónový povrch získame hodnotu  $M_{kmax} = 4\,336,02\text{ N.m}$  za predpokladu, že maximálny uvažovaný priemerom pneumatiky je 850 mm. Pre pôdny povrch dostávame za tých istých podmienok hodnotu  $M_{kmax} = 3\,523,02\text{ N.m}$ .

Celkový prevodový pomer medzi hnacím elektromotorom a kolesom vyjadríme vzťahom tvaru:

$$i = \frac{M_{kmax}}{M_{mmax} \cdot \eta_c} \quad [-] \quad (6)$$

kde:  $M_{mmax}$  – menovitý krútiaci moment hnacieho elektromotora,  $[N.m]$

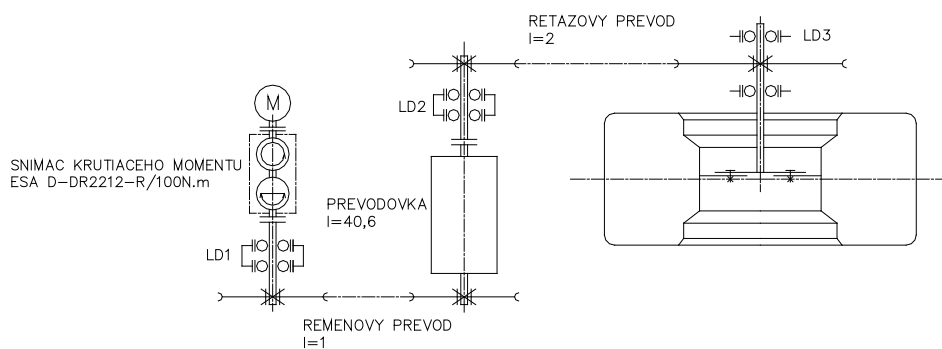
Za predpokladu 90 % účinnosti prenosu výkonu a lepšie adhézne podmienky betónového povrchu nám vyšla hodnota  $i = 97,92$ .

Celkový pohľad na systém pohonu kolesa je znázornený na obr. 3. Vzhľadom na vysokú hmotnosť priemyselných prevodoviek s prevodovým pomerom  $i \approx 100$  (ich hmotnosť sa pohybuje okolo 100 až 120 kg) sme zvolili prevodovku prevodového pomeru  $i = 40,6$  (hmotnosť 60 kg). Ako vyplýva z obrázku č. 3, za prevodovkou sa nachádza reťazový prevod, ktorého prevodový pomer sme volili na úrovni  $i = 2$ . Teda celkový inštalovaný prevodový pomer mechanizmu pohonu kolesa je  $i_c = 81,2$ . Tento celkový prevodový pomer považujeme za dostatočný, nakoľko parametre zodpovedajúce prevodovému pomeru 97,92 sú vzťahované na 100 percentný preklz. Myslíme si, že reálne meranie nie je potrebné realizovať až za takýchto hraničných podmienok.



Obr. 2 Celkový pohľad na pôdny skúšobný kanál





Obr. 3 Schéma pohonu kola

Záverom tejto kapitoly uvádzame súpis volených a vypočítaných technických parametrov nami navrhnutého pôdneho skúšobného kanála (tabuľka 1).

Tabuľka 1: Základné technické parametre pôdneho skúšobného kanála

Parameter	Veľkosť
Hmotnosť rámu kola (bez záťaže)	450 kg
Hmotnosť rámu kola (so záťažou)	1 300 kg
Celková hmotnosť prídavných závaží	850 kg
Maximálny priemer skúšanej pneumatiky	850 mm
Minimálny priemer skúšanej pneumatiky	450 mm
Maximálna šírka skúšanej pneumatiky	300 mm
Celkový prevodový pomer mechanizmu pohonu kola	81,2
Inštalovaný výkon hnacieho elektromotora	7,5 kW
Nominálny krútiaci moment hnacieho elektromotora	49,2 N.m
Maximálny krútiaci moment na kolese (betónový povrch)	4 336,02 N.m pri 90% účinnosti pohonu
Maximálny krútiaci moment na kolese (pôdny povrch)	3 523,02 N.m pri 90% účinnosti pohonu
Maximálna hnacia sila na kolese	10 202,4 N (betónový povrch)
Maximálne ťahové zaťaženie	9 947,34 N (betónový povrch)
Maximálna pojazdová rýchlosť	2,92 km.h <sup>-1</sup> = 0,81 m.s <sup>-1</sup>
Objem pôdneho kanála	2,26 m <sup>3</sup>
Dĺžka pôdneho kanála	6 550 mm
Šírka pôdneho kanála	690 mm
Maximálna hĺbka zeminy uloženej v kanály	500 mm
Dĺžka vedenia pomocného rámu	9 000 mm
Šírka vedenia pomocného rámu	1 650 mm
Inštalovaný výkon elektromotora brzdy	4,0 kW

## 4. ZÁVER

Ako najväčší problém nami realizovaného pôdneho skúšobného kanála sa javí spôsob kultivácie pôdy a tým zabezpečenia dobrej opakovateľnosti merania. V návrhu sa plánoval použiť záhradný kultivátor na kyprenie pôdy a na jej zhutnenie (utlačenie) sa plánovala použiť vibračná doska. Tieto zariadenia sa však vo svojom pôvodnom konštrukčnom a výkonovom vyhotovení pravdepodobne nebudú dať použiť a bude nutná ich dodatočná úprava. Problémom je tiež zmena vlhkosti pôdy, ktorá postupne schne, čo spôsobuje výrazné zmeny jej mechanických vlastností. To si vyžaduje aby skúšky pneumatík v skúšobnom kanáli prebiehali čo možno najrýchlejšie. Pri sledovaných interakčných procesoch je tiež dôležité zabezpečiť správny popis a zatriedenie použitej pôdy. K tomuto účelu v budúcnosti plánujeme vybaviť laboratórium potrebným vybavením umožňujúcim vykonávať popis základných fyzikálno-mechanických vlastností pôd v súlade s platnými STN.

## SUMMARY

The research of the interaction of tyre with the soil can be realized in two ways. The first case is tractional tests of the studied means of mechanization or transport directly in the terrain. However, the gained results always refer to the specific constructional configuration of the studied means of mechanization. To apply them to a specific wheel (or tyre) is very demanding. We need to know the effectuality and energetic rates in the transmission of studied means.

The problem with realization of the tractional tests in the terrain is also the difficulty to get as ideal conditions of the whole measurement as possible. Problems are caused mainly by gaining the demanded longitudinal and cross planarity of the tested area as well as homogeneity and method of cultivation of the soil on which the test is realized. At present the problem is also the method of loading of the studied device. For proper and correctly regulated loading it is needed to use a special weighting vehicle. The result of the stated facts is that for the realization of tractional tests we need large investments connected with building of the test lane and purchase of the weighting vehicle.

The second way of realization of the research of the interaction of tyre with the soil is to observe this interaction in laboratory testing soil channel. Its advantage is that it enables to study the processes of interaction of only one tyre while its drive is simpler than the wheel-drive at the real means of mechanization. There is also a precondition of creation of more homogenous soil conditions than in the case of soil existing in the nature. Better reclamation of the soil and repeatability of the realized measurements is secured this way. Moreover, the expenses connected with the realization of this device are significantly lower than the expenses for realization of standard or precipitate tractional tests of the means of mechanization and transport.

The basis of the testing device designed by us is the soil channel of a box-shaped construction (Fig. 1, pos. 1). Its length reaches 6 550 mm, width 690 mm and depth 500 mm. Its working volume is 2,26 m<sup>3</sup>. It is designed in a module way, so in case of need it is possible to lengthen it to the demanded length. Due to the security of the working position the supporting pillars of the channel are anchored to the concrete floor of the laboratory by threaded anchors.

The line of the supporting frame is located next to the soil channel (Fig. 1, pos. 2). Its length is 9 000 mm, while as in the case of the soil channel it could be lengthened to the demanded level by adding other welded steel pillars. The supporting pillars of the line of the supporting frame are firmly fixed to the concrete floor by threaded anchors. This secures its stable position and retaining especially the side and vertical forces affecting the supporting frame. The line of the supporting frame (or side line) is used for lengthwise line of the supporting frame (Fig. 1, pos. 4), the main function of which is to lead in a direct way the main supporting frame of the tested wheel (tyre) (Fig. 1, pos. 3). The auxiliary (leading) frame and the main frame with the wheel are connected to one another via four leading bars of square cross-section. The main supporting frame of the wheel contains the drive mechanism of the wheel and, at the same time, it has additional weights via which it is possible to change the vertical weighting of the wheel. The main frame of the wheel itself has the weight of 450 kg, while it is possible to increase this weight to 1 300 kg by the additional weights. The drive of the tested wheel is secured by the electric motor with the output of 7,5 kW with nominal torsional moment of 49,2 N.m. Multiplication of the torsional moment is secured by a gearbox with overall gear ratio of 40,6 and chain gear with overall gear ration of 2. So the overall gear ration of the wheel-drive mechanism is 81,2.

The tractional resistance at the travel of the wheel in the channel is taken out by a brake device placed at the end of the soil channel (Fig. 1, pos. 5). This consists of winch and winding electric motor with the output of 4 kW. The brake effect is taken out mechanically by brake shoes, which are pressed to the perimeters of the brake drums by lever mechanism with weights. Brake force taken out like this can reach 10 000 N. Winding electric motor serves for the reverse movement of the whole wheel-drive mechanism. It also allows performing measurements on the tyres of the dragged wheels when the engine wheel-drive is turned off and the whole mechanism can move only via winding by the electric motor of the brake. The function of the brake at the tractional tests and winding to the start position by the electric motor of the winch is secured by two electromagnetically operated connectors which according to the need put the brake or electric motor of the winding into operation.

The real view of the testing device, partially set into operation, is on the Fig. 2. The device can be operated also in the state without the soil channel. The construction enables to lower the frame of the wheel to the concrete floor and to perform tractional and tensible tests there. This is essential mainly when we need to set the effective element of the rolling resistance after previous tests on the soil in the testing channel.

For the need of determining of tractional, tensible and other energetic dependencies the stated testing device was equipped with following sensors of physical quantities. Behind the electric motor of the wheel-drive (Fig. 3) a conjugate sensor of torsional moment and revolution was attached. With its help we can determine the overall output turned out to the tested tyre (wheel). Slip of the tested tyre (wheel) as well as real speed of its movement can be observed via two induction sensors fixed to the propelling chain wheel. The amount of the tensible force is observed via tensiometric sensor of the force of nominal intensity 10 000 N. Signals from the stated physical quantities sensors are conveyed to the measuring recording device Spider 8 from the company HBM and further processed in the computing product Conmes Spider from the company Consynea.

## LITERATÚRA

- GREČENKO, A.: Měření tahových vlastností terénních vozidel – Měření veličiny. In: Zemědělská technika, roč. 24, 1978, č. 11, s. 643–660.
- GREČENKO, A.: Vlastnosti terénních vozidel. Praha: ES VŠZ, 1994. 118 s.
- HOLÍK, J.: Interakcia pojazďového ústrojenstva mobilných strojov s pôdou. In: Kolokvium ku grantovým úlohám č. 1/5191/98 a č. 1/7585/20, KLMT FEVT TU Zvolen, 2000, s. 86–93.
- HOLÍK, J. – MIKLEŠ, M.: Vplyv interakcie pojazďového ústrojenstva mobilných strojov s pôdou na prenos výkonu. In: Zborník prednášok z Medzinárodnej vedeckej konferencie pri príležitosti 50. výročia založenia Sjf TU v Košiciach, Tatranská Lomnica, 2002, s. 111–118. ISBN 80-7099-801-6.

*Príspevok bol spracovaný v rámci riešenia projektu VEGA MŠ SR č. 1/0048/09 „Výskum znižovania negatívnych vplyvov pôsobenia lesnej techniky na lesné prostredie s určením technických parametrov lesných mechanizmov pri spracovaní lesnej biomasy“.*

### **Kontaktná adresa:**

prof. Ing. Milan Mikleš, DrSc.

Katedra lesnej a mobilnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky

Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen

E-mail: milan.mikles@tuzvo.sk

Ing. Milan Helexa, PhD.

Katedra lesnej a mobilnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky

Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen

E-mail: helexa@pobox.sk

## POROVNANIE VYBRANÝCH METÓD PRE VIZUALIZÁCIU TEPLOTNÝCH POLÍ

### COMPARISON OF CHOSEN METHODS FOR TEMPERATURE FIELDS VISUALISATION

**Jozef ČERNECKÝ – Elena PIVARČIOVÁ – Ján KONIAR**

**ABSTRACT:** In the paper there are described and analysed two different methods for temperature fields visualisation: the method of holographic interferometry and the method for thermovision measuring. The paper describes possibilities of given methods for temperature fields monitoring around heated tetrahedron. We can meet this problem in some of the engineering applications, as heat exchanger, boilers, sun energy using, drying rooms.

**Key words:** temperature fields, holographic interferometry, thermovision camera

**ABSTRAKT:** V príspevku sú popísané a analyzované dve rôzne metódy pre zviditeľnenie teplotných polí: metóda holografickej interferometrie a termovízne meranie. Príspevok popisuje možnosti využitia uvedených metód pre sledovanie teplotných polí v okolí vyhrievaného štvorhranu. S týmto problémom sa môžeme stretnúť v niektorých inžinierskych aplikáciách, napr. výmenníky tepla, bojler, využívanie slnečnej energie, sušiarne.

**Kľúčové slová:** teplotné pole, holografická interferometria, termovízna kamera

## 1 ÚVOD

Keďže väčšina sledovaných teplotných polí sú transparentnými prostrediami, sú pre ľudské oko neviditeľné. Transparentné teplotné polia možno zviditeľniť napr. pomocou interferenčnej metódy alebo termovíznej kamery.

Interferenčná metóda je založená na identifikácii zmeny fázy svetelnej vlny. Zo zmeny fázy sa určuje rozdelenie indexu lomu. Prostredie s vyššou teplotou ako okolie (referenčné prostredie) má vzhľadom k nemu inú hustotu a preto aj iný index lomu. Určenie veľkosti indexu lomu v rôznych miestach prostredia umožňuje stanoviť jeho hustotu a tým aj teplotu.

Termovízne meranie umožňuje nekontaktné meranie teploty pre stanovenie rozloženia teplotných polí na povrchu rôznych objektov. Tento postup sa nazýva bezkontaktná termografia (TermoTechna, 2005).

Obidve metódy umožňujú nielen kvantitatívne vyhodnotiť sledované javy, ale zároveň podávajú ucelený obraz o veľkosti a tvare teplotných polí v danom čase, pričom namerané

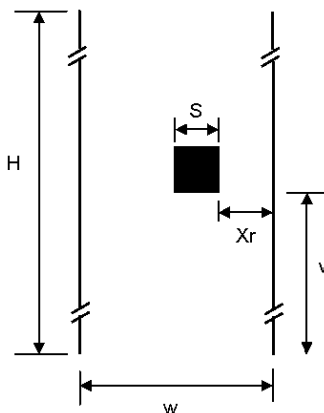
hodnoty nie sú ovplyvnené snímačom. Ďalšou výhodou týchto metód je možnosť sledovania teplotných polí v reálnom čase (Brodnianská, 2011).

Pri termovízných meraniach v reálnom čase majú vplyv na meranie odozvy vizualizačných prvkov. Vhodnosťou vizualizačných prvkov sa zaoberali (Bérubé Dufour a kol, 2010).

## 2 MATERIÁL A METÓDY

Pomocou holografickej interferometrie a termovíznej kamery sme zaznamenávali a následne analyzovali teplotné polia vo vertikálnom kanáli pri voľnej konvekcii (Khaled Khodary, Bhattacharyya, 2006). S týmto problémom sa môžeme stretnúť v niektorých inžinierskych aplikáciách, hlavne pri výmenníkoch tepla (Valentová, Černecký, 2011).

Vertikálny kanál tvorili dve rovnobežné zvislé steny s rozmermi  $20 \times 20 \times 2$  cm, vyrobené zo zliatin hliníka. Vzďalenosť medzi stenami bola postupne menená:  $w = 6, 8$  a  $10$  cm. Vo výške  $v = 6$  cm a v postupne menenej vzdialenosti  $X_r = 1, 2, 3$  cm od steny bol umiestnený dutý štvorhran z konštrukčnej ocele s rozmermi  $2 \times 2 \times 17$  cm. Štvorhran bol vyhrievaný teplotným médiom pomocou termostatu na teplotu  $60$  °C pri teplote okolia  $23$  °C. Schéma meraní je na Obrázku 1. Teplotný profil nad štvorhranom nebol symetrický, bol priťahovaný k stene vplyvom vztlakových síl ako vidno v Tabuľke 1.



Obrázok 1 Schéma experimentu

$H$  – výška steny (20 cm),  $v$  – výška umiestnenia štvorhranu (6 cm),  $S$  – veľkosť strany štvorhranu (2 cm),  $X_r$  – vzdialenosť štvorhranu od pravej steny (1, 2, 3 cm),  $w$  – vzdialenosť medzi stenami (6, 8, 10 cm)

### 2.1 Metóda holografickej interferometrie v reálnom čase

Na sledovanie teplotných polí bol použitý holografický variant Mach-Zehnderovho interferometra nastavený na nekonečnú šírku interferenčných prúžkov, t. z. pred experimentom bolo možné v meracom priestore sledovať jediný interferenčný prúžok a po ohreve postupne vznikali nové interferenčné prúžky. Merateľnou veličinou v interferometrii

v tomto prípade je počet vzniknutých interferenčných prúžkov, ktoré zodpovedajú fyzikálnym zákonitostiam ako je teplota, pričom sa im prideli interferenčný rád.

Pre vyhodnocovanie interferogramov je potrebné poznať fyzikálnu zákonitosť medzi veličinami (hustota, teplota, koncentrácia) a rozdelením indexu lomu v optickej nehomogenite, ktoré spôsobila zmena týchto veličín. Z rozloženia indexu lomu  $n(x, y)$  možno pomocou stavových rovníc pre jednotlivé látky určiť rozloženie teplôt za atmosférického tlaku. Funkčná závislosť teploty od stavových veličín okolitého prostredia, od dĺžky skúšobného telesa, vlnovej dĺžky svetla (je zahrnutá v konštante) a od počtu tmavých prúžkov od miesta homogénneho prostredia, pričom teplota okolia zodpovedá nultému interferenčnému rádu, bola stanovená podľa (Pavelek a kol., 2007):

$$T(x, y) = \frac{T_{\infty}}{1 + \frac{r T_{\infty} \Delta S(x, y) \lambda}{K p L}}, \quad (1)$$

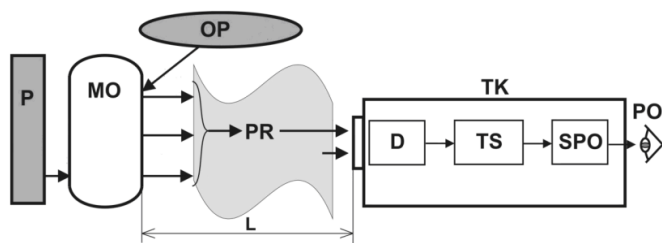
- $T(x, y)$  – rozloženie teplôt,  
 $T_{\infty}$  – teplota vzduchu v referenčnej oblasti,  
 $r = R / M$  – plynová konštanta,  
 $K$  – Gladston-Daleova konštanta,  
 $p$  – tlak plynu,  
 $\Delta S(x, y)$  – zmena interferenčného rádu,  
 $\lambda$  – vlnová dĺžka svetla,  
 $L$  – dĺžka dvojrozmerného objektu.

## 2.2 Metóda termografie

Bezkontaktná termografia (termovízia, infratechnika) zahŕňa metódy pre zobrazovanie teplotných polí na povrchu snímaných telies (rozloženie povrchových teplôt), ktoré je reprezentované energiou a hustotou fotónov emitovaných z povrchu snímaného telesa a jeho hodnotením – kvantifikáciou. Je to v podstate zobrazovací systém transformujúci informáciu o rozložení teploty na povrchu snímaného objektu zosnímanú v infračervenom spektre na obraz viditeľný ľudským okom. Správnym vyhodnotením – kvantifikáciou nasnímaného teplotného poľa telesa (termogramu) získame údaje o jeho hodnotách a rozložení (TermoTechna, 2005).

Scénu zaznamenávanú na termovíziu kameru ovplyvňujú rôzne faktory a menia tým povrchový teplotný reliéf meraného objektu (Obrázok 2).

Radiačný tok, detegovaný termovíziou kamerou, je okrem vlastného zaznamenávaného objektu ovplyvňovaný teplotou a transparentiou atmosféry, ochladzovaním objektov prúdením vzduchu a smerom vyžarovania ich povrchov.

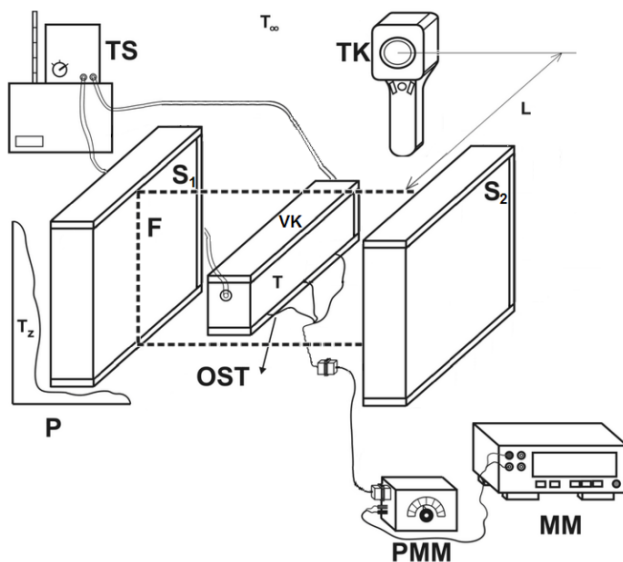


Obrázok 2 Usporiadanie objektov pri meraní termovíznou kamerou  
(Černecký a kol., 2012)

P – pozadie, MO – meraný objekt, OP – okolité prostredie, PR – prostredie o dĺžke L, TK – termovízna kamera, PO – pozorovateľ obrazu, D – detektor (snímač), TS – transformácia videesignálu a prenos obrazových údajov, SPO – syntéza a prezentácia obrazu, L – dĺžka prostredia (vzdialenosť medzi meraným objektom a objektívom termovíznej kamery)

Experimentálne meranie termovíznou kamerou bolo zamerané na záznam teplotných polí v okolí vyhrievaného štvorhranu pre prípad ustáleného tepelného procesu. Dvojrozmerné teplotné polia boli získané termovíznou kamerou FLIR typu i7 (Obrázok 3).

Teplotu povrchu objektu možno určiť podľa vzťahu (Pavelek a kol., 2007):



Obrázok 3 Experimentálne usporiadanie pre meranie teplôt pomocou termovíznej kamery

TS – termostat, VK – vyhrievaný štvorhran, F – fólia (vizualizačný prvok),

TK – termovízna kamera,  $S_1$ ,  $S_2$  – stena, P – pozadie, OST – odporové snímače teploty,

PMM – prepínač meracích miest, MM – multimeter, L – vzdialenosť objektívu termovíznej kamery od fólie,

$T_z$  – teplota pozadia,  $T_\infty$  – teplota okolitého prostredia,

T – teplota vyhrievaného povrchu



$$T = \sqrt[4]{\frac{M_{CK} + T_K^4 - (1 - \varepsilon) \cdot T_r^4}{\sigma_0 \cdot \varepsilon}}, \quad (2)$$

- $M_{CK}$  – hustota tepelného toku žiarenia medzi objektami pred kamerou a kamerou,  
 $\sigma_0$  – Stefanova-Boltzmanova konštanta,  
 $T_K$  – teplota termovíznej kamery,  
 $T_r$  – stredná radičná teplota okolitého prostredia,  
 $\varepsilon$  – emisivita meraného objektu.

Výsledky merania transparentných objektov pomocou termovízie treba brať obozretne a je vhodné ich doplniť resp. overiť z hľadiska presnosti nejakou inou metódou. Aby sme mohli vizualizovať transparentné prostredie, dávame tam ďalší prvok (fóliu, alebo papier s optimálnou emisivitou) a teda potom sa jedná o nepriamu metódu, ktorá je ovplyvnená ďalšími parametrami ako je teplota okolitých plôch, koeficient osálenia a emisivita povrchu materiálu vizualizačného prvku. V prípade, že má materiál vizualizačného prvku vysokú emisivitu, potom bude do okolia vyžarovať väčšie množstvo tepla a výsledná rovnovážna teplota nebude zodpovedať teplote okolitého meraného vzduchu. Naopak, ak materiál vizualizačných prvkov bude mať nízku emisivitu povrchu, potom nameraná výsledná teplota bude ovplyvnená žiarením okolitých predmetov.

### 3 DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY

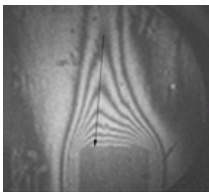
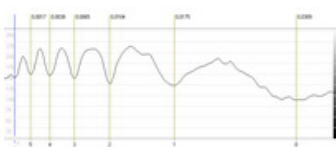
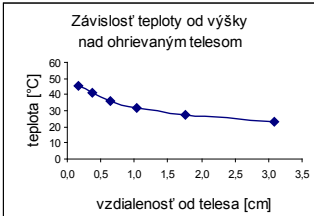
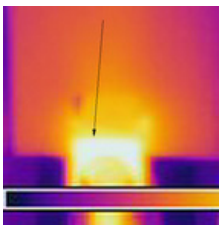
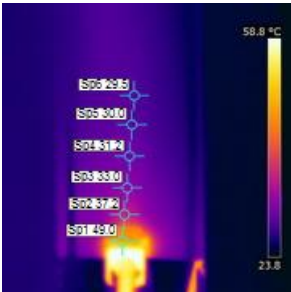
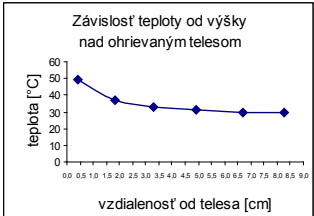
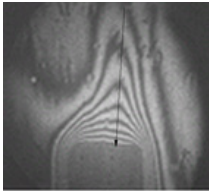
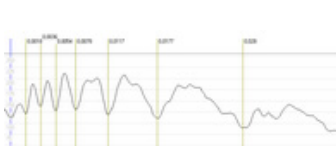
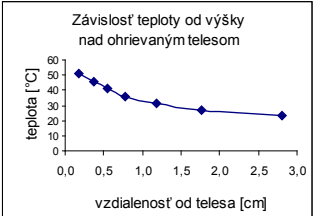
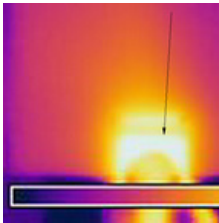

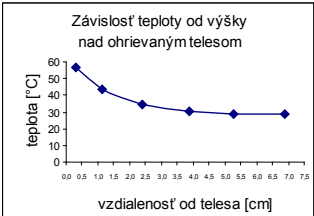
Vlastné experimentálne práce boli zamerané na kvalitatívnu a kvantitatívnu analýzu teplotných polí v okolí vyhrievaného kovového štvorhranu vo vertikálnom kanáli. Pri tepelnom zaťažení štvorhranu dochádza k prestupu tepla. V blízkosti štvorhranu sa vytvorí tepelná medzná vrstva.

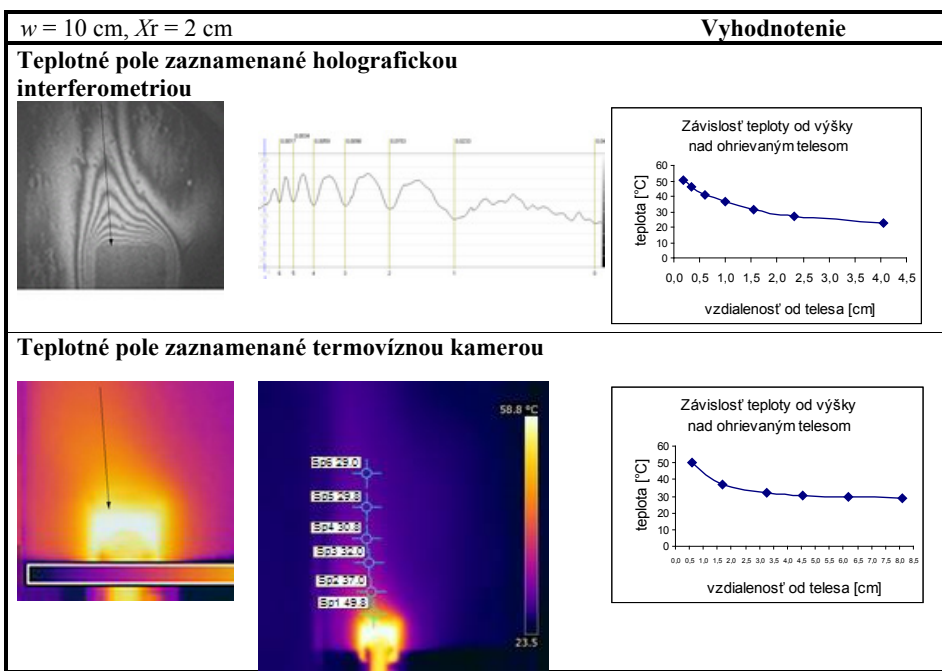
Pri analýze holografických interferogramov sa jednotlivým interferenčným prúžkom priradili hodnoty teplôt na základe fyzikálnych vzťahov a interferometrických rovníc podľa vzťahu (1), ktorý je v konkrétnom prípade funkčnou závislosťou teploty od interferenčného rádu  $T = f(S)$ . Zo zaznamenaných a vyhodnotených (analyzovaných) holografických interferogramov bolo možné upresniť a zviditeľniť jednotlivé teploty.

V Tabuľke 1 sú zaznamenané teplotné polia v okolí vyhrievaného štvorhranu pomocou holografickej interferometrie a pomocou termovíznej kamery a ich vyhodnotenie.

Experimentálne termovízne merania boli urobené pomocou termovíznej kamery typu FLIR, ktorú možno používať pri vizualizácii teplotných polí. Na základe týchto tepelných obrazov možno detegovať aj najmenšie teplotné rozdiely na povrchu meraného objektu. Použitá termovízna kamera FLIR vytvára rozlíšenie  $240 \times 240 \times 24$  obrazových bodov, môže detegovať najmenšie teplotné rozdiely v širokom rozsahu teplôt.

Tabuľka 1 Teplotné polia vyhrievaného štvorhranu

$w = 6 \text{ cm}, X_r = 2 \text{ cm}$		<b>Vyhodnotenie</b>
<b>Teplotné pole zaznamenané holografickou interferometriou</b>		
		 <p>Závislosť teploty od výšky nad ohrievaným telesom</p>
<b>Teplotné pole zaznamenané termovíznou kamerou</b>		
		 <p>Závislosť teploty od výšky nad ohrievaným telesom</p>
$w = 8 \text{ cm}, X_r = 3 \text{ cm}$		<b>Vyhodnotenie</b>
<b>Teplotné pole zaznamenané holografickou interferometriou</b>		
		 <p>Závislosť teploty od výšky nad ohrievaným telesom</p>
<b>Teplotné pole zaznamenané termovíznou kamerou</b>		
		 <p>Závislosť teploty od výšky nad ohrievaným telesom</p>



#### 4 ZÁVER

Štúdie prenosu tepla sa tradične robia s použitím bežného vybavenia, ako sú termočlánky. Tieto metódy poskytujú iba informáciu týkajúcu sa preddefinovaných bodov. Optické merania a merania pomocou termovíznej kamery poskytujú kvalitatívne a kvantitatívne údaje, ktoré môžu byť užitočné pri určovaní koeficientov prestupu tepla.

Holografické interferometrické metódy umožňujú prostredníctvom zaznamenávaného poľa indexu lomu skúmaného prostredia odvodiť pole teploty a zviditeľniť teplotné polia.

Termovízne metódy umožňujú nekontaktné meranie teploty pre stanovenie rozloženia teplotných polí na povrchu rôznych objektov.

V súčasnosti ostávajú experimentálne metódy významným činiteľom pri štúdiu procesu prenosu tepla. Použité metódy, aplikované na fázovom rozhraní vyhrievaného kovového štvorhranu vo vertikálnom kanáli, umožnili ozrejmiť deje prebiehajúce v prostredí a na fázovom rozhraní medzi materiálom a týmto prostredím pri transporte tepla. Obidve použité metódy umožnili získať celý obraz teplotného poľa pri tepelnom zaťažení vyhrievaného štvorhranu, pričom pozorovaná oblasť nie je narušovaná snímačmi alebo sondami, ktorými sa zisťujú lokálne teploty. Umožnili zaznamenávať okamžité deje v teplotnom poli. Obidve metódy sú vhodné aj na zviditeľnenie rozloženia teplôt v tvare zložitých predmetoch.

Pri experimentoch pomocou termovíznej kamery bol ako vizualizačný prvok použitý hnedý kartónový papier s emisivitou 0,95. Vzhľadom na to, že sme nemali k dispozícii špeciálny vizualizačný prvok – perforovaný papier s vhodnou emisivitou, dochádzalo k odlišnému určeniu teplôt, ktoré boli získané interferometriou v porovnaní s výsledkami získanými termokamerou. V ďalšej fáze výskumu je potrebné dôslednejšie a hlbšie sa venovať problematike presných meraní pomocou termovíznych meraní s využitím vizualizačných prvkov pre rôzne materiály a z toho vyvodit' závery použitia najvhodnejšieho prvku vzhľadom na emisivitu, hrúbku, citlivosť, zmeny teploty. Veľký vplyv na presnosť merania má aj okolité prostredie, pretože každý prvok pôsobí ako žiariv, ktorý termovízna kamera zaznamenáva.

## LITERATÚRA

- BÉRUBÉ DUFOUR, M. – DEROME, D. – TARDIF, M. – ZMEUREANU, R.: 2010. Measurement of air temperature using infrared thermography in rooms equipped with UFAD systems in cold climate. Concordia University. Dostupné on-line: [web.byv.kth.se/bphys/copenhagen/pdf/179-2.pdf](http://web.byv.kth.se/bphys/copenhagen/pdf/179-2.pdf)
- BRODNIANSKÁ, Z.: 2011. Vizualizácia prúdenia plynov pomocou dymu. In: 27. medzinárodná vedecko-odborná konferencia „Technické vzdelávanie ako súčasť všeobecného vzdelávania“, UMB Banská Bystrica, 2011, s. 113–120. ISBN 970-80-557-0265-0
- ČERNECKÝ, J. – KONIAR, J. – BRODNIANSKÁ, Z.: 2012. Možnosti optimalizácie tvaru teplovýmenných plôch výmenníkov tepla s využitím experimentálnych metód a fyzikálneho modelovania. Vydavateľstvo Technickej univerzity vo Zvolene, 173 s. ISBN 978-80-228-2325-8
- KHALED KHODARY – BHATTACHARYYA, T. K. Optimum natural convection from square cylinder in vertical channel. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 27 (2006) 167–180
- PAVELEK, M. – JANOTKOVÁ, E. – ŠTETINA, J.: 2007. Vizualizační a optické měřicí metody. Vysoké učení technické v Brně, 2007. Dostupné on-line: <http://ottp.fme.vutbr.cz/users/pavelek/optika/>
- TERMOTECHNA: 2005. Tepelné a chladové izolácie... Bratislava, 2005. Dostupné on-line: <http://www.termotechna.sk/?s=6&lg=1>
- VALENTOVÁ, K. – ČERNECKÝ, J.: 2011. Analýza teplotných polí v okolí ohrievaného telesa. In: *Acta Facultatis Technicae XVI*, 2011 (1): 153–164

### Kontaktná adresa

doc. Ing. Jozef Černecký, CSc.

Katedra environmentálnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,  
Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 960 53 Zvolen, [cernecky@tuzvo.sk](mailto:cernecky@tuzvo.sk)

Mgr. Elena Pivarčiová, PhD.

Katedra informatiky a automatizačnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,  
Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 960 53 Zvolen, [elena.pivarciova@tuzvo.sk](mailto:elena.pivarciova@tuzvo.sk)

Ing. Ján Koniar, PhD.

Katedra environmentálnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,  
Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 960 53 Zvolen, [koniar@tuzvo.sk](mailto:koniar@tuzvo.sk)

## PREDIKCIA VPLYVU PRODUKTOV KONTAKTNÝCH JAVOV A DEGRADAČNÝCH PROCESOV V PREVODOVOM MECHANIZME

### THE PREDICTION OF CONTACT PHENOMENONS AND DEGRADING PROCESSES INFLUENCE IN A GEARING MECHANISM

**Ján TURIS – Pavel BEŇO – Ján MARIENČÍK – Mária REMPEROVÁ**

**ABSTRACT:** The interruption of fabrication because of the transportation device used between particular stages of the wood processing failure has multiplied negative effect on the woodworking company logistics. One of the methods, how effectively prevent this condition, is to utilize prediction in terms of well timed tribodiagnostic signal by analytic ferrography. There are the level of wear of the workload and regime of wear of the gear mechanism used for the wood transport reviewed in the article.

**Key words:** gear oil, contact gears, wear, tribodiagnostic

**ABSTRAKT:** Prerušenie výroby z dôvodu poruchy dopravného zariadenia využívaného medzi jednotlivými etapami procesu spracovania drevnej suroviny má znásobený negatívny vplyv na logistiku celej drevárskej firmy. Jedným zo spôsobov, ako účinne predísť tomuto stavu, je využitie predikcie vo forme včasného tribodiagnostického signálu prostredníctvom analytickej ferografie. V článku je týmto spôsobom posudzovaná hladina opotrebenia pracovnej náplne a režim opotrebenia prevodového mechanizmu zariadenia slúžiaceho pre dopravu drevnej suroviny medzi agregátmi drevospracujúcej linky.

**Kľúčové slová:** prevodový olej, kontakt ozubenia, opotrebenie, tribodiagnostika

#### 1. ÚVOD

Dnes, keď sa vplyv mnohých ekonomických otrasov a zmien prirodzene alebo umelo globalizuje a znehodnocuje aj tzv. trvalé hodnoty, odborníci na celom svete využívajú maximálnu efektívnosť už vo vývoji, následne vo výrobnom procese, v prevádzke a taktiež aj v starostlivosti o všetky technické zariadenia. Všetky uvedené etapy by mali v modernej konkurencieschopnej firme mať navzájom obojsmerne pružne previazaný tok informácií o vplyvoch a zmenách výrobných prostriedkov.

Používaním konštrukčných jednotiek dochádza v jednotlivých komponentoch, väzbách medzi nimi a v ich materiáloch k postupným alebo skokovým zmenám, ktoré charakterizujeme ako starnutie a opotrebenie. V kriticky exponovaných miestach strojových uzlov sa najskôr objavujú kumulatívne prejavy týchto degradačných procesov formou spojitých a nespojitých nevratných zmien, čo má za následok vznik porúch (Williams, 2005).

Nevyhnutným dôsledkom sú straty času, materiálu a energie, ktoré môžu byť v závislosti na zložitosti výrobu, resp. zariadenia a taktiež v závislosti na jeho postavení v technologickom procese veľmi vysoké. Predikčná diagnostika pomáha určovať vývoj pozorovaných parametrov stroja alebo výrobu a pokiaľ sa veľkosti týchto parametrov odlišujú od obvyklých hodnôt a dokonca sa približujú k svojim predpokladaným limitným obmedzeniam, pristupuje sa k preventívnym úkonom a k vhodným technickým úpravám. Hlavným ekonomickým prínosom je následné zachovanie funkčnosti, t. j. spoľahlivosti zariadenia (Turis, 2004).

## 2. DIAGNOSTIKOVANÉ ZARIADENIE

Výrobné linky drevospracujúceho priemyslu sú zložité a kapitálovo náročné komplexy, ktoré majú výrobcom odporúčaný plán starostlivosti a údržby zostavený v rozhodujúcej miere empiricky. Presne táto situácia inšpirovala odborníkov zodpovedných za plynulý chod výrobných liniek k získaniu predbežných informácií o možných nečakaných zmenách v spoľahlivosti chodu vybraných strojových zariadení, pretože nie všetky majú spoľahlivo prepracovaný systém, pomocou ktorého by bolo možné predchádzať poruchám, či už menšieho alebo väčšieho rozsahu a následnému vplyvu na stratovosť výroby. Ponúkajú sa viaceré možnosti, ktoré by mohli toto miesto vyplniť a priamo zvýšiť efektívnosť výrobných prevádzok a predĺžiť životnosť zariadenia.

Diagnostika predikujúca možný nepriaznivý režim opotrebenia strojového zariadenia bola aplikovaná v prevádzke drevospracujúceho priemyslu, kde sú hlavným produktom bukové a dubové podvaly, doskové rezivo, prírezy a vedľajší produkt sú piliarske boky a priemyselná štiepka. Prístrojové zariadenie skúmanej drevárskej linky má vysoký stupeň mechanizácie a automatizácie. Hlavné strojové zariadenie v tejto prevádzke je frézopásový agregát a kmeňové pásové píly. Privezená guľatina je dávkovaná od vstupu do linky pohyblivými dávkovačmi na posuvný dopravník. Polotovar potom prechádza na skracovanie do skracovacej stanice. Po skrátaní je odkôrnený. Po odkôrnení prechádza guľatina cez merací dopravník, kde sa merajú jej parametre a na základe merania sa z nej vyrábajú podvalové prizmy na frézopásovom agregáte a doskové rezivo na kmeňových pásových pilách Canali Pacific. Hlavnému agregátu a pásovým pílam je predradený dopravníkový uzol pre guľatinu. Rezivo od kmeňových pásových píl je potom dopravené triediacim dopravníkovým systémom do skladových kliebok. Krajnice sú dopravované k sekaciemu agregátu.

V minulosti už bol bezdemontážne diagnostikovaný hydraulický systém frézopásového agregátu s cieľom získania komplexnejšej informácie o potrebe výmeny najväčšej 480 litrovej olejovej náplne, ktorá zabezpečuje chod kapitálovo najnáročnejšieho zariadenia linky a dopĺňa systém hydraulických valcov slúžiacich pre vykladanie, resp. dávkovanie guľatiny na dopravníky.

Predmetom terajšieho skúmania bolo hlavné prevodové zariadenie najexponovanejšieho reťazového dopravníka umiestneného pred pásovými pilami. Viedol k tomu fakt, že plánovaná kontrola stavu hladiny a následné doplňovanie oleja už nepostačovalo a pracovníci údržby s mazacím technikom zaznamenávali nárast nepravidelností v chode poháňaného dopravného zariadenia. Starší už raz obnovený kužeľovočelný prevodový mechanizmus G1070 s výkonom do 97 kW dodávaný na mieru pôvodne pre firmu Canali bol poháňaný elektromotorom a chránený poistnou spojkou proti preťaženiu. Prevodovka bola plnená olejom MADIT PP 90, ktorého charakteristiku uvádza tabuľka 1.

Tabuľka 1 Vlastnosti prevodového oleja MADIT PP – 90

Viskozitná trieda		SAE 90
Výkonnostný profil		API GL-4
Názov skúšky	Jednotka	Typická hodnota
Kinematická viskozita pri 100 °C	mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	14,5
Viskozitný index (VI)	–	87
Bod tuhnutia ASTM D 97	°C	-24
Bod vzplanutia ASTM D 92	°C	220

### 3. TRIBOTECHNICKÁ DIAGNOSTIKA

Jednou z významných metód predikčnej diagnostiky je analytická ferografia. V získaných vzorkách mazacieho alebo tlakového, resp. pracovného média sú podrobne analyzované častice produkované v hlavnej miere mechanizmom opotrebovania kontaktných povrchov a degradačným procesom samotného média. Táto bezdemontážna diagnostická metóda umožňuje stanoviť hladinu opotrebenia mazadla a priblížiť režim opotrebenia diagnostikovanej časti stroja v súčinnosti s poznatkami o materiálovej základni konštrukcie skúmaného tribouzla. Na základe morfológie oterových častíc a ich počtu je možné s predstihom určiť vznik nepriaznivého, resp. medzného alebo havarijného opotrebenia.

Pre získanie ďalších podstatných triboinformácií nenahraditeľne dopĺňajúcich celkový pohľad na stav pracovného média a ním mazaného ústrojenstva bol skúmaný obsah celkových nečistôt, kinematická viskozita a stanovená prítomnosť vody v oleji.

Odber vzoriek prevodového oleja z prevodovky bol realizovaný podľa STN EN ISO 3170: 2004-06 ihneď po odstavení zariadenia vždy následne po prvej a druhej pracovnej smene. Časový interval medzi jednotlivými odbermi vzoriek bol 96 hodín pracovného chodu zariadenia.

Interval odberu vzorky je dôležitý pre sledovanie objektov, u ktorých je pravdepodobnosť vzniku postupných porúch. Okrem rýchlosti vzniku častíc opotrebenia je potrebné uvažovať aj s chemickými procesmi v olejovej náplni, filtráciou, sedimentáciou a ďalšími vplyvmi (Kučera, 2007).

Vzorkovanie bolo vykonané z dvoch plniacich otvorov (hlavný a náhradný plniaci otvor) v mieste dvoch až troch päťín celkovej výšky stavoznaku hladiny olejového stĺpca, resp. olejového kúpeľa so zohľadnením premiešania náplne, jej pracovnej teploty a vylúčenia ďalších faktorov smerujúcich k nereprezentatívnosti vzorky.



Odobraté exploatované vzorky boli po riedení a príprave podrobené feroskopickej analýze. Pre spracovanie vzoriek a vyhotovenie ferogramov bol použitý ferograf MA-1 a optické skúmanie produktov režimu opotrebovania bolo vykonané na bichromatickom mikroskope. Feroskopia využívajúca mikroskopické metódy zisťovania morfológie oterových častíc uložených na ferograme bola doplnená o ferodenzimetriu. Ferodenzimetria je založená na princípe snímania ferografickej stopy za účelom vyhodnocovania jej denzity. Zistená transmitancia v meracom prístroji je pomocou logaritmického vzťahu prepočítavaná na absorpciu, t. j. denzitu a pomocou tejto veličiny bol kvantitatívne vyhodnocovaný režim opotrebovania.

Pre ferodenzimetrické hodnotenie vzoriek bol využitý priamočítajúci magnetický ferometer. Prostredníctvom fotodenzimetra zabudovaného v prístroji boli určené hodnoty absorpcie v mieste „L“ veľkých častíc na ferograme a absorpcie v mieste „S“ malých častíc z každej odobranej vzorky. Hodnoty absorpcií vzoriek boli použité pre určenie ferometrických charakteristických parametrov:

- pre pomernú koncentráciu častíc opotrebovania (WPC),
- pre percento veľkých častíc opotrebovania (PLP).

Pre stanovenie kinematickej viskozity podľa STN EN ISO 3104 bol využitý Ubbelohdeho viskozimeter ponorený po normovanom naplnení do vytemperovaného vodného kúpeľa. V súlade s predpísaným postupom a zmeraní prietokových časov bola vypočítaná kinematická viskozita následne zaokrúhlená na dve desatinné miesta.

Voda v mazacom médiu je nežiadaným činiteľom, pretože atakuje v hlavnej miere všetky vnútorné kovové súčasti a narušuje ich povrch oxidáciou. Prítomnosť vody bola zisťovaná zariadením CCT INFRA nahriatím hornej misky a sledovaním sprievodnej tvorby bubliniek vo vzorke. Týmto prístrojom v kombinácii s príslušnou sondou bola posudzovaná aj miera znečistenia oleja charakterizovaná Conradsonovým karbonizačným číslom (CN).

Je predpoklad, že bod vzplanutia by nemal mať v nami skúmanom prípade žiadnu výpovednú hodnotu, pretože diagnostikovaný prevodový mechanizmus, podľa informácií mazacej služby, nebol mazaný použitým motorovým mazivom, čo sa v praxi niekedy vyskytuje a prevodový olej neprichádzal do styku s nádobami kontaminovanými palivom.

#### 4. VÝSLEDKY ANALÝZY

Hladina opotrebovania *W.P.C.* (Wear Particles Concentration):

$$W.P.C. = \frac{D_L + D_S}{1800} \cdot 100 \quad (\% \text{ ml}^{-1}). \quad (1)$$

Intenzita opotrebovania *P.L.P.* (Percent of Large Particles):

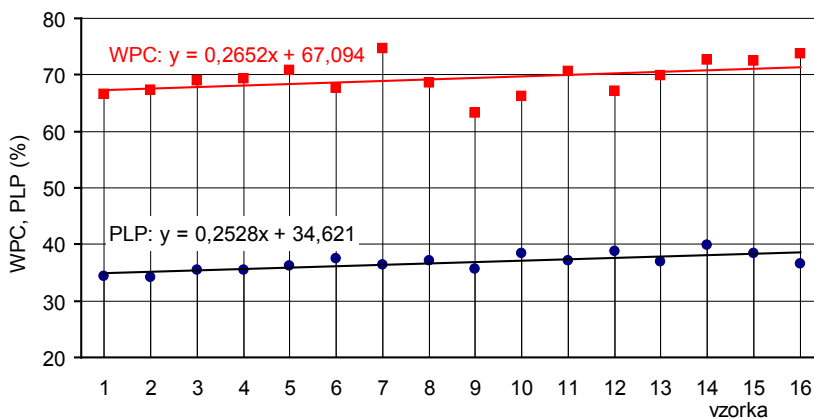
$$P.L.P. = \frac{D_L \cdot k}{D_L + D_S} \cdot 100 \quad (\%). \quad (2)$$

$D_L$  – digitalizovaná denzita transmitancie v mieste „L“ ferogramu,

$D_S$  – digitalizovaná denzita transmitancie v mieste „S“ ferogramu,

$k$  – koeficient zohľadňujúci denzitu transmitancie v mieste „L“ (Al Hakim, 2002).





Obrázok 1 Hladina a intenzita opotrebenia

Režim opotrebenia je reprezentovaný hodnotami jeho hladiny a intenzity získaných výpočtom z nameraných hodnôt v priamočítajúcom magnetickom analyzátore častíc PMA 87.

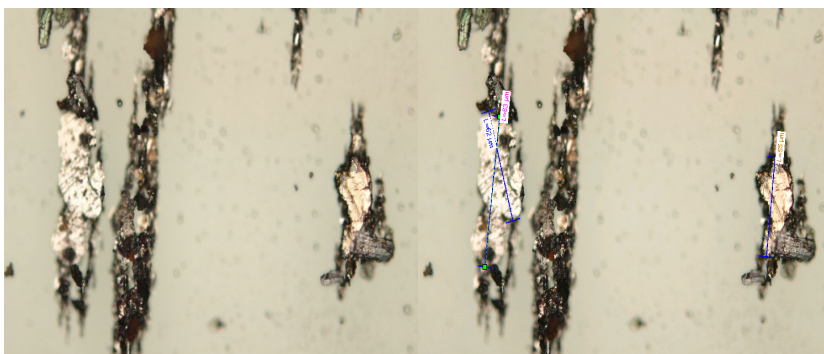
Častice obsiahnuté v oleji sa prípravným riedením a miešaním najskôr rozdelili a následne usadili vplyvom silného divergentného magnetického poľa na sklenenej kapiláre v prístroji na miestach snímaných infradiódami. Hodnoty vygenerované priamo analyzátorom boli dosadené do vzťahov (1) a (2). Výsledky tejto analýzy sú prezentované v obrázku 1.

Pomerná koncentrácia veľkých a malých oterových častíc určujúca trend hladiny opotrebenia pracovného média sa pohybovala v rozmedzí 63 až 74 %. Percento veľkých častíc prezentujúce intenzitu opotrebenia stroja systematicky vzrastalo od hodnoty 34 %.

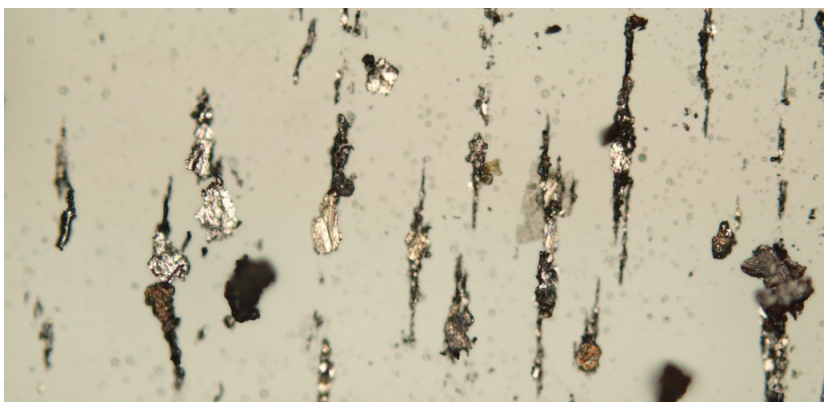
V ďalšom kroku bolo nutné doplniť kvantitatívnu analýzu o posúdenie morfológie produktov oteru. Na to poslužil už spomínaný prístroj MA-1, ktorého produktom je ferogram.



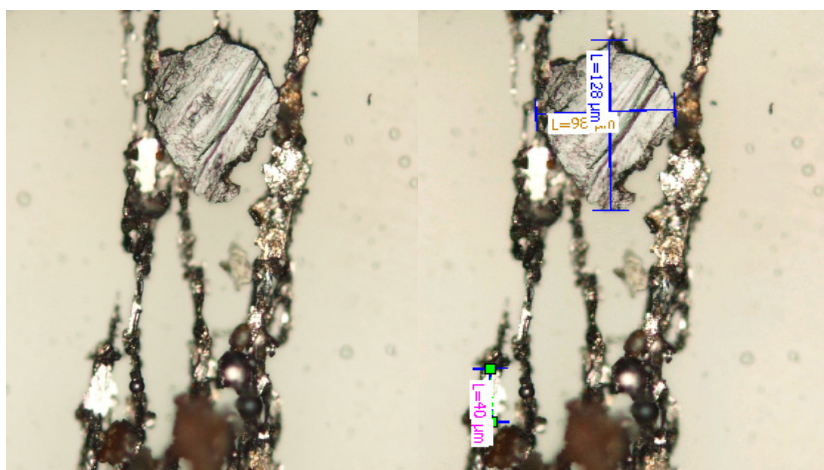
Obrázok 2 Veľké množstvo sférických ložiskových únavových častíc v pozícii „L“ a v hornej časti obrázku prítomnosť abrazie



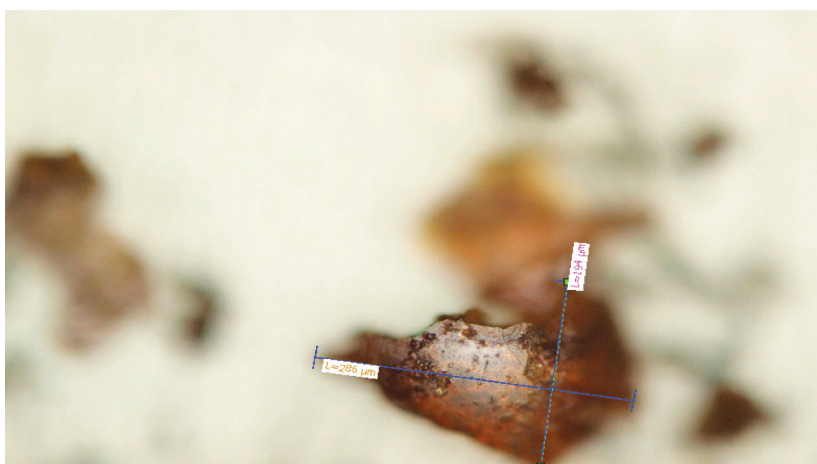
Obrázok 3 Najpočetnejšie zastúpené laminárne únavové častice



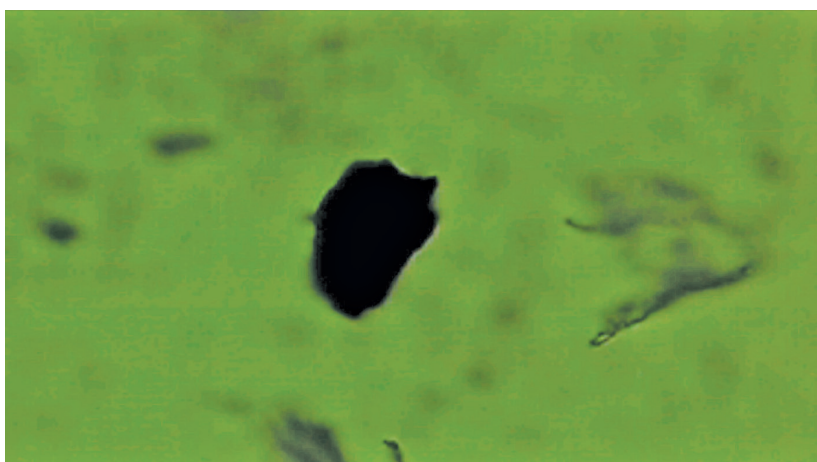
Obrázok 4 Prevládajúci typ únavových častíc na konci pozície „L“



Obrázok 5 Častica medzného opotrebenia



Obrázok 6 Veľká častica hrdze

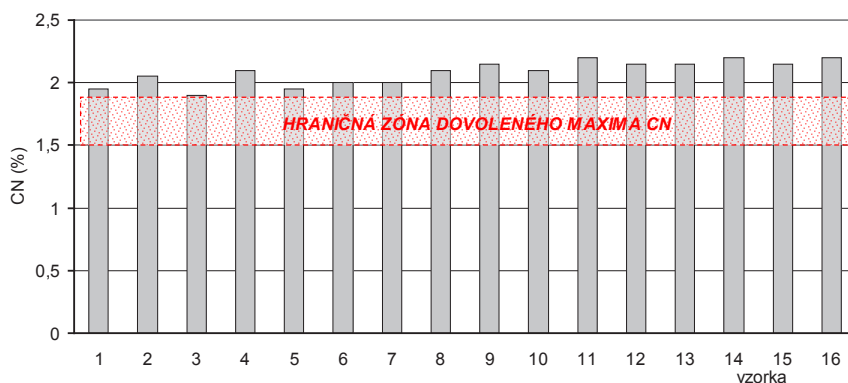


Obrázok 7 Diamagnetická častica pochádzajúca z tesnenia

Vybrané príklady snímok zorného poľa mikroskopu z vyhotovených ferogramov uvádzajú obrázky 2 až 7. Veľké oterové častice zastúpené denzitou  $D_L$  v mieste „L“ mali spravidla rozmer väčší ako  $15 \mu\text{m}$  a malé častice monitorované v mieste „S“ boli s rozmermi 2 až  $5 \mu\text{m}$ .

Pravdepodobne preťažovaná prevodovka produkovala do oleja značné množstvo veľkých únavových častíc. V pozícii „L“ ferogramov boli zoskupené častice s rozmermi niekoľko desiatok  $\mu\text{m}$ , v niektorých prípadoch až stoviek  $\mu\text{m}$ . Rozdiel bol v morfológii týchto častíc. Mnohé niesli na svojom povrchu stopy po ťahaní a tečení materiálu, čo poukazuje na miesto vzniku, ktorým môže byť koreň, resp. hlava zuba, čiže miesto, kde je najvyššia rýchlosť klzu protizuba. Predpokladané je tam opotrebenie typu „scoring“ a „scuffing“.

V polarizovanom svetle boli vidieť aj oxidové časti alfa-hematitu ako následku vyššieho teplotného zaťaženia povrchu zubov a prítomnosti vody v oleji. Vo ferogramoch sa nachádzali v prekvapivo veľkom množstve sférické častice hlásiace vážne opotrebenie valivých ložísk. Opotrebenie tesniacich krúžkov sa prejavilo výskytom častíc diamagnetickej povahy v dolnej odtokovej zóne ferogramov.



Obrázok 8 Obsah celkových nečistôt v oleji

V obrázku 8 je zdokumentované zisťovanie výskytu nečistôt v prevodovej olejovej náplni. Vo všetkých odobratých vzorkách bolo indikované hraničné, z pohľadu súčasných odporúčaní výrobcov mazív už nadmerné množstvo nečistôt. Dnes sa hranice prípustného množstva nečistôt posúvajú smerom nadol. Z výsledkov analýzy vyplýva prekročenie maximálnej hranice 1,8 % pre prevodové oleje.

Prítomnosť vody v mazive bola zisťovaná vo všetkých vzorkách. Na vyhrievaciu misku prístroja CCT INFRA boli kvapnuté tri kvapky diagnostikovaného oleja a meranie začalo po indikácii dostatočného zohriatia vzorky. Potom bola vzorka ohrievaná programovo. Nasledovalo pozorovanie stanovením počtu a veľkosti bubliniek so sprevádzajúcim prejavom vo forme intenzívneho praskania. Nepopierateľná prítomnosť vody spôsobovala najprv na okrajoch a postupne na celom povrchu misky prístroja, počas každého merania, tvorbu bubliniek sprevádzanú penením oleja. Bublinky sa sústreďovali do zhlukov a po spojení vytvárali väčšie bubliny. Takto sa správali všetky odobraté vzorky, snáď pri tretej vzorke, t. j. po 288 h chodu zariadenia od začiatku monitoringu, by sa dalo predpokladať prípustné percento vody v objeme maziva. Všetky ostatné vzorky vykazovali už limitný 2 % až neprípustný, vyšší objem vody v prevodovom oleji.

Príliš nízka hodnota kinematickej viskozity spôsobuje nadmerné opotrebovanie tribosystému a vysoká spôsobuje pomalé reakcie mazaných súčastí. Meranie bolo vykonané na odobratých vzorkách s časovou postupnosťou zhodnou s meraním celkových nečistôt. Tendencia viskozity mala vzrastajúci charakter, ale v prevažnej miere sa tak dialo ešte v hraničnom pásme 20 % od hodnoty uvádzanej výrobcom oleja.

## 4. DISKUSIA A ZÁVER

Voda v extrémnych prípadoch vytvára emulziu, má tendenciu znižovať viskozitu maziva, má nepriaznivý vplyv na oxidačnú stabilitu oleja a podporuje vytváranie kalov. Niektoré zložky prísad aditívovaných olejov majú k vode veľkú afinitu a sedimentáciou sa z maziva vylučujú. Voda má tiež veľký vplyv na koróziu mazaných súčastí. Voda je teda faktor, ktorý v prípade tejto prevodovky hrá nesporne negatívnu úlohu v miere, v akej je prítomná.

Na základe nameraných hodnôt bolo možné konštatovať, že režim trenia vysoko prekračuje normálne hodnoty, čo zodpovedá blížiacemu sa havarijnému stavu trecích miest v prevodovke. Zhoršený technický stav dokumentujú pribúdajúce špirálovité a ubúdajúce adhezívne častice vo ferogramoch. Faktory ako abrazia trecích plôch vyvolaná „scoringom“ a prítomnosťou, resp. ryhovaním pomerne veľkými kremíkovými časticami, intenzita a hladina opotrebovania priam volajú po urýchlennom odbornom zásahu zo strany údržby. Rozhodne nebude postačovať výmena oleja, filtra a prepláchnutie prevodovky. Režim trenia a opotrebovania skúmaného strojového zariadenia nie je dobrý.

## 5. SUMMARY

Results reached by this observation confirmed effective utilization of tribotechnical diagnostic at care about equipment in woodworking industry. The essential idea is that watched quantities enable us to predict possible defects of equipment without interruption of its operation. Ferrographic analysis is a predictive method for determining equipment condition long before signals of wear are detected. Ferrography detects particles of ferrous, nonferrous, and nonmetallic materials that are generated at the contact surfaces of moving parts. These particles are analyzed and changes from previous results indicate a developing mechanical problem. If sufficient information concerning the equipment's metallurgy is available, analysts may be able to determine which gear, bearing, or other part is worn. The size, number, composition and type of particles will indicate the severity of the wear.

## 6. LITERATÚRA

- AL HAKIM H. – BLAŽOVSKÝ, J. 2002. *Tribológia a servis strojov*. Prešov: FVT, 2002, 227 s. ISBN 80-7099-875X
- KUČERA, M. 2007. *Zlepšovanie termooxidačnej stability biologicky rozložiteľných olejov na repkovo-mazivom základe vhodných pre hydraulické obvody a prevodové skrine lesných strojov*. Habilitačná práca. Zvolen: TU, 2007, 154 s.
- TURIS, J. – SEKEREŠ, J. 2004. *Representative Sample – Superior Means of Ferrography*. In: *Quality and Reliability of Machines*. Nitra: SPU, 2004, pp. 383–387. ISBN 80-8069-369-2
- WILLIAMS, J. A. 2005. *Engineering Tribology*. New York: Cambridge University Press, 2005, 488 p. ISBN 978-0-521-60988-3

**Kontaktná adresa:**

Ing. Ján Turis, PhD., doc. Ing. Pavel Beňo, PhD., Ing. Ján Marienčík, Ing. Mária Remperová  
Katedra mechaniky a strojnictva  
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky  
Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 960 53 Zvolen  
jan.turis@tuzvo.sk



## VPLYV INTENZITY A CHROMATICKOSTI OSVETLENIA NA PRACOVNÝ VÝKON

### EFFECT OF ILLUMINANCE AND COLOUR TEMPERATURE ON WORK PERFORMANCE

Miroslav DADO – Silvia SLANČÍKOVÁ – Richard HNILICA

**ABSTRACT:** This paper describes results from a laboratory experiment designed to investigate the effects of selected parameters of lighting on work performance. Factorial design was employed with two independent variables: illuminance (10, 20, 50, 100, 200, 400, 800, 1600 lx) and colour temperature (2700, 4100 and 6500 K). As the dependent variable was selected work performance (time required to perform task). Analysis of variance (ANOVA) was used to evaluate the effects of the different independent variables on the dependent measure collected in the experiment. The results of the study showed that the effects of illuminance were all had a statistically significant effect on working performance. Effect of colour temperature was not confirmed.

**Key words:** lighting, illuminance, colour temperature, work performance

**ABSTRAKT:** Príspevok popisuje výsledky laboratórneho experimentu, ktorý bol navrhnutý so zámerom zistiť, akým spôsobom ovplyvňujú vybrané parametre osvetlenia pracovný výkon človeka. Faktoriálny návrh využíval dve nezávislé premenné: intenzitu osvetlenia (10, 20, 50, 100, 200, 400, 800, 1600 lx) a teplotu chromatickosti (2700, 4100 and 6500 K). Závislú premennú predstavoval pracovný výkon, ktorý bol vyjadrený časom potrebným na vykonanie pracovnej úlohy. Štatistická analýza nameraných hodnôt bola spracovaná s použitím analýzy variancie (ANOVA). Výsledky experimentu dokazujú štatisticky významný vplyv osvetlenosti na pracovný výkon. Vplyv teploty chromatickosti osvetlenia potvrdený nebol.

**Kľúčové slová:** osvetlenie, osvetlenosť, teplota chromatickosti, pracovný výkon

## 1 ÚVOD

Vhodné osvetlenie pracovných miest patrí medzi základné predpoklady k tomu, aby zamestnanci mohli vykonávať pracovné úlohy presne a efektívne. Súbor požiadaviek na osvetlenie pracovných miest vychádza z hľadiska zabezpečenia zrakovéj pohody, zrakového výkonu a bezpečnosti (Drahoš, 2011). Okrem kvantitatívnych požiadaviek na udržiavanú osvetlenosť miest zrakových úloh sú v relevantných legislatívnych predpisoch ustanovené aj kvalitatívne požiadavky na ostatné parametre osvetlenia (napr. rovnomernosť, oslnenie, smerovosť svetla, podanie farieb a vnímanie farby svetla či stálosť).

Vplyv intenzity osvetlenia na produktivitu práce bol v ostatnej dekáde predmetom viacerých terénnych štúdií. Väčšia časť z nich bola realizovaná v kancelárskych priestoroch a skúmala vplyv osvetlenia na produktivitu práce administratívnych zamestnancov (napr. Escuyer a Fontoynt, 2001; Moore a kol., 2003; Veitch a Newsham, 2000). Výsledky výskumu vplyvu osvetlenosti na pracovný výkon zamestnancov v podmienkach priemyselnej výroby (napr. van Bommel a kol., 2002; Juslen, 2007) naznačujú, že zvýšenie intenzity osvetlenia vedie k zvýšeniu produktivity práce. Podľa Drahoša (2011) má vyššia osvetlenosť a vyššia teplota chromatickosti ekonomický prínos v podobe kvalitnejšej práce, zníženia stresu, lepšieho využitia pracovného času a zníženia práceneschopnosti.

Pracovný výkon (z angl. task performance) tvoria tri zložky: zrakový výkon (z angl. visual performance), motorický výkon (z angl. motoric performance) a kognitívny výkon (cognitive performance). Cieľom štúdie je zistiť, či má veľkosť intenzity osvetlenia miesta zrakovej úlohy (pracovnej úlohy) a teplota chromatickosti vplyv na zrakový výkon a s ním spojený pracovný výkon človeka.

## 2 MATERIÁL A METÓDY

Experiment prebiehal v laboratórnych podmienkach a bol založený na meraní času potrebného na realizáciu pracovnej úlohy, ktorá simulovala montážnu aktivitu. Úlohou probanta (žena, vek 24 rokov) bolo prostredníctvom rôznofarebných kolíkov zostaviť na pracovnej ploche vopred určený vzor. Na začiatku každej aktivity boli potrebné kolíky roztriedené podľa farby do štyroch skupín (žltá, oranžová, ružová, červená). Komplikovanosť predurčeného vzoru determinovala stupeň náročnosti pracovnej úlohy (celkový počet stupňov náročnosti  $i = 3$ ).

Čas potrebný na realizáciu pracovnej úlohy bol meraný pomocou stopiek pri ôsmich úrovniach intenzity osvetlenia (počet opakovaní pracovnej úlohy v každej úrovni osvetlenosti ( $j = 8$ )). Pri zmene náhradnej teploty chromatickosti bola nastavená fixná intenzita osvetlenia 800 lx (počet opakovaní pracovnej úlohy v každej úrovni obtiažnosti  $k = 8$ ). Veľkosť intenzity osvetlenia (osvetlenosť) bola monitorovaná luxmetrom (f. Conrad Electronic, typ: MS4).

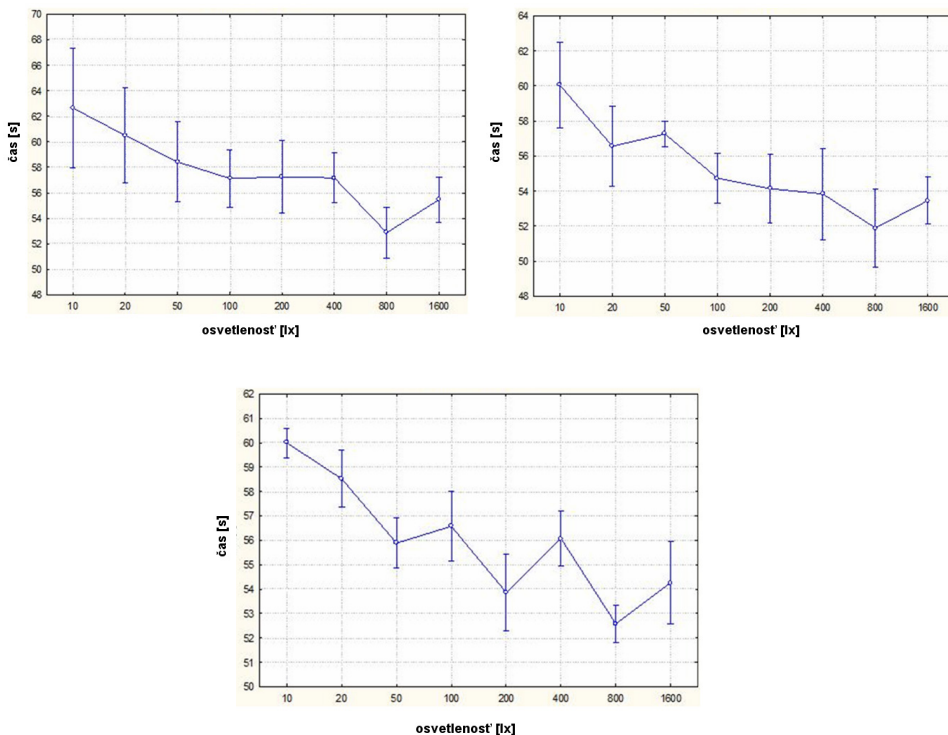
Regulovať intenzitu denného osvetlenia by bolo vzhľadom na jeho premenlivosť značne problematické aj v laboratórnych podmienkach. Z uvedeného dôvodu bol na osvetlenie miesta zrakovej úlohy použitý zdroj umelého osvetlenia a vplyv denného osvetlenia bol eliminovaný – experiment bol realizovaný v miestnosti bez prístupu denného svetla. Zdrojom umelého osvetlenia bola stolová lampa (f. BRILUM, typ: OPUS) so zabudovaným regulátorom intenzity osvetlenia. Ako svetelné zdroje boli použité: žiarovka (f. OSRAM) s výkonom 60 W a náhradnou teplotou chromatickosti 2700 K, kompaktná žiarivka (f. Ecolite, 60 W, 4100 K) a kompaktná žiarivka (f. Philips, 60 W, 6500 K).

Štatistická analýza nameraných dát bola spracovaná prostredníctvom analýzy variancie v štatistickom programe Statistica v. 7 (f. StatSoft).



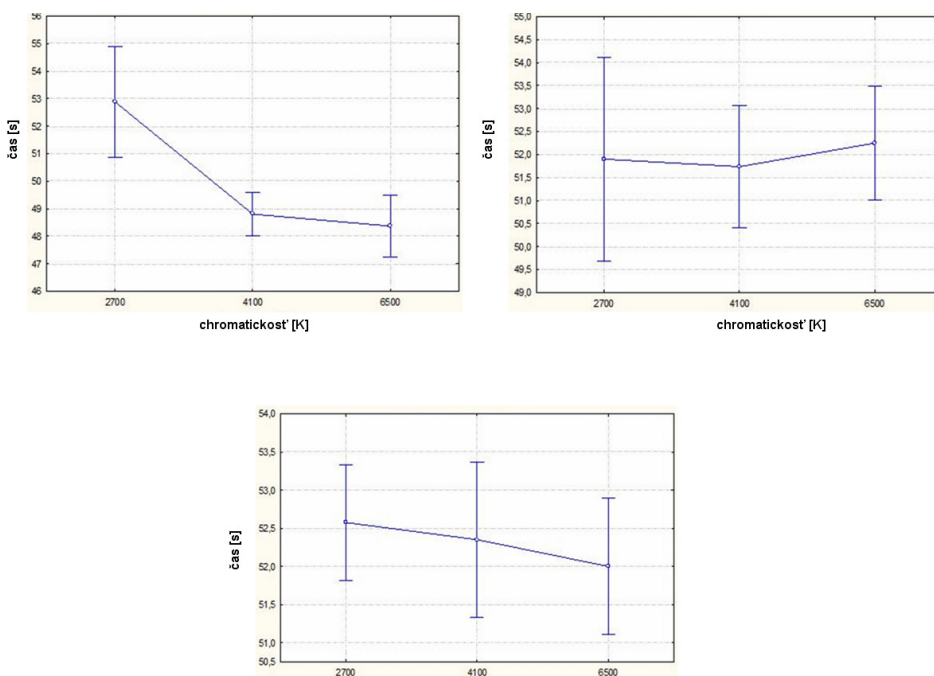
### 3 VÝSLEDKY

Prostřednictvím jednofaktorové analýzy rozptylu (zamietnutím nulovej hypotézy) bolo zistené, že veľkosť intenzity osvetlenia miesta zrakovej úlohy vo všetkých stupňoch obtiažnosti štatisticky signifikantne ovplyvňuje dĺžku trvania pracovnej úlohy. Na obr. 1 sú znázornené priebehy priemerných dĺžok trvania pracovnej úlohy pre jednotlivé úrovne osvetlenia.



Obr. 1 Vplyv osvetlenia na dĺžku trvania pracovnej úlohy pre jednotlivé stupne náročnosti (95%-ný interval spoľahlivosti)

Na obr. 2 sú znázornené priebehy priemerných dĺžok trvania pracovnej úlohy pre jednotlivé úrovne náhradnej teploty chromatickosti – chromatickosť štatisticky signifikantne ovplyvňuje dĺžku trvania pracovnej úlohy len pri prvej úrovni obtiažnosti.



Obr. 2 Vplyv náhradnej teploty chromatickosti na dĺžku trvania pracovnej úlohy pre jednotlivé stupne náročnosti (95%-ný interval spoľahlivosti)

## 4 DISKUSIA A ZÁVER

Osvetlenosť a jej rozloženie v mieste zrakovej úlohy a v jej bezprostrednom okolí má významný vplyv na to, ako rýchlo, bezpečne a pohodlne človek vníma a vykonáva zrakovú úlohu (STN EN 12 464-1, 2011). Výsledky vyššie opísaného experimentu indikujú, že existuje závislosť medzi veľkosťou intenzity osvetlenia a pracovným výkonom, ktorý bol v tejto štúdii vyjadrený prostredníctvom doby trvania pracovnej úlohy. Zaujímavým zistením je fakt, že najväčšie rozdiely v priemerných časoch boli zaznamenané pri nižších úrovniach osvetlenia (do 200 lx). Z toho je zrejmé, že na dosiahnutie očakávanej produktivity práce existuje určitá optimálna úroveň osvetlenia – zvýšenie intenzity osvetlenia nad túto hodnotu už na človeka nebude mať významný pozitívny vplyv, ale skôr naopak: vyžiada si totiž jednak nárast finančných prostriedkov vložených do osvetľovacej sústavy a okrem toho môže byť zdrojom oslnenia.

Pri všetkých troch úrovniach obtiažnosti bolo zistené, že dĺžka trvania pracovnej úlohy bola najkratšia pri osvetlení 800 lx. Pre prvý stupeň náročnosti pracovnej úlohy (poskladanie vzoru 1) bol zistený 18 percentný nárast produktivity pri zmene osvetlenia z 10 lx na 800 lx, pri zmene osvetlenia z 200 lx na 800 lx nárast predstavoval hodnotu 8,2 percenta a napokon pri zmene osvetlenia z 800 lx na 1600 lx bol zaznamenaný pokles o 4,8 %. Podobné hodnoty nárastu produktivity boli namerané aj pre ďalšie dva

stupne náročnosti pracovnej úlohy. V tejto súvislosti si však treba uvedomiť, že na dĺžku trvania pracovnej úlohy mali vplyv okrem intenzity osvetlenia, resp. zrakového výkonu, aj ďalšie faktory (napr. motorický a kognitívny výkon, zapracovanosť – pri opakovaných meraniach nadobudol probant väčšiu zručnosť).

Voľba farebného tónu svetla je záležitosťou psychológie, estetiky a názoru na to, čo sa považuje za prirodzené (STN EN ISO 12464-2, 2009). Výsledky experimentu v prvej úrovni obtiažnosti ukázali zvýšenú produktivitu pri teplote chromatickosti 6500 K o 9,34 % v porovnaní s produktivitou pri chromatickosti svetla 2700 K. Rozdiel v produktivite medzi chromatickosťou 4100 K a 6500 K bol menší ako 1 %. V ostatných dvoch úrovniach obtiažnosti nebola dokázaná štatistická významnosť medzi chromatickosťou osvetlenia a dĺžkou trvania pracovnej úlohy.

Porovnaním výsledkov experimentu s výsledkami štúdií von Bommela (2002) a Jusléna (2007) je možné konštatovať, že hodnoty percentuálneho nárastu produktivity navzájom aproximujú. Na záver je teda možné konštatovať, že výsledky experimentu potvrdili skutočnosť, že medzi zrakovým výkonom a intenzitou osvetlenia existuje štatisticky významná závislosť, zatiaľ čo v prípade chromatickosti svetla sa táto závislosť potvrdila iba v prvej úrovni obtiažnosti. Predmetom ďalšieho výskumu bude zohľadnenie ďalších parametrov osvetlenia, t. j. aký vplyv budú mať na pracovný resp. zrakový výkon človeka napr. rovnomernosť osvetlenia, stálosť osvetlenia, či oslnenie.

## LITERATÚRA

- BOMMEL, W. J., BELD, G. J., OUYEN, M. H. 2002. Industrial lighting and productivity. [online]. Amsterdam: Philips lighting, 2002. [cit. 2010-04-18]. 16 p. Dostupné na internete: <[http://www.lighting.philips.com/in\\_en/applications/industry/pdf/industrial\\_lighting\\_and\\_productivity/pli-0005\\_whitep-uk\\_20sep.pdf](http://www.lighting.philips.com/in_en/applications/industry/pdf/industrial_lighting_and_productivity/pli-0005_whitep-uk_20sep.pdf)>
- DRAHOŠ, R., DRAHOŠ, M. 2011. Zdravotné aspekty denného osvetlenia pri práci. In *Fyzikálne faktory prostredia*, 2011, Roč. 1, Mimoriadne číslo, s. 81–87. ISSN 1338-3922.
- ESCUYER, S., FONTOYNONT, M. 2001. Lighting controls: a field study of office worker's reactions. In *Lighting Research and Technology*. ISSN: 1477-1535, 2001, vol. 33, no. 2, p. 77–96.
- JUSLÉN, H. 2007. Lighting, productivity and preferred illuminances – field studies in the industrial environment. [online]. Helsinki: Helsinki university of Technology, 2007, 74 p. [cit. 2010-03-15]. Dostupné na internete: <<http://2007/lib.tkk.fi/Diss//isbn9789512289622>>. ISBN 978-951-22-8962-2.
- MOORE, T. A., CARTET, D. J., SLATER, A. I. 2003. Long-term patterns of use of occupant controlled office lighting. In *Lighting Research and Technology*. ISSN: 1477-1535, 2001, vol. 35, no.1, p. 43–59.
- STN EN ISO 12 464-1:2011. Svetlo a osvetlenie. Osvetlenie pracovísk. Časť 1: Vnútorne pracoviská.
- STN EN ISO 12 464-2:2009. Svetlo a osvetlenie. Osvetlenie pracovísk. Časť 2: Vonkajšie pracoviská.
- VEITCH, J. A., NEWSHAM, G. R. 2000. Preferred luminous conditions in open-plan offices: Research and practice recommendations. In *Lighting Research and Technology*, ISSN: 1477-1535, vol. 32, no. 4, p. 199–212.

*Autori vyjadrujú poďakovanie Kultúrnej a edukačnej grantovej agentúre MŠVVaŠ SR za podporu vedeckého grantového projektu KEGA 007TUZVO-4/2011, „Pracovné prostredie – príprava virtuálneho laboratória a učebných textov“, v rámci ktorého uvedený príspevok vznikol.*

**Kontaktná adresa:**

Ing. Miroslav Dado, PhD., Katedra výrobných technológií a materiálov,  
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,  
Technická univerzita vo Zvolene,  
Študentská 26, 960 53 Zvolen,  
e-mail: miroslav.dado@tuzvo.sk, tel.: +421 45 5206 864

## MODELOVANIE DETERMINOVANÉHO MECHATRONICKÉHO SYSTÉMU

### MODELLING OF DETERMINED MECHATRONIC SYSTEM

**Peter KOLEDA – Ľubomír NAŠČÁK**

**ABSTRACT:** The article deals with the modelling and simulation of determined positioning system with emphasis placed on possibilities and methods of speed control on corresponding axes by means of a microprocessor control system. Speed control is important with regard to further research activities in the field of trajectory generation of defined shapes. Results of simulation show the dynamical behaviour of the system model at the step change of one input variable which is the transferred torque from driving motor.

**Keywords:** positioning system, speed control, control system, simulation

**ABSTRAKT:** Článok sa zaoberá modelovaním a simuláciou determinovaného polohovacieho systému s dôrazom na možnosti a spôsoby riadenia rýchlosti v príslušných osiach pomocou mikropočítačového riadiaceho systému. Riadenie rýchlosti je dôležité vzhľadom na ďalšie výskumné aktivity v oblasti generovania trajektórie definovaných tvarov. Výsledky simulácií ukazujú dynamické správanie sa modelu systému pri skokovej zmene jednej zo vstupných veličín, ktorou je prenášaný moment z hnacieho motora.

**Kľúčové slová:** polohovací mechanizmus, riadenie rýchlosti, riadiaci systém, simulácia

#### 1. ÚVOD

Modelovanie systémov sa zaraďuje medzi výskumné techniky slúžiace na vyjadrenie, vizualizáciu, analýzu a transformáciu architektúry definovaného systému. Vytvorený validovaný model je určený najmä na overenie správania sa a vlastností modelovaného systému už vo vývojovej a predvýrobnej fáze.

Modelovanie na základe správania reprodukuje požadované vlastnosti a správanie sa originálneho analyzovaného systému pomocou navzájom zodpovedajúcich si podobností medzi originálom a modelom. Často býva založené na základných fyzikálnych vzťahoch, z ktorých vychádza aj matematický koncept (Rapisarda, 2006). Mnohé reálne systémy, obsahujúce komplexné nelineárne premenné, sa nedajú modelovať a identifikovať dostatočne uspokojivo použitím teórie lineárnych systémov. Pre takéto systémy sa môže s výhodou použiť neurónová sieť schopná učiť sa nelineárne vzťahy medzi jednotlivými

premennými (Chen, 1992), príp. iné vhodné modelovacie techniky (umelá inteligencia, fuzzy modelovanie).

Pri opisovaní správania sa modelovaného systému netreba zabúdať na jeho zadefinovanie z pohľadu časovej spojitosti. Veľkú skupinu pritom tvoria hybridné systémy majúce spojité dynamické časové charakteristiky s príležitostnými skokmi, ktoré sú spôsobené zmenou stavu systému kontrolovanými alebo nekontrolovanými externými udalosťami (Carloni a kol., 2004).

V neposlednom rade patria aj trojrozmerné optické snímacie systémy k moderným metódam tvorby modelov a vizualizácie reálnych komponentov, najmä pri výrobe a kontrole zhotovených súčiastok a dielov v automatizovanom výrobnom procese (Čmarada, 2011). Samotná kontrola výrobku však môže prebiehať aj analýzou získaných obrazových snímkov bez nutnosti vytvárania počítačového modelu (Pivarčiová, 2011).

## 2. MATERIÁL A METÓDY

Za účelom modelovania a simulácie je vybraný mechatronický systém s krížovým stolom, ktorý sa môže pri určitom zjednodušení chápať ako zostava mechanickej, elektromechanickej, elektronickej a riadiacej časti. Mechanickú časť pri takomto rozdelení tvorí samotný pohybový mechanizmus, pohybové bloky, prevodový mechanizmus a spojky, ktoré prenášajú otáčavý pohyb z hriadeľa elektromotora na pohybovú skrutku. Elektromechanickú časť vytvára jednosmerný elektromotor charakterizovaný príslušnými elektrickými parametrami, ktorého hlavné časti tvorí permanentný magnet, rotor bez feromagnetických otáčavých častí, rotorové vinutia a hriadeľ opatrený na jednom konci rotačným inkrementálnym snímačom. Podsystemom celého mechatronického systému je aj riadiaca časť so svojimi riadiacimi algoritmi a elektronická časť tvorená polovodičovými H-mostami a obvodom pre spracovanie signálov zo senzorov zapojených v spätnej väzbe riadiaceho obvodu.

Pred vytvorením modelu systému a následnou počítačovou simuláciou s týmto modelom vzniká potreba popisu originálu modelovaného systému, a to v tvare vhodnom pre modelovací a simulačný jazyk. Jednoduché systémy často nie je zložité popísať pomocou rovníc a vzťahov, ktoré najviac vystihujú vzájomné pôsobenie premenných vo vnútri systému a na svoje okolie, či pôsobenie okolia na premenné systému. K takýmto rovniciam môžeme zaradiť napr. diferenciálne rovnice so zodpovedajúcimi počiatočnými podmienkami, ktoré popisujú spojité systémy.

Spomenutý prístup však vyžaduje poznanie vzťahov medzi premennými v systéme a zostavenie diferenciálnych rovníc. Pri zložitých systémoch, skladajúcich sa z veľkého množstva podsystemov, je zostavenie diferenciálnych rovníc zložité a ich výsledný tvar môže byť príliš komplikovaný. Preto sa pri takýchto systémoch opisujú vzťahy vo vnútri systému pomocou prenosu, ktorý v najjednoduchšom tvare predstavuje pomer medzi systémovým výstupom a vstupom, v iných prípadoch sa aj prenos systému môže skladať z čiastkových prenosov a výsledný prenos sa získa na základe algebry prenosov.

Komponenty tvoriace laboratórny mechatronický systém je výhodné modelovať dvomi vybranými spôsobmi. Prvý z nich je založený na experimentálnom prístupe, keď je na základe prechodovej charakteristiky celého systému vypočítaný prenos systému, ktorý

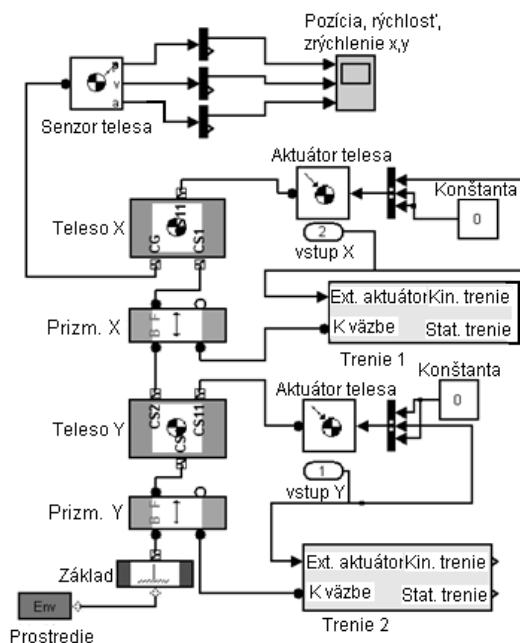
potom tvorí jeho model, a s ktorým je možná počítačová simulácia a návrh číslicového regulačného obvodu. Výhodou je pomerne flexibilný a jednoducho získaný model, ktorý však umožňuje len snímanie vstupnej a výstupnej veličiny – v skúmanom prípade sú to napätie a rýchlosť.

Druhý prístup si vyžaduje vytvorenie počítačových submodelov, ktorých pospájaním je získaný výsledný model. Tento spôsob je náročnejší z hľadiska potreby poznania konštánt a vlastností príslušných komponentov potrebných k správnej funkcii a validácii submodelov. Výsledné modely majú vyššie výpočtové nároky, ich prednosťou však je, že umožňujú snímanie nielen vstupnej a výstupnej veličiny, ale aj veličín a premenných, ktoré prenášajú informácie medzi submodelmi až do najnižšej úrovne.

### 3. RIEŠENIE PROBLEMATIKY

#### 3.1 Model krížového stola v Matlab-e

Model mechanickej časti je znázornený na obrázku 1. Komponenty „Teleso X“ a „Teleso Y“ predstavujú translačné bloky, väzby medzi nimi sú posuvné s definovaným stupňom voľnosti. Aktuačná sila sa prenáša ako moment motora prepočítaný na posuvnú silu použitím prevodového pomeru pohybovej skrutky a je ďalej prenesená na príslušný blok pomocou komponentu „Aktuátor telesa“. Pre modelovanie kinetického a statického trenia je použitý blok „Trenie“. V posuvnej väzbe vzniká tiažou telesa normálová reakcia, ktorá je vstupom do tohto bloku; výstupom z bloku je trecia sila, ktorá pôsobí v posuvnej väzbe,



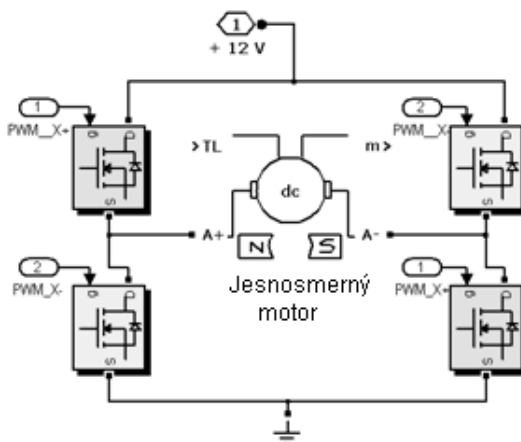
Obrázok 1 Model krížového stola

vytvára teda odpor voči pohybu. Bez trecej sily, vyvolanej normálovou silou a závislej tiež od vektora rýchlosti telesa, by po udelení hybnosti telesu napr. vonkajším impulzom sily nebolo možné toto teleso zastaviť bez toho, aby naň nezačala pôsobiť vonkajšia sila opačne orientovaná ako prvotný silový impulz (Bodnár, 2001).

### 3.2 Elektronická časť

Hardvér riadenia je tvorený napájacím zdrojom, výkonovou časťou a časťou pre spracovanie signálov z jednotlivých snímačov.

Obvod pre napájanie kotvy jednosmerných motorov tvoria impulzové tranzistorové meniče v mostíkovom zapojení (H-schéma), ktoré využívajú princíp riadenia strednej hodnoty výstupného signálu pomocou metódy šírkoimpulznej modulácie (PWM). Model jednosmerného motora s permanentným magnetom spolu s riadiacou elektronikou je znázornený na obrázku 2. V celkovom modeli je ako záťažný moment privedená prepočítaná reakcia v posuvnej väzbe.



Obrázok 2 model H-mosta

### 3.3 Model jednosmerného motora s permanentným magnetom

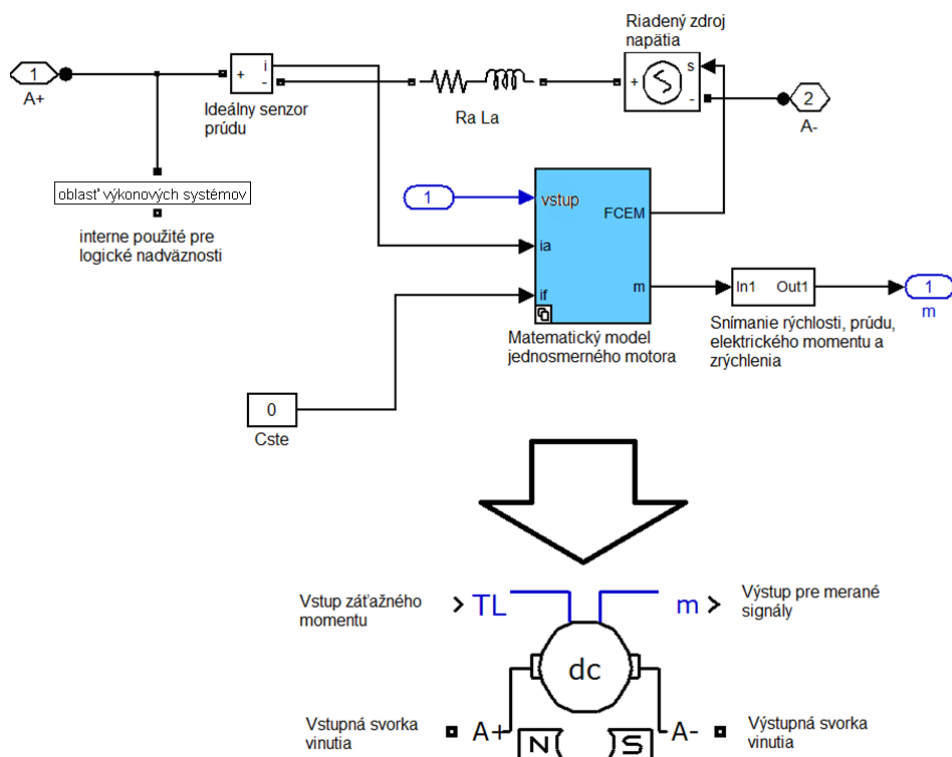
Knižnice obsiahnuté v programe Matlab/Simulink zahŕňajú v kategórii SimPower-Systems model jednosmerného motora modifikovateľný podľa potreby na jednosmerný motor s budiacim vinutím alebo s permanentným magnetom. Tento model sa skladá zo základného matematického modelu jednosmerného motora doplneného o komponenty potrebné pre jeho prepojenie s okolitými modelovanými blokmi, najmä však s výkonovými elektronickými prvkami, prvkami pre vstupný moment/rýchlosť a prvkami prenášajúcimi výstupné veličiny, ako prúd vo vinutí, elektrický moment, rýchlosť a zrýchlenie.

Model jednosmerného motora, zobrazený na obrázku 3, v sebe zahŕňa konštanty permanentného magnetu, koeficienty suchého a viskózneho trenia a samotný matematický model motora s jeho konštantami. Vstupnými veličinami sú prúd vo vinutí a moment



zát'aže. Vstupné prepojenie „if“ sa používa pri modeli s budiacim vinutím, v prípade budenia permanentným magnetom má nulovú hodnotu. Výstupné prepojenie z modelu jednosmerného motora je „FCEM“, čo je signál, ktorý predstavuje súčin uhlovej rýchlosti a konštanty motora, a prepojenie „m“ zbernicového typu, v ktorom sú zahrnuté potrebné merateľné veličiny. Riadený zdroj napätia ovplyvňuje napätie na vstupných svorkách vinutia tým, že nahrádza indukované napätie vo vinutí v závislosti na uhlovej rýchlosti hriadeľa motora.

Pre vytvorenie správneho modelu je potrebné zadať požadované mechanické a elektrické parametre, ktoré sa uvádzajú v technickej dokumentácii od výrobcu.



Obrázok 3 Model jednosmerného motora s permanentným magnetom

### 3.4 Riadenie

Riadiaci systém je realizovaný procesorom ARM. Úloha riadiaceho systému spočíva v riadení rýchlosti jednotlivých motorov pomocou PWM podľa aktuálnej polohy translačných blokov a ich žiadanej polohy, ktorú tvorí želaná trajektória.

Riadenie polohy blokov sa uskutočňuje na základe nasledovných parametrov:

- aktuálna poloha translačných blokov určená snímačmi polohy (počtom načítaných impulzov od vzťažnej polohy),

- žiadaná poloha translačných blokov určená koncovým bodom lineárnej časti trajektórie a rýchlosťou premiestnenia, ktorá je daná jej sklonom.

Súradnice koncových bodov lineárnych subintervalov sú vypočítané podľa zvolenej metódy interpolácie. Pri lineárnej interpolácii sú tieto body priamo určené pri vytváraní trajektórie v ovládacom programe, pri kruhovej interpolácii sa vypočítajú vzhľadom na spôsob interpolácie kruhovej trajektórie. Žiadané súradnice hraničných bodov sú teda priamo určené pri tvorbe trajektórie, a zároveň určujú aj sklony lineárnych subintervalov, na základe ktorých je realizovaná PWM.

Procesory ARM Cortex poskytujú veľmi pružné riešenie enkodéra signálov pre inkrementálne snímače, ktorých výstupné signály sú fázovo posunuté v závislosti na smere otáčania hriadeľa (KEIL, 2010). Ak sa použije jeden z čítačov mikroprocesora vo funkcii enkodéra, príslušný register čítača je automaticky inkrementovaný alebo dekrementovaný podľa toho, ktorý zo signálov fázovo predbieha druhý. Popísaná funkcia je súčasťou zdokonalených čítačov TIM1 a TIM8.

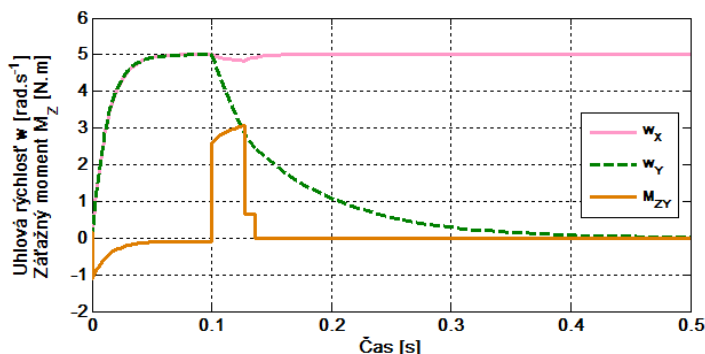
## 4 VÝSLEDKY SIMULÁCIE

S popísaným modelom bola uskutočnená simulácia s nasledovnými parametrami:

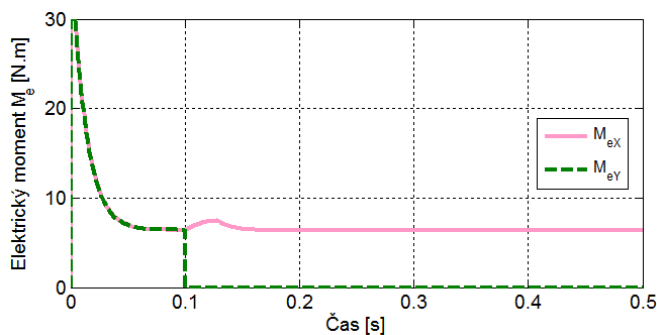
- simulačný čas  $t = 0,5$  s,
- plnenie PWM pre motor X: 100 % pre celý simulačný čas,
- plnenie PWM pre motor Y: 100 % pre čas  $t < 0,1$  s, 0 % pre  $t \geq 0,1$  s.

V modeli elektromotora s riadením sa snímali uhlové rýchlosti  $\omega_x, \omega_y$ , prúdy vo vinutiach  $I_x, I_y$ , elektrický moment motora  $M_{EX}, M_{EY}$  a záťažný moment  $M_{ZY}$  prenášaný na motor z reakcie v príslušnej väzbe (obr. 4–6).

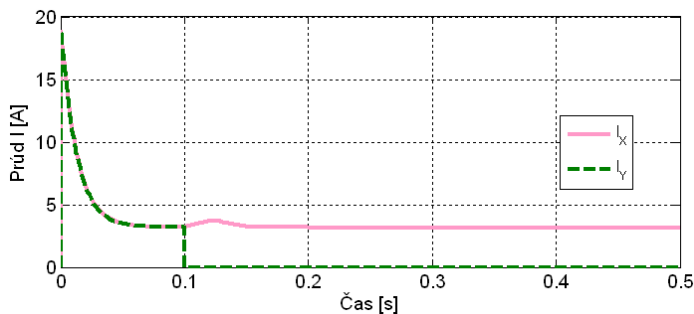
Z priebehov uhlových rýchlostí a záťažného momentu  $M_{ZY}$  je viditeľná dynamika správania sa záťaže, ktorú predstavuje krížový stôl. Záťažný moment je odvodený od reakcie  $R_y$  v posuvnej väzbe. Tiež je zjavný zákmit výkonu motora  $M_{EX}$ , kedy sa prejavila mechanická väzba medzi jednotlivými pohybovými blokmi a rozloženie reakčných síl do ortogonálnych osí.



Obrázok 4 Uhlové rýchlosti a záťažný moment



Obrázok 5 Elektrický moment

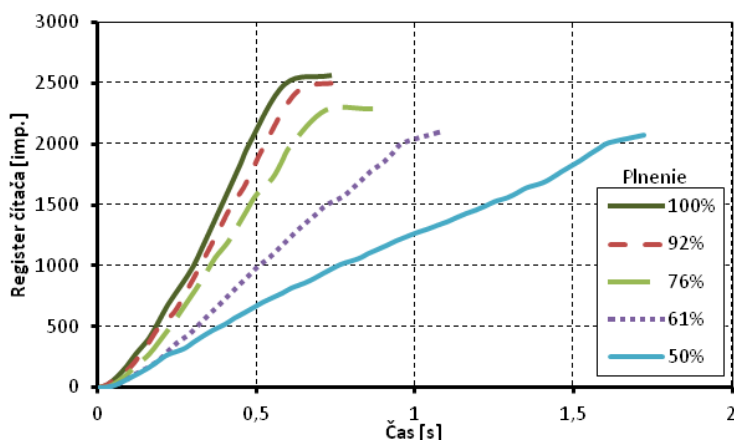


Obrázok 6 Prúd vinutím

Znázornené priebehy predstavujú správanie sa modelu pri opísaných simulačných podmienkach. Pri modelovaní systémov sa čoraz viac uplatňuje princíp hľadania optimálnych parametrov nielen pre simuláciu ale aj pre použitie v reálnom prostredí. Optimálne parametre pre manipulačný polohový systém môžu predstavovať maximálne dosiahnuteľné rýchlosti premiestnenia, čas premiestnenia, najkratšia prejdená trajektória, či režim s minimálnym odberom energie. Často sa vyžaduje kombinácia týchto kritérií, pričom najkratšia trajektória môže pri maximálnej nožnej rýchlosti splniť aj kritérium najkratšieho času chodu. Takýto optimalizačný problém si však vyžaduje riešenie viacparametrických funkcií.

Kritérium najkratšej prejdenej trajektórie je možné splniť napr. optimalizáciou genetickým algoritmom kolónie mravcov, príp. kolónie včiel, kedy sa jedincami patriacimi do kolónie hľadá najkratšia cesta k možným zdrojom potravy – uzlovým bodom.

Mikroprocesorovým riadením reálneho systému boli získané priebehy trajektórií pri rôznom plnení PWM. Hraničná hodnota mikroprocesorového čítača zapojeného v spätnej väzbe bola nastavená na 2000 impulzov, pri pretečení tejto hodnoty sa príslušný motor zastavil a brzdil dobehom. Bez regulácie rýchlosti sa získali priebehy znázornené na obrázku 7. Aj tu je zjavná dynamika pohybového systému a možné dynamické rázy zapríčinené zmenou smeru pohybu, príp. zastavením.



Obrázok 7 Impulzná charakteristika registra čítača mikroprocesora

V grafe na obrázku 7 je znázornená časová závislosť plnenia registra čítača. Pre reálne charakteristiky je však dôležitejšia závislosť prejdenej dráhy, príp. priebehu rýchlosti. Pre ilustráciu dynamického správania sa vyšetřovaného systému sú podstatné tvary a veľkosti prechodov nad hranicou 2000 impulzov, z ktorých sa dá aplikovaním príslušnej miery odvodiť požadovaná veličina v príslušných jednotkách.

## 5 ZÁVER

Z výsledkov simulácií je možné stanoviť algoritmus normalizácie akčných veličín a tiež regulátor nielen pre riadenie pohybu v smere Y ale aj v smere X. Tiež je potrebné stanoviť spodnú hranicu plnenia PWM pre oba smery, aby bol zaručený dostatočný výkon a prenášaný hnací moment motora. Výpočet prenosu regulátora niektorou z metód návrhu regulátora (Naščák, 2005) a samotného regulačného zásahu umožní riadenie pohybu (rýchlosti a polohy) v ďalších experimentoch s mechatronickým systémom s dvomi stupňami voľnosti, ktorý je tvorený dvojosovým krížovým stolom s príslušnými elektronickými a radiaciami podsystémami.

## LITERATÚRA

- BODNÁR, F. 2001. *Mechanika I. – Statika a kinematika*. Zvolen: Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 2001, 319 strán. ISBN 80-228-0986-1.
- CARLONI, L., DI BENEDETTO, M., D., PINTO, A., SANGIOVANNI-VINCENTELLI, A. 2004. *Modeling techniques, programming languages, design toolsets and interchange formats for hybrid systems*. Riešené v rámci projektu COLUMBUS – Design of embedded controllers for safety critical systems. IST-2001-38314.
- ČMARADA, M., HRČKOVÁ, M. 2011. Využitie 3D optických snímacích systémov v automatizovanom výrobnom procese. In. *Informatika a automatizácia v riadení procesov, VII. vedecká konferencia s medzinárodnou účasťou*, Zvolen, 13. október 2011. Zvolen: Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 2011, s. 139–146. ISBN 978-80-228-2267-1.

- CHEN, S., BILLINGS, S. A. 1992. Neural Networks for nonlinear dynamic system modeling and identification. In *International Journal of control*. ISSN 0020-7179, 1992, roč. 56, č. 2, s. 319–346.
- KEIL™ Tools by ARM: MCBSTM32C Evaluation Board [cit. júl 2010]. Dostupné na internete: < <http://www.keil.com/mcbstm32c/>>.
- NAŠČÁK, L., ŠURIANSKY, J. 2005. *Základy automatizácie a riadenia procesov*. 1. vydanie. Zvolen : Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 165 s. ISBN 80-228-1430-X.
- PIVARČIOVÁ, E. 2011. Zisťovanie odchýlky výrobku od vzoru pomocou fázovej korelácie. In *Informatika a automatizácia v riadení procesov, VII. vedecká konferencia s medzinárodnou účasťou*, Zvolen, 13. október 2011. Zvolen: Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 2011, s. 147–151. ISBN 978-80-228-2267-1.
- RAPISARDA, P., WILLEMS, J. C. 2006. Recent Developments in Behavioral System Theory – mini course. In *17th International Symposium on Mathematical Theory of Networks and Systems*. 24.–28. Júl 2006, Kyoto, Japonsko. Dostupné na internete < <http://www-ics.acs.i.kyoto-u.ac.jp/mtns06/>>.

**Kontaktná adresa:**

Ing. Peter Koleda

doc. Ing. Ľubomír Naščák, CSc.

Katedra informatiky a automatizačnej techniky,

Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita vo Zvolene,

Študentská 26, 960 53 Zvolen



## A CONTRIBUTION TO APPLICATION OF NI LABVIEW SYSTEM IN INVESTIGATION OF TIRE-TERRAIN INTERACTIONS

### PRÍSPEVOK K APLIKÁCIÍ SYSTÉMU NI LABVIEW VO VYŠETROVANÍ KONTAKTU PNEUMATIKY A TERÉNU

**Jaroslav MATEJ**

**ABSTRACT:** The paper deals with a solution of NI LabVIEW system for investigation of tire-terrain interactions, with focus on detailed description of a measurement technique and LabVIEW system. A mechanical basis on which the measurement system is based was designed as laboratory measuring stand. A purpose of the work is to show how such a measurement system can be built and what is needed to make it done. Presented measurement system, as a result of the work, consists of several NI transducers connected with a laptop via USB. Test results and experiences with the measurement system verified that prototype of the system is usable and it can be used for investigation of tire-terrain interactions.

**Keywords:** Tire-terrain interaction, LabVIEW, measuring stand

**ABSTRAKT:** Článok sa zaoberá riešením aplikácie systému NI LabVIEW pre vyšetovanie interakcií medzi terénom a pneumatikou s dôrazom na detailný popis meracej techniky a LabVIEW systému. Mechanický základ na ktorom je merací systém postavený bol navrhnutý ako laboratórny merací stand. Účelom práce je ukázať ako takýto merací systém môže byť postavený a čo je na to potrebné. Prezentovaný merací systém, ako výsledok práce, sa skladá z niekoľkých NI prevodníkov pripojených k notebooku cez USB rozhranie. Výsledky testov a skúsenosti s meracím systémom potvrdili, že prototyp systému je použiteľný a môže byť použitý pre vyšetovanie interakcií medzi pneumatikami a terénom.

**Kľúčové slová:** Interakcia pneumatiky a terénu, LabVIEW, merací stand

## 1. INTRODUCTION

There are many ways how to measure physical parameters of technical systems. The most of them use some measuring devices with displays and controls built-in in hardware of the devices. A general measuring device uses its inputs to measure values of electrical signals and outputs to display or provide processed signals. A transformation between physical parameters and required electrical signal is done via transducers and modules, which have, in many cases, form of extending cards dependent on main chassis of the

device. Below described application of the National Instruments (NI) LabVIEW system uses different approach – graphical system design.

The application of the system is described on a laboratory soil canal developed and manufactured on the Department of Forest and Mobile Technology.

## 2. MATERIALS AND METHODS

Competing in today's global economy requires companies to rapidly enter the market with innovative products that offer increased functionality and operate flawlessly. The National Instruments graphical system design approach for test, control, and embedded design meets this need by providing a unified platform for designing, prototyping, and deploying applications. The NI platform empowers engineers to integrate real-world signals sooner for earlier error detection, reuse code for maximum efficiency, benefit immediately from advances in computing technology, and optimize system performance in a way that outpaces traditional design methodologies. [1]

LabVIEW is a program development application, much like various commercial C or BASIC development systems, or National Instruments LabWindows. However, LabVIEW is different from those applications in one important respect. Other programming systems use text-based languages to create lines of code, while LabVIEW uses a graphical programming language, G, to create programs in block diagram form. [2]

LabVIEW has extensive libraries of functions and subroutines for most programming tasks. For Windows, Macintosh, and Sun, LabVIEW contains application specific libraries for data acquisition and instrument control. LabVIEW also contains application-specific libraries and serial instrument control, data analysis, data presentation, and data storage. LabVIEW includes conventional program development tools, so it is possible to set breakpoints, animate program execution to see how data passes through the program, and single-step through the program to make debugging and program development easier. [2]

LabVIEW includes libraries of functions and development tools designed specifically for instrument control. LabVIEW programs are called virtual instruments (VIs) because their appearance and operation imitate actual instruments. However, they are analogous to functions from conventional language programs. VIs have both an interactive user interface and a source code equivalent, and accept parameters from higher-level VIs. The following are descriptions of these three VI features: [2]

- VIs contain an interactive user interface, which is called the front panel (Fig. 1), because it simulates the panel of a physical instrument. The front panel can contain knobs, push buttons, graphs, and other controls and indicators. Input data are typed using a keyboard and mouse, and the results can be viewed on a computer screen,
- VIs receive instructions from a block diagram, which designer constructs in G language. The block diagram supplies a pictorial solution to a programming problem, so the block diagram contains the source code for the VI,
- VIs use a hierarchical and modular structure. It can be used in top-level programs, or as subprograms within other programs or subprograms. A VI within another VI is called a subVI. The icon and connector pane of a VI work like a graphical parameter list so that other VIs can pass data to it as a subVI. [2]



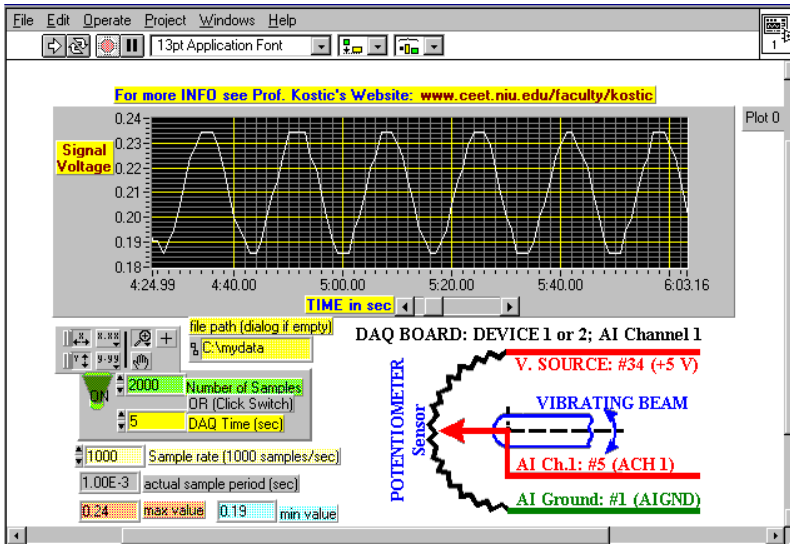


Figure 1 – An example of a LabVIEW's Front Panel [3]

With these features, LabVIEW promotes and adheres to the concept of modular programming. It is possible to divide an application into a series of tasks, which can be divided again until a complicated application becomes a series of simple subtasks. Simple VIs can be build to accomplish each subtask and then they can be combined on another block diagram to accomplish the larger task. Finally, a top-level VI contains a collection of subVIs that represent application functions. [2]

The application of LabVIEW on the soil canal (Fig. 2 and 3) was carried out using below listed NI components (Tab. 1).

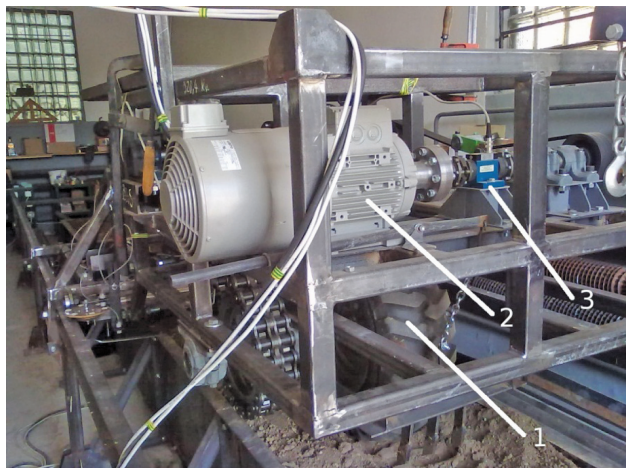
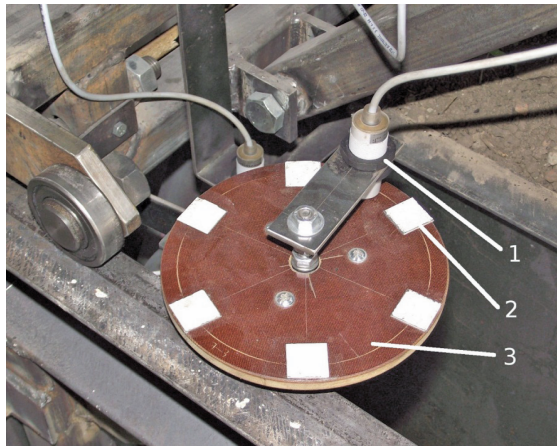


Figure 2 – Measuring stand for investigation of tire-terrain interactions. 1 – tire of carriage, 2 – electric motor, 3 – torque transducer DR 2212 R by ESA MESSTECHNIK GMBH

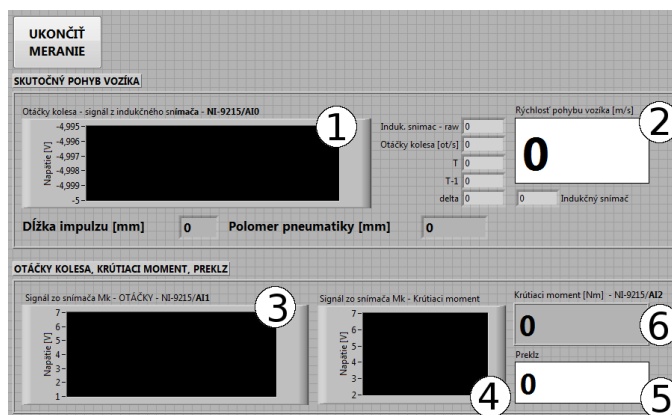


**Figure 3** – Application of inductive sensor by Senzortech s. r. o. 1 – inductive sensor, 2 – steel plate, 3 – rotational disc made of plastic mounted on the wheeled frame of the carriage and strained against the static frame of the stand via rubber wheel underneath the disc (3)

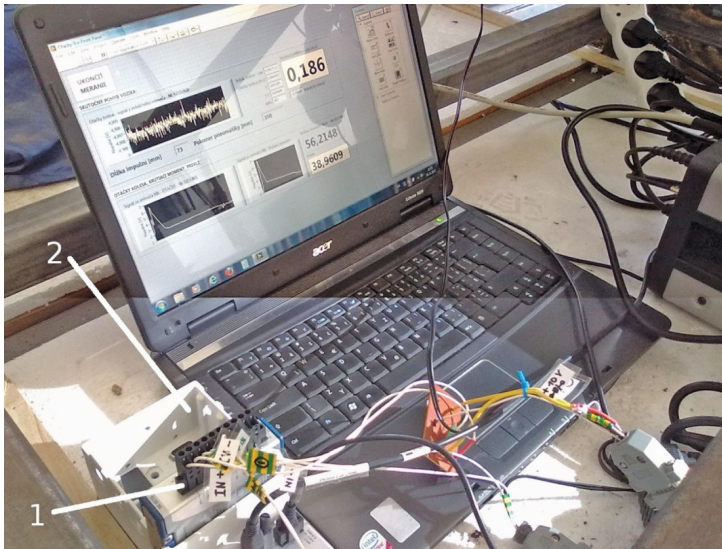
The NI- 9215 input module we used to collect all of the signals. To perform computations within LabVIEW G-code we measured rotational speed of the electric motor (Fig. 2), and rotational speed of the tire (Fig. 2). As a supplemental value a torque was measured. To get real speed of the tire we used inductive sensor (Fig. 3) and its output signal we processed in LabVIEW.

### 3. RESULTS

To measure, process and store data we designed and created a custom application in LabVIEW. This a main result presented in the paper. Its front panel is shown in Fig. 4.



**Figure 4** – Front panel of the custom LabVIEW application. 1 – Chart of raw signal from inductive sensor, 2 – instant translational speed of wheeled chassis [m/s], 3 – chart of rotational speed values of the tire, 4 – chart of torque values, 5 – instant longitudinal slip of the tire [%], 6 – instant value of torque [Nm]



**Figure 5** – Measuring stand with NI cDAQ-9174 chassis (2) and NI 9215 module (1)

As a part of the solution an electric circuit, used for connection of the inductive sensor, was designed and manufactured. The rotational disc (Fig. 3) we used for carriage translational speed measurements.

As it can be seen in Fig. 6, it is simple to make an input/output signal filtered. Measured values were processed using LabVIEW and its Formula Node, as it is shown in Fig. 6. A typical square wave output signal of the inductive sensor we processed using a zero-crossing function, as it is visible in a case structure (see a clock icon) in Fig. 6. We found no issues regarding that and overall solution herein presented.

A function of the measurement system was verified. We performed a few of test measurements, which allow us to declare that the system is fully usable. The use of LabVIEW enabled us to measure and process data from the stand, however it can be done by any another measuring system. The difference is in a visualisation level of the measurement and in its overall approach to data processing – G language. The front panel shown in Fig. 4 illustrate a custom view of a custom “measuring device”. This panel can be displayed on a touch screen and it can integrate the knobs, push buttons, graphs, and other controls and indicators which are needed for a particular measurement. A chassis, its modules, a computer or a real-time platform and supporting circuits can be placed in a sealed “black box” with the touch screen mounted on the side of that box. Such a solution does not require a user to be experienced in work with a classical complex measurement system; the all she/he needs is displayed and ready to use.

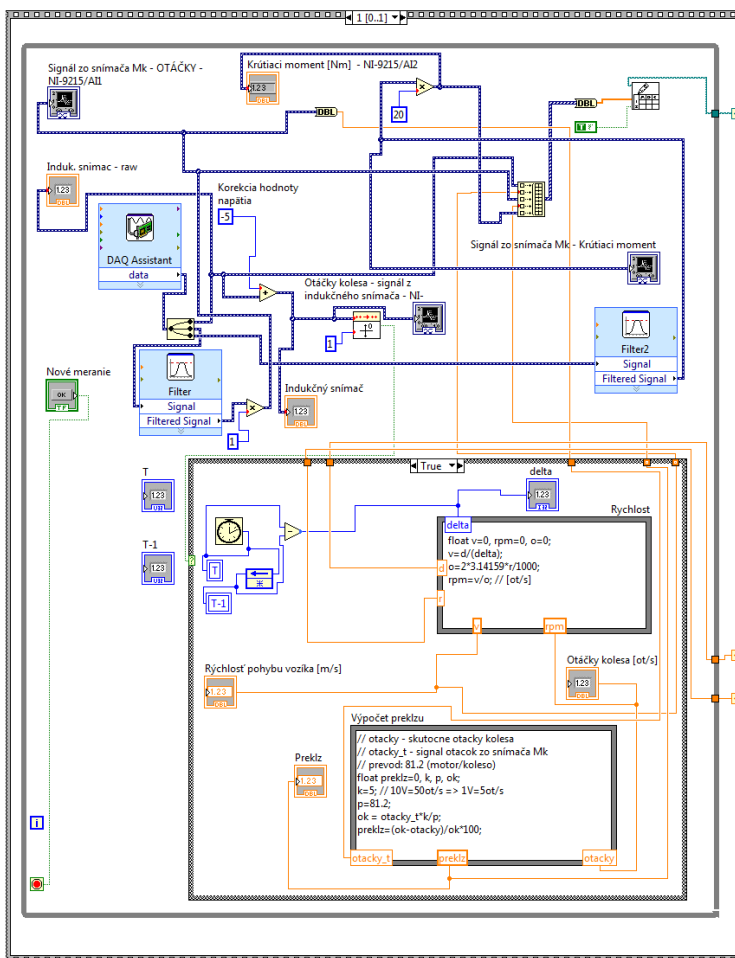


Figure 6 – Created block diagram corresponding to front panel shown in Fig. 4

#### 4. CONCLUSION

The paper was aimed on the LabVIEW use and its description. As a base for measurements was used the measuring stand designed for investigation of tire-terrain interactions, which description is a part of another paper. Using LabVIEW it is able to observe instant values of measured parameters in well-arranged form, designed for the specific purpose. This is one of main benefits of the system. Results were written directly into a spreadsheet table, and ready for MS Excel processing. According to G-language possibilities a measuring system can be built up with respect to all customer needs, and requirements, so a particular measuring process can be well optimized, ready to use and business.

## SÚHRH

Článok sa zameria na zrealizovaný prípad použitia systému LabVIEW a jeho popis. Ak základ na merania bol použitý stend navrhnutý pre výskum interakcií medzi pneumatikou a terénom, ktorého popis je časťou iného článku. S použitím LabVIEW je možné sledovať okamžité hodnoty meraných parametrov v prehľadne zobrazenej forme, navrhnutej pre tento účel. Toto je jedna z hlavných výhod systému. Výsledky boli zapisované priamo do súboru vo forme tabuľky a takto pripravené pre spracovanie v aplikácii MS Excel. Vzhľadom na možnosti G-jazyka, merací systém môže byť zostavený s rešpektovaním všetkých potrieb a požiadaviek zákazníka, takže merací proces môže byť dobre optimalizovaný a pripravený na použitie a komerčné zhodnotenie.

## ACKNOWLEDGMENTS

The work presented here was supported by national grant agency VEGA under grant No. 1/0048/09.

## APPENDIX

**Table 1** – List of used NI components

Component's identification	Description
NI cDAQ-9174	NI CompactDAQ 4-Slot USB Chassis for hot-swappable I/O modules
NI-9215	4-Channel, 100 kS/s/ch, 16-bit, $\pm 10$ V Analog Input Module
NI LabVIEW 2009	A program development application

## LITERATURE CITED

1. National Instruments Corporation, "National Instruments Website", Obtained through the Internet: <http://www.ni.com/company/standardize.htm> [accessed 29/5/2012].
2. National Instruments Corporation, 1996, "LabVIEW Tutorial Manual", Obtained through the Internet: <http://www.ni.com/pdf/manuals/320998a.pdf> [accessed 29/5/2012].
3. KOSTIC M., "Integration of Data Acquisition and LabVIEW® in Experimental Methods Courses," Department of Mechanical Engineering, Northern Illinois University, Obtained through the Internet: [http://www.kostic.niu.edu/niweek98\\_paper.html](http://www.kostic.niu.edu/niweek98_paper.html) [accessed 29/5/2012].
4. DOBROTA P., HELEXA M., „Návrh zariadenia na hodnotenie vplyvu tlaku hustenia pneumatík na ťahové vlastnosti mobilných strojov“, In: Zborník z medzinárodnej vedeckej konferencie – Mobilné energetické prostriedky, hydraulika, životné prostredie, ergonómia mobilných strojov, 20. september 2011, ES TU Zvolen, 2011, ISBN 978-80-228-2265-7.

### Kontaktná adresa:

Ing. Jaroslav Matej, PhD, Katedra lesnej a mobilnej techniky,  
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,  
Technická univerzita vo Zvolene,  
T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen,  
E-mail: matej@tuzvo.sk



## HODNOTENIE KVALITATÍVNYCH VLASTNOSTI EKOLOGICKEJ PREVODOVO HYDRAULICKEJ KVAPALINY V PREVÁDZKOVÝCH PODMIENKÁCH

### EVALUATION OF QUALITATIVE PROPERTIES OF THE ECOLOGICAL GEAR AND HYDRAULIC FLUID UNDER OPERATIONAL CONDITIONS

**Zdenko TKÁČ – Radoslav MAJDAN – Juraj TULÍK – Ján KOSIBA  
– Bohuslav STANČÍK – Ivan ŠTULAJTER**

**ABSTRACT:** The paper deals with testing of ecological gear hydraulic fluid which was applied in the tractor Zetor Forterra. The test fluid is produced by MOL Group. The test lasted for 900 Mh, during which in a given time we are collected from selected sampling point a representative samples and evaluated their qualitative properties. The valuation of content of contamination parameters we used an optical device CS 1000, which evaluates the number and size of particles in an ecological fluid and the ICP spectrometry. We also evaluated the physic-chemical properties such as total acid number and kinematics viscosity. After 900 Mh the fluid parameters showed the limits of contamination which it can endanger the continued running of machinery. In conclusion, therefore, the authors deal with the life extension of the ecological fluid by proposed filtration system in the laboratory at the Department of Transport and Handling, Faculty of Engineering, University of Agriculture in Nitra.

**Key words:** ecological fluid, tractor, qualitative properties, contamination, filtration

**ABSTRAKT:** Príspevok sa zaoberá skúšaním ekologickej prevodovo hydraulickej kvapaliny aplikovanej v traktore Zetor Forterra. Skúšaná kvapalina je vyrábaná spoločnosťou Mol Group. Skúška trvala po dobu 900 Mh, počas ktorej boli v daných termínoch odoberané zo zvolených odberných miest reprezentatívne vzorky kvapaliny a hodnotené ich kvalitatívne vlastnosti. Pre hodnotenie obsahu častíc znečistenia sme použili optický prístroj CS 1000, ktorý vyhodnocuje počet a veľkosť častíc v kvapaline a ICP spektrometriu. Hodnotili sme tiež fyzikálno-chemické vlastnosti ako sú číslo kyslosti a kinematická viskozita. Po 900 Mh kvapalina vykazovala limitné hodnoty parametrov znečistenia, ktoré mohli ohrozovať ďalšiu prevádzku stroja. V závere sa preto autori zaoberajú predĺžením životnosti skúšanej ekologickej kvapaliny za pomoci filtračného zariadenia, ktoré bolo navrhnuté v laboratóriu na katedre Dopravy a manipulácie, Technickej fakulty, SPU v Nitre.

**Kľúčové slová:** ekologická kvapalina, traktor, kvalitatívne vlastnosti, znečistenie, filtrácia



## 1. ÚVOD

V súčasnej dobe sa stále viac využívajú hydraulické systémy, ktoré zabezpečujú potrebné pracovné operácie. K prenosu energie je potrebná hydraulická kvapalina, na ktorú sú kladené čoraz väčšie požiadavky. Jednou z týchto požiadaviek, o ktorej sa stále viac diskutuje je ochrana životného prostredia. V súčasnej dobe je rozdiel medzi cenou konvenčne vyrábanej kvapaliny a ekologickej kvapaliny 2 až 3 násobok ceny. Preto je potrebné hľadať nové riešenia ako predĺžovať jej technický život.

Kvapalina v pracovnom zariadení okrem prenosu energie nesie aj informácie o procesoch, ktoré sa v ňom dejú. Počas prevádzky sú do kvapaliny vnášané čiastočky kovov, pomocou ktorých je možné hodnotiť procesy opotrebenia a predpovedať ďalšiu prevádzku zariadenia. Narastanie znečistenia v kvapaline počas prevádzky stroja môže spôsobovať neočakávané opotrebenie prvkov hydraulického obvodu a prestoje. Preto je veľmi dôležité venovať pozornosť čistote používanej hydraulickej kvapaliny.

Kvapalinu je potrebné vymeniť ak jej hodnoty presahujú výrobcom stanovené limity. Ak je kvapalina znečistená a má dobré fyzikálno-chemické vlastnosti (číslo kyslosti, kinematická viskozita), musí byť vymenená, čo znamená skrátenie jej technického života. Jedná sa o neekonomické riešenie najmä ak ide o drahé ekologické kvapaliny. Predísť takémuto neekonomickému riešeniu môžeme aj voľbou správnej filtrácie.

## 2. MATERIÁL A METÓDY

### 2.1 Skúmaná ekologická kvapalina

Počas skúšky sme použili novú ekologickú kvapalinu s označením Mol Farm UTTO Synt. Táto kvapalina patrí do skupiny univerzálnych prevodovo hydraulických kvapalín určených pre traktory. Kvapalina je vyrábaná spoločnosťou Mol Group. Kvapalina je klasifikovaná ako HEPR podľa normy VDMA 24 568 a jej základovým olejom je polyalfaolefín, ktorý je miešateľný s minerálnymi olejmi. Technické parametre oleja sú v tabuľke 1.

Tabuľka 1 Základné parametre ekologickej kvapaliny Mol Farm UTTO Synt

Parameter	Jednotka	Hodnota
Kinematická viskozita pri 100 °C	mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>	10,22
Kinematická viskozita pri 40 °C	mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>	58,14
Viskozitný index <i>VI</i>	–	165
Bod tuhnutia	°C	–42

### 2.2 Objekt aplikácie ekologickej kvapaliny

Ekologickú kvapalinu sme aplikovali v traktore Zetor Forterra 114 41 (obrázok 1). Traktor bol vyrobený spoločnosťou Zetor Brno, Česká republika. Traktor Forterra je poháňaný vlastným radom 4 valcových motorov Zetor s turbodúchadlom, ktoré plnia



emisný stupeň TIER III. Prevodovka je mechanická, plne synchronizovaná, reverzačná s trojstupňovým násobičom. Počet prevodových stupňov vpred je 24 a 18 vzad. Hydraulické okruhy násobiča krútiaceho momentu spojky vývodového hriadeľa sú konštruované s novým elektrohydraulickým rozvádzačom (Zetor, 2012).



Obrázok 1 Traktor Zetor Forterra 114 41

## 2.3 Sledované kvalitatívne ukazovatele

### 2.3.1 Kód čistoty

Znečistenie kvapaliny z pohľadu jej obsahu nečistôt sme hodnotili podľa kódu čistoty. Kód čistoty je hodnota určená podľa niektoej z nasledovných noriem: ISO 4406-1999, SAE AS 4059, NAS 1938. Sauer Danfoss (2003) uvádza definíciu triedy čistoty podľa ISO 4406. Podľa tejto normy je trieda čistoty určená počtom a veľkosťou častíc v kvapaline.

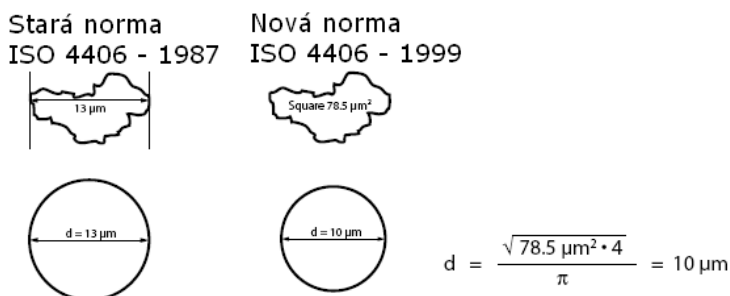
Tabuľka 2 Definovanie triedy čistoty podľa ISO 4406

Počet častíc na 100 ml	Počet častíc na 1 ml	Trieda čistoty
1 – 2	0,01 – 0,02	1
2 – 4	0,02 – 0,04	2
*Atd.	*Atd.	*Atd.

\* Každý nasledovný krok triedy čistoty je dvojnásobkom predchádzajúceho.

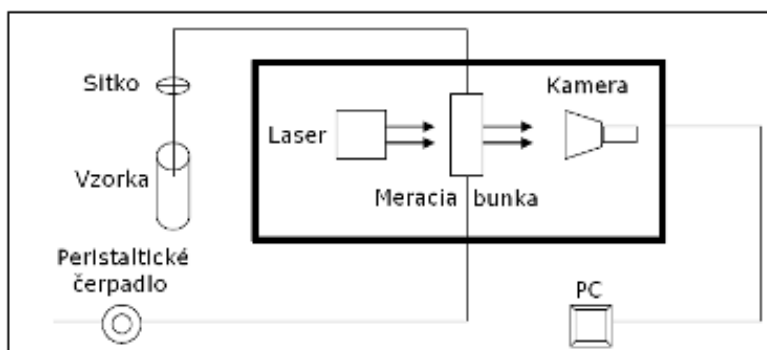
Na vyjadrenie počtu častíc sa využíva číselný kód podľa tabuľky 2. Stará norma ISO 4406-1987 definovala triedu čistoty podľa dvojčíselného kódu  $X_1/X_2$  kde  $X_1$  predstavuje kód pre počet častíc väčších než  $5\mu\text{m}$  a  $X_2$  predstavuje kód podľa tabuľky 2 pre počet častíc väčších než  $15\mu\text{m}$ . Nová norma ISO 4406-1999 definuje triedu čistoty podľa trojčíselného kódu pre častice väčšie než  $4\mu\text{m}$ ,  $6\mu\text{m}$  a  $14\mu\text{m}$ . Definícia veľkosti častíc

bola v novej norme zmenená. Nová norma používa projekciu obsahu plochy a jej prevod na ekvivalentný priemer, obrázok 2.



Obrázok 2 Definícia veľkosti častíc podľa starej a novej normy ISO 4406

Optické počítače častíc používajú senzor, ktorý meria množstvo laserového svetla strateného keď je skrížené časticou (Spurlock, 2006). Na obrázku 3 je znázornená schéma laserového automatického počítania častíc.

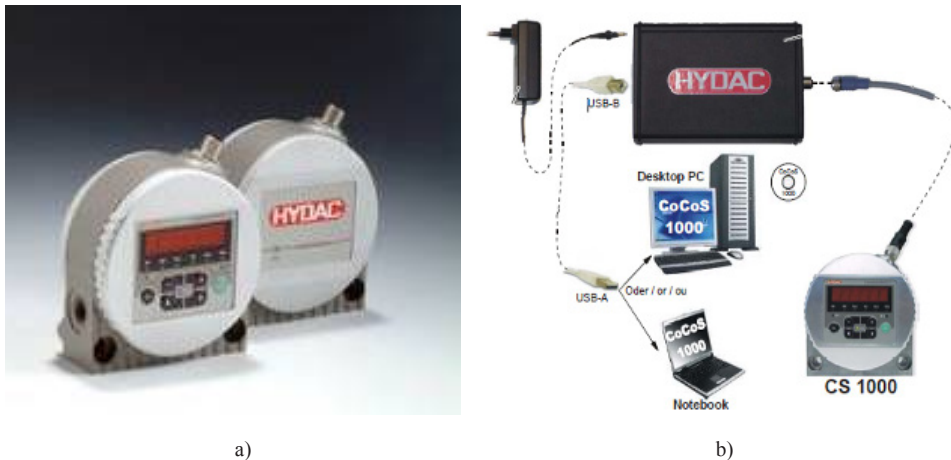


Obrázok 3 Schéma laserového počítania častíc (Turan, 2006)

Prístroj je riadený počítačom, ktorý zároveň vyhodnocuje namerané údaje. Vzorka je najskôr homogenizovaná a následne odvzdušnená pomocou ultrazvuku. Peristaltické čerpadlo sústavou hadičiek nasáva olej cez mikrónové sítko (veľkosť ôk je 100 μm) do sklenenej bunky s hrúbkou 100 μm. Touto bunkou prechádzajú lúče laseru, ktoré dopadajú na pozadie snímané kamerou. Obraz je prevedený na obrazovku počítača, kde sa zobrazujú siluety častíc (Turan 2006).

Na hodnotenie kódu čistoty sme použili prístroj CS 1000, ktorý pracuje na princípe optického počítania častíc a na jeho základe vyhodnocuje počet a veľkosť častíc nachádzajúcich sa v testovanej kvapaline. Skúšobné zariadenie analyzuje všetky častice znečistenia a zároveň ich zatrieduje do skupín podľa veľkosti 4 μm, 6 μm a 14 μm. Pred

vstupom do zariadenia CS 1000 (obrázok 4) sa nachádza tlakový ventil, ktorý je v úlohe poistného. Teda pri neočakávanom náraste tlaku, tlakový ventil prepusti kvapalinu späť do nádrže.



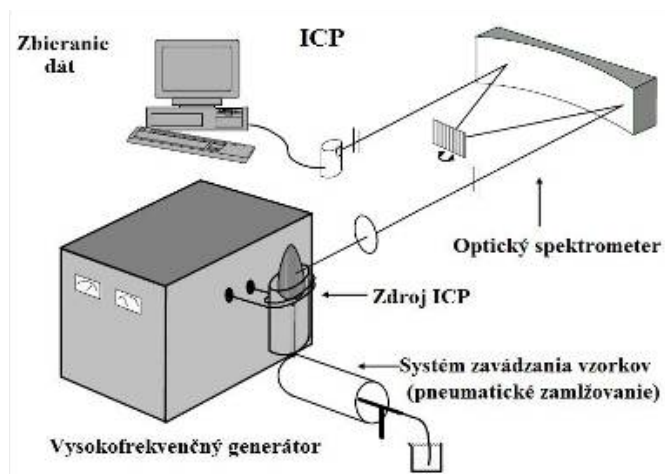
Obrázok 4 Kód čistoty: a) zariadenie na meranie kódu čistoty CS 1000, b) schéma zapojenia prístroja CS 1000

### 2.3.2 ICP spektrometria

Ako ďalšiu metódu pre hodnotenie obsahu častíc v kvapaline sme použili emisnú spektrometriu s indukčne viazanou plazmou ICP (Inductively Coupled Plasma). Vzorka oleja je zmiešaná s roztokom, aby ju bolo možné čerpať a je spálená v plazmovom horáku, ktorý je obvyčajne prehrievaný plynom (Argón) na približne 13 000 °C. Žiarenie emitované zo vzorky počas horenia je spektrum tvorené žiarením každého prítomného prvku. Toto spektrum je rozdelené podľa jednotlivých kovov a množstvo svetla je úmerné množstvu prítomného kovu. Na obrázku 5 je schéma princípu činnosti ICP spektrometra.

Analytické vlastnosti ICP spektrometrie môžeme rozdeliť do nasledovných bodov:

- a, použiteľnosť pre viac ako 70 prvkov,
- b, rýchle simultánne stanovenie,
- c, v princípe vysoká selektivita,
- d, vysoká citlivosť,
- e, nízke medze detekcie, typický 1–10 ng. ml<sup>-1</sup>,
- f, široký dynamický rozsah 5–7 radov,
- g, nízke nespektrálne rušenia << ± 5 % RSD,
- h, možnosť analýzy kvapalných, plyných i pevných vzoriek,
- i, analýza mikrovzoriek i bežných prietokov,
- j, presnosť od 0,2 % RSD, vysoká správnosť.



Obrázok 5 Princíp činnosti ICP Spektrometrie (CHEMINFO, 2012)

### 2.3.3 Zisťovanie obsahu pevných nečistôt filtračnou metódou

Pre zisťovanie obsahu pevných nečistôt sme využili filtračnú sadu pre hodnotenie kvapalín FAS M2 (obrázok 6). Sada je navrhnutá pre monitorovanie znečistenia používanej kvapaliny, čo možno využiť pri analýze mazacích a hydraulických systémov vzhľadom na pevné časti znečistenia.



Obrázok 6 Filtračná sada pre hodnotenie pevných častí v kvapaline

### 2.3.4 Kinematická viskozita

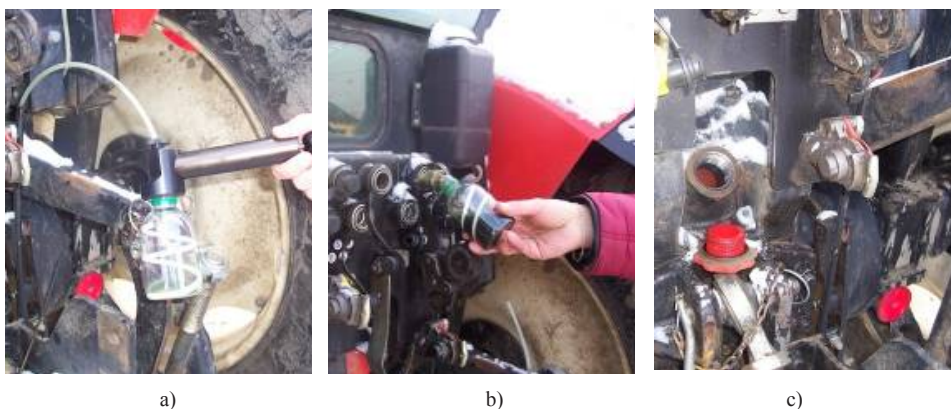
Kinematická viskozita patrí medzi hlavné ukazovatele pri sledovaní starnutia kvapaliny – degradácie. Viskozita je charakteristická vnútorným trením kvapaliny v závislosti na teplote. Označuje sa symbolom  $\nu$  a jej jednotkou je  $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . Kinematickú viskozitu je možné zisťovať pomocou rôznych typov viskozimetrov a reometrov.

### 2.3.5 Číslo kyslosti

Ako ďalší ukazovateľ kvality použitej hydraulической kvapaliny sme zvolili číslo kyslosti. Počas doby používania kvapaliny je olej opotrebovávaný. Toto opotrebenie býva podmienené tiež oxidáciou uhlíkovodíkov, pomocou ktorých vznikajú látky s kyslým charakterom. Na určenie množstvá kyslých produktov používame číslo kyslosti, ktoré patrí medzi najdôležitejšie ukazovatele kvality používanej kvapaliny. Číslo kyslosti sme určovali pomocou potenciometrickej titrácie a farebne indikovanej titrácie.

### 2.4 Vzorkovanie

Počas vzorkovania sme museli zabezpečiť taký postup, v ktorom bolo potrebné dodržať všetky zásady týkajúce sa čistoty vzorkovníc a vzorkovacích zariadení. Ďalšími dôležitými faktormi pri získavaní kvalitných reprezentatívnych vzoriek je správna voľba odberných miest (obrázok 7), premiešanie a ohrev kvapaliny na prevádzkovú teplotu.



Obrázok 7 Odberné miesta  
a – kontrolná mierka hladiny oleja, b – rýchlospojky vonkajšieho hydraulického okruhu,  
c – nalievací otvor olejovej náplne

## 3. VÝSLEDKY A DISKUSIA

### 3.1 Filtračné zariadenie

Zvolili sme filtráciu s filtrom Kovolis Hedvikov FS 32-10, pripojeným na vonkajší okruh hydrauliky traktora (obrázok 8). Filtračná schopnosť papierovej vložky bola 10  $\mu\text{m}$  a maximálny tlak cca 25 kPa. Filtračné zariadenie bolo pripojené k vonkajšiemu obvodu hydrauliky pomocou tlakových hadíc. Prietok kvapaliny, tlak a teplotu regulujeme prístrojom Owatonna, ktorý je taktiež zapojený do vonkajšieho obvodu hydrauliky.

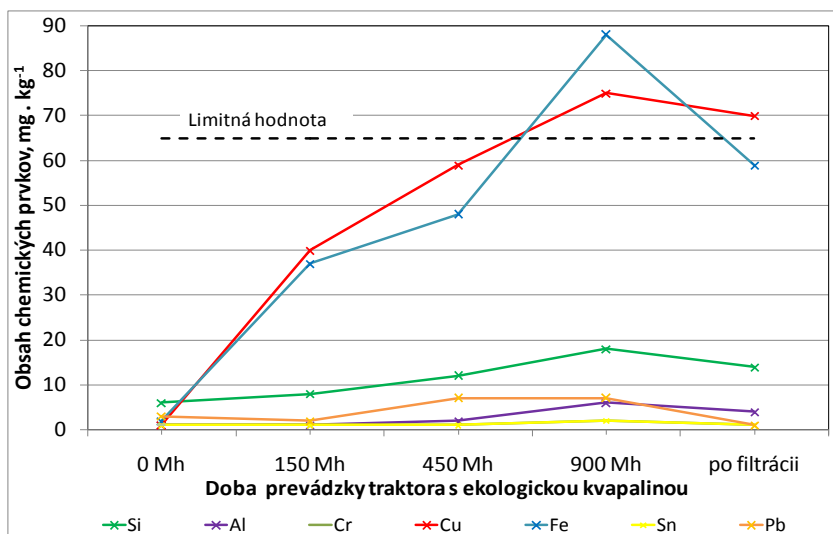
Filtračné zariadenie bolo navrhnuté za účelom odstránenia nečistôt z prevodového a hydraulického systému traktora. Takto boli zlepšené prevádzkové parametre olejovej náplne a tým aj hydraulického systému traktora. Analýzou parametrov hydraulických častí traktora za účelom výskumu zlepšovania ich vlastností sa zaoberali aj autori príspevkov Hujo, Abrahám (2000), Drabant, Hujo (2001), Gurina et al. (2005), Hujo (2006).



Obrázok 8 Pripojenie filtračného zariadenia, prístroja Owatonna a optického prístroja CS 1000 k vonkajšiemu okruhu hydrauliky traktora

### 3.2 Výsledky ICP spektrometrie

Sledovanie znečistenia kvapaliny počas prevádzky traktora na základe ICP spektrometrie je na obrázku 9. Znáznomený je obsah chemických prvkov znečisťujúcich mazacu kvapalinu. Je to najmä Fe, Cu, Sn, Pb, Si, Cr, Al. Pôvod obsahu kovov ako je Fe, Cu, Sn, Pb, Al sa pripisuje opotrebeniu trecích dvojíc. Kremík je považovaný za ukazovateľ znečistenia, ktoré sa do systému dostáva z vonkajšieho prostredia v podobe prachu. Na grafe je znázornená limitná hodnota pre Cu a Fe, ale prekročená bola aj koncentrácia Si a na hranici bola koncentrácia Pb a Al.



Obrázok 9 Vyhodnotenie znečistenia kvapaliny na základe ICP spektrometrie po filtrácii oleja



### 3.3 Kód čistoty

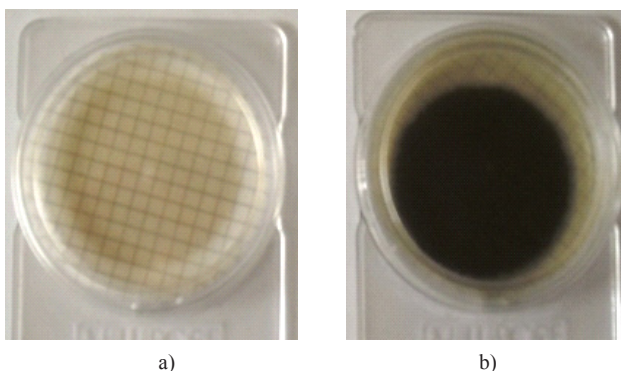
V tabuľke 3 sú uvedené výsledky meraní kódu čistoty pomocou prístroja CS 1000, ktorý bol pripojený k filtračnému zariadeniu, počas filtrácie použitej ekologickej kvapaliny. Z hodnôt je zrejmy klesajúci charakter častíc väčších ako  $14\ \mu\text{m}$ , čo je dokazom správnej funkcie navrhovaného filtračného zariadenia.

Tabuľka 3 Výsledky meraní kódu čistoty počas filtrácie oleja

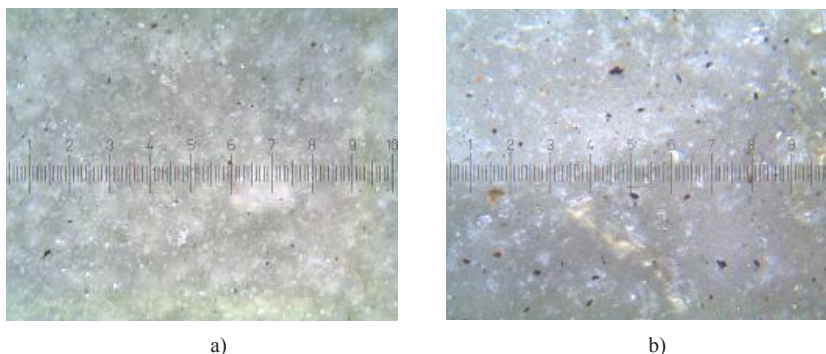
Meranie	Kód čistoty podľa ISO 4406		
	$< 4\ \mu\text{m}$	$< 6\ \mu\text{m}$	$< 14\ \mu\text{m}$
1.	24	23	10
2.	24	23	9
3.	24	23	8

### 3.4 Meranie tuhých nečistôt

Na obrázku 10 vidieť získané vzorky použitého oleja pomocou filtračnej sady FAS 2, ktoré boli následne podrobené skúmaniu pod mikroskopom.

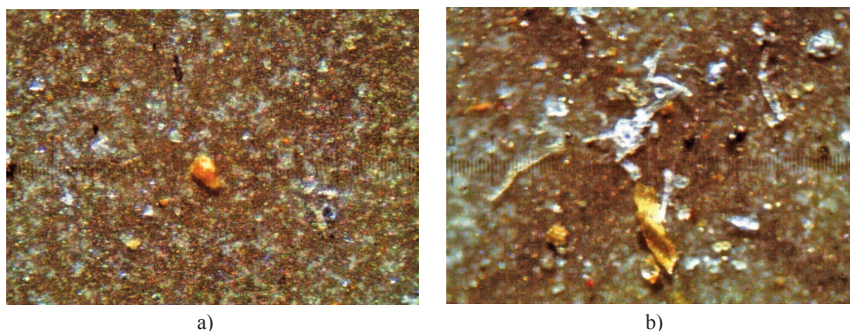


Obrázok 10 Vzorky z filtračnej sady: a) pri 0 Mh, b) po 900 Mh



Obrázok 11 Vzorky tuhých nečistôt pri 0 Mh: a) zväčšenie  $50\times$ , b) zväčšenie  $100\times$

V novej kvapaline boli identifikované častice znečistenia (obrázok 11), ktoré sa do kvapaliny mohli dostať počas procesu výroby a distribúcie. V praxi sa tento jav často vyskytuje a preto by bolo vhodné sa zaoberať vstupnou kontrolou a následnou filtráciou kvapaliny pred jej prvým použitím v pracovnom zariadení.

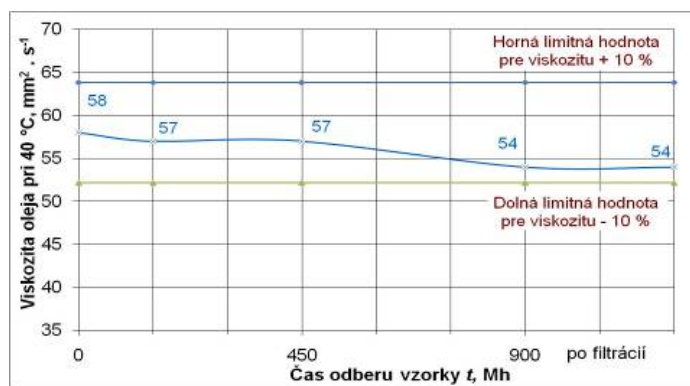


Obrázok 12 Vzorok tuhých nečistôt po 900 Mh: a) zväčšenie 50x, b) zväčšenie 100x

Pri vzorke po 900 Mh je z obrázku 12 možné vidieť častice kovov sfarbených do žltá. Tieto častice vznikajú prevažne adhezívnym opotrebením (obrázok 12 a). Vo vzorke bola identifikovaná aj mosadzná častica abrazívneho opotrebenia, čo by mohlo poukazovať na blížiacu sa poruchu v prevodovo-hydraulickom systéme. Porovnaním obr. 11 a 12 môžeme vidieť, že olej po odpracovaní 900 Mh bol značne znečistený nečistotami rôzneho pôvodu čo sa prejavilo tmavým zafarbením filtračného papiera. Jedná sa predovšetkým o živice, ktoré vznikajú počas degradačných procesov. Keďže aplikovaná ekologická kvapalina mala dobré fyzikálno-chemické vlastnosti, produkty starnutia sa do olejovej náplne dostali pravdepodobne cez vonkajší hydraulický okruh z prípojných zariadení.

### 3.5 Kinematická viskozita

Výrobca kvapaliny považuje kvapalinu za spôsobilú pre ďalšiu prevádzku ak namerané hodnoty kinematickej viskozity vzhľadom na novú kvapalinu sú v tolerancii  $\pm 10\%$ .



Obrázok 13 Kinematická viskozita syntetickej ekologickej kvapaliny Mol Farm UTTO Synt



Hodnota kinematickej viskozity (obrázok 13) počas celej skúšky a aj po ukončení filtrácie meranej pri 40 °C, sa nachádzala v požadovanej tolerancii, z čoho vyplýva, že ekologickú kvapalinu je možné z hľadiska kinematickej viskozity používať ďalej bez nutnosti výmeny.

### 3.6 Číslo kyslosti (TAN)

Počas prevádzky a po filtrácii sme tiež merali hodnoty čísla kyslosti (obrázok 14). Tento parameter má dôležitý význam v hodnotení oleja, pretože zvýšenie kyselín charakterizuje starnutie, degradáciu ekologickej kvapaliny. Namerané hodnoty neprekročili limitnú hodnotu a kvapalinu je možné používať bez nutnosti výmeny.



Obrázok 14 Číslo kyslosti syntetickej ekologickej kvapaliny Mol Farm UTTO Synt

## 4. ZÁVER

Príspevok sa zaoberá skúšaním ekologickej prevodovo-hydraulického kvapaliny s označením MOL Farm UTTO synt, aplikovanej v traktore Zetor Forterra. Počas skúšky boli odoberané vzorky kvapaliny a hodnotené ich kvalitatívne vlastnosti. Na základe hodnôt získaných z meraní kódu čistoty a ICP spektrometrie, sa rozhodlo o ukončení skúšky, nakoľko kvapalina bola v nevyhovujúcom stave a neodporúčalo sa vzhľadom na pokyny výrobcu v ďalšej prevádzke. Pri meraní tuhých nečistôt (obrázok 12a) boli analýzou zistené okrem prvkov adhezívneho opotrebenia aj prvky abrazívneho, čo môže poukazovať na blížiacu sa poruchu prevodovo-hydraulického systému. Boli tiež zisťované hodnoty kinematickej viskozity a čísla kyslosti, ktoré po ukončení skúšky neprekročili limitné hodnoty (obrázok 13 a 14). Meraním sme zistili, že po odpracovaní 900 Mh kvapalina vykazovala dobré fyzikálno-chemické vlastnosti, ale zároveň boli zistené nadlimitné hodnoty obsahu znečistenia tuhých častíc.

Na základe tohto zistenia bolo aplikované navrhnuté filtračné zariadenie z dôvodu predĺženia životnosti skúšanej kvapaliny. Ako je možné vidieť z obrázku 9 po tejto filtrácii klesol obsah prvkov v oleji v prípade železa až o 30 %. Pozitívne účinky filtrácie

sa prejavili tiež pri meraní kódu čistoty, tabuľka 3, poklesom triedy čistoty pre častice väčšie ako 14  $\mu\text{m}$  o dve triedy.

## 5. ZOZNAM CITOVANEJ LITERATÚRY

- BARRETT, M., MCMAHON, M. 2000. Analytical Ferrography – Make It Work For You. *Practicing Oil Analysis Magazine*. October 2000. DRABANT, Š., HUJO, L. 2001. Skúšky regulačného hydraulického systému. In: *Agrotech Nitra 2001*. Nitra : SPUlovenská poľnohospodárska univerzita, 2001. s. 95–101. ISBN 80-7137-874-7.
- DRABANT, Š., ŽIKLA, A., HUJO, L., VARGA, D., KLEINEDLER, P. 2005. Analýza zaťažovacích charakteristík trojbodového závesu traktora. In.. *Hydraulické mechanizmy mobilnej techniky*. Dudince. 19.–21. októbra. Nitra: SPU v Nitre. 2005, s. 113–124. ISBN 80-8069-601-2
- GURINA, M., ABRAHÁM, R., HUJO, L. 2005. The life test of tractor hydraulic pump UN 10L.21. In: *VII. International Conference of Young Scientists 2005*. Praha : Česká zemědělská univerzita, 2005. s. 45–50. ISBN 80-213-1368-4.
- HUJO, L.: 2006. Metódy skúšania hydraulických systémov traktora . *Doktorandská dizertačná práca*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, Nitra, 2006. 174 s.
- HUJO, L., ABRAHÁM, R. 2000. Metodika skúšania trojbodového závesu traktora. In: *Zborník z II. medzinárodnej konferencie mladých 2000*. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2000. s. 120–125. ISBN 80-7137-762-7.
- ILENINOVÁ, J., MIHALČOVÁ, J., KOŠŤÁLIKOVÁ, D. 2008. Hodnotenie vlastností hydraulických kvapalín v leteckých motoroch. In. *REOTRIB 2008 : Kvalita paliv a maziv*. Velké Losiny Praha 28.–30. Května, 2008, s. 118–122. ISBN 978-80-7080-679-1.
- JANOŠKO, I. 1996. Snímanie a monitorovanie parametrov motorov a traktorov. *Habilitačná práca*. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre.
- JOBÁGY, J., PETRANSKÝ, I., SIMONÍK, J. 2003. Tlakové režimy v hydraulike traktorov ZTS v súprave s poľnohospodárskym náradím. In. *Medzinárodná študentská vedecká konferencia*. Nitra, 1.–2. Apríla. Nitra: SPU v Nitre, 2003, s. 94–101. ISBN 80-8060-178-9.
- KUČERA, M., MARKO, J. 2008. Zvyšovanie spoľahlivosti mobilnej techniky monitorovaním technického stavu hydraulickej kvapaliny. In.. *Kolokvium ku grantovej úlohe č. 1/3517/06 : zborník*. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene. ISBN 978-80-228-1958-9.
- KUČERA, M., ROUSEK, M. 2003. Assessing the recycled biodegradable oils in a hydrostatic system. In.. *Forest and wood-processing technology and the environment I : proceedings of the 2nd International scientific conference fortechenvi*. Brno, Mendel University of Agriculture and Forestry. ISBN 80-7157-665-4.
- KUČERA, M., URBLÍK L. 2003. Consideration influences of the operation parameters hydraulic circuit on the high degradable hydraulic oils. In. *Forest and wood-processing technology and the environment I : proceedings of the 2nd International scientific conference fortechenvi*. Brno, Mendel University of Agriculture and Forestry. ISBN 80-7157-665-4.
- DANFOSS. 2003. Hydraulic Fluids and Lubricants – *Technical Information*. Printed in Europe DKMH.PN.980.A2.02 Rev. G – 11/2003.
- SEMETKO, J., JANOŠKO, I. 2005. Zisťovanie parametrov traktorov. *1. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2005*. 139 s. ISBN 80-8069-553-9.
- SLOBODA, A. ml., SLOBODA, A. 2002. Využitie tribotechnickej diagnostiky z pohľadu bezpečnosti prevádzky pre núdzový hydraulický okruh lietadla. *Acta Mechanica Slovaca, č. 3, 2002*, SjF TU Košice, s. 107–113. ISSN 1335-2393.
- TURAN, T., NOVÁČEK, V. 2006. Moderní metody sledování opotřebení strojů. *Ecochem, a. s., Divize technická středisko Tribotechnika*. Praha, 2006.

- VITÁZEK, I. 2005. Teplotechnika a hydrotechnika. 1. vyd. Nitra : SPU in Nitra, 2005. 104 s. ISBN 80-8069-509-1
- CHEMINFO. 2012. ICP-OES. [on/line]. Dostupné na internete: [http://cheminfo.chemi.muni.cz/chem\\_sekce/predmety/C7300/AES/ICP-OES.pdf](http://cheminfo.chemi.muni.cz/chem_sekce/predmety/C7300/AES/ICP-OES.pdf) [04-05-2012]
- Zetor. 2012. Zetor Forterra. [on/line]. Dostupné na internete: <http://www.zetor.cz/zetor-forterra> [05-05-2012]

*Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia grantového projektu Ministerstva školstva Slovenskej republiky VEGA 1/0857/12 „Zníženie nežiaducich vplyvov poľnohospodárskej a dopravnej techniky na životné prostredie“.*

**Kontaktná adresa:**

prof. Ing. Zdenko Tkáč, PhD., Katedra dopravy a manipulácie,  
Technická fakulta, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre,  
Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra,  
e-mail: [radoslav.majdan@gmail.com](mailto:radoslav.majdan@gmail.com)



## MEDZIROČNÉ HODNOTENIE DOPRAVNÉHO PODNIKU S VYUŽITÍM NÁSTROJOV EKONOMICKEJ ANALÝZY

### YEAR TO ASSESSMENT OF TRANSPORT COMPANY USING THE TOOLS OF ECONOMIC ANALYSIS

**Ľubomír HUJO – Juraj JABLONICKÝ – Zdenko TKÁČ  
– Miroslav ŽITŇÁK – Brigita REČKOVÁ**

**ABSTRAKT:** Príspevok je zameraný na možnosti riešenia vnútroštátnej nákladnej dopravy vo vybratom podniku s využitím nástrojov ekonomickej analýzy a analýzy výkonov vozidlového parku. Pre analýzu dopravného podniku sú využívané individuálne zložené indexy, na základe ktorých je možné stanoviť vplyvy medziročných zmien objemu výkonov a jednotkových nákladov na celkové náklady dopravcu. Taktiež je možné určiť, aký vplyv na celkové náklady majú len zmeny objemov výkonov alebo len zmeny jednotkových nákladov. V absolútnom vyjadrení vyššie uvedených ukazovateľov je možné jednotlivé náklady vyjadriť finančnou hodnotou. Súhrnné indexy sú použité na hodnotenie viacerých prevádzok dopravného podniku. Na základe vzájomného hodnotenia je možné tak stanoviť vplyvy medziročných zmien objemu výkonov a jednotkových nákladov na celkové náklady dopravcu za všetky technológie prepravy.

**Kľúčové slová:** ekonomická analýza, jednotkové náklady, jazdné výkony, objem výkonov, individuálne zložené indexy

**ABSTRACT:** The contribution is focused on ways of solution of domestic freight transport in the choice transport firm with utilization of economic analysis and driving performance analysis of truck pool. For analysis of transport firm are used individual indexes. On the basis of individual indexes is a possibility to define impact changes of volume productions and unit costs in total costs of transport firm between individual years. Is possible to define what influence on total costs has changes of volume productions or unit costs individual. In absolute statement above mentioned indexes is possibility costs to define by the financial worth. Summary indexes are used on evaluation of several company operation of transport firm. On the basis of mutual evaluation is a possibility to define impact changes of volume productions and unit costs in total costs of transport firm for all transport technology. Is possible to define what influence on total costs has changes of volume productions or unit costs individual for all transport technology too.

**Key words:** economic analysis, unit costs, driving performance, volume productions, individual composite indices

## 1. ÚVOD

V súčasnom období sme svedkami neustále sa meniaceho hospodárskeho vývoja nie len u nás, ale aj v zahraničí. Jedným z mnohých faktorov, ktoré vplývajú na hospodársky, a tým aj ekonomický vývoj v Slovenskej republike, ale aj v ostatných štátoch Európskej únie je sektor dopravy. Kvalitne vybudovaná infraštruktúra je predpokladom pre hospodársky rast, ktorý nemalou mierou ovplyvňuje fungovanie ekonomiky.

Ako uvádzajú štatistiky vypracované Ministerstvom dopravy, pôšt a telekomunikácií, sektor dopravy vytvára približne 8,2 % hrubého domáceho produktu v Slovenskej republike, a taktiež sa 4,2 % – mi podieľa na tvorbe pracovných miest. Môžeme teda konštatovať, že uvedený sektor vytvára podmienky pre rozvoj regiónov a podieľa sa na vhodnom využívaní hospodárskeho a spoločenského potenciálu. Je treba taktiež dodať, že na vyššie uvedené skutočnosti má vplyv jednak kvalitne vybudovaná infraštruktúra, ktorá by mala vhodným spôsobom nadväzovať na potreby výrobných a obchodných podnikov, a taktiež legislatíva podporujúca dopravcov.

Doprava v každom štáte je ovplyvňovaná celým radom sociálno-ekonomických faktorov, medzi ktoré je možné zaradiť demografiu, územné plánovanie, úroveň obyvateľstva a v neposlednom rade aj integráciu krajiny do medzinárodného obchodu. Všetky uvedené faktory majú značný vplyv na dopyt a ponuku dopravných služieb.

Cieľom príspevku je spracovať vstupné údaje, ktoré charakterizujú produkčné faktory dopravného podniku. S využitím individuálnych zložených indexov bude možné stanoviť vplyvy medziročných zmien objemu výkonov a jednotkových nákladov na celkové náklady dopravcu.

## 2. MATERIÁL A METÓDY

Podnik cestnej dopravy je zložitým ekonomickým systémom s ekonomickou štruktúrou, ekonomickými cieľmi a záujmami. Hlavnou úlohou dopravného podniku je plnenie prepravných požiadaviek spoločnosti alebo zákazníkov pri maximálnej hospodárnosti, optimálnom využívaní produkčných faktorov, vysokou mierou produktivity práce a ekonomickej efektívnosti. Činnosť dopravného podniku je preto možné charakterizovať nie len prevádzkovo-prepravnými, ale aj ekonomickými kategóriami, procesmi a vzťahmi (KONEČNÝ, a iní, 2010).

Predmetom ekonomického skúmania je dopravný podnik alebo jeho časť, ekonomický stav, hospodárenie a výsledky hospodárenia. Komplexné poznanie, ktoré je výsledkom uskutočnenia ekonomickej analýzy, má slúžiť na profesionálne rozhodovanie a riadenie podniku. V prípade, že je ekonomická analýza podložená hodnotami konkrétnych ukazovateľov, je možné ju použiť ako nástroj diagnostickej činnosti, ktorá hovorí o ekonomickom zdraví podniku (KONEČNÝ, a iní, 2010). Zavádzaním nových prvkov do riadenia dopravných firiem sa dosiahne zefektívnenie systému riadenia, pričom za jeden z takýchto nových prvkov možno považovať controlling. Úlohou controllingu je vytvorenie komplexného systému informácií o nákladoch a výkonoch, ekonomických ukazovateľoch, ktoré by mali vyhodnocovať nielen vývoj podniku ako celku, ale pozeráť sa na jeho fungovanie z čiastkových pohľadov, ktoré sú z hľadiska riadenia rozhodujúce, (FÍBEROVÁ, 2001).

Ako uvádza KONEČNÝ a iní, (2010) efektívna prevádzka dopravných prostriedkov v podniku cestnej dopravy môže byť zabezpečená jedine s primeraným časovým využitím dopravných prostriedkov. Efektívne časové využitie vozidlového parku, resp. vozidla sa analyzuje prostredníctvom ukazovateľov časového využitia vozidlového parku, medzi ktoré patria:

- vozidlové dni v prevádzke – absolútny ukazovateľ časového využitia – vozidlo pri efektívnej prevádzke by malo realizovať výkon v priebehu roka približne na úrovni 250 dní,
- súčiniteľ využitia vozidlového parku – relatívny ukazovateľ časového využitia – vozidlo by malo pri efektívnej prevádzke realizovať výkon približne na úrovni 0,7.

### Individuálne indexy (KONEČNÝ, a iní, 2010)

Individuálne zložené indexy, resp. ich absolútne vyjadrenie, je možné využiť pri plánovaní objemu výkonov alebo stanovení nákladovej úrovne prípadne jednotkových cien v budúcom období pre konkrétne strediská dopravcu. To znamená, že je možné ich použiť pri podnikovom plánovaní alebo modelovaní alternatív pre budúcnosť.

*Index premenlivého zloženia* – zohľadňuje vplyv veličín  $p$  (napr. priemerné jednotkové náklady €/km) a  $q$  (napr. jazdný výkon v km):

$$I_{pz} = \frac{\frac{\sum p_1 \cdot q_1}{\sum q_1}}{\frac{\sum p_0 \cdot q_0}{\sum q_0}} \quad (1)$$

*Index stáleho zloženia* – zohľadňuje vplyv len veličiny  $p$  (napr. priemerné jednotkové náklady €/km):

$$I_{pzp} = \frac{\frac{\sum p_1 \cdot q_1}{\sum q_1}}{\frac{\sum p_0 \cdot q_1}{\sum q_1}}, \quad I_{pzi} = \frac{\frac{\sum p_1 \cdot q_0}{\sum q_0}}{\frac{\sum p_0 \cdot q_0}{\sum q_0}} \quad (2)$$

*Index štruktúry* – zohľadňuje vplyv len veličiny  $q$  (napr. jazdný výkon v km):

$$I_{\text{šp}} = \frac{\frac{\sum p_1 \cdot q_1}{\sum q_1}}{\frac{\sum p_1 \cdot q_0}{\sum q_0}}, \quad I_{\text{pi}} = \frac{\frac{\sum p_0 \cdot q_{10}}{\sum q_1}}{\frac{\sum p_0 \cdot q_0}{\sum q_0}} \quad (3)$$

Relatívnu zmenu vyjadrenú pomocou indexov je možné vyjadriť aj v absolútnej forme. V absolútnej forme je možné posudzovať vplyv ukazovateľov jednotlivo alebo aj ich vplyv súčasne:

*Absolútna zmena vplyvom veličín  $p$  a  $q$  súčasne:*

$$\left( \frac{\sum p_1 \cdot q_1}{\sum q_1} - \frac{\sum p_0 \cdot q_0}{q_0} \right) \cdot \sum q_1 \quad (4)$$

Absolútna zmena len vplyvom zmeny veličiny p:

$$\left( \frac{\sum p_1 \cdot q_1}{\sum q_1} - \frac{\sum p_0 \cdot q_1}{q_1} \right) \cdot \sum q_1 \quad (5)$$

Absolútna zmena len vplyvom zmeny veličiny q:

$$\left( \frac{\sum p_0 \cdot q_1}{\sum q_1} - \frac{\sum p_0 \cdot q_0}{q_0} \right) \cdot \sum q_1 \quad (6)$$

### 3. VÝSLEDKY PRÁCE

V predloženom príspevku je pozornosť upriamená na hodnotenie dopravného podniku z pohľadu individuálne zložených indexov. Uvedené hodnotenie umožňuje operatívne sledovanie jazdných výkonov a jednotkových nákladov v jednotlivých mesiacoch konkrétneho roka 2011, spolu s porovnávanými ukazovateľmi vykazovaných v roku 2010. V programe MS OFFICE bol spracovaný program na výpočet individuálne zložených indexov, ktorý pozostáva z nasledovných výpočtov:

1. hodnotenia medziročných zmien nákladov za jednotlivé prevádzky,
2. charakteristík variability,
3. výpočet početnosti.

Zadané hodnoty potrebné pre výpočet vyššie uvedených parametrov sú uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1 Vstupné údaje pre hodnotenie dopravného podniku pre stanovenie individuálne zložených indexov

Mesiac	jazdné výkony km		jednotkové náklady EUR/km		q <sub>0</sub> ·p <sub>0</sub> EUR	q <sub>1</sub> ·p <sub>0</sub> EUR	q <sub>0</sub> ·p <sub>1</sub> EUR	q <sub>1</sub> ·p <sub>1</sub> EUR
	2010	2011	2010	2011				
	q <sub>0</sub>	q <sub>1</sub>	p <sub>0</sub>	p <sub>1</sub>				
január	95 695	124 470	0,36	0,82	34 225	44 516,3	78 938,6	102 675
február	94 652	124 690	0,58	0,27	54 760	72 138,2	25 980,1	34 225
marec	98 107	123 059	0,49	0,83	47 915	60 101,4	81 856,2	102 675
apríl	96 315	109 871	0,78	0,69	75 295	85 892,5	6 6005	75 295
máj	89 282	129 069	0,77	0,58	68 450	98 953,6	52 084,5	75 295
jún	91 370	135 359	0,90	0,35	82 140	12 1685	32 343,6	47 915
júl	69 326	118 711	0,20	0,75	13 690	23 442,2	51 966,3	88 985
august	84 921	129 091	0,64	0,58	54 760	83 242,3	49 531,9	75 295
september	121 762	144 281	0,56	0,52	68 450	81 109,3	63 543,2	75 295
október	120 993	139 296	0,34	0,25	41 070	47 282,8	29 728	34 225
november	136 175	151 955	0,30	0,36	41 070	45 829,2	49 073,4	54 760
december	111 748	124 061	1,35	1,43	150 590	167 183	160 307	177 970



Vypočítané pomocné hodnoty zo vstupných údajov

Prevádzka	jazdné výkony, km		priemerné jednotkové náklady, EUR/km		q <sub>0</sub> -P <sub>0</sub> EUR	q <sub>1</sub> -P <sub>0</sub> EUR	q <sub>0</sub> -P <sub>1</sub> EUR	q <sub>1</sub> -P <sub>1</sub> EUR
	2010	2011	2010	2011				
	q <sub>0</sub>	q <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>				
PREVÁDZKA 1	100862,17	129492,75	0,61	0,62	61064,37	78398,02	62633,10	80412,04
PREVÁDZKA 2	-	-	-	-	-	-	-	-
PREVÁDZKA 3	-	-	-	-	-	-	-	-
PREVÁDZKA 4	-	-	-	-	-	-	-	-
SPOLU	100862,17	129492,75	0,61	0,62	61064,37	78398,02	62633,10	80412,04

Vplyv medziročnej zmeny výkonov a jednotkových nákladov na celkové náklady dopravy - zmena objemu aj zmena jednotkových nákladov			
Ipz	1,0257	-	medziročne prišlo vplyvom zmeny objemu výkonov a jednotkových nákladov k zvýšeniu nákladov dopravy za jednotlivé prevádzky o 2,57%
Vplyv medziročnej zmeny výkonov a jednotkových nákladov na celkové náklady dopravy - zmena objemu			
Išp	1,0000	-	medziročne prišlo vplyvom zmeny objemu výkonov k vyrovnaníu celkových nákladov dopravy za jednotlivé prevádzky o 0,00%
Vplyv medziročnej zmeny výkonov a jednotkových nákladov na celkové náklady dopravy - zmena jednotkových nákladov			
Isz	1,0257	-	medziročne prišlo vplyvom zmeny jednotkových nákladov k zvýšeníu celkových nákladov dopravy za jednotlivé prevádzky o 2,569%
Fisherove pravidlo	1,03	=	1,03 výpočet je správny
Absolútna medziročná zmena celkových nákladov spôsobená medziročnou zmenou výkonou a jednotkových nákladov			
Apz	2 014,027 €	-	medziročne prišlo vplyvom zmeny objemu výkonov a jednotkových nákladov k zvýšeníu celkových nákladov dopravy za jednotlivé prevádzky o 2 014,03 € , čo zodpovedá medziročnému zvýšeníu o 2,57%
Absolútna medziročná zmena celkových nákladov spôsobená len medziročnou zmenou výkonov dopravy			
Ašp	0,000 €	-	medziročne prišlo vplyvom zmeny objemu výkonov k vyrovnaníu celkových nákladov dopravy o 0,000 € , čo zodpovedá medziročnému vyrovnaníu o 0,000%
Absolútna medziročná zmena celkových nákladov spôsobená len medziročnou zmenou jednotkových nákladov dopravy			
Asz	2 014,027 €	-	medziročne vplyvom zmeny jednotkových nákladov prišlo k zvýšeníu celkových nákladov dopravy o 2 014,03 € , čo zodpovedá medziročnému zvýšeníu celkových nákladov o 2,569%
Overenie správnosti výpočtu	2014,027	=	2014,027 výpočet je správny

Obrázok 1 Výstupný formulár medziročnej zmeny nákladov

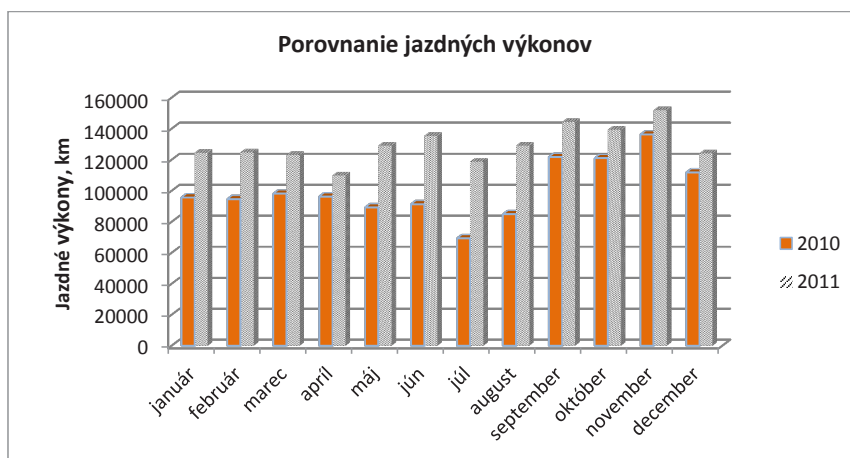
Výstupný formulár, ktorého štruktúra je znázornená na obrázku 1 uvádza vplyvy medziročných zmien výkonov a jednotkových nákladov, ktoré majú podiel na celkových nákladoch

dopravcu. Z uvedeného je možné stanoviť, aký vplyv má zmena objemov na celkové náklady dopravcu, ako aj vplyv zmeny jednotkových nákladov na celkové náklady dopravcu. Tieto zmeny je možné vyjadriť buď v percentuálnom alebo v peňažnom vyjadrení. Taktiež je možné zosumarizovať jednotlivé vyššie uvedené vplyvy zmien v jednotkových nákladoch a zmenách objemov, a tak stanoviť ich celkový vplyv na náklady dopravcu.

Pre overovanie či sa jedná skutočne o správnu analýzu výpočtu spomenutých zmien, sú tieto podrobené skúške pozostávajúcej z tzv. Fisherovho pravidla. Na základe overenia správnosti výpočtu podľa spomínaného testu možno konštatovať, že analýza orientovaná na stanovenie celkových nákladov dopravcu v závislosti od zmien jednotkových nákladov a objemov je správna.

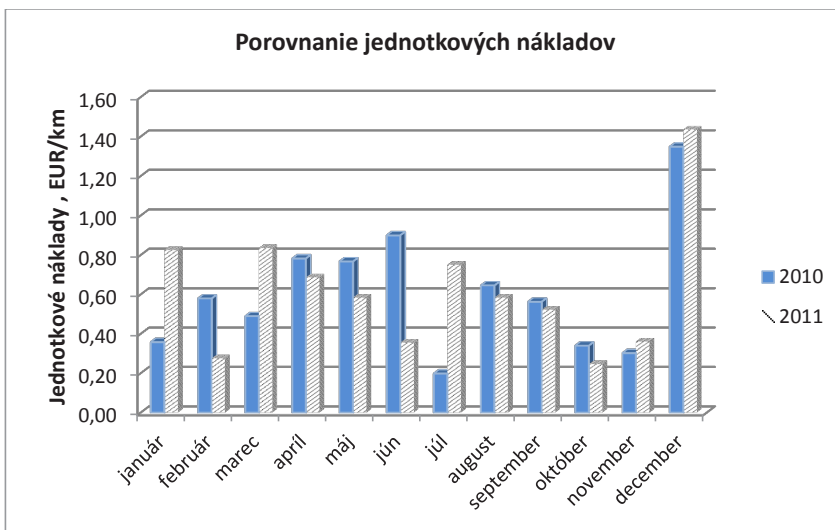
Po medzročnom porovnaní možno konštatovať, že vplyvom zmeny objemov výkonov a jednotkových nákladov prišlo k zvýšeniu nákladov dopravcu v roku 2011 o 2,57 %. Táto percentuálna hodnota zodpovedá finančnej hodnote 2 014,027 EUR. Ak by sme porovnávali medzročne len vplyv výkonov, tak možno konštatovať, že jazdné výkony nemali vplyv na celkové náklady dopravcu.

Grafické porovnanie jazdných výkonov je uvedené na obrázku 2 a porovnanie jednotkových nákladov na obrázku 3.



Obrázok 2 Medzročné porovnanie jazdných výkonov

Pri medzročnom hodnotení jednotkových nákladov (obrázok 3) je zrejmé, že v roku 2010 boli tieto v mesiacoch február, apríl, máj, jún, august, september a október vyššie v priemere o 28 % naproti tomu v roku 2011 boli jednotkové náklady vyššie v mesiacoch január, marec, júl, november, december v priemere o približne 39 %.



Obrázok 3 Medziročné porovnanie jednotkových nákladov

S využitím štatistických metód sme stanovili frekvenciu jazdných výkonov a jednotkových nákladov v porovnávaných rokoch. Výsledky sú zaznamenané v grafickej forme na obrázkoch 4 až 7.

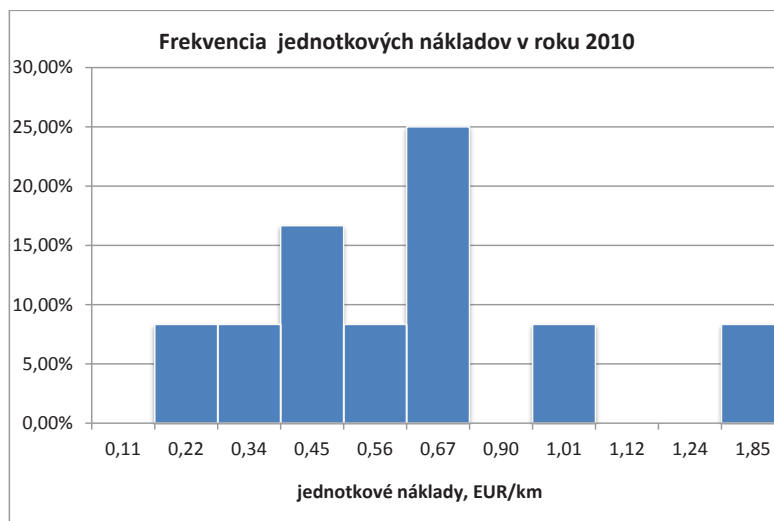


Obrázok 4 Frekvencia jazdných výkonov v roku 2010

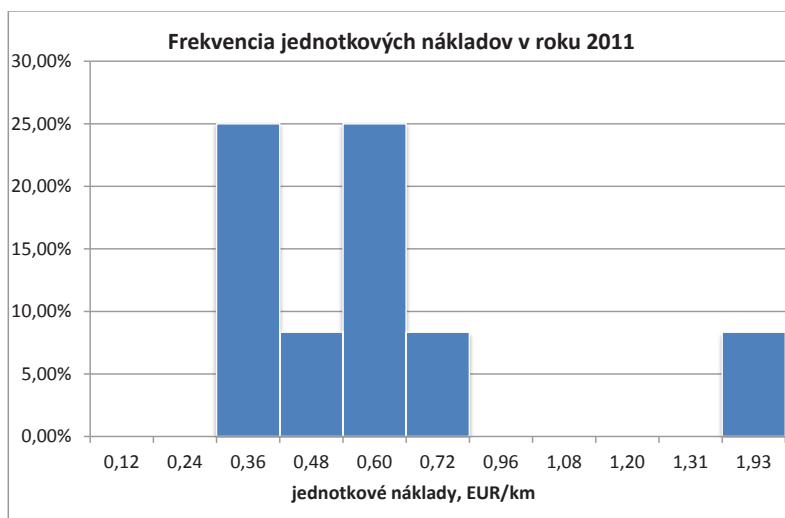


Obrázok 5 Frekvencia jazdných výkonov v roku 2011

Pri stanovení frekvencie jazdných výkonov v porovnávaných rokoch 2010 a 2011 sme vychádzali z variačného rozpätia, ktoré je charakterizované hodnotami maximálnych a minimálnych ubehnutých vzdialeností. Po stanovení počtu intervalov boli vypočítané percentuálne relatívne početnosti. Následne boli zostrojené grafické závislosti medzi percentuálnou relatívnou početnosťou a jazdnými výkonmi (obrázky 4 a 5). Z uvedených grafických závislostí je možné sledovať percentuálne zastúpenie prepravných vzdialeností v rámci medziročného hodnotenia.



Obrázok 6 Frekvencia jednotkových nákladov v roku 2010



Obrázok 7 Frekvencia jednotkových nákladov v roku 2011

Pri stanovení frekvencie jednotkových nákladov v porovnávaných rokoch 2010 a 2011 sme vychádzali z variačného rozpätia, ktoré je charakterizované hodnotami maximálnych a minimálnych hodnôt jednotkových nákladov. Tak ako v predchádzajúcom prípade po stanovení počtu intervalov, boli vypočítané percentuálne relatívne početnosti. Následne boli zostrojené grafické závislosti medzi percentuálnou relatívnou početnosťou a jednotkovými nákladmi v sledovanom období (obrázky 6 a 7). Z uvedených grafických závislostí je možné sledovať percentuálne zastúpenie jednotkových nákladov v rámci medziročných hodnotení dopravného podniku.

#### 4. ZÁVER

Tak ako v iných odvetviach národného hospodárstva aj v oblasti dopravy je potrebné zabezpečovať čo najefektívnejšie využívanie ľudských ako aj materiálnych zdrojov. Na základe uskutočnených štatistických analýz bolo možné stanoviť medziročné porovnania vybraných ukazovateľov dopravného podniku. Pre analýzu dopravného podniku boli využívané individuálne zložené indexy, na základe ktorých sme stanovili vplyvy medziročných zmien objemu výkonov a jednotkových nákladov na celkové náklady dopravy. Pri medziročnom porovnaní zmien výkonov a jazdných nákladov, ktoré majú dopad na celkové náklady dopravy možno konštatovať, že medziročne prišlo vplyvom zmeny objemov výkonov a jednotkových nákladov k zvýšeniu nákladov dopravy o 2,57%. Najväčší podiel na vyššie uvedenom náraste nákladov dopravy mali jednotkové variabilné náklady, ktoré sú spojené napr. s cenou PHM, náhradných dielov a pod. Aj napriek tomu prišlo v sledovanom podniku pri medziročnom porovnaní k zvýšeniu celkových tržieb o približne 31,7% čo v peňažnom vyjadrení predstavuje približne 19 400 €. Najväčší vplyv na zvýšení celkových tržieb majú zmeny objemu výkonov, ktoré sa na vyššie uvedenom navýšení podieľajú 28,4%.

Z údajov spracovaných pomocou štatistických analýz je možné vyvodit' potrebné opatrenia, smerujúce k dosiahnutiu zvýšenia výkonov dopravného podniku.

## 5. ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- ESCHENBACH, R. Controlling. I. vydanie. Praha, 2000. ISBN 80-85963-86-8.
- FOLTÍNOVÁ, A., KALAFUTOVÁ, E. Vnútropodnikový controlling. Bratislava : ELITA, 1988. ISBN 80-8044-045-9.
- GNAP, J. Medzinárodná cestná nákladná doprava. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline v EDIS – vydavateľstvo ŽU, 1999. s. 245. ISBN 3-567-7100-80.
- CHAJDIAK, J. *Štatistika v Exceli 2007*. Bratislava : STATIS, 2009. ISBN 978-80-85659-49-8.
- KONEČNÝ, V., POLIAK, M. – POLIAKOVÁ, A. Ekonomická analýza podniku cestnej dopravy. I.vydanie. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline/ EDIS – vydavateľ ŽU, 2010. s. 279. ISBN 978-80-554-0253-6.
- POLIAK, M. a KONEČNÝ, V. Ekonomika cestnej a mestskej dopravy I – návody na cvičenia. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline v EDIS, 2008. ISBN 0-999-8070-80-978.
- VAŠEK, M., JOBBÁGY, J., RATAJ, V. 2011. Hodnotenie štruktúry času nasadenia traktora pomocou monitorovacieho systému na báze GPS. In: Mechanizace zemědělství – Zvláštní vydání. Praha, květen, 2011. s. 159–166, ISSN 0373-6776.

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia grantového projektu Ministerstva školstva Slovenskej republiky VEGA 1/0857/12 „Zníženie nežiaducich vplyvov poľnohospodárskej a dopravnej techniky na životné prostredie“.

### **Kontaktná adresa:**

Ing. Ľubomír Hujo, PhD., Katedra dopravy a manipulácie,  
Technická fakulta, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre,  
Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra,  
e-mail: lubomir.hujo@gmail.com

## ZÁVISLOSŤ KRÚTIACEHO MOMENTU A OSOVEJ SILY OD HODNOTY UHLA CHRBTÁ VRTÁKA

### DEPENDENCE OF TORQUE AND AXIAL FORCE BY THE VALUES CLEARANCE ANGLE ON THE DRILL BITS

**Jaroslav ĽALÍK – Ľubomír JAVOREK**

**ABSTRAKT:** Vrtanie je najpoužívanejším spôsobom výroby otvorov pre kolíky, skrutky, závitky potrebné pre spájanie dielcov. Článok opisuje vplyv hodnoty uhla chrbta a rýchlosti posuvu na krútiaci moment a osoú silu pri vrtaní ocele. Porovnávame namerané hodnoty krútiaceho momentu a osovej sily pri rôznych uhloch chrbta a rôznej rýchlosti posuvu.

**Kľúčové slová:** Vrtanie, uhol chrbta, osoú sila

**ABSTRACT:** Drilling is the most widely used method of production holes for pins, screws, thread required for joining of parts. This article describes the impact of value of the clearance angle and feed to the torque and axial force during drilling steel. We compare the measured values of torque and axial force at different clearance angles and different feed.

**Key words:** Drilling, clearance angle, axial force

## 1. ÚVOD

Aj keď používanie vrtania v porovnaní s pílením, frézovaním a brúsením nie je také frekvencované, je potrebné venovať mu taktiež veľkú pozornosť. Keďže väčšina vytváraných otvorov sa vyhotovuje pomocou vrtania. Preto je jeho energetická náročnosť a ekonomická náročnosť nástrojov veľmi relevantná a je ju potrebné znižovať. Veľkosť osovej sily je potrebné udržať v primeraných hraniciach aj z hľadiska tepelného zaťaženia nástroja.

Zníženie osovej sily znižuje trenie v mieste rezu a tým aj tepelné zaťaženie reznej hrany. Znížením trenia znižujeme straty a tým aj energiu vynaloženú na vrtanie.

Pri znižovaní krútiaceho momentu sa znižuje opotrebenie nástroja a čo je hlavné, klesá výkon potrebný na vrtanie. Znížením krútiaceho momentu priamo znižujeme spotrebu el. energie, ktorú stroj odoberá zo siete. Pri znižovaní opotrebenia nástrojov skracujeme prestoje potrebné na výmenu nástroja a šetríme peňažné prostriedky vynaložené na kúpu nových nástrojov.

## 2. CHARAKTERISTIKA VRTANIA

### 2.1. Prierezové parametre triesky

Ak sa jedná o vrták s jednou reznou hranou, bude teoretický prierez odoberanej triesky  $A_{D1}$  daný vzťahom:

$$A_{D1} = b_D \cdot h_D = \frac{f_n}{1} \cdot \sin \kappa_r \cdot \frac{D_n}{2 \cdot \sin \kappa_r} = \frac{D_n \cdot f_n}{2} = \frac{D_n \cdot f_z}{2} \quad [mm^2] \quad (1)$$

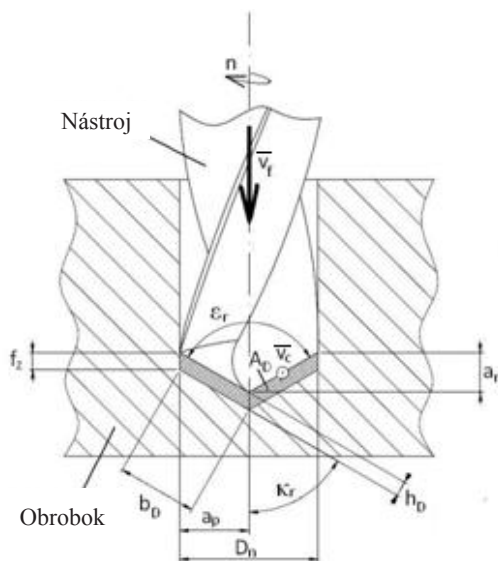
kde:  $b_D$  – šírka odoberanej vrstvy,  
 $h_D$  – hrúbka odoberanej vrstvy.

Pri nástroji s dvoma reznými hranami, bude teoretický prierez triesky odoberanej jednou reznou hranou daný vzťahom:

$$A_{D1} = b_D \cdot h_D = \frac{f_n}{2} \cdot \sin \kappa_r \cdot \frac{D_n}{2 \cdot \sin \kappa_r} = \frac{D_n \cdot f_n}{4} = \frac{D_n \cdot f_z}{2} \quad [mm^2] \quad (2)$$

Ak sa jedná o vrták s dvoma reznými hranami, bude výsledný prierez odoberanej vrstvy daný vzťahom:

$$A_D = 2 \cdot A_{D1} = \frac{D_n \cdot f_n}{2} = D_n \cdot f_z \quad [mm^2] \quad (3)$$



- $D_n$  – priemer nástroja
- $K_r$  – uhol nastavenia hlavnej reznej hrany
- $\varepsilon_r$  – uhol hrotu
- $f_z$  – posuv na zub
- $b_D$  – šírka odoberanej triesky
- $h_D$  – hrúbka odoberanej triesky
- $a_p$  – šírka rezu
- $a_r$  – hĺbka rezu

Obr. 1: Prierezové parametre triesky pri vrtaní



## 2.2. Silové a energetické parametre

Proces vrtania je zaradovaný do kategórie uzavretého rezania, pri ktorom sa najčastejšie pri výpočte silových veličín postupuje experimentálne, pretože je to zložité.

Všeobecne pre reznú silu  $F_c$ , čiže pre tangenciálnu zložku výslednej sily, ktorá pôsobí na ramene  $\frac{D_n}{4}$ , platí:

$$F_{c1} = F_{c2} = F_c = k_c \cdot A_D = k_c \cdot \frac{D_n \cdot f_n}{4} \quad [N] \quad (4)$$

kde:  $k_c$  – merný rezný odpor,

$A_D$  – plocha triesky odobratá pri jednej otáčke nástroja.

A pre rezný moment odpovedajúci tejto sile platí:

$$M_{k_z} = F_c \cdot \frac{D_n}{2} = k_c \cdot \frac{D_n^2 \cdot f_n}{8} \quad [Nm] \quad (5)$$

Pri vrtaní hlbších dier je veľkosť rezného krútiaceho momentu daná krútiacim momentom  $M_{k_z}$  pre odoberanie triesky, ďalej krútiacim momentom  $M_{k_f}$ , ktorý je vytvorený trením fazetky vrtáka o dieru a krútiacim momentom  $M_{k_t}$ , ktorý je spôsobený trením triesky o stenu drážky vrtáka a otvoru.

$$M_k = M_{k_z} + M_{k_f} + M_{k_t} \quad [Nm] \quad (6)$$

Pri narastaní hĺbky otvoru rastú aj trecie momenty  $M_{k_f}$  a  $M_{k_t}$

Pre výpočet osovej sily  $F_{of}$  z veľkosti reznej sily  $F_c$  sa používa empirický vzťah:

$$F_{of} = k \cdot F_c \quad [N] \quad (7)$$

Konštanta  $k$  sa určuje v závislosti od veľkosti otupenia nástroja a jej veľkosť sa pohybuje v širokom rozmedzí. Tak ako výsledný krútiaci moment aj výsledná osová sila je daná zložkami:

$$F_{of} = F_f + F_{ff} + F_{ft} \quad [N] \quad (8)$$

## 3. EXPERIMENT

### 3.1. Stroj, nástroj, meracia aparatura

#### *Stroj*

Na vrtanie bola pri experimente použitá stĺpová vrtáčka typu 2H 135 od výrobcu Závodov VIL (Obr. 2). Technické parametre sú uvedené v tabuľke 1.



Obr. 2: Vítačka 2H135

Tabuľka 1: Technické parametre stroja

Rozmery stroja (d × š × v)	785 mm × 915 mm × 2350 mm
Frekvencia otáčania vretena	31,5 min <sup>-1</sup> – 1 400 min <sup>-1</sup>
Posuv	0,1 mm – 1,6 mm
Max. priemer vrtáka	35 mm
Rozmery pracovného stola ( d × š )	450 mm × 500 mm
Celkový príkon	4 kW

### *Nástroj*

Na vrtanie sa ako nástroj použili 3 kusy vrtákov  $\varnothing 21$  s kužeľovou stopkou od výrobcu Format (Obr. 3). Vrtáky boli pred experimentom prebrúsené a na každom bol vytvorený iný uhol chrbta. Hodnoty uhla chrbta boli 8°, 10° a 12°.



Obr. 3: Vrtáky  $\varnothing 21$  použité pri vrtaní

### *Meracia aparatúra*

Na meranie osovej sily rezného momentu bolo pri experimente použité meracie zariadenie od firmy Kistler (Obr. 4). Meracie zariadenie pozostáva z dynamometra typu 9272

(merací rozsah osovej sily –5 kN až 20 kN, merací rozsah momentu –200 Nm až 200 Nm), multi-kanálového zosilňovača 5070A, 16-bitového A/D prevodníka 5697A a notebooku s meracím programom Dynoware.



Obr. 4: Meracia aparatúra od firmy Kistler

### *Materiál a podmienky experimentu*

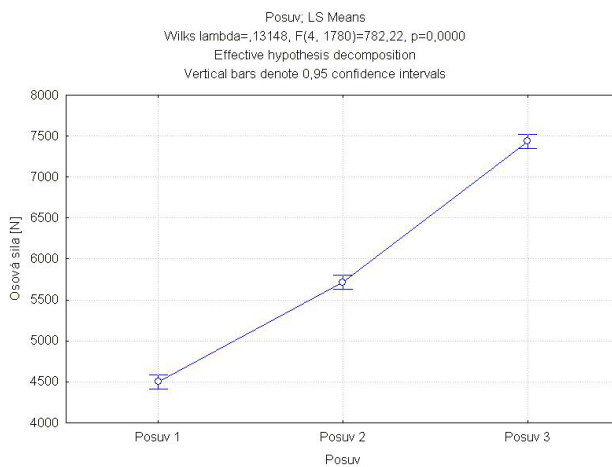
Pri experimente boli vŕtané vzorky s rozmermi ( $d \times \delta \times v$  – 60 mm  $\times$  40 mm  $\times$  19 mm) z materiálu 12050, ktorý bol normalizačne žihaný.

Frekvencia otáčania nástroja bola nastavená na 250 min<sup>-1</sup>. Posuv bol menený v troch stupňoch a to 0,2 mm, 0,28 mm a 0,4 mm.

## 4. VÝSLEDKY A DISKUSIA

### 4.1. Vplyv posuvu na osovú silu

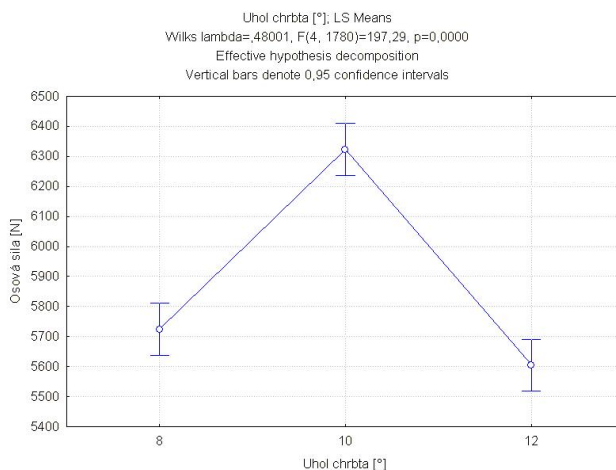
Z grafu (Obr. 5) je zreteľne vidieť, že zmena posuvu značne ovplyvňuje osovú silu. Pri zmene posuvu z 0,2 mm na 0,28 mm vzrástla osová sila približne 1,25 krát a pri zdvojnásobení posuvu na 0,4 mm osová sila vzrástla približne 1,65 krát. Z tohto merania vyplýva, že osová sila narastá skoro lineárne s nárastom posuvu.



Obr. 5: Osová sila nameraná pri rôznych posuvoch

## 4.2. Vplyv uhla chrbta nástroja na osovú silu

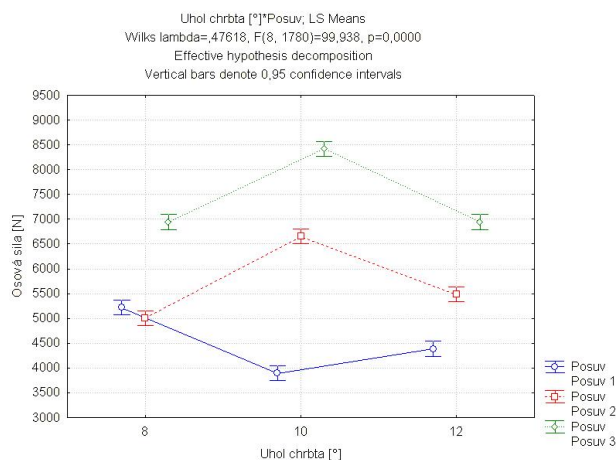
Pri zmene uhla chrbta je viditeľná zmena osovej sily. Na grafe (Obr. 6) je avšak možné pozorovať, že osová sila sa pri tomto meraní nemenila lineárne so zmenou uhla chrbta nástroja. Podľa nameraných hodnôt sa javí uhol chrbta  $12^\circ$  ako najvhodnejší, pretože sme pri ňom namerali najmenšiu osovú silu. Uhol  $10^\circ$  pri tomto meraní vykazuje nárast priemerných hodnôt o 720 N v porovnaní s hodnotami nameranými pri uhle  $12^\circ$ . Pri uhle  $8^\circ$  bol nárast priemerných hodnôt o 120 N oproti hodnotám pri uhle  $12^\circ$ . Uhol  $10^\circ$  sa pri tomto meraní javí ako najnevhodnejší pre dané rezné podmienky, avšak jeho nevhodnosť by bolo potrebné overiť ďalšími pokusmi.



Obr. 6: Osová sila nameraná pri rôznych uhloch chrbta nástroja

## 4.3. Vzájomné pôsobenie uhla chrbta a posuvu na osovú silu

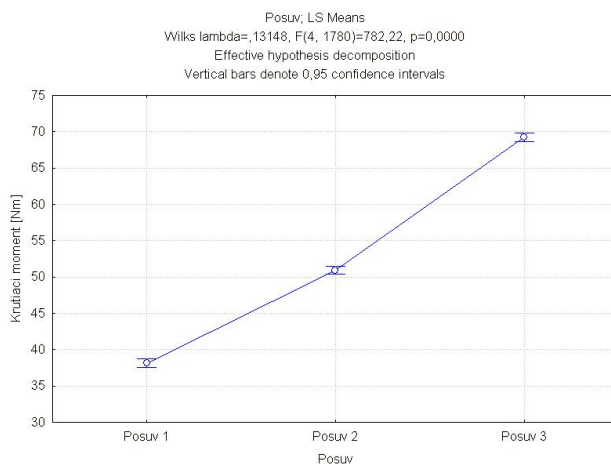
Na grafe (Obr. 7) je vyobrazená osová sila pri rôznych posuvoch a uhloch chrbta nástroja. Z grafu je možné vidieť, že nástroj s uhlom chrbta  $10^\circ$  bol namáhaný v dvoch prípadoch najväčšou osovou silou, ale pri posuve 0,2 mm boli hodnoty osovej sily najmenšie z porovnávaných nástrojov. Nástroj s uhlom chrbta  $8^\circ$  má hodnoty osovej sily porovnateľné s nástrojom s uhlom chrbta  $12^\circ$  avšak pri posuve 0,2 mm má oproti nástroju s uhlom  $12^\circ$  výrazne zvýšenú hodnotu osovej sily. Ako najlepší sa podľa vykonaného merania javí nástroj s uhlom chrbta  $12^\circ$ , ktorý má primerane rastúce hodnoty osovej sily pri každom použitom posuve a nevykazuje viditeľné výkyvy osovej sily.



Obr. 7: Osová sila pri porovnaní posuvu a uhla chrbta nástroja

#### 4.4. Vplyv posuvu na krútiaci moment

Na (Obr. 8) je zobrazený graf závislosti krútiaceho momentu od posuvu. Z grafu je možné vidieť, že krútiaci moment rastie so zvyšovaním posuvu takmer lineárne. Pri zme-  
 ne posuvu z 0,2 mm na 0,28 mm vzrástol krútiaci moment nástroja približne o 35 %. A pri  
 zdvojnásobení posuvu na 0,4 mm bol nárast krútiaceho momentu približne o 80 %. Nárast  
 krútiaceho momentu pri zvýšení posuvu je väčší oproti nárastu osovej sily.

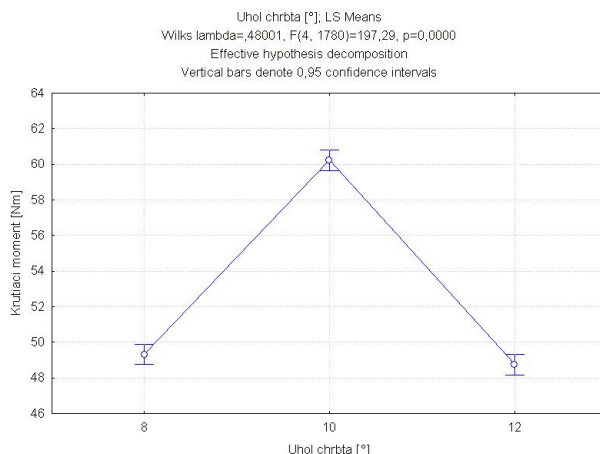


Obr. 8: Závislosť krútiaceho momentu od posuvu

#### 4.5. Vplyv uhla chrbta na krútiaci moment

Na (Obr. 9) je zobrazený graf závislosti krútiaceho momentu od uhla chrbta nástroja. Z grafu je viditeľné, že nástroj s uhlom chrbta 12° bol krútiacim momentom zaťažovaný

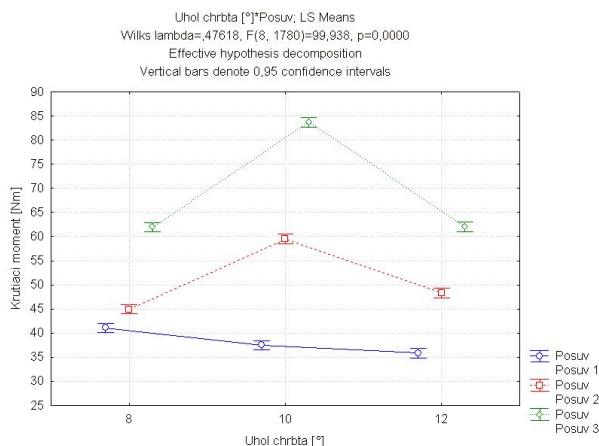
najmenej. Nástroj s uhlom chrbta  $8^\circ$  má priemerné hodnoty krútiaceho momentu väčšie len o 1 Nm. Pri nástroji s uhlom chrbta  $10^\circ$  je priemerná hodnota krútiaceho momentu väčšia o viac ako 10 Nm. Týmto sa javí ako nevyhovujúci pri týchto rezných podmienkach, avšak jeho nevhodnosť by bolo vhodné overiť ďalšími experimentmi.



Obr. 9: Závislosť krútiaceho momentu od uhla chrbta nástroja

#### 4.6. Vzájomné pôsobenie uhla chrbta a posuvu na krútiaci moment

Na (Obr. 10) je vyobrazená veľkosť krútiaceho momentu nástroja pri rôznych posuvoch a uhloch chrbta nástroja. Z grafu je možné vidieť, že nástroj s uhlom chrbta  $10^\circ$  má pri väčších posuvoch výrazne vyššie hodnoty krútiaceho momentu oproti ostatným nástrojom. Avšak pri posuve 0,2 mm má priemerné hodnoty krútiaceho momentu porovnateľné s ostatnými nástrojmi. Ako najlepší nástroj sa javí nástroj s uhlom chrbta  $12^\circ$ , ktorý vykazuje lineárny nárast priemerných hodnôt krútiaceho momentu v závislosti od posuvu.



Obr. 10: Krútiaci moment pri porovnaní posuvu a uhla chrbta nástroja

## 5. ZÁVER

Pri tomto meraní bolo preukázané, že osová sila a krútiaci moment pri vŕtaní ocele skrutkovým vrtákom lineárne narastajú pri zvyšovaní posuvu nástroja. Pri zdvojnásobení posuvu narástla osová sila približne o 65 % a krútiaci moment narástol približne o 80 %. Pri porovnaní nástrojov z hľadiska vplyvu uhla chrbta nám experiment ukázal ako najlepší nástroj vrták s uhlom chrbta 12°. Nástroj s uhlom chrbta 8° vykazuje pri tomto experimente nárast osovej sily o 2 % a krútiaceho momentu o 1,5 % oproti nástroju s uhlom chrbta 12°. Pri nástroji s uhlom chrbta 10° sme zaznamenali až 11 % nárast osovej sily a 22 % nárast krútiaceho momentu oproti nástroju s uhlom chrbta 12°. Pre overenie nameraných údajov by bolo vhodné meranie ešte zopakovať s použitím väčšieho rozsahu zmien v oblasti uhla chrbta nástroja.

## LITERATÚRA

- JAVOREK, L., OSWALD, J. (2001): Possibilities for monitoring of drilling. Medzinárodná vedecká konferencia „*Wood science and engineering in the third millennium*“. Brašov 16.–17. November 2001.
- JAVOREK, L. (2006): *Nástroje* (1. časť). Vydavateľstvo TU vo Zvolene. 171 s. ISBN 978 80-228-1714-1.

### Kontaktná adresa:

Ing. Jaroslav Lalík  
e-mail: jaroslav.lalik@tuzvo.sk

doc. Ing. Ľubomír Javorek, CSc.  
e-mail: lubomir.javorek@tuzvo.sk

Katedra drevárskych strojov a zariadení  
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky  
Technická univerzita vo Zvolene  
T. G. Masaryka 24, SK – 960 53 Zvolen





## URČOVANIE POSUVNEJ RÝCHLOSTI REŤAZOVEJ PÍLY PRI SPIĽOVANÍ STROMU HARVESTOROM

### DETERMINATION OF THE RATE OF CHAIN SAW FEED DURING TREE FELLING BY A HARVESTER

Milan MIKLEŠ – Juraj MIKLEŠ

**Abstract:** This work contains determination middle speed saw feed necessary cut off tree without origin cracks over theirs rusch feller. Calculation speed saw performance for two values thickness cut. Middle speed saw feed determination with depth saw cut  $0,1 \cdot d_R$ .

**Key words:** tree, middle speed saw feed, force, moment of force, angle of dip, harvester

**Abstrakt:** Tento článok je zameraný na určovanie stredných rýchlostí posuvu píly potrebných na zrezanie stromov bez vzniku trhlín (odštiepenia) pri ich navaľovaní bez zárezu harvesterom. Výpočet rýchlostí posuvu sa vykonáva pre dve hodnoty hrúbky nedorezu. Stredná rýchlosť posuvu sa vykonáva pre pomernú hĺbku reznej škáry  $0,1 \cdot d_R$ .

**Kľúčové slová:** strom, stredná rýchlosť posuvu píly, sila, moment sily, uhol sklonu, harvester

## ÚVOD

Pri spiľovaní stromov bez smerového zárezu (ďalej len zárez) môže ich navaľovanie začínať pri rôznych hrúbkach nedorezu.

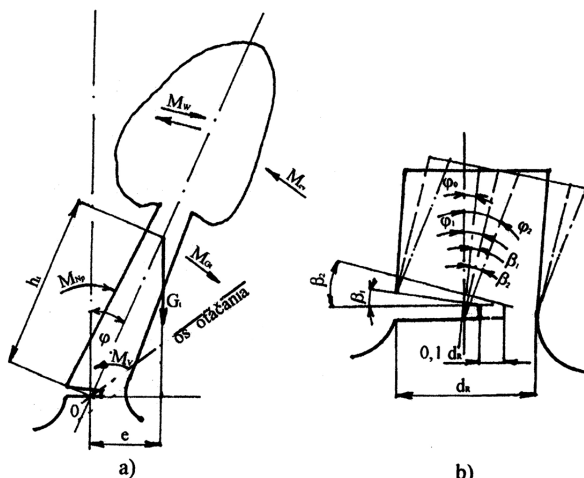
Tento článok je zameraný na určovanie stredných rýchlostí posuvu píly potrebných na zrezanie stromov bez vzniku trhlín (odštiepenia) pri ich navaľovaní bez zárezu spiľovacím strojom. Výpočet rýchlostí posuvu sa vykonáva pre dve hodnoty hrúbky nedorezu. V prvom prípade navaľovanie začína pri veľkej hrúbke nedorezu  $\delta$ , rovnajúcom sa polovici priemeru stromu  $d_R$  v mieste rezu, t. j.  $\delta = 0,2 \cdot d_R$ . V druhom prípade navaľovanie začína pri menšej hrúbke nedorezu a to  $\delta = 0,1 \cdot d_R$ .

## METODIKA

Stredné rýchlosti posuvu píly pre spiľovanie stromov bez vzniku trhlín sa v oboch spôsoboch navaľovania určujú na úseku s pomernou hĺbkou reznej škáry rovnou  $0,1 \cdot d_R$ .

Potom 
$$v_{str} = \frac{0,1 \cdot d_R}{\Delta t} \quad (1)$$

kde:  $v_{str}$  – stredná rýchlosť posuvu píly,  $m \cdot s^{-1}$  ;  
 $d_R$  – priemer stromu v mieste rezu,  $m$  ;  
 $\Delta t$  – čas, za ktorý sa strom pôsobením vonkajších síl nakloní o medzný uhol bez vzniku trhlín pri prerezaní vrstvy  $0,1 \cdot d_R$ ,  $s$ .



Obrázok 1 Schéma určenia stredných rýchlostí posuvu píly pri spil'ovaní bez vzniku trhlín  
a) Schéma síl pôsobiacich na strom pri spil'ovaní bez zárezu;  
b) Schéma určenia medzného uhla vzájomného naklonenia plôch rezu.

V prvom priblížení vychýľovanie stromu možno uvažovať ako otáčanie sa absolútne tuhého telesa okolo osi, v tomto prípade okolo neutrálnej osi kmeňa stromu (obr. 1a).

Potom podľa [1] bude

$$I_y \cdot \ddot{\varphi} = \sum_{i=1}^n m_y(F_i) \quad (2)$$

kde:  $I_y$  – moment zotrvačnosti telesa k osi otáčania,  $kg \cdot m^2$  ;  
 $\ddot{\varphi}$  – uhlové zrýchlenie padajúceho telesa,  $s^{-2}$  ;  
 $\sum m_y(F_i)$  – suma momentov vonkajších síl pôsobiacich na teleso k osi otáčania,  $N \cdot m$ .

Pre padajúci strom táto rovnica nadobudne tvar

$$I \cdot \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = M_{Np} \pm M_{Gt} \pm M_w - M_{cv} - M_v \quad (3)$$

kde:  $I$  – moment zotrvačnosti stromu k neutrálnej osi prechádzajúcej rovinou rezu,  $kgm^2$  ;  
 $\varphi$  – uhol sklonu stromu,  $rad$  ;  
 $M_{Np}$  – moment sily navaľovacej páky,  $N \cdot m$  ;

$M_{G_t}$  – moment od zložky tiaže stromu  $G_t$ , pomáhajúci alebo zabraňujúci padaniu stromu v smere stínky,  $N \cdot m$ ;

$M_W$  – moment od zaťaženia stromu vetrom, ktorý v závislosti na smere svojho pôsobenia môže pomáhať alebo zabraňovať navaľovaniu stromu,  $N \cdot m$ ;

$M_{c_v}$  – moment odporu vzduchu proti padaniu stromu,  $N \cdot m$ ;

$M_V$  – moment odporu nedorezu zabraňujúci navaľovaniu stromu, závisiaci na jeho odpore proti porušeniu,  $N \cdot m$ .

Pretože riešenie diferenciálnej rovnice (3) je veľmi zložité, v ďalšom je riešený špeciálny prípad, keď na strom v smere stínky pôsobí len moment od zložky tiaže stromu  $M_{G_t}$ , pričom sa predpokladá, že moment od síl vetra, navaľovacej páky, odporu vnútorných síl nedorezu a odporu vzduchu sú vo vzájomnej rovnováhe, t. j.  $M_V + M_{c_v} \pm M_W - M_{N_p} = 0$ .

Vykonané výpočty ukázali, že sila navaľovacej páky stínacieho stroja úplne postačuje nielen na prekonanie vnútorných síl odporu nedorezu ( $M_V$ ), ale i niekoľkokrát prevyšuje moment  $M_{G_t}$ , preklápajúci strom. To znamená, že použitý špeciálny spôsob riešenia rovnice (3) možno vždy použiť pri práci s navaľovacou pákou a to i pri malých uhloch sklonu stromu  $\varphi$ , pre ktoré sú ďalej určené rýchlosti posuvu pily. Vtedy riešenie rovnice (3), za predpokladu, že pri malých hodnotách  $\varphi$  sa  $M_{G_t} = G_t \cdot h_t \cdot \varphi$ , kde  $h_t$  je výška ťažiska stromu, bude mať tvar

$$t = \sqrt{\frac{I}{G_t \cdot h_t}} \cdot \ln \frac{\varphi}{\varphi_0} \quad (4)$$

Pretože podľa [1]  $i = 0,23 \cdot \frac{G_t}{g} \cdot h$ ;  $h_t = 0,36 \cdot h$  a zrýchlenie voľného pádu  $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , vzorec (4) po dosadení a úpravách bude mať tvar

$$t = 0,2\sqrt{h} \cdot \ln \frac{\varphi}{\varphi_0} \quad (5)$$

kde:  $h$  – výška stromu,  $m$ ;

$\varphi_0$  – počiatočný uhol sklonu stromu,  $rad$ ;

$\varphi$  – prípustný uhol sklonu stromu z hľadiska jeho pevnosti na odtrhnutie pri určitej hrúbke nedorezu,  $rad$ ;

$t$  – čas, za ktorý sa strom nakloní o uhol  $\varphi - \varphi_0$ ,  $s$ .

Čas, za ktorý môže byť strom naklonený na medzný prípustný uhol  $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$  (obr. 1b) z hľadiska jeho pevnosti na odtrhnutie pri prerezaní vrstvy o hrúbke  $0,1 \cdot d_R$ , sa určí podľa vzťahu  $\Delta t = 0,2\sqrt{h} \left( \ln \frac{\varphi_2}{\varphi_0} - \ln \frac{\varphi_1}{\varphi_0} \right)$

Po dosadení do (1) zodpovedajúce hodnoty, bude

$$v_{str} = \frac{d_R}{0,2\sqrt{h} \left( \ln \frac{\varphi_2}{\varphi_0} - \ln \frac{\varphi_1}{\varphi_0} \right)} \quad (6)$$

kde:  $\varphi_1 = \varphi_0 - \beta_1$  – medzný prípustný uhol sklonu stromu bez vzniku trhlin pred začatím prerezavania vrstvy hrúbky  $0,1 \cdot d_R$  (obr. 1b);

$\varphi_1 = \varphi_0 - \beta_1$  – medzný prípustný uhol sklonu stromu bez vzniku trhlín po prerezaní vrstvy hrúbky (obr. 1b);

Pre konečné určenie  $v_{str}$  je nutné poznať hodnoty medzných uhlov sklonu plôch rezu bez vzniku trhlín, t. j. uhlov  $\beta_1$  a  $\beta_2$ . Výpočet týchto uhlov bol vykonaný pre smrek t. j. drevinu najviac podliehajúcu utrhnutiu pri práci so spiľovacím strojom.

Hodnota medzného uhla plôch rezu závisí od zosúladenia síl pôsobiacich na strom so smerom stínky a tiež od charakteru ich pôsobenia. Najmenšia hodnota tohto uhla bude vtedy, keď všetky sily pôsobia na strom staticky a to v smere stínky. V tom prípade medzný uhol sklonu plôch rezu  $\beta$  pozostáva podľa [1] z dvoch veličín a to  $\beta_1$  a  $\beta_2$ .

$$\text{Potom } \beta = \beta_1 + \beta_2 = \frac{M_V \cdot h_R}{E \cdot I_{ys}} + \frac{F \cdot S_z}{G \cdot I_{ys} \cdot b \cdot \cos \gamma} \quad (7)$$

kde:  $\beta_1$  – uhol sklonu plôch rezu od medzného ohybového momentu  $M_V$ , *rad*;

$\beta_2$  – uhol sklonu plôch rezu od priečnej sily momentu  $M_V$ , *rad*;

$h_R$  – výška reznej škáry, *m*;

$E$  – modul pružnosti v ohybe, *MPa*;

$G$  – modul pružnosti v šmyku, *MPa*;

$I_{ys}$  – moment zotrvačnosti plochy nedorezu k neutrálnej osi, *kgm<sup>2</sup>*;

$F$  – priečna sila od pôsobenia ohybového momentu  $M_V$ , *N*;

$S_z$  – statický moment plochy prierezu nedorezu k osi prechádzajúcej jeho ťažiskom rovnobežne so základňou, *m<sup>3</sup>*;

$b$  – šírka nedorezu meraná v smere osi, ku ktorej sa určuje  $I_{ys}$  a  $S_z$ , *m*;

$\gamma$  – uhol sklonu sily  $F$  ako dotýčnice k obrysu nedorezu v priesečníku s jeho neutrálnou osou, *rad*.

## VÝSLEDKY

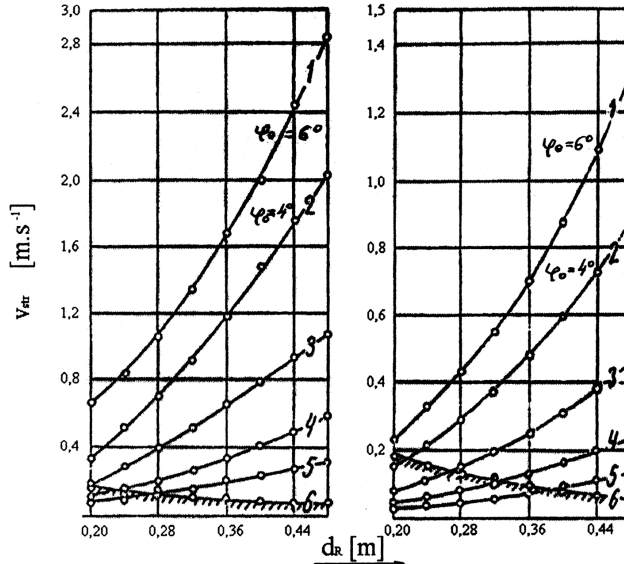
Podľa práce [1] sa pomocou vzorca (7) určia medzné uhly sklonu  $\beta$  bez vzniku trhlín v závislosti od hrúbky nedorezu pre rôzne priemery stromov v prsnej (hrudnej) výške  $d_{1,3}$ .

Výsledky týchto výpočtov sú uvedené v tab. 1.

Tabuľka 1 Hodnoty medzných uhlov vzájomného naklonenia plôch rezu –  $\beta$  [*min*]

$d_{1,3}$ [m]	$\delta$ [m]									
	0,1 $d_R$		0,2 $d_R$		0,3 $d_R$		0,4 $d_R$		0,5 $d_R$	
	Leto	Jeseň	Leto	Jeseň	Leto	Jeseň	Leto	Jeseň	Leto	Jeseň
0,20	34,0	36,0	19,1	18,1	14,0	12,2	10,6	8,9	6,8	5,9
0,24	26,6	28,4	16,3	15,3	12,0	10,5	8,8	7,2	5,9	4,8
0,28	21,6	24,0	13,7	12,8	10,1	8,5	7,1	6,2	4,7	4,1
0,32	18,4	20,8	11,9	11,3	8,4	7,7	5,8	5,3	3,8	3,0
0,36	15,9	17,9	9,9	9,9	6,7	6,6	4,5	4,4	2,9	2,8
0,40	13,5	15,5	8,5	8,6	5,7	5,7	3,6	3,9	2,1	2,3
0,44	11,9	13,8	7,2	7,5	4,9	4,9	2,9	3,3	1,7	1,9
0,48	10,6	12,6	6,3	6,7	3,9	4,0	2,2	2,6	1,4	1,7

Z tab. 1 vidieť, že číselné hodnoty medzných uhlov sklonu plôch rezu pre letné a jesenné podmienky pri rovnakej hrúbke nedorezu sú si veľmi blízke. Preto výpočet rýchlostí posuvu píly pre spiľovanie stromov bez vzniku trhlín sa urobil pre stredné hodnoty  $\beta_{str}$ .



Obrázok 2 Závislosť rýchlostí posuvu píly na priemere  $d_{1,3}$  pri spiľovaní smreka bez vzniku trhlín  
 a) hrúbka nedorezu  $\delta = 0,15 \cdot d_R$ ; b) hrúbka nedorezu  $\delta = 0,2 \cdot d_R$ ;  
 1  $\rightarrow \varphi_0 = 6^\circ$ ; 2  $\rightarrow \varphi_0 = 4^\circ$ ; 3  $\rightarrow \varphi_0 = 2^\circ$ ; 4  $\rightarrow \varphi_0 = 1^\circ$ ; 5  $\rightarrow \varphi_0 = 0,5^\circ$ .

Podľa vzorca (6) sa určili rýchlosti posuvu píly pri súčasnom rezaní a navaľovaní pri hrúbke nedorezu  $\delta = 0,5 \cdot d_R$  a  $\delta = 0,2 \cdot d_R$  pre hodnoty  $\beta_{str}$ , pri uhle sklonu stromov  $\varphi_0 = 6; 4; 2; 1$  a  $0,5^\circ$  (obr. 2).

## DISKUSIA A ZÁVER

Na základe uvedených výsledkov možno sformulovať nasledovné závery:

- Stredné rýchlosti posuvu píly pri spiľovaní stromov bez vzniku trhlín pri ich rezaní a navaľovaní pri  $\delta = 0,5 \cdot d_R$  a  $\delta = 0,2 \cdot d_R$  rastú so zväčšovaním ich priemeru, pričom rýchlosti posuvu píly spiľovacieho stroja sa znižujú.
- Stredné rýchlosti posuvu píly pri spiľovaní stromov bez vzniku trhlín so súčasným navaľovaním pri hrúbke nedorezu väčšom ako  $0,2 \cdot d_R$  dosahujú značných hodnôt ( $2,8 \text{ m.s}^{-1}$ ). Preto spiľovanie stromov reťazovými pílamí a ich navaľovanie za takýchto podmienok je nežiadúce.
- Rýchlosti posuvu píly spiľovacieho stroja v podstate zabezpečujú spílenie stromov bez vzniku trhlín pri ich stínke s hrúbkou nedorezu menšej ako  $0,15 \cdot d_R$ .
- Spiľovanie stromov s navaľovaním pri súčasnom pôsobení vetra, sa musí robiť pri hrúbke nedorezu menšej ako  $0,1 \cdot d_R$ . Navaľovanie ostatných stromov sa musí robiť pri hrúbke nedorezu menšej ako  $0,15 \cdot d_R$ , pretože rýchlosti posuvu píly spiľovacieho

stroja sú prakticky ohraničené na  $0,10-0,15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  pri priemere stromu  $d_{1,3}$  menšom ako  $0,32 \text{ m}$ .

## LITERATÚRA

KUSAKIN, I. F. 1965: K voprosu opredelenia skorostej nadviganija pily na derevo pri mehanzirovannoj valke ego bez podpila, Moskva, IZ. Nauka, , 1965, 45 s.

MARKO, J., HOLÍK, J. 2000: Teória delenia dreva, Vedecké štúdie 10/2000/A, Zvolen, TU vo Zvolene, 2000, 66 s., ISBN 80-228-0891-1

MIKLEŠ, M. 1997: Teória technologického vybavenia lesných ťažbových strojov, Vedecké štúdie 6/1997/A, Zvolen, TU vo Zvolene, 1997, 55 s., ISBN 80-228-0648-x

### **Kontaktná adresa:**

prof. Ing. Milan Mikleš, DrSc., Ing. Juraj Mikleš, PhD.,  
Katedra lesnej a mobilnej techniky, Katedra environmentálnej techniky,  
FEVT TU vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen,  
e-mail: mikles@tuzvo.sk, miklesj@tuzvo.sk

# TRIBODIAGNOSTIKA AKO ÚČINNÝ NÁSTROJ HODNOTENIA MOTOROVÝCH OLEJOV STAVEBNÝCH MECHANIZMOV

## TRIBODIAGNOSTICS AS AN EFFECTIVE TOOL EVALUATION OF ENGINE OILS OF CONSTRUCTION MACHINERY

Zdeněk ALEŠ<sup>1</sup> – Tomáš HUBÁLOVSKÝ<sup>1</sup> – Marián KUČERA<sup>2</sup>

**ABSTRACT:** The paper describes the methodology and results of the partial beginning of the experiment aimed at experimental determining the optimal maintenance interval for replacement of engine oils in selected construction machinery with an analytical device to analyze particles in lubricating oils LaserNet Fines and an analytical device Fuel Sniffer for measuring amount of fuel contaminated in lubrication oil.

**Keywords:** engine oils, wear, particle monitoring

**ABSTRAKT:** Príspevok popisuje metodiku a výsledky počiatočného experimentu zameraného na experimentálne stanovenie optimálneho intervalu výmeny motorových olejov vo vybraných stavebných strojoch s využitím zariadenia pre analýzu častíc v mazacích olejoch LaserNet Fines a analytického zariadenia Fuel Sniffer určeného na meranie množstva paliva v olejovej náplni.

**Kľúčové slová:** motorové oleje, opotrebovanie, sledovanie častíc

### 1 ÚVOD

Napriek tomu, že konštrukcie dopravných a výrobných strojov a zariadení zaznamenala v posledných rokoch výrazný pokrok, dochádza v priebehu prevádzky strojov a zariadení k zmenám tvaru a rozmerov ich funkčných plôch. Okrem toho sa dnešní konštruktéri vyhýbajú predimenzovaným konštrukciám a nahrádzajú ich ľahkými a úspornými dielmi. Z tohoto dôvodu je stále väčší počet súčiastok citlivých na opotrebovanie a poruchy. Z hľadiska bežnej prevádzky mazaných strojných častí sa najviac prejavuje opotrebovanie adhézne, abrazívne a únavové (Pošta, 2006). Súčasná koncepcie údržby majú do určitej miery eliminovať vhodnými nástrojmi účinok opotrebovania, aby sa zaistila vysoká prevádzkyschopnosť sledovaného objektu. Pre zistenie aktuálneho technického stavu je nevyhnutné použiť vhodnú diagnostickú metódu (Marek, 2007, Ziegler et al., 2004). Okrem negatívneho vplyvu opotrebovania nemôžeme pri motorových olejoch zanedbať vplyv

prítomnosti paliva v mazacom oleji, ktorý mení veľkosť jeho viskozity, zhoršuje tvorbu mazacieho filmu a urýchľuje oxidáciu.

## 2 MATERIÁL A METÓDY

### 2.1 Charakteristika použitého strojového parku

Pre experimentálne práce boli použité dva rýpadlo–nakladače firmy JCB. Prvé rýpadlo nakladač JCB 3CX TPS je viacúčelový kolesový v prednej časti vybavený nakladacou lopatou a v zadnej časti teleskopickým podkopom. Celková hmotnosť stroja je 8 070 kg. Pohonnou jednotkou je štvorvalcový motor preplňovaný turbodúchadlom so zdvihovým objemom 4 400 cm<sup>3</sup> a výkonom 68,6 kW. Motor má olejovú vaňu umiestnenú priamo pod kľukovým hriadeľom (mazanie s mokrou kľukovou skriňou), objem olejovej náplne je 15 litrov. Motor je mazaný motorovým olejom firmy NILS (SAE 15-W40, ACEA A/3,B/3,B/4,E/5/E/7, API CI4/CH4/SL). Stroj je prevádzkovaný v dvoch základných režimoch. Druhé rýpadlo–nakladač JCB 1CX je šmykom riadený stroj v prednej časti vybavený nakladacou lopatou a v zadnej časti teleskopickým podkopom. Celková hmotnosť stroja je 2 850 kg. Pohonnou jednotkou je štvorvalcový nepreplňovaný motor so zdvihovým objemom 2 200 cm<sup>3</sup> a výkonom 37,3 kW. Motor má olejovú vaňu umiestnenú priamo pod kľukovým hriadeľom (mazanie s mokrou kľukovou skriňou), objem olejovej náplne je 5 litrov. Motor je mazaný motorovým olejom firmy NILS (SAE 15-W40, ACEA A/3,B/3,B/4,E/5/E/7, API CI4/CH4/SL). Stroj je prevádzkovaný v dvoch základných režimoch. Prvý pracovný režim – bagrovanie zadným podkopom, druhý pracovný režim – práca s nakladacou lopatou alebo jazda stroja.

### 2.2 Metodika pre odber vzoriek motorového oleja pri jeho výmene

Z dôvodu homogenity celej olejovej náplne, z ktorej sa vzorka odoberá, bola olejová náplň pre odberom dostatočne premiešaná minimálne 20 minútovou prevádzkou stroja, čím došlo aj k ohriatiu olejovej náplne na prevádzkovú teplotu. Pri odbere bolo zaistenie stroja na vodorovnej podložke. Počas vzorkovania sme museli zabezpečiť taký postup, v ktorom bolo potrebné dodržať všetky zásady týkajúce sa čistoty vzorkovníc a vzorkovacích zariadení. Odobrané vzorky boli uzatvorené do sklenených vzorkovníc a každá vzorkovnica bola označená identifikačným štítkom s:

- *druhom maziva,*
- *typom stroja,*
- *dátumom posledného odberu,*
- *dátumom aktuálneho odberu.*

Použitie vzorkovacie zariadenie bolo po každom odbere prepláchnuté technickým benzínom a došlo aj k výmene všetkých filtračných jednotiek.

### 2.3 Intervaly odberov vzoriek olejov

V prevádzkových podmienkach je veľmi ťažko zaistiť výmenu mazacej náplne pri optimálnej dobe prevádzky. Výrobcom predpísané intervaly výmeny motorového oleja



sú spolu so skutočnými dobami prevádzky uvedené v tabuľke 1. Odbery vzoriek pri stroji JCB 3CX (obr. 1) prebiehali pri dosiahnutí servisného intervalu, pri stroji JCB 1CX (obr. 2) bol servisný interval prekročený o 60 %.

Tabuľka 1 Predpísané a skutočné intervaly výmeny motorového oleja

Stroj	Predpísaný interval výmeny	Skutočný interval výmeny
JCB 3CX TPS	500 motohodín	551 motohodín
JCB 1CX	500 motohodín	847 motohodín

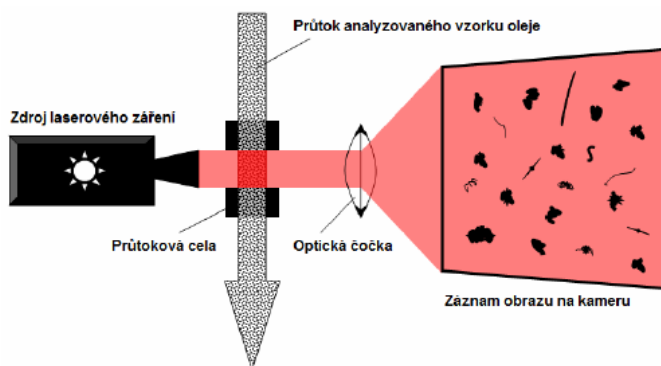


Obrázok 1 Odber vzorky motorového oleja zo stroja JCB 3CX

## 2.4 Popis tribotechnických analýz

Pre získanie informácií o počte a pôvode častíc v motorovom oleji bol použitý laserový automatický analyzátor častíc LaserNet Fines (LNF). Prístroj je schopný analyzovať hydraulické kvapaliny a mazacie oleje z rôznych typov strojov a zariadení a na základe výsledkov analýz posúdiť ich aktuálny technický stav. Toto sledovanie je založené na vyhodnotení morfológie a počtu častíc opotrebovania, ktoré vznikajú pri prevádzke strojov a zariadení. LNF sa skladá z dvoch základných komponentov. Prvou časťou je samotný analyzátor, ktorý analyzuje vzorku. Druhou časťou je osobný počítač, ktorý je potrebný pre analytické vyhodnotenie dát z analyzátora. (Aleš, Pexa, 2010).

Príprava vzorky oleja pre analýzu spočíva v jej homogenizácii, to znamená v dokonalom pretrepaní a odstránení vzduchových bublín v ultrazvukovej kúpeli. Po vybratí vzorky z kúpeľa a zadani potrebných údajov o analyzovanej vzorke do počítača je zahájená analýza, pri ktorej bola vzorka oleja nasávaná do prístroja. V mieste, ktoré je označované ako „cela“ je vzorka oleja prežarovaná lúčom lasera (Obrázok 2). Výsledný obraz častíc je zväčšený cez optickú šošovku a zaznamenaný na kameru a následne vyhodnotený pomocou softvérového prostredia. Vlastná analýza trvá približne tri minúty a po vyhodnotení analyzovanej vzorky je zobrazený výsledok analýzy.

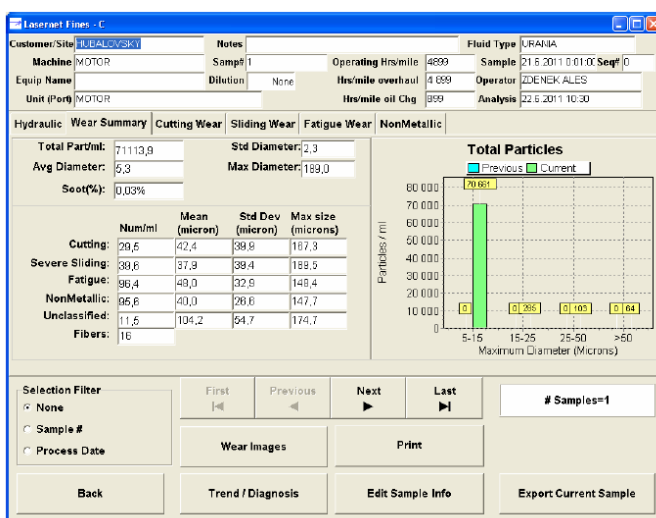


Obrázok 2 Princíp práce laserového analyzátoru častíc LaserNet Fines

Za účelom zistenia množstva paliva prítomného v motorovom oleji bol použitý analytický prístroj Fuel Sniffer. Tento prístroj je schopný merať prítomnosť paliva v mazacom oleji. Prístroj pracuje na základe Henryho zákona, ktorý definuje priamu úmeru medzi koncentráciou výparov paliva a obsahom paliva v olejovej vzorke. Pred meraním je potrebné zaistiť, aby odobraná vzorka mazacieho oleja bola naplnená do odbernej vzorkovnice maximálne do 60 %. Tým dochádza k uvoľneniu výparov paliva a výsledky analýz nie sú skreslené.

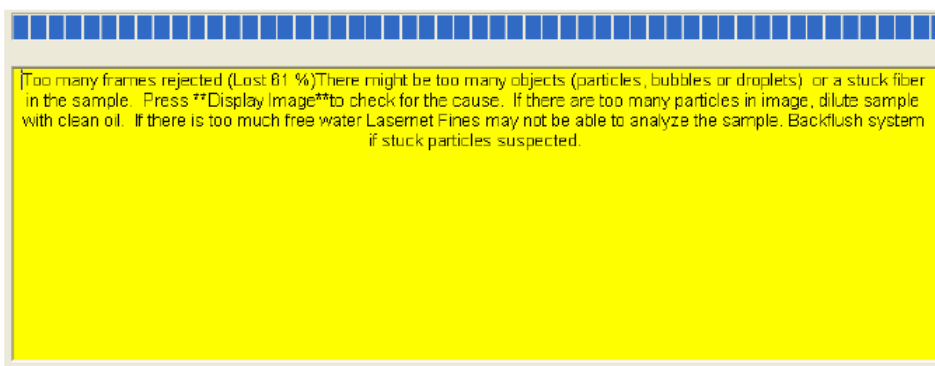
### 3 VÝSLEDKY

Výsledky analýz vzorky motorového oleja vykonané na laserovom analyzátoe LNF u rýpadlo-nakladača JCB 3CX TPS popisuje obrázok 3. Výsledok analýzy vzorky motorového oleja zo stroja JCB 1CX sa nepodarilo získať. Počas analýzy laserový analyzátor



Obrázok 3 Výsledok analýzy vzorky motorového oleja zo stroja JCB 3CX TPS

LNf zobrazil hlásenie o chybe (obrázok 4) v dôsledku značného znečistenia oleja. Domnievame sa, že jednou z príčin bolo prekročenie intervalu výmeny motorového oleja až o 60 %. Výsledky analýz na prístroji Fuel Sniffer (tabuľka 2) ukazujú, že najvyšší obsah paliva v motorovom oleji bol nameraný práve v stroji JCB 1CX.



Obrázok 4 Výsledok analýzy vzorky motorového oleja zo stroja JCB 1CX

Tabuľka 2 Výsledky analýz z prístroja Fuel Sniffer

Stroj	Množstvo paliva v oleji
JCB 3CX TPS	0,7 %
JCB 1CX	1,1 %

## ZÁVER

Výsledky uskutočnených analýz poukázali na skutočnosť, že je neprípustné nedodržiavať predpísané intervaly pre výmenu motorového oleja. Príliš znečistený olej obsahuje veľké množstvo častíc (častice opotrebovania, sadze a iné), ktoré spôsobujú abrazívne opotrebovanie a v konečnom dôsledku môžu zapríčiniť haváriu celého stroja. Zároveň u príliš znečisteného oleja palivom dochádza k zmene kinematickej viskozity, čo zas negatívne ovplyvňuje tvorbu mazacieho filmu. Autori si uvedomujú, že predložené výsledky sú iba dielčimi výsledkami. Celý experiment je dlhodobejšieho charakteru a bude rozšírený na ďalšie strojové súčasti (prevodovka, rozvodovka, diferenciál, hydraulický okruh). Získané výsledky budú slúžiť ako podklad pre stanovenie optimálneho údržbárskeho intervalu výmeny mazacích náplní.

## LITERATÚRA

- ALEŠ, Z., PEXA, M., 2010. Diagnostika maziv s využitím laserového analyzátoru LASERNET FINES®-C, *Strojárska technológia*, ročník XIV, zvláštni vydání, Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, FVTM, Ústí nad Labem, s. 8–11. ISSN 1211-4162.
- MAREK, V., 2007. Tribotechnická diagnostika, *Technická diagnostika*, číslo 2, ročník XVI, Asociace technických diagnostiků ČR, VŠB – Technická univerzita Ostrava.

POŠTA, J., 2006. *Provozuschopnost strojů*. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2. vydání, Praha. ISBN 80-213-0966-0.

ZIEGLER, J., HELEBRANT, F., MARASOVÁ, D., 2004. *Technická diagnostika a spolehlivost I-Tribodiagnostika*, Vysoká škola báňská, Ostrava, ISBN 80-7078-883-6.

*Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia grantového projektu Ministerstva školstva Slovenskej republiky VEGA 1/0403/11 „Výskum technických parametrov motorových píl s ohľadom na ergonómiu a ekológiu práce“.*

**Kontaktná adresa:**

<sup>1</sup>Ing. Zdeněk Aleš, Ph.D., Ing. Tomáš Hubálovský  
Katedra jakosti a spolehlivosti strojů,  
Technická fakulta, Česká zemědělská univerzita v Praze  
Kamýcká 129, 16521 Praha 6 – Suchbátka, Česká republika

<sup>2</sup>doc. Ing. Marián Kučera, PhD.

Katedra lesnej a mobilnej techniky,  
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita vo Zvolene,  
Študentská 26, 960 01 Zvolen, Slovenská republika

## HODNOTENIE KVALITY OBROBENÉHO POVRCHU HLINÍKOVEJ ZLIATINY PO HYDROABRAZÍVNOM DELENÍ

### ASSESSMENT OF QUALITY OF CUTTING ZONE ALUMINUM ALLOY AFTER ABRASIVE WATER JET MACHINING

**Miroslava ŤAVODOVÁ**

**ABSTRACT:** Production technology for material removal using chemical or physical, but also mechanical happening is defined as a progressive, non-conventional ways of working materials. The article deals with the evaluation of surface roughness and the resultant cut quality aluminum alloy after cutting by abrasive water jet (AWJ), hydro abrasive cutting of material. Trimming and cutting of aluminum alloys by conventional methods is problematic. Therefore, in practice, using just (AWJM). This progressive technology is very advantageous in terms of suitability for use for different types of material and heat affected zone of deformation and cutting. The water jet leaving in the material in the cutting zone a typical milling, dividing into two zones, rough, part of which is called initial zone and milled zone. The correct choice of technology and operational parameters can achieve optimal quality of machined surface condition.

**Key words:** abrasive water jet, quality and roughness of surface, aluminium alloy, non-convention technologies.

**ABSTRAKT:** Výrobné technológie, využívajúce pre úber materiálu chemické či fyzikálne, ale i mechanické deje sú definované ako progresívne, nekonvenčné spôsoby obrábania materiálov. Článok sa zaoberá hodnotením drsnosti a s tým spojenou kvalitou rezu hliníkovej zliatiny po delení abrazívnym vodným lúčom (AWJ), hydroabrazívnom delení materiálu. Rezanie a delenie hliníkových zliatin je konvenčnými spôsobmi problematické. Preto sa v praxi využíva práve (AWJM). Táto progresívna technológia je veľmi výhodná z hľadiska vhodnosti použitia pre rôzne druhy materiálov či tepelného a deformačného ovplyvnenia zóny rezania. Vodný lúč však zanecháva pri rezaní materiálu v reznej zóne typické ryhovanie, deliace sa na dve zóny, drsnú, ktorej súčasťou je tzv. iniciačná zóna a zónu ryhovanú. Správnou voľbou technologických a prevádzkových parametrov sa však dá dosiahnuť optimálny stav kvality obrobeneho povrchu.

**Kľúčové slová:** abrazívny vodný lúč, kvalita a drsnosť povrchu, hliníková zliatina, nekonvenčné technológie.

## ÚVOD

Technológia, prezentovaná ako abrazívny vodný lúč – Abrasive Waterjet Machining AWJM, hydroabrazívne delenie materiálov, bola komerčne zavedená v roku 1983 pre rezanie skla. Dnes AWJ nachádza široké uplatnenie pri obrábaní a opracovaní rôznych materiálov ako napr. liatina, antikoročné ocele, legované uhlíkové ocele, nástrojové ocele, hliník, meď, titán a ich zliatiny, betón, keramika, guma, plast, kompozitné materiály s kovovou maticou a pod. Univerzálnosť technológie nachádza široké uplatnenie nielen pri vyrezávaní tvarov, ale aj pri technológii obrábania ako sústruženie, frézovanie, vŕtanie a rezanie závitov. Povrchy, obrobené vodným lúčom nie sú ovplyvnené tepelnými zmenami v štruktúre materiálu, na ploche sa nevyskytujú trhlinky, proces je bezprašný a pri rezaní sa z povrchu neuvolňujú žiadne plyny ani iné látky ako pri klasickom rezaní materiálu. Abrazívny vodný lúč umožňuje rezať všetky tvrdé materiály rýchlosťou od  $10 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  (Ti, Co, spekané karbidy) až do  $2,5 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  (sklo, Al) (LETKO, I., MEŠKO J., POLC, J., STANČEKOVÁ, D., 2002).

AWJ ako „nástroj“, zanecháva viditeľné ryhovanie na obrobenej ploche. Tento fakt výrazne ovplyvňuje rozmerovú presnosť a kvalitu povrchu obrokov, ktorá je determinovaná na jednej strane vlastnosťami rezaného materiálu a na strane druhej správne zvolenými technologickými a prevádzkovými parametrami. Vo všeobecnosti povrch po rezaní vodným lúčom pozostáva z dvoch oblastí, z hladkej zóny a drsnej, ryhovanej, ktorá začína v určitej hĺbke pod povrchom.

## 1 MATERIÁL A METÓDY

Obrábanie materiálu vodným lúčom (WJM), či už čistým alebo s pridaním abrazíva (AWJM), je proces založený na mechanicko-fyzikálnom základe, pri ktorom je voda generovaná špeciálnym čerpadlom. Lúč prechádza dýzou vodnej trysky malého priemeru. Tým je urýchľovaný jeho prietok. Lúč má vysokú reznú účinnosť. Pri vysokej kinetickej energii na jednotku plochy dochádza k prieniku lúča do materiálu, následne k jeho odbrusovaniu a odplavovaniu z miesta rezu. Abrazivo ako prísada tento účinok ešte znásobuje. Čím je tlak vodného lúča vyšší, tým je vyššia kinetická energia molekúl vody a oveľa lepšie sa porušujú molekulárne väzby materiálu obrobku. V závislosti od druhu rezaného materiálu dochádza k spomaľovaniu lúča a k jeho postupnému vychýľovaniu z pôvodného smeru (HLOCH, S., VALÍČEK, J., GOMBÁR, M., 2007).

Základným princípom rezania a oddeľovania AWJ z hľadiska tribológie je spolupôsobenie dvoch médií, kde sa úber materiálu uskutočňuje ako výsledok opotrebenia procesom erózie. Jav erózie predstavuje proces opotrebenia, ktorý je spojený s nárazom pevnej častice na povrch pevného materiálu. Povrch po rezaní AWJ má dve zreteľne identifikovateľné zóny (obr. 1):

- *hladkú* – horná časť rezu, výsledok zóny rezného opotrebenia – Cutting wear zone,
- *ryhovanú* – zvlnená, spodná časť, dôsledok deformačného opotrebenia – Deformation wear zone.

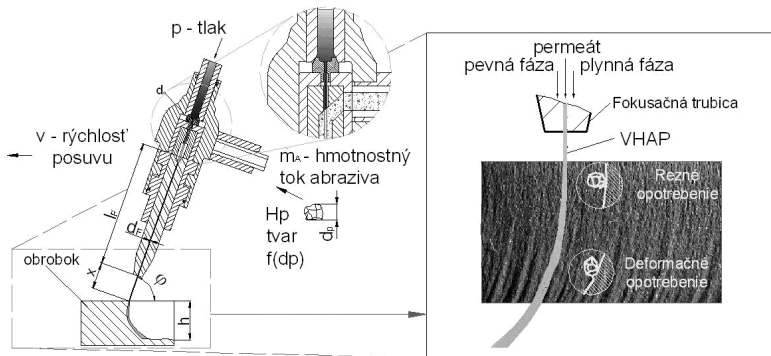
Aj keď je toto delenie zóny rezu najviac v odbornej literatúre spomínané, niektorí autori rozdelenie na hladkú a ryhovanú zónu zamietajú (VALÍČEK, J., HLOCH, S., 2009).

Uvádžajú, že topografia vytvoreného povrchu po delení AWJ je charakteristická rozdielnosťou v horizontálnych pásmach. Táto topografia je rozdelená na tri oblasti: na iniciačnú – nachádza sa hneď pod povrchom rezaného materiálu, hladkú a zdrsnenú zónu. Iní autori dokonca uvádzajú štyri zóny v rámci jedného povrchu, kde sa dve základné (hladká a ryhovaná) dajú ešte podrobnejšie kvalifikovať.

Pomer veľkosti zón závisí od rôznych faktorov, vstupujúcich do procesu rezania AWJ. Ovpływujú ako výslednú kvalitu povrchu, tak aj celkovú efektivitu úberu materiálu. Faktory, vstupujúce do procesu delenia materiálu AWJ môžeme všeobecne rozdeliť do dvoch základných skupín:

- *nepriame, nezávislé faktory*, potrebné pre samotnú technológiu, ovpływujúce proces rezania – hydrodynamické a zmiešavacie parametre a parametre abrazíva, čo je vlastne kvalita a energetická účinnosť „nástroja“ a pomocou nich vstupuje AWJ do procesu vlastného úberu materiálu. Ďalej sú to parametre rezania – rýchlosť posuvu  $v_p$ , zdvih reznej hlavy  $x$ , uhol dopadu AWJ  $\varphi$ , smer posuvu  $s_p$ , hrúbka materiálu  $b$ , druh a vlastnosti obrábaného materiálu;
- *priame, závislé faktory* – sú to samotné rezné výsledky, charakterizujúce účinky pôsobenia WJ aj AWJ na materiál – hĺbka rezu  $h$ , šírka reznej škáry  $B$ , kvalita reznej plochy (drsnosť, vlnitosť, spevnenie povrchu materiálu a pod.) (KRAJNÝ, Z., 1998; VALÍČEK, J., HLOCH, S., 2009).

Prostredníctvom všetkých týchto faktorov je generovaná topografia plochy rezu ako obalová plocha trajektórie pohybu vodného lúča.



Obr. 1 Vplyv faktorov AWJ na kvalitu topografie povrchu (HLOCH, S., VALÍČEK, J., MÁDR, V., FABIÁN, S.; 2007)

V dôsledku veľkého počtu faktorov a parametrov vstupujúcich do procesu AWJM má dôležitú úlohu ich optimalizácia. Hodnotí sa pomocou zvolených kritérií optimalizácie, ktorými sú napr. minimálne náklady na jednotku množstva odobraného materiálu, maximálna rýchlosť posuvu, maximálna hĺbka rezu, dosiahnutie čo najkvalitnejšieho povrchu a pod. Podľa (WANG, J.; 2003) je AWJM zložitý proces, ktorý je ovpływnený mnohými parametrami, od ktorých závisí výsledná drsnosť povrchu. Rezanie materiálu rôznej hrúbky závisí na jeho vlastnostiach a na voľbe parametrov procesu.

Vplyv rýchlosti posuvu na hĺbku a kvalitu rezu je v literatúre dokumentovaný mnohými autormi. Poznatky z výskumov dokazujú, že znižovaním rýchlosti posuvu narastá

maximálna hĺbka rezu alebo sa zlepšuje kvalita reznej plochy. Pri menších rýchlostiach dopadá na povrch materiálu viac abrazívnych častíc a narastá energia potrebná na rozrušovanie materiálu (KRAJNÝ, Z.; 1998). V literatúre (HASHISH, M.; 1991) formuloval toto množstvo častíc do vzťahu:

$$PDD = \frac{\dot{m}_a}{v_p} \quad [\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}] \quad (1.1)$$

PDD rozdelenie hustoty abrazívnych častíc, teda množstvo častíc potrebných na generovanie drážky s jednotkovou dĺžkou pri daných technologických podmienkach,

$\dot{m}_a$  hmotnostný tok abraziva [ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ],

$v_p$  rezná rýchlosť pohybu AWJ voči materiálu [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ].

Kinetická energia tohto množstva častíc je definovaná v tvare:

$$EDD = \frac{1}{2} PDD \cdot v_a^2 \quad [\text{J}\cdot\text{m}^{-1}] \quad (1.2)$$

EDD rozdelenie hustoty energie abrazívnych častíc,

$v_a$  rýchlosť abrazívnych častíc [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ].

Ak by sme brali ako jeden z parametrov hodnotenia kvality rezania AWJ reznú rýchlosť, môžeme sledovať jeho vplyv na zmeny reliéfu (tvaru) reznej plochy (KRAJNÝ, Z.; 1998).

V praxi nie je žiadny povrch dokonale rovný; štruktúra a drsnosť každej plochy by sa ale mali pohybovať v určitých zadaných medzných hodnotách. Pod pojmom drsnosť povrchu sa všeobecne označujú jemné štruktúrované mikrogeometrické odchýlky od ideálneho povrchu profilu. Je to technická veličina, je súhrnom nerovností povrchu materiálu s relatívne malou vzdialenosťou, ktoré vznikajú pri výrobe alebo jej vplyvom. Kvalita povrchov obrábaných materiálov sa hodnotí cez parametre drsnosti. Väčšina výskumných prác kvalifikuje stav povrchu po AWJM cez parametre drsnosti v závislosti na rezných parametroch. Podľa týchto poznatkov sa drsnosť povrchu mení lineárne so zvyšovaním hĺbky rezu (MAŇKOVA, I.; 2000).

Norma STN EN ISO 4287:1999 Geometrické špecifikácie výrobkov. Charakter povrchu: Profilová metóda – Termíny, definície a parametre charakteru povrchu, ktorá stanovuje termíny, podáva definície a parametre potrebné na určenie charakteru povrchu profilovými metódami, klasifikuje parametre profilu, ktorými sú:

- stredná aritmetická hodnota drsnosti Ra – aritmetická stredná hodnota všetkých častí hodnôt profilu drsnosti;
- stredná hodnota Rq – kvadratická stredná hodnota všetkých hodnôt profilu drsnosti. Má význam pri štatistickom pozorovaní profilu povrchu, pretože zodpovedá štandardnej odchýlke z profilových súradníc;
- Rp – výška najväčšej špičky profilu drsnosti vo vnútri jednotlivej meracej dráhy;
- Rv – hĺbka najväčšej priehlbiny R-profilu vo vnútri jednotlivej meracej dráhy;
- maximálna výška profilu Rz – súčet výšky najvyššieho výstupku Rp a hĺbky najnižšej ryhy Rv vo vnútri základnej dĺžky lr;




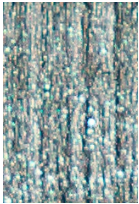
- **sklon Rsk** – hodnota asymetrie hustoty amplitúdovej krivky. Negatívny sklon označuje povrch s dobrou nosnosťou;
- **strmosť Rku** – hodnota strmosti hustoty amplitúdovej krivky. Pri normálnom rozdelení hodnôt profilu je  $Rku = 3$ .

Vzorky pre experiment boli vyrobené zo zliatiny hliníka AlMg3, EN AW-5754. Je to materiál stredne pevný, veľmi dobre odolný voči korózii, morskej vode a tropickým podmienkam. Má veľmi dobrú chemickú odolnosť, lešiteľnosť a dobrú zvariteľnosť všetkými spôsobmi. Obrobiteľnosť reznými nástrojmi je nevyhovujúca v mäkkom stave, vyhovujúca v tvrdšom stave. Využitie nachádza hlavne pre stredne namáhané konštrukcie, zvarané konštrukcie, ktoré majú odolávať korózii (napr. potrubia, nádoby na tekutiny). Ďalej AlMg3 nachádza využitie pre prvky vnútornej a vonkajšej architektúry, v strojárstve, na stavbu dopravných prostriedkov a lodí, na nosné konštrukcie, výmenníky tepla, ochranné kryty. Uplatnenie nachádza aj v oblasti chemického a potravinárskeho priemyslu (KALINCOVA, D.; 2010).



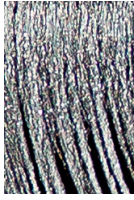
Vo výrobnej prevádzke boli rezané vzorky  $h = 10$  mm a rýchlosť posuvu ľúča bola: 100, 200, 400, 700 a 900 mm.min<sup>-1</sup>. Hodnoty drsnosti povrchu vzoriek boli merané dotykovým profilometrom Surfcom 130 A, Carl Zeiss. Ostatné parametre a podmienky pri rezaní:

- $p = 400$  MPa – tlak kvapaliny (voda)
- $d_o = 0,33$  mm – priemer diamantovej štrbiny vodnej dýzy
- $x = 4$  mm – stand off – vzdialenosť dýzy nad obrobkom
- $\varphi = 90^\circ$  – uhol sklonu reznej hrany
- $m_a = 350$  g.min<sup>-1</sup> – hmotnostný tok abrazíva
- $d_p = 80$   $\mu$ m – veľkosť zrna brusiva, abrazíva (indický granát)

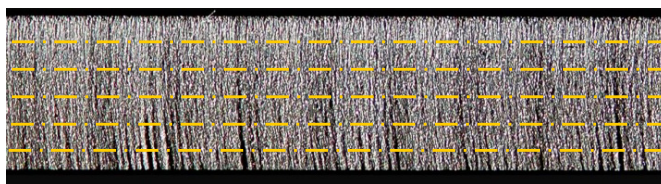
Tabuľka 1 Namerané hodnoty drsnosti po rezaní AWJ so zobrazenými vzorkami AlMg3

Parametre drsnosti	Merané hĺbky (rýchlosť posuvu 100 mm.min <sup>-1</sup> )					Vzhľad vzorky	
	1 mm	3 mm	5 mm	7 mm	9 mm		
<b>Ra</b>	5,287	4,901	5,143	5,454	5,813		
<b>Rq</b>	6,484	6,272	6,484	6,813	7,31		
<b>Rz</b>	32,915	37,208	35,76	37,445	37,405		
<b>Rp</b>	14,357	14,435	14,245	15,125	17,902		
<b>Rv</b>	18,558	22,773	21,515	22,32	19,503		
<b>Rsk</b>	-0,238	-0,546	-0,517	-0,469	-0,072		
<b>Rku</b>	2,583	3,567	3,131	3,19	3,013		
	Merané hĺbky (rýchlosť posuvu 200 mm.min <sup>-1</sup> )						
<b>Ra</b>	6,754	5,568	6,106	7,256	7,258		
<b>Rq</b>	8,585	7,244	7,767	9,021	9,049		
<b>Rz</b>	44,61	45,898	45,725	51,038	46,96		
<b>Rp</b>	18,815	16,855	20,015	23,185	22,003		
<b>Rv</b>	25,795	29,043	25,71	27,853	24,958		
<b>Rsk</b>	-0,387	-0,716	-0,224	-0,25	-0,099		
<b>Rku</b>	3,342	4,291	3,334	3,073	2,802		

Tabuľka 1 Pokračovanie

Parametre drsnosti	Merané hĺbky (rýchlosť posuvu 400 mm.min <sup>-1</sup> )					Vzhľad vzorky
	1 mm	3 mm	5 mm	7 mm	9 mm	
<i>Ra</i>	7,433	7,11	8,32	9,221	10,499	
<i>Rq</i>	9,189	8,908	10,337	11,38	13,211	
<i>Rz</i>	49	46,547	52,533	61,133	76,57	
<i>Rp</i>	20,333	18,803	26,268	28,738	35,015	
<i>Rv</i>	28,668	27,745	26,265	32,395	41,555	
<i>Rsk</i>	-0,362	-0,429	0,098	-0,156	-0,126	
<i>Rku</i>	2,916	3,165	2,821	2,909	3,006	
	Merané hĺbky (rýchlosť posuvu 700 mm.min <sup>-1</sup> )					
<i>Ra</i>	6,976	8,676	9,682	15,525	22,769	
<i>Rq</i>	8,777	10,837	12,145	20,184	29,138	
<i>Rz</i>	46,323	55,068	60,948	116,01	161,00	
<i>Rp</i>	22,135	24,93	28,025	59,362	83,14	
<i>Rv</i>	24,188	30,137	32,922	56,65	77,865	
<i>Rsk</i>	-0,082	-0,251	-0,236	0,121	0,144	
<i>Rku</i>	2,835	2,994	2,945	3,522	3,185	
	Merané hĺbky (rýchlosť posuvu 900 mm.min <sup>-1</sup> )					
<i>Ra</i>	9,061	11,401	17,537	24,454	36,255	
<i>Rq</i>	11,347	14,142	21,017	29,955	43,739	
<i>Rz</i>	63,458	71,49	95,995	144,023	199,7	
<i>Rp</i>	27,087	34,543	47,185	74,29	109,47	
<i>Rv</i>	36,37	36,948	48,81	69,733	90,225	
<i>Rsk</i>	-0,424	-0,086	0,008	0,131	0,297	
<i>Rku</i>	3,017	2,678	2,346	2,693	2,502	

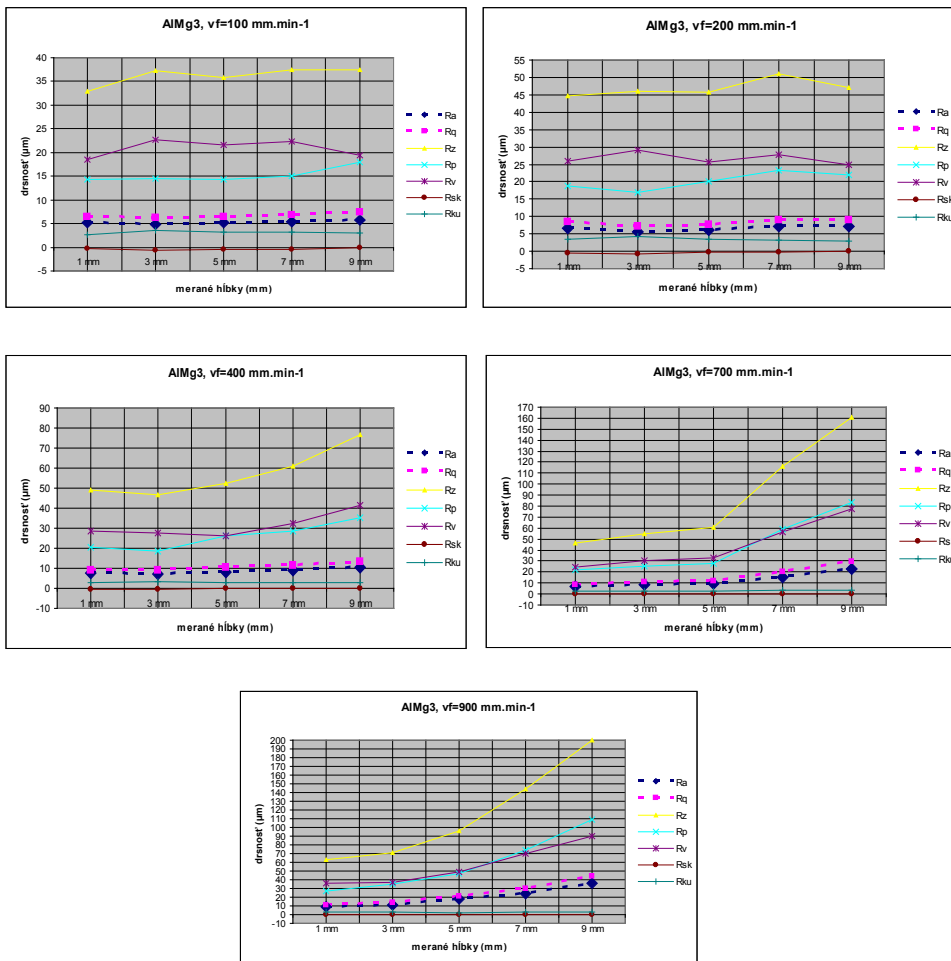
V tabuľke 1 sú uvedené namerané drsnosti povrchu AlMg3 po rezaní AWJ, pri rôznych rýchlostiach posuvu lúča. Zároveň sú v tabuľke zobrazené aj vzorky materiálu so zachytenou topografiou povrchu. Fotografie sú získané zo zdroja (KRÁL, L.; 2011). Na obrázku 2 sú naznačené merané hĺbky vzorky materiálu.



Obr. 2 Merané hĺbky vzorky dotykovým profilometrom – zmenený obrázok oproti pôvodnému

## 2 VÝSLEDKY EXPERIMENTU

V technickej praxi sa najviac hodnotí parameter drsnosti Ra, ktorý predstavuje aritmetickú strednú hodnotu všetkých častí hodnôt profilu drsnosti a Rp, čo je výška najväčšej špičky profilu drsnosti vo vnútri jednotlivej meracej dráhy. Tak isto je zaujímavá aj stredná hodnota Rq, čo je kvadratická stredná hodnota všetkých hodnôt profilu drsnosti. Ostatné parametre drsnosti sú skôr doplnujúce informácie ako geometrická špecifikácia topografie povrchu rezaného materiálu.



Obr. 3 Grafy drsnosti reznej plochy v závislosti od hĺbky prieniku AWJ do materiálu zmenený obrázok oproti pôvodnému

Niektorí autori (HLOCH, S.; VALÍČEK, J.; 2009) pri hodnotení povrchu reznej plochy, hlavne pri skúmaní iniciačnej zóny hladkej časti rezu, berú do úvahy aj parameter Rz, ako súčet výšky najvyššieho výstupku Rp a hĺbky najnižšej ryhy Rv vo vnútri základnej dĺžky l<sub>r</sub>.

Celkové hodnotenie kvality reznej plochy sme posudzovali pri rozdelení vzorky na reznú a deformačnú zónu.

Na obrázku 3 sa nachádzajú grafy, ktoré predstavujú grafické zobrazenia závislosti drsnosti na hĺbke rezaného materiálu pri rôznych rýchlostiach posuvu abrazívneho vodného lúča. Aj tu sa najviac zameriavame na hodnoty parametrov drsnosti Ra a Rq, prípadne aj Rz. Posledný spomínaný parameter nie je však v grafe (ani v tabuľke 1) výraznejšie vyznačený, tak ako je to pri Ra a Rq.

### 3 VYHODNOTENIE A DISKUSIA

Ako už bolo povedané, väčšina výskumných prác kvalifikuje stav povrchu po AWJM cez parametre drsnosti v závislosti na rezných parametroch. Podľa týchto poznatkov (MAŇKOVA, I.; 2000) sa drsnosť povrchu mení lineárne so zväčšovaním hĺbky rezu, znížením rýchlosti posuvu narastá maximálna hĺbka rezu alebo sa zlepšuje kvalita reznej plochy (KRAJNÝ, Z.; 1998).

Pri hodnotení výsledkov experimentu, môžeme konštatovať, že stredná aritmetická odchýlka profilu Ra je prednostnou výškovou charakteristikou drsnosti povrchu. Ako je možné vidieť v tabuľke 1, v hĺbke 1 mm je pri prvých troch zvolených rýchlostiach posuvu nameraná väčšia hodnota ako sú ďalej namerané hodnoty v hĺbke 3 a 5 mm. Dôvodom vyššej hodnoty drsnosti je, že pri styku abrazívneho vodného lúča s materiálom v iniciačnej zóne, ktorá je podľa niektorých zdrojov súčasťou hladkej zóny rezu, dochádza k reznému a deformačnému opotrebeniu. Kombinácia oboch druhov opotrebenia je zrejme prítomná preto, lebo AWJ pri dopade na povrch musí prekonať odpor materiálu a dochádza tu k krátkodobému deformačnému spevneniu povrchu materiálu. Tak isto tu môžeme uvažovať napr. aj vplyvy technologickej dedičnosti rezaného materiálu. Obidva tieto faktory pripúšťajú aj iní autori (VALÍČEK, J., HLOCH, S., 2009; KRAJNÝ, Z.; 1998). Podľa štúdie (VALÍČEK, J., HLOCH, S., 2006) nemožno z hľadiska objektivity vysvetlenia mechanizmu vzniku topografie novo vytváraného povrchu nepočítať s iniciačnou zónou pretože vypovedá o prvom kontakte s vysokoenergetickou zmesou, vody, vzduchu a abrazíva.

Vo hĺbke 5, 7 a 9 mm sa tento parameter znova zvyšuje. Dochádza tu k nárastu drsnosti v dôsledku straty energie lúča a tým zmeny rezného opotrebenia na deformačné, čo je očakávaný jav pri rezaní AWJ. Je to hĺbka, nazývaná aj kritická  $h_c$  (HASHISH, M.; 1991; KRAJNÝ, Z.; 1998), kde dochádza k pomerne rýchlej zmene mechanizmu úberu od prevažne šmykového porušovania po drvenie materiálu tlakom, ktorý vyvoláva AWJ. Keďže je abrazívum, obsiahnuté v prúde vody čiastočka s nedefinovateľnou reznou hranou, zanecháva v materiáli dráhy, ktoré tvoria povrch ryhovaný. V zóne deformačného opotrebenia je pri narastajúcich rýchlostiach posuvu až viditeľne zvlnený.

Rovnako ako Ra sa pre výškové zhodnotenie profilu povrchu používa aj parameter Rq. Hodnoty Ra a Rq sú viac menej rovnocenné. Ide tu len o snahu citlivejšie vyjadriť odchýlky od homogénneho profilu rezaného povrchu.

Obrázok 1 (pravá časť) znázorňuje vzhľad dvoch zón, vzniknutých po rezaní AWJ. Na fotografiách vzoriek AlMg3 (tab. 1) sa tiež dajú celkom zreteľne tieto dve zóny identifikovať. Hladkú, hornú časť rezu, výsledok zóny rezného opotrebenia (Cutting wear

zone), môžeme charakterizovať ako homogénnu s náhodným profilom a s mierne izotropnou textúrou, topografiou povrchu. Sledované parametre profilu, drsnosti Ra a Rq nie sú tu až tak závislé na rýchlosti posuvu a tak isto na hĺbke rezu v tejto zóne. Spodná časť, ryhovaná, ako dôsledok deformačného opotrebenia (Deformation wear zone), vykazuje oveľa vyššie hodnoty Ra a Rq, v súvislosti s rýchlosťou posuvu a hlbším prenikaním lúča do materiálu, teda zvyšovaním hĺbky rezu, pri postupnej strate kinetickej energie lúča.

Pre zvolený druh materiálu je hĺbka rezu optimálna ku celkovej hrúbke rezanej vzorky len pri rýchlosti posuvu 100 a 200 mm.min<sup>-1</sup>. Aj pri rýchlosti 400 mm.min<sup>-1</sup> sú hodnoty drsnosti Ra a Rq v hladkej zóne nižšie, avšak po prechode do deformačnej zóny narastajú tak, že ryhovanie sa stáva viditeľným. Už pri  $v_f = 400$  mm.min<sup>-1</sup> a potom zreteľne pri  $v_f = 700$  mm.min<sup>-1</sup> a  $v_f = 900$  mm.min<sup>-1</sup> všetky parametre drsnosti od polovice hrúbky vzorky prudko narastajú, preto sa povrch stáva zvlnením.

Ako je vidieť na grafoch, hodnotách nameraných parametrov drsnosti, ale aj z obrázkov rezaných vzoriek, vyššie rýchlosti znižujú kvalitu obrobenej plochy a to hlavne v zóne deformačného opotrebenia. Nie je teda vhodné využívať vysoké rezné rýchlosti ak nám záleží na skutočnej kvalite aj vzhľade reznej, obrobenej plochy.

## ZÁVER

Podľa zistených poznatkov je možné konštatovať že, delenie abrazívnym vodným lúčom (AWJM) je proces veľmi zložitý. Vstupuje do neho a ovplyvňuje ho veľmi veľa faktorov, či už priamych, závislých alebo nepriamych, nezávislých. Z nepriamych faktorov boli pre hodnotenie v experimente posudzované interakcie druhu materiálu a rýchlosť posuvu s priamym faktorom – samotným rezným výsledkom, charakterizujúcim účinky pôsobenia AWJ na materiál – jeho kvalitu reznej, obrobenej plochy.

Pre vzorky materiálu AlMg3, hrúbky  $h = 10$  mm bol sledovaný a vyhodnotený vplyv parametrov AWJ na výslednú drsnosť reznej plochy, ktorá bola hodnotená v rôznych meraných hĺbkach. Zhodnotenie drsnosti plochy je zobrazené v grafoch na obr. 3, zostrojených z hodnôt (tabuľka 1), získaných meraním dotykovým profilometrom Surfcom 130 A, Carl Zeiss.

Vplyv rýchlosti posuvu na výslednú drsnosť rezne, obrobenej plochy je výrazný. Pri zvyšovaní rýchlosti kvalita povrchu klesá a to hlavne v zóne deformačného opotrebenia. Je to hĺbka, kde dochádza k pomerne rýchlej zmene mechanizmu úberu materiálu od prevažne šmykového porušovania po deformovanie a odoberanie materiálu tlakom. Klesá množstvo energie potrebnej na generovanie dráhy s určitou dĺžkou a klesá aj energia lúča v závislosti na hrúbke rezanej vzorky – hĺbky rezu. To sa prejavuje na zhoršenej kvalite rezu.

Získané výsledky môžeme považovať za čiastkové a môžu poslúžiť ako podklad pre ďalší výskum tejto problematiky.

Abrazívny vodný lúč je často krát jediným „nástrojom“ pre rezanie niektorých druhov materiálov. V bežných výrobných prevádzkach, kde sa režu rôzne druhy materiálov, rôznych rozmerov, niekedy ani tak nezáleží na kvalite obrobenej plochy ako na tom, že je vôbec možné materiál týmto spôsobom deliť. Napriek tomu je snaha optimalizovať technologické parametre tak, aby boli kvalitatívne požiadavky prirodzenou súčasťou tejto progresívnej technológie výroby.

## LITERATÚRA:

- MAŇKOVÁ, I.: 2000. *Progresívne technológie*. Košice: Viena, 2000, 257 strán. ISBN 80-7099-43-4.
- LETKO, I., MEŠKO J., POLC, J., STANČEKOVÁ, D.: 2002. *Priemyselné technológie II*. Žilina, ZUSi, 2002, 328 strán. ISBN 80-968605-3-4.
- KRAJNÝ, Z.: 1998. *Vodný lúč v praxi*. Bratislava, EPOS, 1998, 384 strán. ISBN 80-8057-091-4.
- KALINCOVÁ, D.: 2010. *Technické materiály*. Zvolen, TU vo Zvolene, 2010, 190 strán. ISBN 978-80-228-2086-8.
- HASHISH, M.: 1991. Optimization Factors in Abrasive-Waterjet Machining, *Journal of Engineering for Industry*, 1991, No. 1 pp. 29.
- WANG, J.: 2003. Abrasive Waterjet Machining of Engineering Materials, *Monograph Series, Materials Science Foundations*, 2003, Volume 19, p. 27, ISBN 978-0-87849-918-2.
- HLOCH, S.; VALÍČEK, J. MÁDR, V., FABIÁN, S.: 2007. *Technologické faktory vysokorýchlostného hydroabrazívneho prúdu a ich vplyv na povrch finálneho výrobku – ďalšie trendy výskumu*. In.: *Výrobné inžinierstvo*. 2007. Roč. 6, č. 1. s. 21–23. ISSN 1335-7972.
- HLOCH, S.; VALÍČEK, J.: 2009. *Drsnosť povrchu a hydroabrazívne delenie*. In.: *Strojárstvo : mesačník o strojárstve*. 2009, Roč. 13, č. 11, s. 86–87.
- HLOCH, S.; VALÍČEK, J.: 2006. *O mechanizme úberu vysokorýchlostným hydroabrazívnym prúdom*. In.: *Strojárstvo : mesačník o strojárstve*. Roč. 10, č. 12, s. 70–71.
- KRÁL, Ľ.: 2011. *Hodnotenie kvality povrchu vybraných materiálov pri obrábaní abrazívnym vodným lúčom*, Zvolen 2011, Diplomová práca, KVTM FEVT TU vo Zvolene.
- STN EN ISO 4287: 1999. *Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS)*. Charakter povrchu: Profilová metóda – Termíny, definície a parametre charakteru povrchu. SÚTN Bratislava.

### Kontaktná adresa:

Ing. Miroslava Ťavodová, PhD.  
Katedra výrobných technológií a materiálov,  
Fakulta environmentálnej a výrobnéj techniky,  
Technická univerzita vo Zvolene,  
Študentská 26, 960 53, Zvolen,  
tavodova@tuzvo.sk

## KONTAKTNÉ PROCESY PRI ELASTICKOM A PLASTICKOM KONTAKTE V TRIBOLOGICKOM SYSTÉME

### THE CONTACT PROCESSES OF ELASTIC AND PLASTIC CONTACT IN TRIBOLOGICAL SYSTEM

Ján MARIENČÍK – Ján TURIS – Pavel BEŇO – Mária REMPEROVÁ

**ABSTRAKT:** Článok sa zaoberá kontaktnými javmi medzi prvkami v tribologickom systéme. Účelom je oboznámenie sa s druhmi kontaktov medzi trúciami sa prvkami a zaťažením v umelom tribosystéme. V príspevku je spomínané určenie mikrogeometrie technických povrchov, popis štruktúry a vzťahy pre výpočet skutočného kontaktného tlaku.

**Kľúčové slová:** elastický kontakt, plastický kontakt, štruktúra povrchu, kontaktné napätie

**ABSTRACT:** The article is focused on contact processes between elements in tribotechnical system. The purpose is acquaintance with types of contacts, between friction elements and loading in an artificial tribosystem. The determination of microgeometry of technical surfaces, a description of structure and relations for calculation of real contact pressure are mentioned in the article.

**Key words:** elastic contact, plastic contact, structure of surface, contact pressure

## 1 ÚVOD

Kontakt alebo dotyk medzi prvkami v tribologickom systéme určuje správanie sa a vlastnosti systému pri splnení požiadaviek na funkciu. Pre správne definovanie kontaktných procesov je potrebné myslieť na celý rad faktorov, ako napríklad na makro a mikrogeometriu spolupôsobiacich telies, materiálové vlastnosti, druh a rýchlosť pohybu, veľkosť zaťažujúcich síl (Blaškovič, 1990).

Kontaktné napätia sa vyskytujú pri spolupôsobení telies, pri ktorých sú rozmery kontaktnej plochy malé v porovnaní s rozmermi dotýkajúcich sa telies. Deje sa tak napríklad v kontakte dvoch oceľových valcov pozdĺž všeobecnej odvaľovacej priamky rovnako, ako pri trecích ozubených kolesách alebo vo valivých ložiskách. Účinkom externých síl sa začnú kolesá a ložiská s valivým kontaktom pohybovať. Kontakt nastáva na malých plochách (počiatočný kontakt teoreticky pozdĺž čiary alebo v bode) a výsledkom je, že vzniknú vysoké napätia v povrchových vrstvách a materiál okolo týchto vrstiev trpí „objemovým“ tlakom (Grote, 2009).



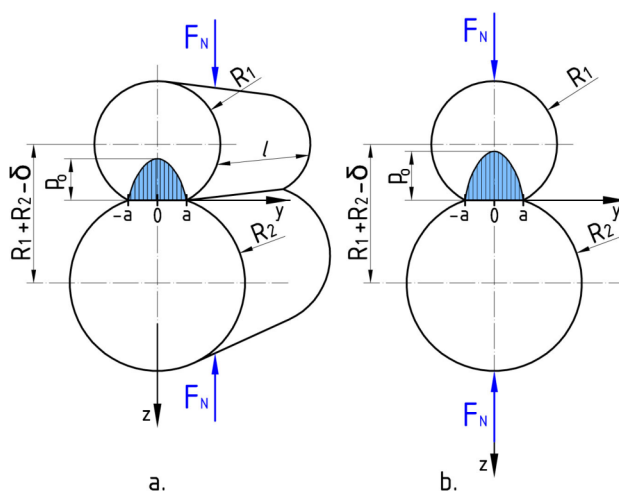
## 1.1 Elastický kontakt

Pre určenie kontaktného napätia tuhých telies sa používa do dnešnej doby Hertzova teória, ktorej počiatky Hertz uverejnil už v roku 1865. Táto teória sa zaoberá bodovým a priamkovým stykom dvoch elastických telies s ľubovoľnou formou zakrivenia (Blaškovič, 1990).

Zaoberajúc sa osvojovaním si správania sa newtonovských optických infračervených prúžkov v medzere medzi dvoma sklenenými šošovkami, pozoroval možný vplyv pružnej deformácie podmienenej prítomnosťou kontaktného tlaku na tieto šošovky. Pokúsil sa tiež využiť vlastnú teóriu na presné určenie tvrdosti telies pomocou kontaktného tlaku, vyvolávajúceho začiatok plastického toku v telese pri vtlačaní iného tuhého telesa do jeho povrchu. Táto metodika sa ukázala nedostatočnou z dôvodu obtiažnosti určenia začiatočného bodu tečenia.

Sformuloval podmienky, ktorým musia vyhovovať normálové posunutia na povrchu kontaktujúcich sa telies. Vypracoval hypotézu o tom, že oblasť kontaktu má vo všeobecnom prípade eliptický tvar. Stanovil predpoklad, podľa ktorého sa pre určenie lokálnych deformácií môže každé teleso skúmať ako pružný polpriestor zaťažený na malej eliptickej oblasti jeho povrchu. V rámci tohto predpokladu, všeobecne prijatého pre teóriu kontaktných úloh, kontaktné napätia koncentrované v blízkosti zóny kontaktu sa skúmajú nezávisle od celkového rozloženia napätia v kontaktných telesách určených tvarom a spôsobom upevnenia. Okrem toho sa pre riešenie kontaktných úloh uplatňujú rozpracované metódy riešenia okrajových podmienok pre pružný polpriestor. Teoretické výsledky získané na takomto princípe sa musia aplikovať opatrne pre telesá s nižším modulom pružnosti pre materiály, ktoré sa ľahko deformujú.

Pôsobením normálových síl  $F_N$  pri dotyku dvoch valcov (Obrázok 1) dochádza v mieste dotyku ku vzniku napätia, ktorého priebeh má tvar elipsoidu. Maximálny tlak označený  $P_0$  sa nachádza v strede kontaktnej plochy (Grote, 2009).



Obrázok 1 Elastický kontakt s priebehom napätia  
a. – valec – valec, b. – guľa – guľa



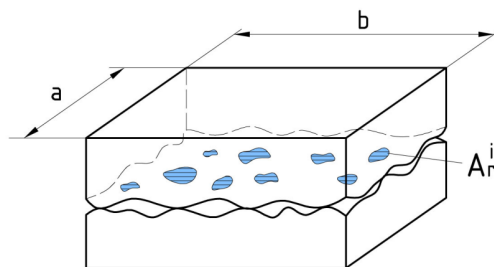
Podľa Hertzovej teórie maximum napätia účinkuje v strede kontaktnej oblasti a je zhodné s maximálnym tlakom  $P_O$  v absolútnej hodnote. Tieto napätia sa nazývajú Hertzove napätia a sú určené ako  $P_O = \sigma_H$ . Maximálne kontaktné napätie je potom označované spravidla indexom „ $H$ “ podľa Hertza (Grote, 2009).

Pri dotyku valcov bez zaťaženia má plocha kontaktu tvar priamky rovnobežnej s osami valcov. Pod účinkom tlakovej sily  $F_N$  dochádza ku elastickej deformácii a počiatočný priamkový kontakt sa stáva kontaktom na ploche úzkeho obdĺžnika, ktorého šírka  $2a$  je niekoľkonásobne menšia než jeho dĺžka  $l$  (Grote, 2009).

### 1.1.1 Elastický kontakt z mikroskopického hľadiska

Povrchy kontaktujúcich sa telies boli považované za hladké, v dôsledku čoho by mali v oblasti kontaktu existovať len normálové tlaky. Aj keď podľa fyzikálnych princípov pôsobia kontaktné tlaky nielen kolmo na povrch kontaktu, ktorý má byť nezáväzne rovinný, teória pružnosti neregistruje zmeny smeru pôsobenia povrchových síl vyvolaných deformáciou tohto povrchu (Turis, 2004).

Hertzova teória ideálnych hladkých povrchov bola rozšírená Archardom v roku 1953 na elastickú kontaktnú deformáciu tuhých telies uvažujúcu aj s drsnosťou povrchu. Drsnosť povrchu hrá dôležitú úlohu pri určení skutočnej kontaktnej plochy, pretože z mikroskopického hľadiska sa trúce sa povrchy dotýkajú na jednotlivých nerovnostiach a to v prípadoch, keď trecie telesá nie sú úplne oddelené mazacím filmom, alebo v prípadoch, keď nie je použité mazadlo (suché trenie) (Czichos, 2010), (Grote, 2009).



Obrázok 2 Geometrická a skutočná kontaktná plocha

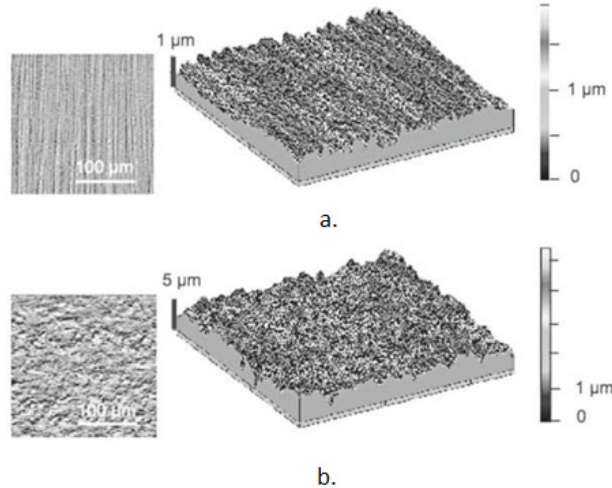
Geometrická a skutočná plocha je potom podľa obrázka 2 vyjadrená vzťahom:

$$A_O = a \cdot b \gg A_r = \sum_{i=1}^n A_r^i, \quad (1)$$

kde:  $n$  – počet mikrokontaktov.

Mikrogeometria technických povrchov je definovaná povrchovou drsnosťou. To znamená mikrogeometrickou odchýlkou tvaru od ideálnej makroskopickej geometrie súčastí, ktorá je dôležitou charakteristikou technických povrchov. Drsnosť povrchu je

ovplyvňovaná hlavne výrobou a je možné ju znázorniť ako trojdimenzionálne rozloženie vyvýšení a priehĺbní, ako je možné vidieť na obrázku (Obrázok 3).



Obrázok 3 Tvar mikrogeometrie rozlične vyrobených technických povrchov  
a. – brúsený oceľový povrch, b. – povlakovaný povrch

### 1.1.2 Určenie kontaktného tlaku

Uvažujme so spolupôsobením pri kontakte deformovateľného základného telesa a protiľahlého telesa (Obrázok 4), tvar ktorý je popísaný funkciou  $z = -F(x, y)$  v systéme spojeného so súradnicami so základným telesom (rovina  $O_{xy}$  prekrývajúca sa s plochou základného telesa) v nedeformovanom stave, a os  $z$  je orientovaná do základného telesa.

Skutočný kontaktný tlak  $p_i(x, y)$  pôsobí na každom kontaktnom mieste  $(x, y) \in \omega_i$ . Predpokladá sa že tangenciálne napätia sú v tomto prípade zanedbateľne malé. Kontaktný tlak deformuje základové teleso pozdĺž osi  $z$ . Posunutie (deformácia) závisí od tlaku  $p_i(x, y)$ , ktorý pôsobí na všetkých kontaktných miestach podľa rovnice (2):

$$u_z = A[p_1, p_2, \dots, p_N]. \quad (2)$$

Konštanta  $A$  rozhoduje o druhu deformovateľných telies v kontakte. Pre kontakt medzi pevným telesom s tvrdým povrchom a elastickým základným telesom platí vzťah:

$$u_z(x, y) = \frac{1 - \nu^2}{\pi \cdot E} \sum_{i=1}^N \iint_{\omega_i} \frac{p_i(x^l, y^l) dx^l dy^l}{\sqrt{(x^l - x)^2 + (y^l - y)^2}}, \quad (3)$$

kde:  $E$  – Youngov modul pružnosti elastického základového materiálu,  
 $\nu$  – Poissonove číslo elastického základového materiálu,  
 Predpoklad kontaktu musí byť riešený v každom kontaktnom mieste  $\omega_i$ .

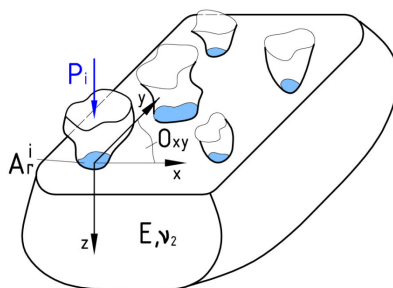
$$u_z(x, y) = D - F(x, y), \quad (x, y) \in \omega_i, \quad (4)$$

kde:  $D$  – je posunutie tuhého telesa pozdĺž osi  $z$ .

Ak  $D$  nie je zadané v postupe, ale je známe celkové zaťaženie  $P$ , aplikuje sa na telesá priamo pozdĺž osi  $z$ . Ak sčítame rovnice (3) a (4) z rovnováhy vyplýva rovnica:

$$\sum_{i=1}^N \iint_{\omega_i} p_i(x, y) dx \cdot dy = P, \quad (5)$$

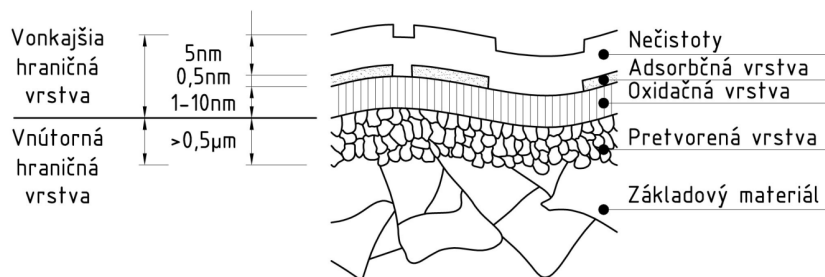
Systém rovníc (3), (4) a (5) môže byť použitý na určenie skutočného kontaktného tlaku  $p_i(x, y)$  v kontaktných miestach. Avšak riešenie tohto niekoľkonásobného kontaktného problému je veľmi komplikované, dokonca aj v prípade ak sú známe veľkosti a rozloženie kontaktných miest. Vo všeobecnom prípade sa musí určiť tiež počet kontaktov  $N$  a pozícia a tvar kontaktných miest pre každé zaťaženie  $P$  (Goryacheva, 1998).



Obrázok 4 Schéma zaťaženia deformovaného základového telesa a tuhého protifaľného telesa

### 1.1 3 Štruktúra technických povrchov

Technické povrchy sú opísané geometricky ohraničenými vrstvami. Materiálové vlastnosti povrchu a vnútorného materiálu technických častí vykazujú podstatné rozdiely, pokiaľ ide o chemické zloženie, tuhosť a štruktúru. Usporiadanie jednotlivých vrstiev technických povrchov kovových materiálov je zjednodušene znázornené na obrázku 5. Povrch je potom charakterizovaný tromi oblasťami, ktoré sú: základový materiál, vnútorné a vonkajšie hraničné vrstvy.



Obrázok 5 Schematické zobrazenie prierezu kovového povrchu (Czichos, 2010)

Vnútna hraničná vrstva pozostáva v závislosti od technológie výroby zo základného materiálu spojeného s pretvorenou alebo spevnenou vrstvou. Vonkajšia hraničná vrstva sa skladá väčšinou zo základného materiálu rôzneho zloženia a môže pozostávať z oxidačnej vrstvy, adsorpčnej vrstvy a nečistôt. Pri kontaktných javoch sú práve tieto úzke zobrazené hraničné vrstvy veľmi dôležité (Czichos, 2010).

#### 1.1.4 Kontaktná mechanika s adhéziou na hraničných plochách

Pri doterajšom spracovaní sa jednalo o adhéziu v hraničných oblastiach, ktorá je oddelená od čistej kontaktnej mechaniky na základe Hertzovej teórie. Analýza elastického kontaktu zakriveného hladkého telesa so zreteľom na adhéziu, ktorá je opísaná pomocou hraničnej energie  $\gamma$  bola pomenovaná podľa Johnsona, Kendalla a Robertsa (1987) ako model JKR. Analýza ukazuje, nezávislosť od účinku normálovej sily  $F_N$  na nežiadúcu spojovaciu silu  $\Delta F_N$ , aby sa oba kontaktné prvky rozdelili:

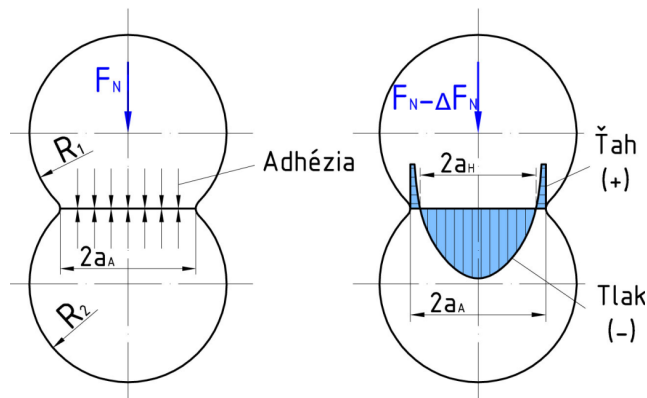
$$\Delta F_N = -\frac{2}{3}\pi \cdot r \cdot \gamma. \quad (6)$$

Kontaktná situácia je zjednodušene znázornená na obrázku 6. Kontaktné prvky sú pomocou normálovej sily  $F_N$  navzájom stláčané. Kontakt sa následkom adhézie rozprestiera na zväčšenej kontaktnej ploche s rozmerom  $2a_A$ . Ako možno vidieť na pravej strane obrázku tlaky v strede majú tlakový charakter a tlaky na okraji zasa ťahový. Vzťah medzi kontaktným polomerom  $a_A$  a polomerom bez adhézie  $a_H$  má nasledujúci charakter:

$$\frac{a_A}{a_H} = \frac{F_N + 3\gamma\pi R + \sqrt{3\sqrt{(6\gamma\pi R F_N \cdot (3\gamma\pi R)^2)}}}{F_N}, \quad (7)$$

kde:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}. \quad (8)$$



Obrázok 6 Elastický tlak podľa Herta s hraničnou adhéziou

Analýza Johnsoona, Kendalla a Roberta sa vzťahuje na hladké povrchy. Fuller a Tabor (1975) sa zaoberali účinkom adhézie v kontaktnej deformácii pri zväčšujúcej sa drsnosti povrchu kontaktného telesa.

## 1.2 Plastický kontakt

Plastický kontakt má z hľadiska makrogeometrie menší význam, v dôsledku toho, že aj keď pri prvom pôsobení zaťaženia vznikajú plastické deformácie na povrchu telies, pri opätovnom zaťažení sa môže plastický kontakt zmeniť na elastický aj v prípade, keď opätovné zaťaženie je väčšie, ako prvé zaťaženie. Na určenie napätia pri plastickom kontakte možno použiť rovnicu:

$$p_{pl} = c \cdot \sigma_{Kt} \approx konšt., \quad (9)$$

kde:  $c$  – koeficient zohľadňujúci tvar vnikajúceho telesa (Blaškovič, 1990).

Pre určenie prechodu z elastickej na plastickú kontaktnú deformáciu boli vyvinuté rozličné kritériá. Takzvaný index plasticity bol definovaný Greenwoodom a Williamsonom v roku 1966, ktorý je určený nasledovne:

$$\psi = \left(\frac{E'}{H}\right) \cdot \left(\frac{\sigma^*}{\beta}\right)^{1/2}, \quad (10)$$

kde:  $E'$  – redukovaný modul elasticity spolupôsobiaceho telesa,  
 $H$  – tvrdosť povrchu telesa,  
 $\sigma^*$  – štandardná odchýlka drsnosti povrchu,  
 $\beta$  – stredný polomer vyvýšení drsnosti povrchu.

Na základe tohto kritéria potom platí, že pre  $\psi < 0,6$  je deformácia elastická a pre  $\psi > 1$  je deformácia kontaktu plastická. Po analýze podmienok a výsledkov pre plastický kontakt sa zistilo, že platia podobné závery, ako pri elastickom kontakte:

- skutočná kontaktná plocha je priamo úmerná normálovej sile  $F_N$ ,
- pri rastúcej normálovej sile  $F_N$  dochádza ku zväčšovaniu skutočnej kontaktnej plochy predovšetkým dôsledkom vzrastu počtu kontaktov (Czichos, 2010).

## 2. ZÁVER

Pre výpočet základných vlastností kontaktu dvoch telies postačuje aj v súčasnosti Hertzova teória. Pre presnejšie určenie vlastností kontaktu sa musí brať do úvahy celý rad faktorov ako napríklad drsnosť a chemické procesy v povrchových vrstvách spolupôsobiacich telies. Skúmaním týchto procesov sme následne schopní zlepšiť vlastnosti tribologických systémov, čím sa zlepší zároveň celková funkcia strojových uzlov a znížia sa náklady na prevádzku.

Predpoklad budúceho výskumu naznačuje kvantitatívne ešte nedobudovanú cestu rozvoja energetických teórií s využitím matematicko-štatistického určenia opisných veličín

kontaktnej geometrie. Nedostatkom týchto teórií je zatiaľ malé množstvo komplexných údajov a rozborov stavu a správania sa kontaktných dvojíc pri rôznych prevádzkových podmienkach.

## LITERATÚRA

- BLAŠKOVIČ, P., BALLA, J., DZIMKO, M. 1990. *Tribológia*. Bratislava: ALFA, 1990, 360 s. ISBN 80-05-00633-0.
- CZICHOS, H., HABIG, K. H. 2010. *Tribologie-Handbuch*. Berlin: MercedesDruck, 2010, 757 s. ISBN 978-3-8348-0017-6.
- GORYACHEVA, I. G. 1998. *Contact Mechanics in Tribology*. Holandsko: Kluwer Academic Publishers, 1998, 355 s. ISBN 0-7923-5257-2.
- GROTE, K. H., ANTONSON, E. K. 2009. *Springer Handbook of Mechanical Engineering*. Würzburg: Stüntz GmbH, 2009, 1580 s. ISBN 978-3-540-49131-6.
- TURIS, J. 2004. *Príspevok k napätovo deformačnej analýze kontaktného javu*. Zvolen: dizertačná práca TU, 2004, 113 s.

### **Kontaktná adresa:**

Ing. Ján Marienčík

Katedra mechaniky a strojnictva

Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita vo Zvolene

Študentská 26, SK – 960 53 Zvolen

e-mail: jmariencik@gmail.com

Ing. Ján Turis, PhD.

Katedra mechaniky a strojnictva

Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita vo Zvolene

Študentská 26, SK – 960 53 Zvolen

e-mail: jan.turis@tuzvo.sk

doc. Ing. Pavel Beňo, PhD.

Katedra mechaniky a strojnictva

Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita vo Zvolene

Študentská 26, SK – 960 53 Zvolen

e-mail: pavel.beno@tuzvo.sk

Ing. Mária Remperová

Katedra mechaniky a strojnictva

Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita vo Zvolene

Študentská 26, SK – 960 53 Zvolen

e-mail: mariaremporova@tuzvo.sk

## PLÁNOVANIE KVALITY VO VÝROBNÝCH ORGANIZÁCIÁCH NA SLOVENSKU

### QUALITY PLANNING IN MANUFACTURING ENTERPRISES OPERATING IN THE SLOVAK REPUBLIC

**Helena ČIERNA – Andrea DANKOVÁ**

**ABSTRACT:** The paper deals with a detailed description of the issue of quality planning, which is increasingly gaining prominence in the field of quality management and is an integral part. Specifically describes the quality planning through Juran's quality spiral. The main objective of this paper is based on theoretical knowledge to analyze and describe in detail the quality planning process in practice, its various components, effectiveness and benefits of its use. The components of quality planning are analyzed at all stages of product life cycle, which includes the quality spiral. The object of the practical treatment of this contribution were manufacturing companies operating in the Slovak Republic.

**Key words:** Quality Planning. Quality Spiral. Manufacturing Enterprises

**ABSTRAKT:** Príspevok sa zaoberá a detailne popisuje problematiku plánovania kvality, ktorá sa čoraz viac dostáva do popredia v oblasti manažérstva kvality a je jeho neoddeliteľnou súčasťou. Konkrétne popisuje plánovanie kvality prostredníctvom Juranovej špirály kvality. Hlavným cieľom príspevku je na základe teoretických poznatkov analyzovať a detailne popísať proces plánovania kvality v praxi, jeho jednotlivé súčasti, efektívnosť a prínosy jeho využitia. Jednotlivé súčasti plánovania kvality sú analyzované vo všetkých fázach životného cyklu produktu, ktoré špirála kvality obsahuje. Objektom pre spracovanie praktickej časti tohto príspevku boli výrobné organizácie pôsobiace v rámci Slovenskej republiky.

**Kľúčové slová:** Plánovanie kvality. Špirála kvality. Výrobné organizácie

#### 1. ÚVOD

V súčasnej dobe je kvalita neodmysliteľnou súčasťou nášho života. Každý z nás požaduje určitú kvalitu, avšak každý z nás ju vníma inak. Pre každého jedinca kvalita predstavuje niečo iné a preto je tento pojem veľmi subjektívny. Kvalitu možno vnímať v spojení s produktom, teda buď s výrobkom, alebo poskytovanou službou. Tak, ako kvalitu vníma zákazník – konečný spotrebiteľ, taktiež ju vnímajú organizácie, ktoré sú za konečný

produkt zodpovedné. Jednotliví autori (Kormanec, 2008; Fekete, 2001; Zafka, 1997) uvádzajú rozličné definície kvality, ktoré sa v konečnom dôsledku zjednocujú. Kvalita pre nich predstavuje schopnosť výrobu, systému alebo procesu spĺňať požiadavky zákazníkov a ďalších zainteresovaných strán. Je potrebné si uvedomiť, že sa čoraz vyšší dôraz na kvalitu prikladá aj vo fáze výberu dodávateľa, v rámci jednotlivých procesov, ktoré v organizácii prebiehajú a v konečnom dôsledku sa všetky činnosti odvíjajú od požiadaviek zákazníka, ktoré je potrebné naplniť, aby bol zákazník v maximálnej možnej miere uspokojený. Aby sme toto všetko dosiahli, potrebujeme jednotlivé činnosti na dosiahnutie požadovaného výsledku a efektu dôsledne zvážiť a naplánovať. Práve v tomto prípade je vhodné využiť činnosti plánovania kvality v každej fáze životného cyklu produktu, ktoré špecifikujeme prostredníctvom využitia špirály kvality v praxi.

## 1.1 Plánovanie kvality a jeho teoretické východiská

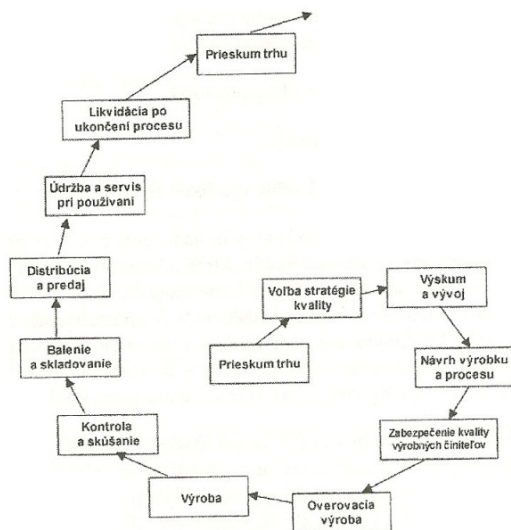
Plánovanie s cieľom dosiahnuť kvalitu by malo prebiehať v rámci celej organizácie. To znamená na všetkých úrovniach riadenia. Hovoríme tu o stanovovaní strategických cieľov s ohľadom na kvalitu, úlohách a krokoch, ktoré je potrebné splniť, aby sme požadovanú kvalitu dosiahli, konkrétnym vyjadrením cieľov, ktoré chceme v rámci organizácie dosiahnuť a vykonávanie ktorých činností musíme zabezpečiť, aby sme potrebné ciele dosiahli. Samozrejme k tomu, aby organizácia stanovené ciele s ohľadom na kvalitu dosiahla potrebuje v rámci svojej organizácie zabezpečiť množstvo aktivít a procesov. Z toho vyplýva, že na dosiahnutie určitého požadovaného stupňa celkovej kvality potrebujeme dosiahnuť kvalitu v rámci všetkých činností organizácie a fáz životného cyklu (od vývoja až po likvidáciu), ktorým produkt prechádza. Aby sa organizáciám podarilo dosiahnuť tento bod, plánovanie je pri tom nevyhnutným a začiatočným krokom. Weihrich (2008) poukazuje na dôraz, že plánovanie prebieha naprieč celou organizáciou, nie len vybranou časťou. Weihrich a Koontz ilustrovali podstatu plánovania pomocou jeho hlavných charakteristík: plánovanie prispieva k dosiahnutiu zámerov a cieľov; plánovanie je prioritné medzi manažérskymi úlohami; plánovanie sa vzťahuje na všetky aktivity v organizácii a plánovanie umožňuje efektívne vykonávanie činností. Na základe uvedeného konštatujeme, že plánovanie by malo pre organizácie predstavovať naozaj dôležitú funkciu v riadení a malo by byť aplikované vo všetkých aktivitách podniku, teda aj vo všetkých fázach životného cyklu produktu. Samozrejme pri plánovaní nesmieme zabúdať na dostatočné množstvo informácií, ktoré sú pre plánovanie nevyhnutné. Plánovanie by nebolo možné vykonávať bez dostatočných informácií o zákazníkoch, dodávateľoch, producentoch, trendoch na trhu a výsledkov rôznych uskutočnených výskumov.

V Juranovej trilógii je práve plánovanie prvým krokom v riadení kvality. Plánovanie kvality Juran (2000) definuje ako štruktúrovaný proces vývoja produktov (tovarov a služieb), ktorý zabezpečuje, že požiadavky zákazníkov sú pretransformované do finálnej podoby produktu (teda výrobu alebo služby). Plánovanie kvality považuje za proces, prostredníctvom ktorého organizácie neplnia len najlepšie technické parametre podľa príslušného zamerania, ale aj požiadavky zákazníkov pre ktorých je produkt určený a ktorí z neho majú úžitok. S týmto tvrdením sa plne stotožňujeme. Podobne ako norma STN EN ISO 9000:2006 definoval plánovanie kvality aj Plura. Plánovanie kvality je podľa jeho názoru časť systému manažérstva kvality, ktorá sa zameriava na stanovenie cieľov kvality



a na špecifikovanie potrebných prevádzkových procesov a súvisiacich zdrojov pre splnenie stanovených cieľov kvality (Plura, 2001). Juran následne v rámci svojich publikácií definoval aj postupnosť krokov plánovania kvality a taktiež špirálu kvality, ktorej v rámci analytickej časti príspevku venujeme osobitú pozornosť a prostredníctvom nej analyzujeme plánovanie kvality v podnikoch a to v jednotlivých fázach životného cyklu produktu.

Ťažisko výskumu popísaného v príspevku spočíva v plánovaní kvality v jednotlivých fázach životného cyklu produktu, kde sa za fázy životného cyklu produktu považuje práve špirála kvality, ktorá je zobrazená na obrázku 1.



Obrázok 1 Špirála kvality (Mateides, 2006)

Životný cyklus produktu sa dá charakterizovať jednotlivými fázami, ktorými daný produkt v priebehu svojho života prechádza. Na jeho začiatku je prieskum trhu, nasleduje výskum a vývoj, jeho návrh, príprava výroby, samotná výroba, distribúcia, jeho užívanie a na konci likvidácia produktu. Aj napriek tomu, že každý z čiastkových procesov prispieva k celkovej výslednej kvalite služieb, procesy predchádzajúce vlastnej výrobe majú úplne špecifické postavenie. V ich priebehu sa totiž vytvára koncepcia budúceho produktu a prijímajú sa zásadné rozhodnutia, ktoré majú vplyv na to, či produkt splní požiadavky zákazníka, bude konkurencieschopný a zaisť výrobcovi primeraný zisk.

## 2. METOLÓGIA VÝSKUMU

Cieľom uskutočneného výskumu bolo na základe teoretického vymedzenia problematiky plánovania kvality analyzovať proces plánovania kvality v jednotlivých fázach životného cyklu produktu prostredníctvom špirály kvality a definovať jeho využitie v praxi v rámci vybraných slovenských podnikov. Základným súborom boli výrobné organizácie pôsobiace na území Slovenskej republiky. V období septembra až decembra 2011 bol

uskutočnený výskum na výberovej vzorke 211 stredných a veľkých výrobných organizácií. Malé organizácie sme vo výskume eliminovali, nakoľko nespĺňali potrebné kritériá, čo vyplynulo z uskutočneného predvýskumu. Pri zostavovaní výberovej vzorky bol využitý kvótny výber. Kvótami bola veľkostná kategória výrobných organizácií podľa počtu zamestnancov a kraj v ktorom sa daná organizácia nachádza. Zloženie výberového súboru bolo reprezentatívne vzhľadom na obidva kvótné znaky. Výskum bol uskutočnený prostredníctvom dotazníka, ktorý obsahoval 32 kombinovaných otázok. Údaje nadobudnuté z dotazníkového prieskumu boli doplnené riadeným rozhovorom v rámci jednotlivých oddelení vybraných organizácií. Týmto spôsobom bol výskum obohatený o vlastné zistenia, pozorovania a postrehy z podnikateľského prostredia. V rámci výskumu boli stanovené hypotézy, ktoré sú uvedené a overené v závere poslednej podkapitoly výsledky výskumu.

### 3. VÝSLEDKY VÝSKUMU

Empirickým výskumom uskutočneným vo vybraných podnikoch sme dospeli k nasledovným záverom: systém manažérstva kvality má zavedený až 84 % organizácií a v rámci neho využívajú vo veľkej miere jeho koncepcie: najčastejšie využívanou koncepciou sú ISO normy; potom podnikové štandardy a najmenej využívanou je v rámci organizácií koncepcia komplexného manažérstva kvality. Túto možnosť si vybralo len 15 % organizácií. Organizácie si ale uvedomujú potrebu neustáleho zlepšovania sa a napredovania aj zmenou filozofie, hodnôt a celkového riadenia v rámci podniku. Prekvapujúcim bolo zistenie, že až 90 % organizácií využíva v rámci riadenia podniku procesné riadenie. Toto zistenie nás vedie ku konštatovaniu, že v budúcnosti by mohlo byť toto tvrdenie overené príslušným výskumom, ktorý by bol zameraný na vnímanie procesného riadenia prostredníctvom organizácií, nakoľko nemôžeme s určitosťou tvrdiť, čo si organizácie pod týmto pojmom predstavujú.

Plánovanie, ako všeobecný pojem pre organizácie predstavuje riadiacu funkciu manažmentu, nástroj manažmentu a vytváranie plánov. Tieto odpovede boli najfrekvencovanejšie. Dôvodom na plánovanie je pre organizácie vykonávanie podnikateľskej činnosti efektívnejšie a byť v budúcnosti prosperujúcou organizáciou. Túto možnosť zvolilo 75 % organizácií. Ďalším častým dôvodom bolo, aby prostredníctvom plánovania uspokojili potreby potenciálnych a stálych zákazníkov a predvídali riziká, ktoré z podnikateľskej činnosti plynú. V konečnom dôsledku z uvedeného vyplynulo, že činnosť plánovania má pre organizácie význam a dôvod.

Najčastejšie využívaným nástrojom pri plánovaní kvality sú ciele a úlohy, ktoré určujú čo je potrebné naplánovať, teda čo je hlavným cieľom plánovania vybranej činnosti. V miere využívania nasledujú nástroje plánovania, akými sú: postupy, smernice, stratégie podľa ktorých sa organizácie pri plánovaní kvality riadia a rozpočty.

#### 3.1 Plánovanie kvality v jednotlivých fázach špirály kvality

Druhá časť výskumu bola venovaná plánovaniu kvality s dôrazom na jednotlivé fázy životného cyklu produktu a to podľa špirály kvality. Zámerom bolo zistiť, či organizácie plánujú kvalitu vo všetkých fázach životného cyklu produktu alebo nie, a akú mieru

jednotlivým fázam pripisujú. Ďalej sa analyzoval výber jednotlivých činností, ktoré organizácie pri každej z uvedených fáz životného cyklu produktu realizujú. Jednotlivé fázy v rámci špirály kvality nasledujúce za sebou realizujú organizácie nasledovne. Prieskum trhu realizuje 85 % organizácií, voľbu stratégie kvality stanovuje 82 % organizácií. Výskumu a vývoju sa v rámci organizácií venuje 56 %, samotnému návrhu produktu 69 % organizácií. Plánovanie kvality vstupov vykonáva 98 % organizácií, overovaciu výrobu plánuje 76 %. Plánovanie kvality výroby zabezpečuje 98 % a plánovanie kontroly vykonáva takmer 100 % organizácií. Plánovaním jednotlivých činností vo fáze balenia a skladovania sa zaoberá 92 % organizácií, vo fáze distribúcie a predaja 89 %, vo fáze údržby a servisu 83 %, a vo fáze likvidácie 61 % organizácií. Z uvedeného vyplýva, že organizácie venujú najväčšiu pozornosť plánovaniu kontrole kvality, plánovaniu výroby a plánovaniu kvality vstupov. Ak však hovoríme o miere dôležitosti, ktorú analyzované organizácie pripisujú jednotlivým fázam špirály kvality, maximálnu mieru dôležitosti pripisujú plánovaniu výroby. Za ním nasleduje plánovanie kontroly a plánovanie kvality vstupov, plánovanie distribúcie a predaja, plánovanie činností balenia a skladovania. Potom nasleduje plánovanie kvality prieskumu trhu, plánovanie overovacej výroby, voľba stratégie kvality a plánovanie údržby a servisu. Najnižší stupeň významnosti organizácie pripisujú pri plánovaní fáze návrhu produktu, fáze výskumu a vývoja a fáze likvidácie.

Prostredníctvom tretej časti dotazníka boli analyzované činnosti, ktoré organizácie vykonávajú v jednotlivých činnostiach životného cyklu produktu, teda fázach špirály kvality. Otázky sme hodnotili v poradí špirály kvality. Prvou analyzovanou fázou bol prieskum trhu. V rámci činností v tejto fáze organizácie najčastejšie vykonávajú sledovanie spokojnosti zákazníkov, hľadanie vhodných dodávateľov, hľadanie zákazníkov a zisťovanie ich potrieb. Organizácie sa tiež vo väčšej miere venujú hľadaniu nových príležitostí a analyzovaniu trhu.

Vo fáze stratégie kvality organizácie najčastejšie vykonávajú nasledovné činnosti: identifikujú silné a slabé stránky v oblasti riadenia kvality, následne stanovujú dlhodobé ciele na dosiahnutie poslania v oblasti riadenia kvality a identifikujú príležitosti a hrozby organizácie v oblasti riadenia kvality. Najnižšie zastúpenie mala činnosť výberu optimálnej stratégie kvality pre implementáciu a generovanie alternatívnych stratégií kvality.

Ďalšími analyzovanými činnosťami boli činnosti vo fáze výskumu a vývoja. Tu organizácie pripisujú najvyššiu váhu plánovaniu návrhu a vývoja, preskúmaniu zmien, určeniu vstupov a výstupov z návrhu a vývoja a udržiavaniu zmien návrhu a vývoja a ich riadeniu. Zaujímavé je zistenie, že v rámci tejto otázky tie organizácie, ktoré plánovanie v tejto fáze uskutočňujú jej venujú naozaj vo všetkých činnostiach vysokú pozornosť. Jednotlivé činnosti mali zastúpenie vždy nad 70 %. Až na dva prípady, kde činnosť preskúmania, verifikácie a validácie každej etapy návrhu a vývoja a validácia mala 63,5 % zastúpenie. Ďalšia fáza a to fáza návrhu produktu, ktorá je vytvorená ako samostatná fáza v rámci životného cyklu produktu, t. j. špirály kvality nebola samostatne vyhodnocovaná, nakoľko bola zahrnutá a prepojená s fázou výskumu a vývoja, z ktorého po odobrení a splnení všetkých predpisov a požiadaviek návrh produktu automaticky vyplýva.

Vyplývajúc zo štatistického vyhodnotenia fázy plánovania kvality vstupov konštatujeme, že organizácie v najväčšej miere plánujú v rámci zabezpečenia kvality vstupov (v 100 % miere) potrebné materiálové vstupy, ich kvantitu ale aj kvalitu. Zabezpečenie ľudských zdrojov je druhá činnosť, ktorú zabezpečuje a vykonáva 93,4 % organizácií.

Minimálny rozdiel bol aj medzi zabezpečením technologických 92,4 % a technických zdrojov 91,9 %. Aj napriek tomu je tento výsledok vynikajúci a je zjavné, že organizácie už prípravnej fáze výroby dbajú na to, aby bol požadovaný výsledok kvalitný.

Vo fáze overovacej výroby organizácie vykonávajú najčastejšie nasledujúce činnosti. Až 99 % organizácií prijíma v prípade akýchkoľvek vzniknutých nezhôd nápravné opatrenia, kontrolu zhody s požiadavkami vykonáva 95,4 %. Ďalšou činnosťou, ktorú organizácie vykonávajú je s 92,9 %-tná kontrola určených znakov kvality, ktoré má produkt obsahovať a technologická príprava výroby, ktorú vykonáva 90,4 % organizácií. Najnižšie zastúpenie spomedzi všetkých činností mala konštrukčná príprava výroby.

Pre fázu výroby sú charakteristické a najvyššiu početnosť zastúpenia organizácií dosiahli činnosti, ako napríklad zabezpečenie používania vhodných zariadení, dostupnosť pracovných inštrukcií, údržbársko-opravárenské činnosti a dostupnosť informácií týkajúcich sa charakteristiky produktu. Z vyhodnotenia tejto otázky vyplýva, že plánovaniu činností vo fáze výroby organizácie venujú vysokú pozornosť, nakoľko až päť činností z ôsmich dosiahlo zastúpenie organizácií cez 90 %.

Medzi najvýznamnejšie činnosti vykonávané v rámci fázy kontroly na základe štatisticky overených informácií organizácie považujú činnosti kontroly, kontrolu kvality na vstupe, kontrolu kvality na výstupe, kontrolu procesov, meranie spokojnosti zákazníka a medzioperačnú kontrolu.

Vo fáze balenia a skladovania sa podľa zastúpenia organizácií najčastejšie vykonávajú činnosti spojené s expedíciou tovaru, uskladnením, postupom pre príjem tovaru na sklad, kompletizáciou podľa objednávky, vytvorením vhodného postupu balenia, prenosom informácií o stave zásob riadenia a prenosom informácií o vstupných a výstupných dodávках. Činnosťou, ktorej organizácie venujú najmenšiu pozornosť bol prenos informácií o využití skladového priestoru.

Z uskutočneného prieskumu a štatistického vyhodnotenia fázy distribúcie a skladovania vyplýva, že oproti ostatným fázam životného cyklu produktu sa podiely organizácií v činnostiach vo fáze distribúcie a predaja o dosť znížili. Najvyšším podielom zastúpenia organizácií na činnostiach v tejto fáze bolo 73,5 %. Túto hodnotu dosiahla činnosť rýchlosti vybavenia objednávky, tesne potom to bola následná rýchlosť dodávky. Potom nasledovala činnosť poskytnutia odbornej asistencie a dostatočných informácií o danom produkte. Približne rovnakú úroveň podielu organizácií (približne 30 %) dosiahla činnosť segmentácie zákazníkov výber vhodných metód distribúcie, stanovenia distribučnej politiky a výber vhodných metód predaja. Najnižšie zastúpenie dosiahla činnosť poskytnutia inštalácie, resp. montáže.

Činnosťou s najvyšším zastúpením vo fáze údržby a servisu je evidencia reklamácií a sťažností, po nej nasleduje vytváranie štandardizovaných postupov riešenia pri reklamáciách a sťažnostiach a vyriešenie vzniknutých nezhôd na uspokojenie obidvoch strán. Zaujímavosťou je, že všetky tieto tri najzastúpenejšie činnosti patria k fáze servisu. Poskytovanie doplnkových služieb, poskytovanie nadštandardných služieb a problematika dostatočného množstva servisných miest v rámci činností fázy údržby a servisu patrí k tým činnostiam, ktoré organizácie v súčasnosti až do takej veľkej miery nevykonávajú.

Problematika likvidácie je v súčasnej dobe mimoriadne diskutovanou témou, a to, že organizácie voči tejto otázke nezostávajú ľahostajnými potvrdili aj výsledky výskumu. V rámci tejto otázky za najdôležitejšiu činnosť (vyplývajúcu z podielu odpovedí

organizácií) organizácie považujú ochranu životného prostredia ekologickou likvidáciou, klasifikáciu materiálov a zabezpečenie celkového chodu ekologickej prevádzky.

Na základe výskumu sme ďalej zistili, že organizácie venujú zvýšenú pozornosť zákazníčkovi a ich rozhodnutia spolu s ním navzájom súvisia. Najfrekvencovanejšou činnosťou, ktorú v tejto problematike organizácie vykonávajú je budovanie vzťahov so zákazníkmi, efektívna komunikácia so zákazníkmi a individuálny prístup k jednotlivým zákazníčkovi. Ďalšou dôležitou oblasťou je pre organizácie informačný systém o zákazníkoch a takmer rovnakú úroveň organizácie pripisujú procesnému prístupu k plneniu požiadaviek a prispôbovaniu kultúry podniku zákazníkovi.

Na záver analýzy organizácie definovali prínosy, ktoré im plánovanie kvality v kombinácii s celkovým strategickým riadením organizácie prináša. Plánovanie kvality im v prvom rade prináša vyššiu spokojnosť zákazníčkovi a menej nezhôd v produktoch. Ďalej pre ne znamená vyššiu konkurencieschopnosť. Prináša im tiež výhodné dodávateľsko-odberateľské vzťahy a vyšší zisk. Ďalším prínosom pre organizácie sú rýchlejšie dodávky a menej porúch výrobných zariadení a napokon im plánovanie kvality prináša neustále rozširovanie spektra funkcií produktov.

### 3.2 Overenie hypotéz

Na základe výsledkov empirického výskumu sme rôznymi štatistickými metódami verifikovali hypotézy, prostredníctvom ktorých sme dospeli k nasledovnému zisteniu.

Pre overenie hypotézy, že iba jedna štvrtina analyzovaných organizácií plánuje kvalitu v každej z fáz špirály kvality, bol použitý binomický test, na základe ktorého bola táto hypotéza prijatá. Teda predpoklad, že iba jedna štvrtina organizácií plánuje kvalitu vo všetkých fázach špirály kvality sa potvrdil.

Ďalšou hypotézou sa predpokladalo, že väčšina organizácií vo výberovom súbore realizuje proces plánovania kvality iba v nadväznosti na požiadavku normalizovaných systémov manažérstva kvality mať vypracované ciele kvality. Tento predpoklad, ktorý sme overili binomickým testom sa nepotvrdil, nakoľko pre väčšinu organizácií plánovanie kvality predstavovalo základné východisko na dosiahnutie potrebnej kvality výrobkov a prevencie nezhôd.

Ďalšou hypotézou sme predpokladali, že najčastejšie využívanou fázou životného cyklu produktu analyzovaných organizácií je prieskum trhu, naopak oblasť na ktorú sa organizácie sústreďujú najmenej je likvidácia. Pre dosiahnutie jej overenia sme použili Friedmanov test a Wilcoxonov test. Táto hypotéza bola následne zamietnutá, nakoľko organizácie za najčastejšie využívanú fázu životného cyklu produktu určili fázu výroby a naopak za fázu ktorú využívajú najmenej určili fázu výskumu a vývoja a fázu likvidácie.

## 4. ZÁVER

Na záver konštatujeme, že plánovanie možno považovať za prvotnú činnosť, ktorú by mali organizácie vykonávať, aby boli schopné dosiahnuť požadovaný výsledok. V minulosti bola činnosť plánovania dostatočne rozvinutá, neskôr však podniky predovšetkým v rámci Európy od tejto činnosti upúšťali. V súčasnosti je evidentne opäť v organizáciách

často využívanou súčasťou. Na plánovanie sa dá pozerat' z rôznych uhlov pohľadu, avšak nikdy nie je možné úplne odčleniť jednotlivé zamerania plánovania, nakoľko spolu úzko súvisia. Bez strategického riadenia by neexistovalo strategické plánovanie, bez strategického plánovania by organizácie nezačali s finančným plánovaním, plánovaním kvality, so stanovovaním cieľov, úloh, požadovaných výsledkov. Preto ani plánovanie kvality nemožno úplne oddeliť od ostatných činností, ktoré v rámci podniku prebiehajú, pretože je ich súčasťou. Keď sa organizácia rozhodne poskytovať kvalitný produkt, mala by sa snažiť o kvalitný priebeh všetkých činností a procesov potrebných na jeho dosiahnutie. Je potrebné nevnímať plánovanie kvality len ako súčasť riadenia kvality, ale ako súčasť všetkých ostatných, riadiacich, či iných činností prebiehajúcich priamo v organizácii, ale aj mimo neho, so zainteresovaním všetkých strán s ktorými organizácia spolupracuje.

## LITERATÚRA

1. FEKETE, M. 2001. *Manažment kvality*. Bratislava: Univerzita Komenského, 2001. ISBN 80-223-1593-1
2. JURAN, J. M. 2000. *Juran's quality handbook*. Singapore: TattaMcGraw-Hill, Fifth Edition, 2000. 1872 s. ISBN 0-07-116539-8
3. KORMANEC, P. 2008. *Štandardizácia kvality v praxi*. In: Kvalita, 2008. č. 1. s. 15–17. ISSN 1335-9231
4. MATEIDES, A. a kol. 2006. *Manažérstvo kvality*. Bratislava: Epos, 2006, 751 s. ISBN 80-8057-656-4
5. PLURA, J. 2001. *Plánování a neustálé zlepšování jakosti*. Praha: Computer Press, 2001. 244 s. ISBN 80-7226-543-1
6. STN EN ISO 9000:2006 *Systémy manažérstva kvality. Základy a slovník*
7. WEIHRICH, H., KOONTZ, H. 2008. *Management*. Praha : Victoria Publishing, 2008, 659 s. ISBN 80-85605-45-7
8. ZAFKA, M. 1997. *Úlohy Slovenskej spoločnosti pre kvalitu v zabezpečovaní vývojových trendov*. In: Kvalita – súčasný stav, vývojové trendy a globálne súvislosti: Zborník zo sympózia so zahraničnou účasťou. 1997. s. 11–12

### **Kontaktná adresa:**

doc. Ing. Helena Čierna, PhD.  
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, TU Zvolen  
Katedra výrobných technológií a materiálov  
Študentská 26, 960 53 Zvolen  
helena.cierna@tuzvo.sk

Ing. Andrea Danková, PhD.  
Ekonomická fakulta, Katedra ekonomiky a manažmentu podniku  
Tajovského 10  
975 90 Banská Bystrica, Slovenská republika  
andrea.dankova@umb.sk

## ANALÝZA HLUKU MOTOROVEJ PÍLY PÔSOBIACEHO NA ĽUDSKÝ ORGANIZMUS

### ANALYSIS OF THE NOISE OF CHAIN SAW INFLUENCE AN THE HUMAN BODY

**Ján KOVÁČ**

**ABSTRACT:** In the recent time there are used mainly chain saws. They have acceptable weight, they are safe, they have general usage, they are easy for an operator and they are relatively cheap. The result of recent knowledge about chain saws is that work with them is hazard and has negative influence on the health of workers, there are mainly occupational illnesses caused by vibrations and noise of a chain saw. The article deals with conditions and assessment evaluation of effects on human caused by vibrations and noise of professional chain saws in operation.

**Key words:** chain saw, noise of chain saws, ergonomic, human

**ABSTRAKT:** V súčasnosti sa v ťažbe dreva používajú takmer výlučne motorové píly. Majú prijateľnú hmotnosť, sú spoľahlivé, všestranne použiteľné, jednoduché na obsluhu a relatívne lacné. Z doterajších poznatkov práce s motorovými pilami vyplýva, že práca s ňou je riziková a má negatívny vplyv na zdravie pracovníkov, ide hlavne o choroby z vibrácií a hluku píly. Článok sa zaoberá podmienkami a hodnotením pôsobenia hluku profesionálnych motorových píl na človeka, pri práci s motorovou pilou.

**Kľúčové slová:** motorová píla, hluk motorových píl, ergonómia, človek

#### 1. ÚVOD

Práca s ručnou motorovou reťazovou pilou je veľmi náročná. Motorová píla, je medzi laickou verejnosťou, vo väčšine prípadov označovaná ako stroj. Toto označenie je však nesprávne, a to z dôvodu nutnosti aktívnej účasti človeka pri práci. Správnym označením motorovej píly je motomanuálny pracovný nástroj (Rónay, E., Dejmál, J., 1991).

V posledných 10–15 rokoch sa trh s jednoduššími reťazovými motorovými pilami aj na Slovensku dynamicky rozvíjal. Okrem profesionálnych motorových píl sú v obchodnej sieti dostupné rôzne druhy a typy motorových píl, ktoré sú určené predovšetkým pre občasných užívateľov. Prístroje používané na profesionálnu prácu sú charakteristické kompaktnosťou, precíznosťou a kvalitnou konštrukciou, veľkou životnosťou a odolnosťou voči negatívnym účinkom pracovného zaťaženia. Profesionálne píly majú prakticky všetky pevnostné a silové súčiastky vyrobené z odľahčených a špeciálnych kovov.

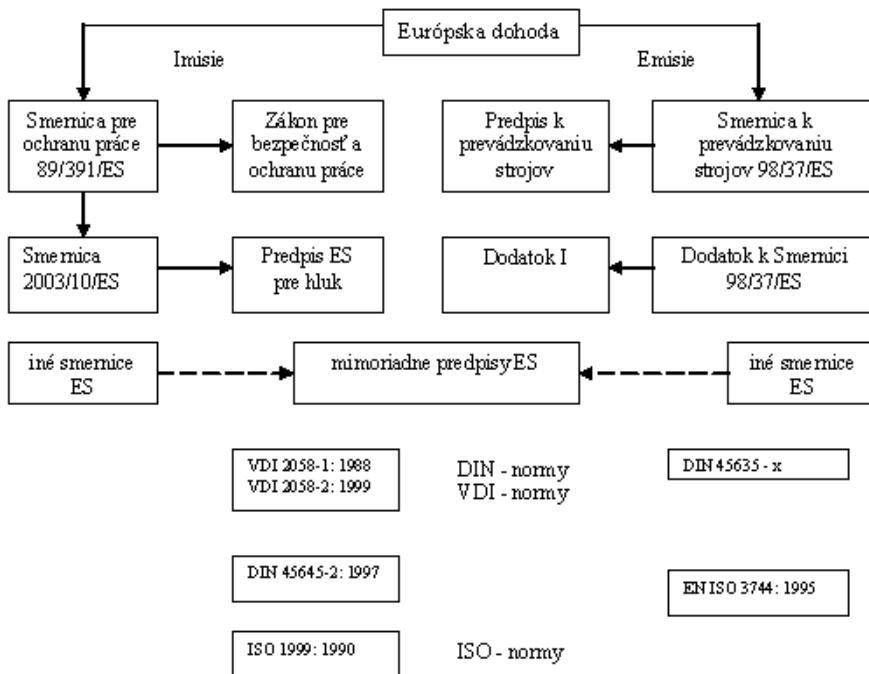


Naopak, tzv. hobby píly určené len pre občasnú, krátkodobú prácu bez extrémneho zaťaženia sú spravidla vyrobené z menej odolných materiálov, ktoré nedokážu odolať mimoriadnym situáciám, napr. nadmerným nárazom.

## 1.1 Hluk pôsobiaci na ľudský organizmus

Pracovnú pohodu značne ovplyvňuje aj hlučnosť prostredia. Hluk, na rozdiel od ostatných činiteľov určujúcich prostredie, nepôsobí na človeka zjavne len v priebehu trvania, alebo tesne po skončení práce, ale aj skryto, t. j. jeho účinky sa hromadia a prejavujú až po určitom čase (Hnilica, R., Dado, M., 2006).

Ľudské telo predstavuje svojou anatomicou stavbou veľmi zložitú „mechanickú sústavu“ s viacerými stupňami voľnosti s lineárnymi a nelineárnymi členmi má niektoré významné rezonančné vlastnosti. Rozhodujúci význam má na operátora stroja hluk ovládacích prvkov a styčných plôch medzi operátorom a strojom, ktoré možno zaradiť k typickým ergonomickým rizikovým faktorom pracovných systémov. Na základe týchto rizikových faktorov a v snahe zlepšiť pracovné podmienky operátora mobilného stroja boli Európskou úniou vypracované a definované hygienické normy a bezpečnostné predpisy určujúce maximálne prípustné hodnoty hluku (emisný a imisný) a doby expozícií ich pôsobenia na operátora mobilného pracovného prostriedku 2003/10/ES. Predpisy a normy k bezpečnosti a ochrane zdravia pre hluk sú uvedené na obrázku 1 (Kučera, M., Urblik, E., 2002).



Obrázok 1 Predpisy a normy k bezpečnosti a ochrane zdravia pre hluk v rámci Európskej únie



Sluchové orgány sa nedokážu brániť proti veľkému hluku, ktorý nepriaznivo pôsobí na celú nervovú sústavu, duševnú a telesnú výkonnosť ľudí, na ich krvný obeh a trávenie. Pri veľkom hluku sa pracujúci nemôže sústrediť na prácu, akosť jeho práce sa zhoršuje. Zvyšuje sa úrazovosť, absencia a fluktuácia (Dado, M., 2008).

V ergonómii sa hodnotí hluk pôsobiaci na človeka najmä z hľadiska škodlivosti a rušivosti. Cieľom skúmania hlučnosti jednotlivých zdrojov je úprava pracovného prostredia, návrh účinných technických a technologických opatrení. Sluchový analyzátor človeka je citlivejší než doterajšie zariadenia na príjem zvuku (Kováč, J., Marko, J., 2009). Je schopný vnímať široký rozsah intenzity zvuku, pomerné veľmi široké pásmo kmitočtov a rozlišovať tóny podľa kvality a kvantity. Ak sú nechránené sluchové orgány vystavené príliš intenzívnemu hluku, alebo ak sa sluchová únava opakuje mnohokrát, zmyslové bunky vo vnútornom uchu sa už nezotavia, a tým je sluch nenapraviteľne porušený. Trvalá strata sluchu môže nastať naraz (sluchový úraz), väčšinou však prichádza postupne bez toho, aby si to postihnutý spočiatku uvedomil. Bolesť v sluchu vzniká už pri hladine akustického tlaku asi od 130 dB a trvalú poruchu sluchu spôsobuje niekoľkoročný každodenný osemhodinový pobyt v prostredí s hladinou akustického tlaku nad 110dB, prípustné hodnoty hladiny hlukovej expozície sú uvedené v tab. 1.

Tabuľka 1 Najvyššie prípustné hodnoty normalizovanej hladiny hlukovej expozície podľa jednotlivých druhov činností na pracoviskách

Skupina práce	Druh práce – činnosti – pracovne priestory	LEX, 8h, p(dB)
1	Konceptná práca, zasadacie a konferenčné miestnosti, kancelárie riadiacich pracovníkov, mimoriadne tiché pracovné prostredie	40 (c, d)
2	Kancelárie jednotlivých zamestnancov, práca spojená s veľkým sústredením, výskumne pracoviska	a) 45 (c, d) b) 50 (c, d)
3	Duševná práca rutínnej povahy vyžadujúca pozornosť, sústredenie s možnosťou ľahkého dorozumenia rečou	a) 55 (c, d) b) 60 (c, d)
4	Duševná práca rutínnej povahy s trvalým sledovaním a kontrolou okolia sluchom, práca vykonávaná na základe čiastkových sluchových informácií	a) 65 (d) b) 70 (d)
5	Práca vyžadujúca pri fyzickej námahe presnosť a sústredenie, alebo vyžadujúca občasne sledovanie a kontrolu okolia sluchom	a) 55 (d) b) 80 (d)
6	Práca bez nárokov na duševne sústredenie, sledovanie a kontrolu okolia sluchom, alebo dorozumievanie sa rečou	85 (d)

## 2. MATERIÁL A METÓDY

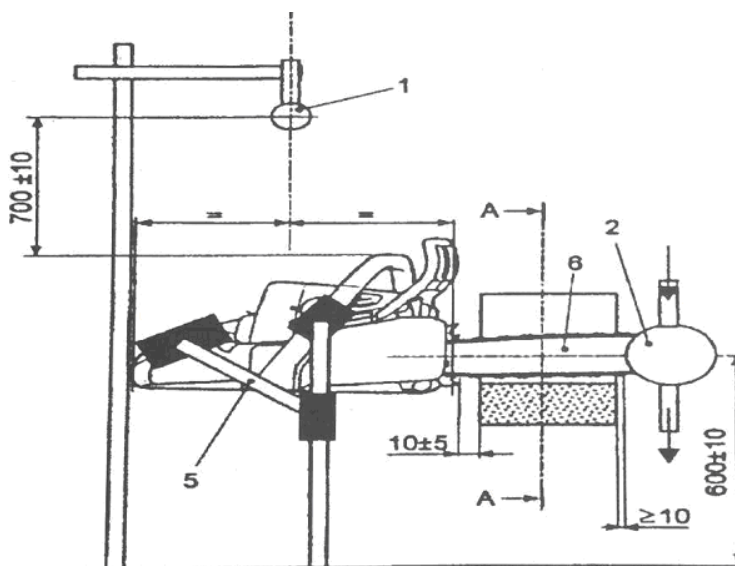
Meranie hluku na motorových pílach sa má vykonať na základe požiadaviek STN EN ISO 22 868 – skúšobný predpis na meranie hluku (obr. 2). Hodnotenie nameraného hluku spočíva v jeho prepočte na stanovené jednotky a porovnanie s hodnotami určenými platnou legislatívou. V súčasnosti na území Slovenska platí Nariadenie vlády SR č. 115/2006 Zb. ktoré hovorí o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou hluku. Toto nariadenie ustanovuje požiadavky na ochranu zdravia pred rizikom z vystavenia hluku a tiež požiadavky na predchádzanie tomuto riziku. Merania hladín hluku sa vykonávajú na motorových

pílach zo štandardnou výbavou, pri rôznych prevádzkových podmienkach. Po uskutočnených meraniach podľa STN ISO 22 868 a STN ISO 9207 sa hodnôt hladín hluku vypočíta hodnota hladiny akustického výkonu, ktorá je daná:

$$L_w = L_p + 10 \log S \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

kde:  $L_p$  je hladina akustického tlaku na obklopujúcej meracej ploche,  
 $S$  je meracia plocha v  $\text{m}^2$ .

Meraním hladín hluku, posúdením spektra a určením hladiny akustického výkonu pri motorových pílach možno diagnostikovať hlukovú záťaž, v našom prípade je limitná hodnota hlukovej záťaže 85 dB, ktorá je daná uvedeným nariadením a príslušnými normami po prekročení limitnej hodnoty sú nutné také opatrenia, ktoré eliminujú nežiaduce hodnoty hluku, čím sa následne chráni zdravie pracovníkov.



Obrázok 2 Meranie akustického tlaku v mieste obsluhy (dB)

### 3. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Základným zdrojom hluku takto konštruovaných píl je motorová časť, pričom vzduchom chladený dvojtaktný, jednovalcový motor (nízka hmotnosť) je hlučnejší ako vodou chladený (štvortaktný, viacvalcový). Následné zdroje hluku sú buď poháňané motorom, alebo prenášajú hluk motora. Sem patria tieto časti: palivová nádrž, ventilátor, tlmič výfuku, lišta s reťazou, nasávanie vzduchu, kryty píly. Pri väčšine MP prekračuje hladina akustického výkonu dovolenú hodnotu, pričom ich trieda hlučnosti je zvyčajne v rozpätí 96–120 dB (A). Výrobcovia v súčasnosti používaných MP uvádzajú hladiny hluku svojich výrobkov v rozsahu 99 až 110 dB (A). Ich hodnoty sú uvedené v a tabuľkách 2 a 3.

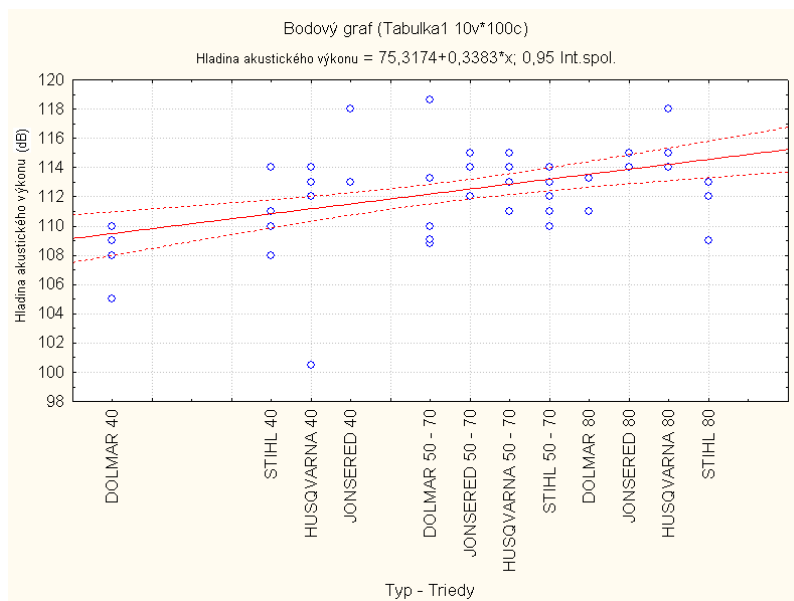
Tabuľka 2 Hodnoty hladín hluku profesionálnych motorových píl HUSQVARNA a STIHL (dB)

HUSQVARNA					STIHL				
Typ	Norma	Hladina hluku L dB (A)	Hladina akustického výkonu L <sub>w</sub> dB (A)		Typ	Norma	Hladina hluku L dB (A)	Hladina akustického výkonu L <sub>w</sub> dB (A)	
Trieda 40 ccm	339XP	ISO 22 868	99	112	Trieda 40 ccm	MS 210	ISO 22 868	99	108
	440e	ISO 22 868	102	114		MS 211	ISO 22 868	99	110
	450	ISO 22 868	103,5	113		MS230CB	ISO 22 868	101	111
	445	ISO 22 868	103,5	100,5		MS 240	ISO 22 868	101	114
Trieda 50–70 ccm	346XP	ISO 22 868	106	113	Trieda 50–70 ccm	MS 250	ISO 22 868	99	111
	353	ISO 22 868	102	113		MS 260	ISO 22 868	99	111
	55	ISO 22 868	98	111		MS 270	ISO 22 868	101	110
	357XP	ISO 22 868	101	114		MS 290	ISO 22 868	102	113
	359	ISO 22 868	101	114		MS 310	ISO 22 868	102	114
	455e	ISO 22 868	104	114		MS 341	ISO 22 868	102	113
	460	ISO 22 868	104	114		MS 361	ISO 22 868	101	113
	365	ISO 22 868	102,5	114		MS 390	ISO 22 868	102	111
	372XP	ISO 22 868	103	115		MS 440	ISO 22 868	101	112
	570	ISO 22 868	107	115		MS 460	ISO 22 868	101	113
	575XP	ISO 22 868	107	115		MS 650	ISO 22 868	100	112
	Trieda >80 ccm	385XP	ISO 22 868	102		114	Trieda >80 ccm	MS 660	ISO 22 868
390XP		ISO 22 868	105,5	118	MS880	ISO 22 868		103	113
395XP		ISO 22 868	102	115					

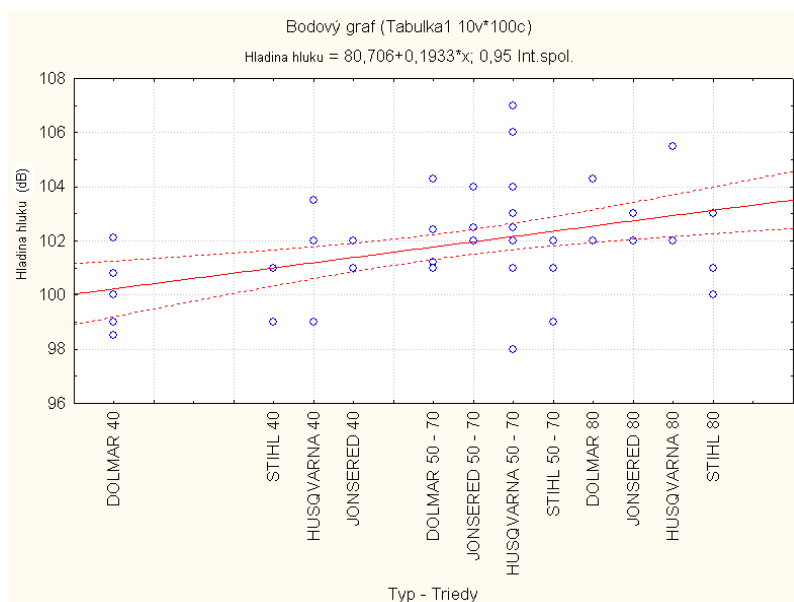
Tabuľka 3 Hodnoty hladín hluku profesionálnych motorových píl JONSERED a DOLMAR (dB)

JONSERED					DOLMAR						
Typ	Norma	Hladina hluku L dB (A)	Hladina akustického výkonu L <sub>w</sub> dB (A)		Typ	Norma	Hladina hluku L dB (A)	Hladina akustického výkonu L <sub>w</sub> dB (A)			
Trieda 40 ccm	CS 2138	ISO 22 868	101	118	Trieda 40 ccm	PS-33	ISO 22 868	98,5	105		
	CS 2141	ISO 22 868	101	113		PS-39	ISO 22 868	100	109		
	CS 2145	ISO 22 868	101	113		PS-350	ISO 22 868	100,8	110		
	CS 2150	ISO 22 868	102	113		PS-420	ISO 22 868	100,8	110		
Trieda 50–70 ccm	CS2152	ISO 22 868	102	112	Trieda 50–70 ccm	PS-460	ISO 22 868	102,1	108		
	CS 2153	ISO 22 868	104	114		109	ISO 22 868	99	109		
	2255	ISO 22 868	104	114		110i	ISO 22 868	99	109		
	CS 2156	ISO 22 868	102	115		111	ISO 22 868	101	110		
	CS 2159	ISO 22 868	102	114		PS-500	ISO 22 868	102,4	108,8		
	CS 2165	ISO 22 868	102,5	114		PS-4600	ISO 22 868	101,2	109,1		
	Trieda >80 ccm	CS 2171	ISO 22 868	103		115	Trieda >80 ccm	PS-5000	ISO 22 868	101	118,6
		CS 2186	ISO 22 868	102		114		PS-6400	ISO 22 868	104,3	113,3
PS-7300					ISO 22 868			104,3	113,3		
					PS-7900	ISO 22 868	104,3	113,3			
					PS-9010	ISO 22 868	102	111			

Na základe navrhnutej a popísanej metodiky sa vypracovali grafy regresie jednotlivých typov motorových píl pre hladiny akustického výkonu a hladiny hluku uvedených výrobcov motorových píl.



Obrázok 3 Graf regresie Hladiny akustického výkonu



Obrázok 4 Graf regresie Hladiny hluku

Z uvedeného grafického riešenia je zrejmé, že rozdiely veľkosti hladín hluku a akustického výkonu sa najviac prejavujú podľa jednotlivých tried motorových píl. Pričom rozdiely medzi jednotlivými výrobcami nie sú až tak zreteľné.

#### 4. ZÁVER

Hluk vydávaný motorovou pílou negatívne pôsobí na celý organizmus. Spôsobuje nervovú únavu a zhoršenie sluchu až hluchotu. Vyvoláva predčasnú únavu, ktorá znižuje výkon a zvyšuje nebezpečenstvo úrazu. Pôsobí kumulatívne a účinky sa pozorujú až pri zhoršení zdravotného stavu. Pri práci s motorovou pílou je povinné používanie chráničov sluchu a za najvhodnejšie sa považujú sluchátkové chrániče v spojení s ochranou prilbou.

Hodnotenie nameraného hluku spočíva v jeho prepočte na stanovené jednotky a porovnanie s hodnotami určenými platnou legislatívou. V súčasnosti na území Slovenska platí Nariadenie vlády SR č. 115/2006 Zb. ktoré hovorí o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou hluku. Toto nariadenie ustanovuje požiadavky na ochranu zdravia pred rizikom z vystavenia hluku a vibráciám a tiež požiadavky na predchádzanie tomuto riziku

Z doterajších poznatkov práce s motorovými pilami vyplýva, že práca s ňou je riziková a má negatívny vplyv na zdravie pracovníkov (Marko, J., Holík, J., 2000). Obmedzenie týchto následkov má vplyv na technické, technologické a organizačné zásahy, ktoré majú slúžiť na preventívne opatrenia.

#### LITERATÚRA

- DADO, M., 2008. *Vibrácie v pracovnom prostredí*. Bezpečnosť práce. Roč. 8. č. 7 2008. s. 25–30.
- HNILICA, R., DADO, M., 2006. *Posúdenie expozície hluku obsluhy LKT 81 T adaptovaného lanovkovou nadstavbou SLS podľa Nariadenia vlády č. 115/2006 Z. z.* In *Perspektívy vývoja ťažbovo-dopravného procesu a využitia biomasy v lesnom hospodárstve : zborník referátov z medzinárodného seminára*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene. s. 79–83. ISBN 80-228-1661-2.
- KOVÁČ, J., MARKO, J., 2009. *Pôsobenie hluku a vibrácií motorových píl na človeka*. In: Zborník prednášok z XXXV. Medzinárodného seminára katedrií a inštitútov transportných, stavebných, úpravárenských a poľnohospodárskych strojov. TU v Košiciach. s. 32–39. ISBN 978-80-553-2042-3.
- KUČERA, M., URBLÍK, L., 2002. *Účinky vibrácií na zdravie, pohodu a vnímanie človeka*. In: Kolokvium ku grantovej úlohe č. 1/7585/20, Zvolen. s. 116–127. ISBN 80-228-1129-7.
- MARKO, J., HOLÍK, J., 2000. *Teória delenia dreva*. VŠ 10/1999/A, TU vo Zvolene. 66 s. ISBN 80-228-0891-1.
- RÓNAY, E., DEJMAL, J., 1991. *Lesná ťažba*. Príroda Bratislava. 359 s. ISBN 80-07-00432-7.
- Nariadenie vlády SR č. 115/2006 Zb. o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou hluku v znení NR SR č. 555/2006 Z. z. 2006.
- STN ISO 9207. Ručné prenosné reťazové píly so spaľovacím motorom. Určenie hladín akustického výkonu. Technická metóda (trieda presnosti 2). 2000.
- STN EN ISO 22868. Lesnícke stroje. Skúšobný predpis na meranie hluku pre prenosné ručné stroje so spaľovacím motorom. Inžinierska metóda (trieda pevnosti 2). 2007.

Príspevok bol vypracovaný v rámci projektu VEGA MŠ SR n. 1/0403/11  
„Výskum technických parametrov motorových píl s ohľadom na ergonómiu a ekológiu práce“.

**Kontaktná adresa:**

Ing. Ján Kováč, PhD.,  
Katedra lesnej a mobilnej techniky,  
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,  
Technická univerzita vo Zvolene,  
T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen,  
E-mail: jan.kovac@tuzvo.sk

## ANALÝZA OPOTREBOVANIA REZNEJ HRANY HOBL'OVACÍCH NOŽOV PÍLOVEJ REŤAZE MOTOROVEJ PÍLY

### ANALYSIS OF THE CUTTING EDGES WEARING BY CUTTER TOOTH SAW CHAIN OF CHAINSAW

Ján KOVÁČ – Jozef KRILEK

**ABSTRACT:** The wood cutting process is the basic technological process for wood production and has significant impact on a product quality and energy consumption. Because of decreasing quality of a cutting edge there become some effects which influence the whole cutting process. The article deals with analysis of wearing measurement regarding to a cutting tooth in a chain on a chain saw on the basis of chosen parameters.

**Key words:** chain saw, chain of chain saws, cutting edge, wearing

**ABSTRAKT:** Rezanie dreva je základným technologickým procesom pri akejkoľvek výrobe z dreva a má zásadný vplyv na kvalitu výrobkov, množstvo spotrebovanej energie. Vplyvom zhoršovania kvality rezného klína dochádza k určitým javom, ktoré následne ovplyvňujú celý proces rezania. Článok sa zaoberá analýzou merania opotrebovania hobľovacieho zuba pílovej reťaze na základe vybraných parametrov.

**Kľúčové slová:** motorová píla, pílová reťaz, rezná hrana, opotrebovanie

#### 1. ÚVOD

Delenie dreva sa vykonáva jeho deformovaním aktívnym prvkom – rezným mechanizmom, ktorého fyzikálne vlastnosti a materiálová podstata môžu byť rôzne. Rezací mechanizmus musí mať vysokú reznú výkonnosť, prevádzkovú spoľahlivosť, dobrú trvanlivosť nástroja, nízku hmotnosť, jednoduchú konštrukciu, musí byť rýchlo pripravený k práci a musí rezať kmene, ktorých priemer sa bežne vyskytuje v lesnom poraste podľa jeho určenia.

Rezací mechanizmus slúži k narezaniu vlákien dreva, t. j. na oddelenie stromu od pňa. Rezanie sa môže uskutočniť rôznymi spôsobmi, z ktorých najbežnejším je spôsob delenia dreva s tvorením triesky – mechanizmy s reťazovou pilou. Pri stínaní stromu sa najčastejšie používajú mechanizmy s reťazovou pilou, preto sa v ďalších častiach článku budeme venovať podrobnejšie práve im.

## 1.1 Reťazový rezací mechanizmus

Rezná časť rezacieho zariadenia s pílovou reťazou sa v podstate nelíši od rezného mechanizmu motorovej píly. Reťazový rezný mechanizmus pozostáva z pílovej reťaze, vodiacej lišty, hnacieho reťazového kolieska a z uzla mechanického podávania (obr. 1).



Obrázok 1 Reťazový rezací mechanizmus motorovej píly.

K základným parametrom procesu patria: typ a rozmery pílovej reťaze, rezná rýchlosť, posuvná rýchlosť, rozmery hnacieho reťazového kolieska. Typ a rozmery reťaze určujú rozmery a konštrukciu ostatných častí pílového mechanizmu. Veľký význam má rozstup reťaze  $t$ , býva v rozsahu 20–30 mm. Rozstup je tiež komerčným parametrom reťaze pri výbere rezného mechanizmu. Vzdialenosť medzi stredmi osí hnacieho a vodiaceho ozubeného kolieska (vzdialenosť  $A$ ) sa určuje na základe potrebnej dĺžky pílovej lišty. Pre normálnu prácu pílovej reťaze musí byť splnená podmienka:  $A = (30 - 50)t$ , kde  $t$  je stredný rozstup pílovej reťaze medzi nitmi. Počet zubov  $z$  hnacieho reťazového kolieska sa určuje rýchlosťou pílovej reťaze, jej rozstupom, výškou pílovej lišty zo strany hnacieho kolieska a nachádza sa v medziach  $6 \leq z \leq 15$ . Menší údaj platí pre motorové píly, väčší pre ťažbové stroje. Konštrukčná zvláštnosť reťazí, spojená so spôsobom smerovania ich pohybu v pílovej lište, je určená technológičnosťou výroby a pevnosťou pílovej lišty.

Pílová reťaz je mnohorezný klinový nástroj, tvorený článkovým nekonečným pásom s reznými klinmi. Hlavným parametrom pílových reťazí je rozstup a šírka drážky vodiacej lišty (obr. 2.). Rozstup je vzdialenosť medzi osami čapov článkov reťaze. Pri výbere reťaze určitého rozstupu sa vychádza z typu rezného mechanizmu, typu a potrebného výkonu pohonu a tiež požiadaviek reznej výkonnosti. Pre stroje, ktoré majú veľkú pohonnú jednotku rezného mechanizmu, kde je potrebná veľká rezná výkonnosť, je potrebná reťaz s veľkým rozstupom. Počet radov reťaze sa určuje na jednej strane podľa objemu odoberanej triesky t. j. reznou výkonnosťou a potrebným výkonom a na druhej strane požiadavkami na pevnosť reťaze a vodiacej lišty. Vychádzajúc z týchto podmienok veľké rozšírenie dosiahli v súčasnosti trojradové pílové reťaze. Rezné vlastnosti pílových reťazí určuje konštrukcia reznej časti článku reťaze ako aj podmienky rezania.

Univerzálna pílová reťaz má ľavé i pravé hoblňovacie zuby striedajúce sa medzi sebou cez osem rozstupov reťaze. Rezná hrana zuba vzhľadom k rovine škáry má horizontálny, vertikálny a prechodový úsek. Horizontálna časť reznej hrany tvaruje dno škáry a vertikálna a prechodová časť stenu škáry. V prednej časti reznej hrany každého zuba je umiestnený obmedzovač, ktorý zabraňuje zarezaniu sa zuba do dreva, obmedzuje hrúbku triesky a tým zabraňuje preťaženiu motora píly. Pílová reťaz sa okrem otupenia môže opotrebovať



aj v kĺbovom systéme. Toto opotrebovanie je výsledkom práce trecích síl vznikajúcich ohýbaním reťaze hnacím reťazovým kolieskom a koncového smerového konca reťaze.

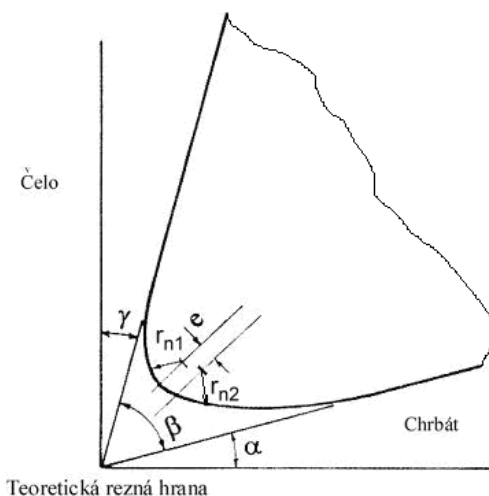
## 1.2 Sprievodné javy opotrebovania reznej hrany

Technologický cieľ procesu rezania – vznik nových povrchov na opracovanom materiáli sa dosahuje cestou mechanického rozrušenia tuhého telesa – obrobku. Pri odstránení zrezanej vrstvy sa v dreve vytvorí napät'ový stav, spôsobujúci deformáciu tejto vrstvy až do jeho rozrušenia. Oblasti napätia i rozrušenia zabiehajú v materiáli i za hranice nominálneho povrchu rezania, čo v konečnom dôsledku vplýva na kvalitu skutočného obrobeneho povrchu. Priebeh procesu rezania materiálu s bunečnou štruktúrou reznou hranou s polomerom krivosti  $r_n$  ( $r_n \approx 6 \div 10 \mu\text{m}$ ) možno pri malej reznej rýchlosti charakterizovať nasledovnými štádiami (Rousek, M., 2004):

- ohybová počiatočná deformácia bunečnej steny v medziach pružnosti,
- zborlenie buniek a prisunutie (nakopenie) bunečných stien k sebe,
- tlaková postupná deformácia (pružná → plastická) prisunutých bunečných stien s konečným prestrihnutím bunečných stien.

Na základe mnohých štúdií je vonkajší prejav opotrebovaného rezného klina pri obrábaní dreva charakterizovaný nasledovne (Obr. 2):

- zaoblením reznej hrany zväčšovaním polomeru zaoblenia,
- ustúpením skutočnej reznej hrany od optimálnej,
- krivkou zaoblenia reznej hrany so zväčšujúcim sa polomerom od čela po chrbát rezného klina,
- excentricitou reznej hrany  $e$ , ktorá je posunutá smerom k čelu nástroja,
- väčším oterom na chrbtovej ploche nástroja.



Obrázok 2 Vonkajší prejav opotrebovania rezného klina pri obrábaní dreva:  
 $\alpha$  – uhol chrbta,  $\beta$  – uhol rezného klina,  $\gamma$  – uhol čela,  $r_{n1}$  a  $r_{n2}$  – polomer zaoblenia reznej hrany,  
 $e$  – excentricita reznej hrany

### 1.3 Metódy hodnotenia opotrebovania rezného klina

Na určenie opotrebovania môžeme použiť dve metódy a to:

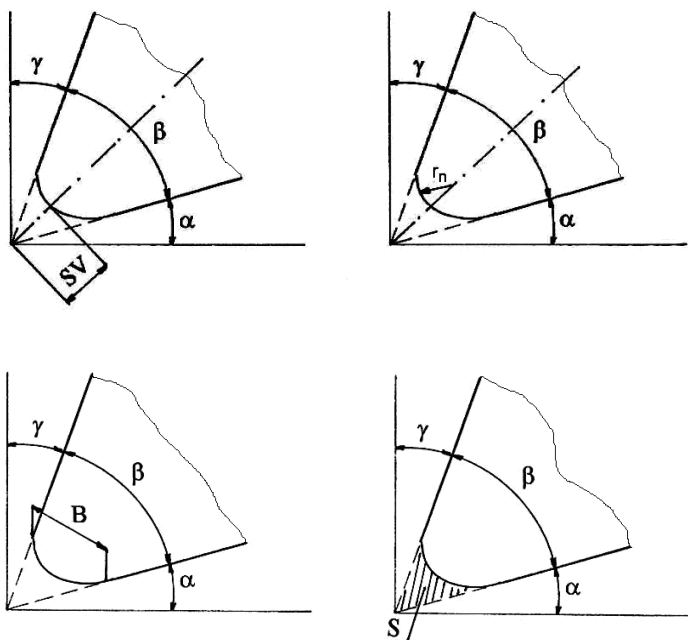
- nepriame metódy,
- priame metódy.

**Nepriame metódy** využívajú na určenie opotrebovania meranie inej veličiny, ktorá úzko súvisí s opotrebením nástroja a má obdobný priebeh (napr. rezná sila, rezný výkon, dĺžka rezu, rezná rýchlosť). Nepriame metódy neinformujú o zmene profilu (geometrii) reznej hrany.

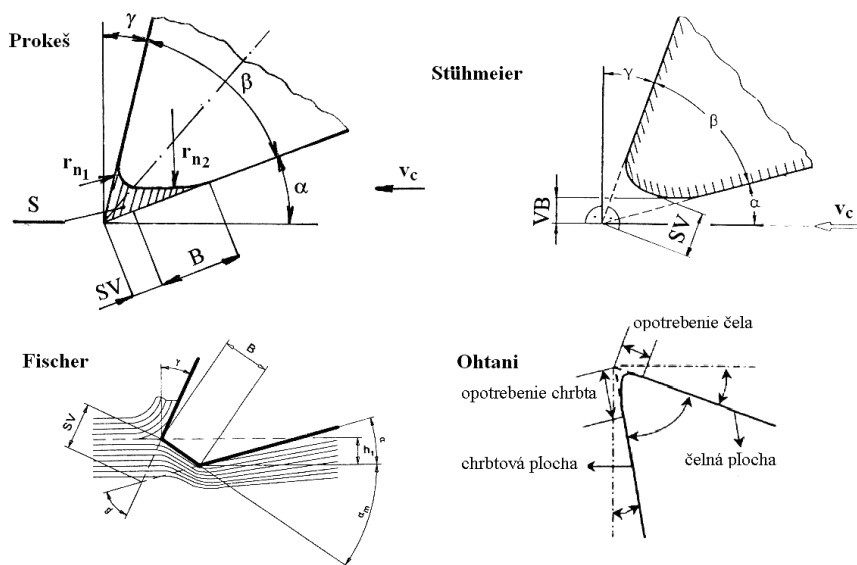
**Priame metódy** delíme do dvoch skupín, a to:

*I. skupina priamych metód* – sú metódy, ktoré sú založené na meraní toho, čo sa odstránilo (váhová metóda, metóda otláčkov). Metódy tejto skupiny opäť presne nevystihujú podstatu opotrebeného rezného klina, pretože nepostihujú jeho geometriu.

*II. skupina priamych metód* – metódy mikrometrické, ktoré sú založené na meraní lineárnych rozmerov vybraných charakteristík opotrebeného rezného klina. Metódy tejto skupiny popisujú zmeny v geometrii rezného klina (Prokeš, 1980), ustúpenie reznej hrany SV, polomer zaoblenia reznej hrany  $r_n$ , opotrebovanie pozdĺž čela VF, opotrebovanie pozdĺž chrbta VB, šírka oteru B, plocha oteru S, KT – hĺbka žliabku na čele,  $KV_s$  – rozmerové opotrebovanie (obr. 3).



Obrázok 3 Základné charakteristiky opotrebovania rezného klina



Obrázok 4 Priame metódy merania opotrebovania rezného klina (Prokeš, S., 1980, Stühmeier, W., 1985, Fischer, R., 2011, Ohtani, T., 1999)

Z prehľadu priamych metód merania opotrebenia rezného klina (obr. 4) možno konštatovať, že jednotliví autori (Darmawan, 1999; Gottloeber, 2001; Salje, 1985; Prokeš, 1980) sa snažia čo najlepšie zachytiť mieru opotrebenia rezného klina a využívajú rôzne charakteristiky pre jej určenie. Jedna a tá istá charakteristika sa meria u jednotlivých autorov v rôznych smeroch a získané hodnoty sú navzájom neporovnateľné. Nie vždy stačí meranie jednej charakteristiky pre vyjadrenie úplnej miery opotrebovania rezného klina a je potrebné merať viac charakteristík, prípadne dať grafický opis reznej hrany rezného klina pred a po opotrebení. Veľkou nevýhodou meraní jednotlivých charakteristík opotrebovania sú aj ich veľmi malé hodnoty, nevýrazné prechody z oblúkovej do priamej formy a pod. Z daného rozboru vyplýva, že neexistuje jednotná metodika merania opotrebovania rezného klina pri obrábaní dreva, čo je problém z hľadiska porovnateľnosti experimentálnych výsledkov. Do budúcnosti by bolo veľmi účinné zjednotiť dané metodiky merania opotrebovania rezného klina, keď nie všeobecne aspoň pre jednotlivé typy operácií.

Všetky tieto metódy sú v princípe rovnaké. Na základe zmeny jedného parametra usudzujeme zmenu iného parametra – ostroty reznej hrany. Kvalita rezu môže byť ovplyvnená drevinou aj jej vlastnosťami, modelom rezania a podobne.

## 2. MATERIÁL A METÓDY

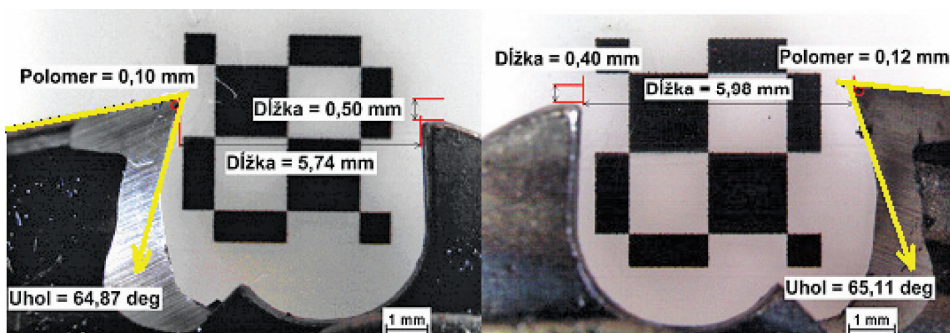
Pre vyhodnocovanie opotrebenia sme zvolili mikroskopickú metódu. Na zistenie zmeny geometrie rezných klinov bolo použité zariadenie, z mikroskopu TQC, ktorý bol ovládaný cez počítač pomocou príslušného softvéru. Kompaktný digitálny mikroskop TQC je ideálny pre analýzu a poškodenia povrchov, nedokonalostí a kvalitu povrchu. Tento mikroskop je pripojený k PC pomocou USB rozhrania a môže byť použitý s priamym

prepojením s meraným povrchom na veľké vzdialenosti. Tento mikroskop má 8 integrovaných vysoko svietivých bielych LED diód, ktoré obsluhuje zaisťujú kvalitnú intenzitu podsvietenia bez akýchkoľvek odleskov. S programom je možné nameraný povrch nielen editovať, ale tiež dôkladne merať. Software umožňuje merať objekty v mikrónoch (0,001mm) rozlíšenie obsahuje kruhové priemery, meranie oblastí, uhlov atď.

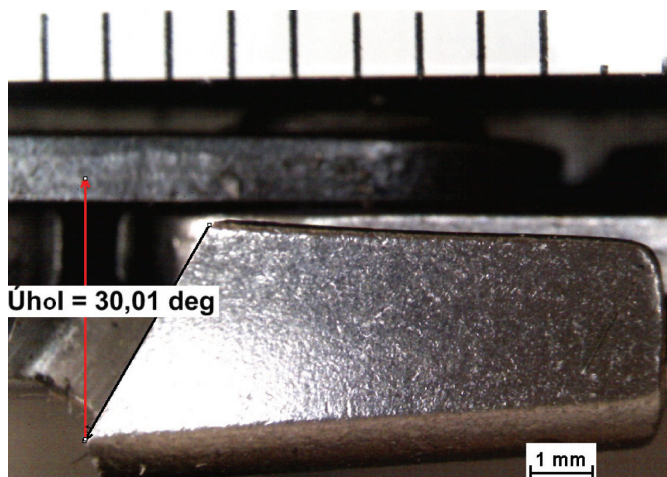
Meranie veľkosti miery opotrebovania bolo robené za účelom získania poznatkov o veľkosti opotrebovania hobl'ovacích zubov pílových reťazí motorových píl. Ako čiastkovú úlohu sme zvolili meranie opotrebovania na najčastejšie používanej hobl'ovacej reťazi od firmy STIHL RM 3/8“, ktorá sa používa pri práci na profesionálnych motorových píloch určených na ťažbu dreva. Veľkosť miery opotrebovania bola meraná na nasnímaných vzorkách pravých a ľavých strán hobl'ovacích zuboch uvedenej pílovej reťaze. Opotrebovanie bolo merané za pomoci softwaru NIS – Elements, a boli využité tri metódy merania z ponuky, ktoré tento software ponúka. NIS – Elements Advanced Research ponúka úplné riešenie zahŕňajúce snímame obrazu, archiváciu i analýzu. Vyvinuté pre najnáročnejšie systémy, ktoré požadujú plnú kontrolu všetkých funkcií kamery a mikroskopu. Softvér je zameraný na vysoký výkon a čo najplynulejší chod experimentov. Dokáže bezchybne zvládnuť snímame a zobrazenie mnohorozmerný obrázkov až v šiestich dimenziách naraz (X, Y, Z, vlnová dĺžka, čas, multipoint). Ďalej disponuje škálou prídavných nástrojov pre úpravy nasnímaných obrazov, akými sú napríklad veľmi účinná dekonvolúcia, modul rozšírenia hĺbky ostrosti (EDF) alebo obrazová databáza. Je vhodný na meranie opotrebovania nástrojov na technologické operácie, napríklad merania hrúbok povlakov (Kalinová, D., Barborák, O., Andrejčák, I., 2011).

### 3. VÝSLEDKY A DISKUSIA

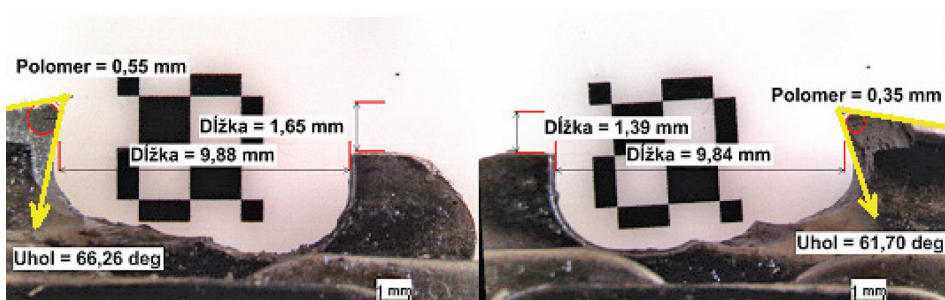
Na zistenie opotrebovanie hobl'ovacieho zuba pílovej reťaze je nutné merať nasledovné parametre zuba: zníženie obmedzovacej pätky, čo nám pri hobl'ovacích zuboch udáva hrúbku triesky, uhol ostrenia, polomer reznej hrany, uhol rezu  $\delta$  a vzdialenosť reznej hrany od obmedzovacej pätky. Jednotlivé merania sa vykonávali na novej reťazi (obr. 5 a 6), pri 50% životnosti reťaze (je možné ju ešte prebrúsiť na ďalšie pílenie obr. 7 a 8) a pri 100% opotrebovaní (reťaz sa nedá prebrúsiť na ďalšie pílenie obr. 9 a 10).



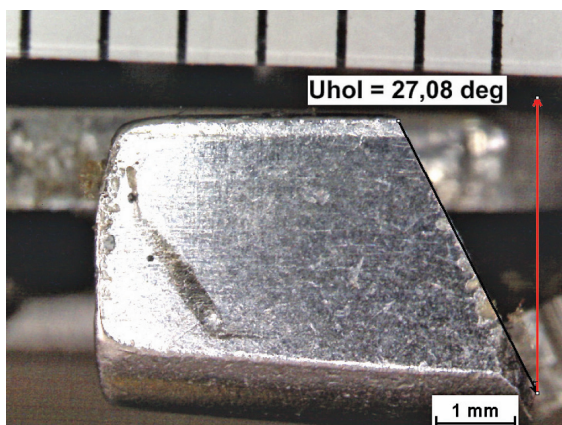
Obrázok 5 Vyhodnocovanie opotrebovania pravého ľavého hobl'ovacieho zuba pílovej reťaze (nová reťaz)



Obrázok 6 Vyhodnocovanie uhla ostrenia hobľovacieho zuba pílovej reťaze (nová reťaz)

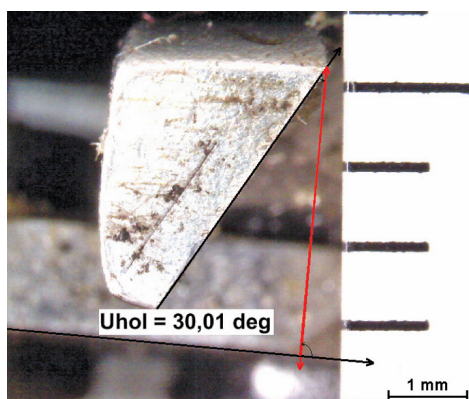


Obrázok 7 Vyhodnocovanie opotrebenia pravého ľavého hobľovacieho zuba pílovej reťaze (50% životnosť reťaze)

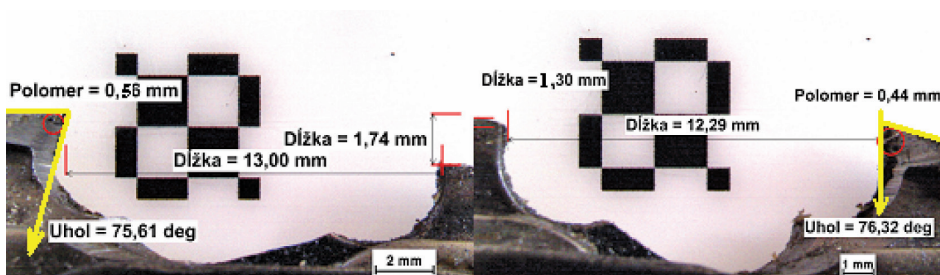


Obrázok 8 Vyhodnocovanie uhla ostrenia hobľovacieho zuba pílovej reťaze (50% životnosť reťaze)





Obrázok 9 Vyhodnocovanie opotrebenia pravého ľavého hobľovacieho zuba pilovej reťaze (celkom opotrebovaná reťaz)



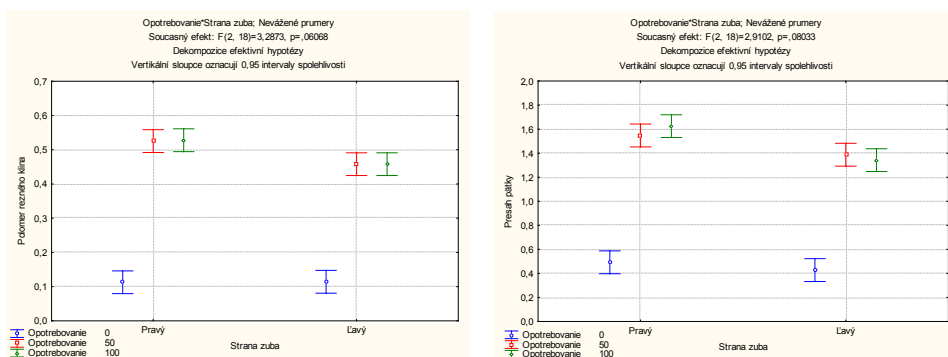
Obrázok 10 Vyhodnocovanie uhla ostrenia hobľovacieho zuba pilovej reťaze (celkom opotrebovaná reťaz)

Opotrebovanie hobľovacieho zuba bolo hodnotené priamou metódou. V tabuľke 1 sú priemerné hodnoty parametrov zuba: zníženie obmedzovacej pätky, uhol ostrenia, polomer

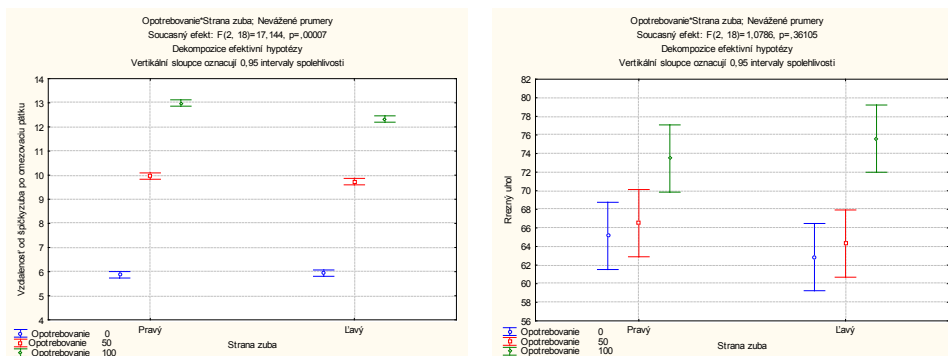
Tabuľka 1 Priemerné hodnoty jednotlivých meraných parametrov opotrebovania hobľovacieho zuba pilovej reťaze

Reťaz		Polomer rezného klina [mm]	Presah pätky [mm]	Vzdialenosť od špičky zuba po obmedzováciu pätku [mm]	Rezný uhol [°]	Uhol ostrenia [°]
strana zuba						
Nová reťaz	Pravý hobľovací zub	0,1125	0,492	5,87	65,122	29,48
	Ľavý hobľovací zub	0,114	0,427	5,9375	64,847	30,185
50% životnosť reťaze	Pravý hobľovací zub	0,525	1,547	9,9625	66,497	27,135
	Ľavý hobľovací zub	0,4575	1,387	9,7325	64,295	30,815
Opotrebovaná reťaz	Pravý hobľovací zub	0,5275	1,625	12,9925	73,442	29,332
	Ľavý hobľovací zub	0,4575	1,342	12,3275	75,582	29,142

reznej hrany, uhol rezu  $\delta$  a vzdialenosť reznej hrany od obmedzovacej pätky. Z daných priemerných hodnôt je viditeľné, že opotrebovanie reťaze je rôzne na pravej a ľavej strane hobl'ovacieho zuba. Z uvedených výsledkov v tabuľke 1 je následne vykonaná štatistická analýza (ANOVA) jednotlivých parametrov hobl'ovacieho zuba pílovej reťaze, ovplyvňujúcich opotrebovanie reťaze, uvedených na obr. 11, 12. V štatistickom vyhodnotení bola zistená interakcia opotrebovania ľavého a pravého hobl'ovacieho zuba.



Obrázok 11 Vplyv opotrebovanie na polomer rezného klínu a presahu pätky



Obrázok 12 Vplyv opotrebovanie na vzdialenosť od špičky zuba po obmedzovaciu pätku a rezný uhol

Z danej analýzy vyplýva, že je nerovnomerné opotrebovanie ľavého a pravého hobl'ovacieho zuba vybraných technických parametrov. Vyššie hodnoty opotrebovania vyšli na pravom hobl'ovacom zube, čo mohlo byť spôsobené procesom pričného rezania dreva uvedeným typom reťaze.

Môžeme konštatovať, že je zrejماً zhoda nášho merania s teoretickým predpokladom procesu pílenia hobl'ovacou reťazou. Pri posudzovaní ďalšieho vývoja opotrebovania hobl'ovacieho zuba pílových reťazí je vhodné pokračovať v ďalšom výskume a doplnení meraní pre presnejšie vyhodnotenie.

## 4. ZÁVER

V niektorých prácach (Siklienka, M., Šustek, J., 2007) sa rezná sila, alebo potrebná práca a výkon používajú ako pomôcky pre vyjadrenie stavu rezného klina. Všetky vplyvy, ktoré na reznú silu pôsobia (sú ďaleko výraznejšie než otupenie), znemožňujú porovnateľnosť výsledkov. Veľkou nevýhodou meraní jednotlivých charakteristík opotrebenia sú aj ich veľmi malé hodnoty, nevýrazné prechody z oblúkovej do priamej formy a pod. (Nováček, E., Novák, V., 2006).

Cieľom článku je analýza merania opotrebovania reznej hrany hobľovacieho zuba pílovej reťaze. Uvedené výsledky meraní nám ukázali, ako sa opotrebuje hobľovací zub pílovej reťaze až po jeho dobu konečnej životnosti (nie je možné opätovné prebrúsenie). Na základe uvedených výsledkov je možné konštatovať, že pri výrobe pílových reťazí musia výrobcovia dbať na to, aby dochádzalo čo k najmenšiemu úbytku materiálu hobľovacieho zuba, čo však je spôsobené aj častým prebrusovaním reťaze. Zvýšenie životnosti a zníženie opotrebovania hobľovacieho zuba niektorí výrobcovia reťazí technologicky upravili pomocou vytvrdenia zuba. Firma Stihl vyrába nízko profilovú pílovú reťaz s tvrdokovovou reznou časťou. Vypuklý spojovací článok pred každým rezným zubom zabezpečuje lepší, pokojný chod reťaze a redukuje spätné nárazy. Vďaka tvrdokovovej reznej časti zostanú rezné klíny zubov až štyrikrát dlhšie ostré (bez naostrenia), oproti štandardnej reťazi.

## LITERATÚRA

- BUDA, J., SOUČEK, J., VASILKO, K., 1983: *Teória obrábania*. SNTL Praha 1983, s. 296.
- DARMAWAN, W., TANAKA, CH., USUKI, H., OHTANI, T., 1999: *Performance of coated carbide tools when grooving wood-based materials: effect of work materials and coating materials on the wear resistance of coated carbide tools*. In: Annual Meeting of the Chugoku Shikoku branch of the Japan Wood Research Society, Matsue, Shimane 1999, 25. september, s. 94–101.
- GOTTLÖBER, H., FISCHER, R. J., FISCHER, R., 2001: *Development of a procedure to determine the wear of tools*. In: trendy lesnickej, drevárskej a environmentálnej techniky a jej aplikácie vo výrobnom procese. Sekcia 1. Zborník MVK. Zvolen 4.–6. september 2001, s. 67–71.
- KALINCOVÁ, D., BARBORÁK, O., ANDREJČÁK, I.: *Quality of chrome layers of coining dies and its impact on their reliability and lifetime in operation*. In Kovové materiály = Metallic materials. – Bratislava. Vol. 49, no. 6 (2011), p. 457–461. ISSN 0023-432X.
- KALINCOVÁ, D.: *PÍLOVÉ PÁSY – analýza vplyvu zvrátenia na kvalitu ich materiálových vlastností*. Technická univerzita vo Zvolene, 2010. 66 s. ISBN 978-80-228-2195-7.
- KOVÁČ, J., KUEKOV, A.: *Rezné mechanizmy s pílovou reťazou ťažbových strojov. The cutting mechanism with the saw chain of the felling machines*. In: Kolokvium ku grantovej úlohe č. 1/3534/06 : zborník. – Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2006.
- NOVÁČEK, E., NOVÁK, V., 2006: *Možnosti merania opotrebenia nástrojov*. In: Trendy lesnickej, drevárskej a environmentálnej techniky a jej aplikácie vo výrobnom procese. Medzinárodná vedecká konferencia, sekcia č. 1 Lesná, mobilná a drevárska technika, Zvolen, 4.–6. september, s. 330–335. ISBN 80-228-1648-5.
- PROKEŠ, S., 1980: *Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva*. SNTL, Praha 1982, 369 s.
- ROUSEK, M., 2004: *Specifické problémy vysokorychlostního obrábění dřeva : Specific problems of high-speed machining of wood*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 67 s. Folia Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. ISBN 80-7157-859-2.



- SALJE, E., DRÜCKHAMMER, J., STÜHMEIER, W., 1985: *Neue Erkenntnisse beim Fräsen von Spanplatten mit unterschiedlichen Schnittbedingungen*. Holz als Roh und Werkstoff, number 43, 1985, s. 501–506.
- SIKLIENKA, M., ŠUSTEK, J., 2007: *The influence of the circular saw blade clearance on the unevenness of the worked surface*. In Woodworking technique : proceedings of the 2nd international scientific conference : 11.–15. 9. 2007 Zalesina, Croatia. – Zagreb : University of Zagreb. Faculty of Forestry, 2007. ISBN 953-6307-94-4. P. 303–310.

Príspevok bol vypracovaný v rámci projektu VEGA MŠ SR n. 1/0403/11 „Výskum technických parametrov motorových píl s ohľadom na ergonómiu a ekológiu práce“.

**Kontaktná adresa:**

Ing. Ján Kováč, PhD., Ing. Jozef Krilek, PhD.,  
Katedra lesnej a mobilnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,  
Technická univerzita vo Zvolene,  
T. G. Masaryka 24,  
960 53 Zvolen,  
E-mail: jan.kovac@tuzvo.sk, jkrilek@gmail.com



## ŠTÚDIA PROCESU VRTANIA – OSOVÁ SILA, KRÚTIACI MOMENT, TVORBA TRIESKY A DRSNOSŤ POVRCHU

### STUDIES OF DRILLING PROCESS – FEED FORCE, TORQUE MOMENT, CHIP FORMATION AND SURFACE ROUGHNESS

**Ľubomír JAVOREK – Simona M. BARBU – Loredana A. BADESCU**

**ABSTRACT:** This article is focused on problems join with drilling process and its monitoring due parallel using of devices for scanning of chip creation, feed force and torque moment and added measuring of surface roughness. Beech was used as sample of wood, helical drill wits geometry for drilling of full holes. The aim of experiment was appreciate influence of sample of wood, grain orientation, technological conditions.

**Key words:** beech, chip formation and shape, helical drill, feed force, torque, surface roughness, high speed camera

**ABSTRAKT:** Tento článok sa zaoberá problematikou procesu vrtania a jeho monitorovania v súčasnosti zariadení na súbežné snímanie tvorby triesky, sily v smere posuvu a krútiaceho momentu a dodatočného merania drsnosti. Zvolenou drevinou bol buk, nástrojom skrutkovicový vrták s geometriou pre vrtanie priechodzích otvorov. Cieľom experimentu bolo posúdenie vplyvu druhu materiálu, orientácie vlákien, technologických podmienok procesu a geometrie nástroja na výkonné parametre procesu, na rozmerovú presnosť vyhotoveného otvoru a drsnosť vnútorného povrchu. V článku sú uvedené len partikulárne výsledky výskumu.

**Kľúčové slová:** buk, tvorba triesky a jej tvar, skrutkovicový vrták, sila, moment, drsnosť povrchu, rýchlobežná kamera

#### 1. ÚVOD

Vrtanie je jeden z rozšírených spôsobov obrábania dreva a všetkých iných materiálov. Proces patrí do kategórie viazaného rezania, pri ktorom je trieska formovaná nielen na základe vlastností vrtaného materiálu, technologických podmienok a tvaru rezného klina ale výrazne aj tvarom drážky v tele vrtáku. Vývoj meracích zariadení prispel k tomu, že výsledky z monitorovania procesu vrtania, predovšetkým osových síl, resp. krútiaceho momentu publikované v príspevkoch (Javorek, Oswald 2001; Javorek, Svoreň 2003) môžu byť verifikované s podstatne vyššou presnosťou (Dogaru 1981). Aplikácia vysokorýchlostných kamier (Barbu, Badescu, Javorek 2010) priniesla nové pohľady

na tvorbu triesky a predovšetkým na javy spojené s čiastočnou deštrukciou materiálu pri výbehu vrtáka z vrtaného materiálu. V tomto príspevku sú prezentované čiastočné výsledky z monitorovania procesu rýchlobežnou kamerou, zobrazené tvary triesok, výsledky z merania rezných síl a rezných momentov pri vrtaní buka ako aj dosiahnutá drsnosť povrchu.

## 2. CIEĽ A METODIKA EXPERIMENTU

Cieľom experimentu bolo stanoviť vplyv technologických parametrov na silu v smere posuvu, rezný moment a drsnosť vnútorného povrchu otvoru pri monitorovaní tvorby triesky v rozsahu možnosti poskytnutých vysokorýchlostnou kamerou. Získané výsledky umožňujú rozšíriť poznatky o mernom reznom koeficiente (Wieloch a Hofman 1987), prip. (Barbu, Badescu 2010).

Experimenty sa uskutočnili na vertikálnej frézovačke FSU-22 v laboratóriách Centra excelentnosti Transilvanskej univerzity v Brašove, Rumunsko.

**Nástroj:** vrták  $\phi$  10 mm, s dvoma reznými hranami, vrcholový uhol vrtáku  $\varepsilon_r = 60^\circ$ , uhol stúpania skrutkovice  $\omega = 13^\circ$ . Rezný klin – spekaný karbid.

**Obrobok:** buk, vlhkosť od 8 % do 12 %, orientácia vláken voči smeru vrtania  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  a  $90^\circ$ , hĺbka vrtaného otvoru 30 mm.

**Technologické podmienky:** otáčky  $110 \text{ min}^{-1}$ ;  $345 \text{ min}^{-1}$ ;  $550 \text{ min}^{-1}$ ;  $874 \text{ min}^{-1}$ ;  $1\ 371 \text{ min}^{-1}$ ; rýchlosť posuvu  $80 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ;  $100 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ;  $160 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ;  $250 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ .

Pri experimente bolo použité nasledujúce meracie zariadenie (obr. 1):

- rýchlobežná kamera Inline Model 250, frekvencia zaznamenávania 60, 125 a 250 obrázkov za sekundu;
- stereomikroskop STEMI 2000C Zeiss s digitálnou kamerou Canon Power Shot G9, studené svetlo KL 2500 LCD;
- dynamometer FT 100, A/D prevodník NI USB-6210, frekvencia merania 172 Hz (t. j. interval merania 0,00581 sec.)
- programové vybavenie LabView a MS Office.
- drsnoomer Mitutoyo typ SJ-201P s PC a obslužným softverom ver. 3.20.

Drsnosť sa merala v ôsmich bodoch rozložených po  $45^\circ$  na troch kružniciach vo vzdialenosti 8 mm, 18 mm a 28 mm od hornej plochy vzorky. Vzťažná dĺžka bola 4 mm ( $5 \times 0,8 \text{ mm}$ ).

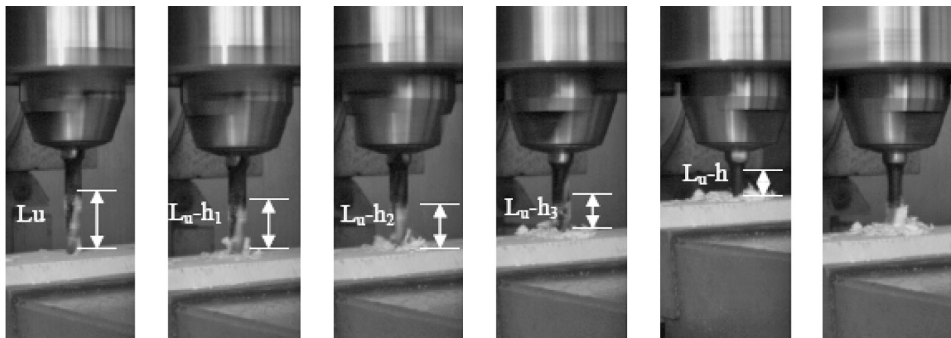


Obr. 1. Experimentálne pracovisko – celkový pohľad:

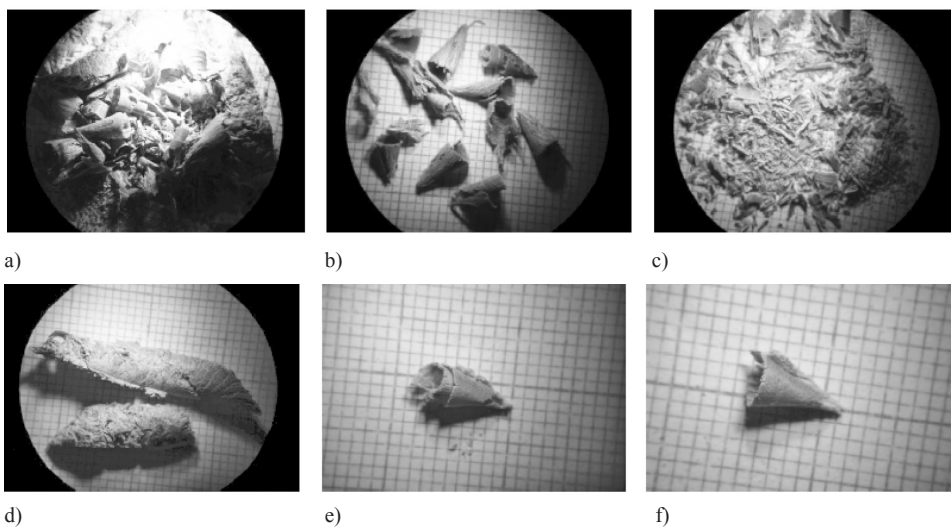
A ... dynamometer; B ... Zosilňovač a zobrazovacia jednotka; C ... PC dynamometra;  
D ... A/D prevodník dynamometra; E ... vysokorýchlostná kamera; F ... PC kamery

### 3. VÝSLEDKY A DISKUSIA

#### 3.1 Vysokorýchlostná kamera a tvorba triesky



Obr. 2. Sequencia záberov vrtania v pozdĺžnom smere:  
Otáčky  $n = 220 \text{ min}^{-1}$ , rýchlosť posuvu  $v_f = 250 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$



Obr. 3. Tvary triesok po vrtaní v pozdĺžnom smere:  
Orientácia vlákien  $45^\circ$ ; otáčky  $n = 110 \text{ min}^{-1}$ , rýchlosť posuvu  $v_f = 80 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ .  
(a) rôzne triesky z procesu vrtania; (b, e, f) stredná veľkosť; (c) malá veľkosť; (d) trieska drevovláknitej dosky

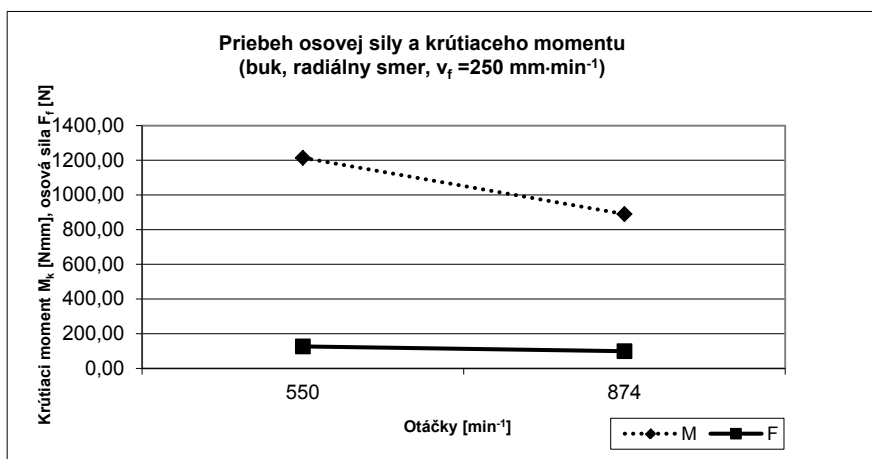
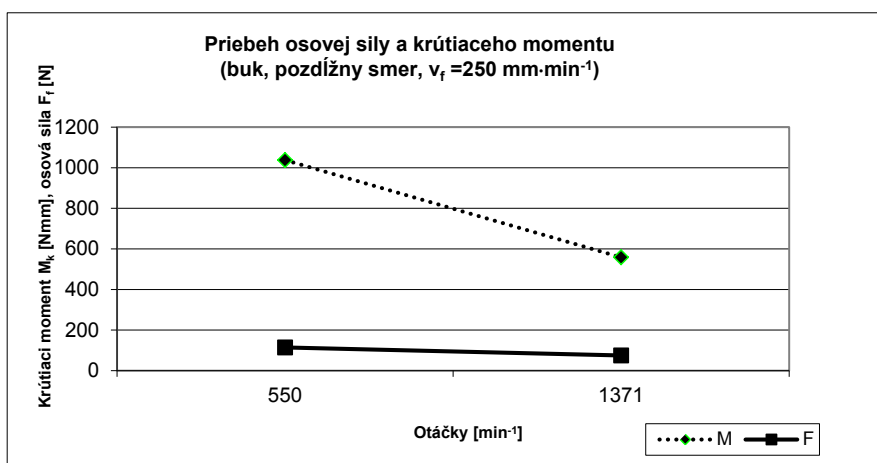
Z analýzy tvarov a veľkosti triesok vyplynuli nasledujúce závery:

- triesky malých rozmerov sú vytvárané pri vstupe vrtáku do vrtaného materiálu (obr. 3c), sú jednoducho odstrániteľné vhodným odsávacím zariadením;
- v prípade, ak pri vrtaní dochádza k zvýšenej teplote, môže dôjsť k „spekaniu“ drobných triesok (obr. 3d), ktoré zaplnia drážku, bránia v odchode ďalších triesok, zvyšujú trenie a ďalší nárast teploty;

- triesky vytvárané pri výbehu vrtáka z materiálu (obr. 3d) nie sú tvorené rezaním, skôr prevláda vylamovanie a tým nedochádza k ich vynášaniu cez drážku v tele vrtáka. Súčasne dochádza k vytrhávaniu materiálu z plochy obrobku kolmej na smer vŕtania;
- tvar triesok závisí od vlastností vŕtaného materiálu, rezných parametrov vrtáka, jeho geometrie ako aj opotrebovania.

### 3.2. Sily a momenty

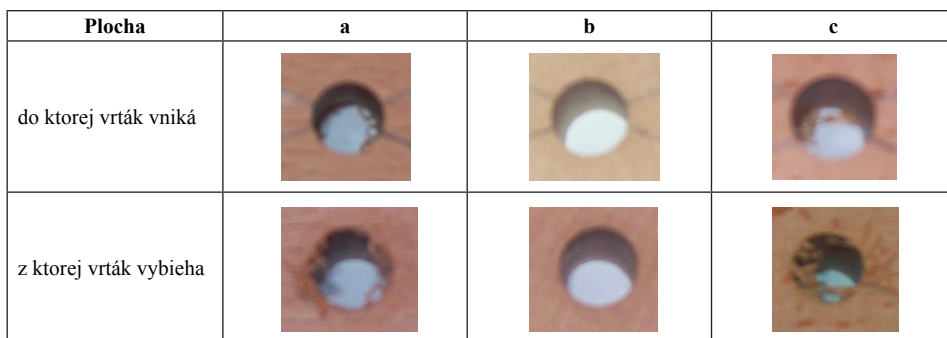
Na obr. 4 sú zobrazené niektoré závislosti posuvnej sily (t. j. osovej sily) a krútiaceho momentu pri rýchlosti posuvu  $250 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ , pri vŕtaní buka v radiálnom a v pozdĺžnom smere, ako funkcia otáčok.



Obr. 4. Závislosť posuvnej sily, rezného momentu pri vŕtaní buka v radiálnom a v pozdĺžnom smere, pri posuvnej rýchlosti  $250 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$

### 3.3. Drsnosť povrchu

Na obr. 5 sú zobrazené vonkajšie formy porušenia celistvosti obvodových hrán na strane vniknutia do materiálu a predovšetkým výbehu vrtáku z materiálu (buk) pri vŕtaní v tangenciálnom (a), pozdĺžnom (b) a radiálnom smere (c), pri posuvnej rýchlosti 250 mm·min<sup>-1</sup> a otáčkach 1 371 min<sup>-1</sup>.



Obr. 5. Zobrazenie celistvosti, resp. poškodenia hrany otvoru

Vizuálne porovnanie kvality hrany otvoru ukázalo, že k najmenšiemu poškodeniu dochádza pri vŕtaní v pozdĺžnom smere.

Analýza drsnosti povrchu otvoru vytvoreného vrtákom s rovnakou geometriou ukázala, že drsnosť povrchu je závislá predovšetkým od technologických podmienok procesu a nie od geometrie rezného klina. Potvrdením tohto záveru sú priemerné hodnoty parametrov drsnosti Ra, Rz a Rz ako aj hodnôt sily v smere posuvu  $F_f$  a rezného momentu  $M_k$  v závislosti od smeru vlákien zobrazené v tab. 1.

Tabuľka 1. Výsledky drsnosti povrchu Ra, Rz, Rq, osovej sily a rezného momentu

Buk	Priemer vrtáka (mm)	Smer vŕtania	Rýchlosť posuvu $v_f$ (mm·min <sup>-1</sup> )	Otáčky $n$ (min <sup>-1</sup> )	Ra [ $\mu$ m]	Rz [ $\mu$ m]	Rq [ $\mu$ m]	Rezný moment $M_k$ [N·mm]	Osová sila $F_f$ [N]	
Buk	10	Pozdĺžny	100	345	3,30	19,30	4,19	866,73	96,96	
			160	874	3,41	19,86	4,35	546,51	83,08	
			250	550	3,74	21,87	4,77	1037,65	114,25	
			250	1371	3,40	20,71	4,35	558,16	74,87	
	Aritmetický priemer Ra, Rz, Rq:					<b>3,46</b>	<b>20,43</b>	<b>4,41</b>		
	10	Radiálny	100	345	3,56	21,74	4,58	1183,83	123,72	
			160	874	3,32	19,88	4,19	730,06	84,00	
			250	550	4,14	23,53	5,23	1261,04	127,33	
			250	1371	3,16	19,43	4,05	550,67	78,13	
	Aritmetický priemer Ra, Rz, Rq:					<b>3,55</b>	<b>21,15</b>	<b>4,51</b>		
	10	Tangenciálny	100	345	3,27	19,59	4,11	685,91	95,85	
			160	874	2,97	18,38	3,75	563,53	74,97	
250			550	4,20	26,05	5,43	906,63	107,31		
250			1371	2,62	15,99	3,36	718,17	82,85		
Aritmetický priemer Ra, Rz, Rq:					<b>3,27</b>	<b>20,00</b>	<b>4,16</b>			

## ZÁVER

V súlade s hodnotami získanými z experimentu možno potvrdiť významný vplyv technologických parametrov na drsnosť obrobeného povrchu, ktorá sa významne prejavuje pri rozdielnej orientácii vlákien voči smeru vŕtania. Osová sila a krútiaci moment jednoznačne závisia od posuvu na otáčku a otáčok, ktoré treba voliť predovšetkým s ohľadom na požadovanú kvalitu povrchu obrobku na strane výbehu nástroja z materiálu.

## ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- BARBU, S.; BADESCU, L. A.; JAVOREK, L., 2010: Studies concerning the chip formation at the longitudinal drilling of the beech wood with help high speed camera. In: *Annals of Warsaw university of life sciences, Forestry and Wood Technology*. Warsaw. Warsaw University of Life Sciences Press. ISSN 1898-5912. No. 72. s. 9–12.
- BARBU, S. M.; BADESCU, L. A., 2010: Energy Consumption, an Possible Factor in the Assessment of Surface Drills Quality at Beech Wood. In: *Cultural Sustainability, Green Development Green Structures and Clean Cars (USCUDAR 2010)*. 15–17 September 2010, Malta. ISSN: 1792-4781. ISBN: 978-960-474-227-1.
- DOGARU, V., 1981: *Aschieria lemnului si scule aschietoare*. Editura Didactica si Pedagogica. Bucuresti.
- JAVOREK, L.; OSWALD, J., 2001: Possibilities for monitoring of drilling. In: *MVK Wood Science and Engineering in the Third Millennium*. Brašov 16.–17. November 2001.
- JAVOREK, L.; OSWALD, J., 2001: Monitoring feed force during machining. In: *MVK Trendy lesnickej, drevárskej a environmentálnej techniky a jej aplikácie vo výrobnom procese*. Sekcia č. 1– Lesná, mobilná a drevárska technika. Zvolen 4.–6. September 2001. s. 79–84.
- JAVOREK, L.; SVOREŇ, J. at all., 2003: Influence of grain orientation and feed speed to cutting power during boring. In: *MVK CO-MAT-TECH 2003*. Trnava. 16.–17. 10. 2003. Bratislava. ISBN 80-227-1949-8. s. 139–140.
- WIELOCH, G.; HOFFMAN, M., 1987: Wlasciwa praca skrawania przy wierceniu lignomeru topolowego o roznych stopniach nasycenia polystyrenem. In: *MVK Modyfikacja drewna '87*. Poznán. s. 354–358.

Príspevok vznikol ako výsledok vedeckej aktivity autorov počas projektu  
CEEPUS CIII-SK-310-03-1011.

### Kontaktná adresa:

doc. Ing. Ľubomír Javorek, CSc.

Katedra drevárskych strojov a zariadení, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky

Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, SK – 960 53 Zvolen

e-mail: lubomir.javorek@tuzvo.sk

Ing. Simona M. Barbu (doktorand)

e-mail: s.barbu@unitbv.ro

prof. Dr. Ing. Loredana A. Badescu

e-mail: loredana@unitbv.ro

Centrul de Cercetare Stiintifica Prelucrarea Lemnului, Universitatea Transilvania din Brasov

Str. Colinei Nr. 1

RO – 500036 Brasov



## NÁVRH METÓDY MERANIA ŠÍRKY REZNEJ ŠPÁRY S VYUŽITÍM ČÍSLICOVÉHO SPRACOVANIA OBRAZU PO PROCESSE REZANIA DREVA ZVÄZKOM ŽIARENIA

### THE DESIGN OF KERF WIDTH MEASUREMENT METHOD USING DIGITAL IMAGE PROCESSING AFTER THE PROCESS OF CUTTING WOOD BY BEAM RADIATION

**Juraj SUJA – Milada GAJTANSKA**

**ABSTRACT:** Kerf is a term which describes the amount of damaged material in the cutting process and the quality of the surface created by cutting. Kerf width, kerf color and roughness of the kerf are characteristics that adequately describe the quality of the cut. This work focuses on design methods for measuring the width of the kerf after the wood cutting process by beam radiation combined with a microscopic method using digital image processing.

**Key words:** kerf, measurement, beam radiation, digital image processing

**ABSTRAKT:** Rezná špára je termín, ktorým popisujeme množstvo znehodnoteného materiálu v súvislosti s procesom rezania a kvalitu nového povrchu, ktorý vznikne rezaním. Šírka reznej špáry, farba reznej špáry a drsnosť povrchu reznej špáry sú charakteristiky, ktoré dostatočne popisujú kvalitu rezu. Táto práca sa zameriava na návrh metódy pre meranie šírky reznej špáry po procese rezania dreva zväzkom žiarenia mikroskopickou metódou kombinovanou s využitím číslicového spracovania obrazov.

**Kľúčové slová:** rezná špára, meranie, zväzok žiarenia, číslicové spracovanie obrazu

#### 1. ÚVOD

Geometrický tvar reznej špáry závisí od mnohých faktorov, ktoré súvisia s procesom rezania zväzkom žiarenia. Jej šírka závisí s priemerom zväzku žiarenia, rýchlosťou posuvu zväzku žiarenia, použitého pomocného plynu a vlastností materiálu obrobku. V prípade optimálnych parametrov rezu šírka reznej špáry v procese rezania dreva zväzkom žiarenia dosahuje jedného milimetra.

Efektivitu a kvalitu rezania zväzkom žiarenia môžeme čiastočne zhodnotiť odmeraním šírky reznej špáry na vrhnej strane rezaného obrobku a súčasne na spodnej strane rezaného obrobku, odmeraním hrúbky rezu a určením objemu znehodnoteného materiálu.

Meranie vzdialeností a rozmerov v rozsahu jedného milimetra je uskutočňované v princípe niekoľkými metódami.

Najjednoduchšie a najstaršie metódy sú metódy založené na konštrukcii mechanických meradiel. Sú to posuvné meradlá, ktorých rozlišovacia schopnosť je na úrovni stotín milimetra a mikrometre s rozlišovacou schopnosťou na úrovni tisícín milimetra. Pre aplikáciu merania šírky reznej špáry v procese rezania dreva zväzkom žiarenia sú však nevhodné. Meracím mechanizmom založeným na rozpínaní, posuve meracích čelustí v prípade merania mäkkých materiálov, v našom prípade dreva, deformáciou jeho povrchu skreslíme dĺžkovú mieru.

Ďalšie veľké skupiny metód tvoria rôzne mikroskopické, interferometrické a experimentálne metódy. Tieto meracie metódy môžeme nazvať z hľadiska kontaktu s meranou vzorkou bezkontaktnými a teda nezhodnými dĺžkovú mieru dotykom.

Táto práca sa zameriava na mikroskopickú metódu merania šírky reznej špáry kombinovanú s číslícovým spracovaním obrazu pre jej rýchlosť, ľahkú aplikovateľnosť, dostupnosť a cenu. Navrhovaná kombinácia mikroskopického zosnímania obrazu a jeho následného číslícového spracovania relatívne jednoduchým spôsobom umožní opísať reznú špáru a tým aj kvalitu rezania dreva.

Transformáciou originálneho obrazu snímacím senzorom získame reprezentáciu originálneho obrazu v číslícovej forme, ktorá predstavuje maticu bodov s rozmerom  $M \times N$  s kvantovanou hodnotou, napríklad jasovej úrovne pre každú farebnú zložku obrazu. Čísla teda vyjadrujú hodnoty jasú a farebného odtieňa v uzlových bodoch diskretizačnej siete. Takýto uzlový bod nazývame obrazový element, alebo pixel, ktorý má konečné rozmery (Hlaváč, Šonka, 1992). Tvar diskretizačnej siete je hexagonálny, alebo častejšie štvorcový.

Obraz pretransformovaný do číslícovej formy môže byť čiernobiely, obsahujúci iba odtiene šedej farby, alebo môže byť farebný. Kódovanie čiernobieleho obrazu je jednoduché, obsahuje iba údaj o prítomnosti, resp. neprítomnosti dvoch farieb, čiernej a bielej. Jeden bod, jeden pixel zodpovedá jednému bitu. Kódovanie obrazu, ktorý obsahuje aj odtiene sivej farby, spočíva v priradení hodnoty 0 čiernej farbe a hodnoty 255 bielej farbe. Získame tak 256 úrovní šedej farby, čo zodpovedá 8 bitom, resp. 1 Bytu. Farebný obraz kódujeme tromi nezávislými 8 bitovými hodnotami, ktoré označujú farbu každého obrazového elementu. Obraz s odtieňami sivej farby môže byť kódovaný tiež až tromi 8 bitovými hodnotami, v tomto prípade však rovnakými.

Diskretizovaný obraz je potom spracovaný a vyhodnotený prostriedkami výpočtovej techniky za pomoci špecializovaných programov vhodnou úpravou obrazovej matice  $M \times N$  (Jiří, 1988).

## 2. EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Rezná špára vznikla rezaním smrekovej dosky hrubej 27 mm, s vlhkosťou 12 %, zväzkom žiarenia s vlnovou dĺžkou 10,6  $\mu\text{m}$  ( $\text{CO}_2$  laser), výkonom 150 W, tlakom pomocného plynu – vzduchu 250 kPa a rýchlosťou rezania 5  $\text{mms}^{-1}$ . Mikroskopické zosnímanie obrazu bolo uskutočnené digitálnou lupou „USB Digital Microscope“ s rozlíšením 2 mega pixelov, ktorá pomocou priloženého softvéru „Microcapture“ ukladá zosnímané obrazy vo formáte .jpg na disk počítača. Číslícové spracovanie obrazu sa uskutočnilo vo voľne dostupnom programe ImageJ určenom na vedecké spracovanie a analýzu obrazu. Vytvorenie troch farebne odlišených segmentov obrazu a zobrazenie priemernej intenzity pixelov pozdĺž rezu umožňuje po dĺžkovej kalibrácii obrazu presne merať vzdialenosť objektov v obraze, v tomto prípade šírku reznej špáry a šírky častí teplom ovplyvneného obrobku. Dĺžková kalibrácia bola uskutočnená odľahčením medzery posuvného meradla

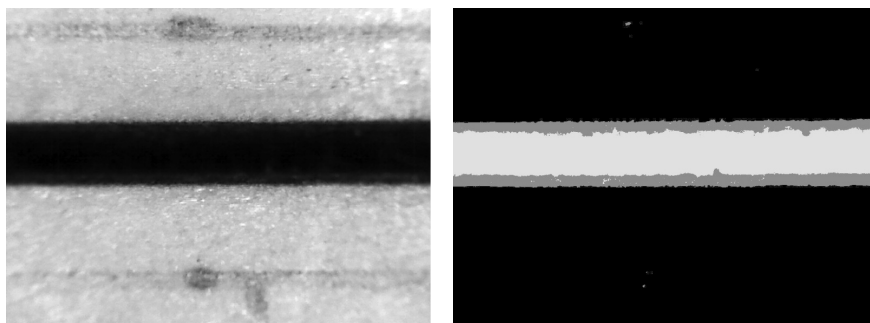
v dĺžke 5 mm s presnosťou 0,01 mm a určením počtu pixelov na jednotku dĺžky. Pre presné meranie bolo potrebné získať čo najkontrastnejšie mikroskopické zosnímanie rezu, preto sa bolo treba pred mikroskopickým zosnímaním obrazu zamerať na vhodnú úpravu vzoriek s cieľom porovnať, či má takáto úprava vplyv na výsledné meranie v porovnaní s priamou metódou merania realizovanou bez obrazových úprav zosnímaného rezu.

## 2.1 Meranie bez úpravy vzorky

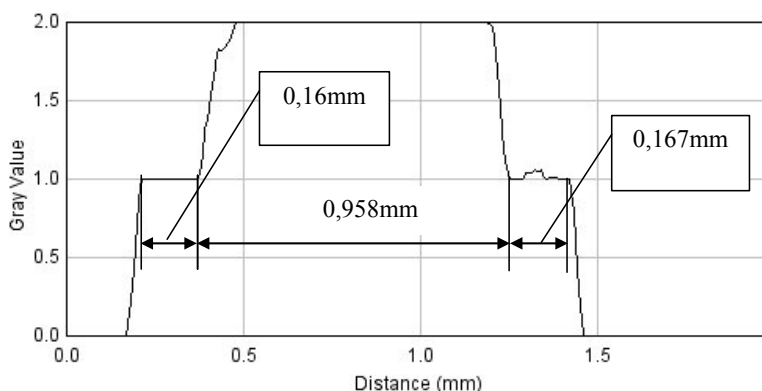
Metóda merania bez úpravy vzorky spočívala v mikroskopickom zosnímaní objektu merania, t. j. šírky reznej špáry (obr. 2.) v smere kolmom na povrch obrobku. Spracovaním v programe ImageJ s využitím k-means clustering segmentačnej metódy sa hľadali tri rôzne farebne odlíšené regióny a to oblasť neovplyvneného obrobku, oblasti teplom ovplyvnených zón a priestor reznej špáry (obr. 2.).



Obr. 1. Meranie bez úpravy vzorky



Obr. 2. Fotografia pre meranie bez úpravy vzorky a fotografia upravená segmentovaním

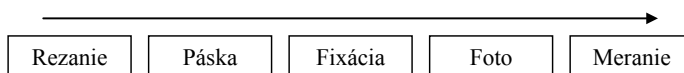


Obr. 3. Vyhodnotenie šírky reznej špáry a šírky teplom ovplyvnených zón pre meranie bez úpravy vzorky

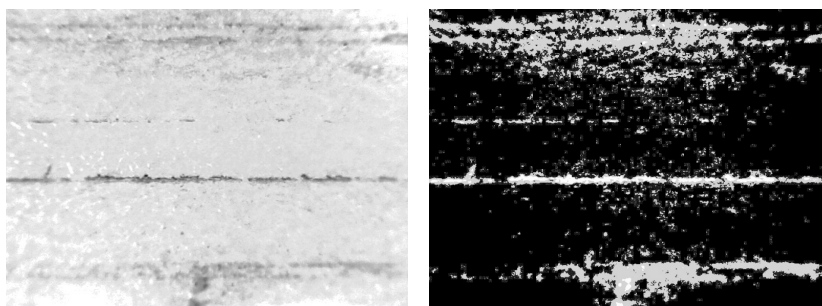
Vyhodnotenie šírky reznej špáry a širok teplom ovplyvnených zón sa uskutočnilo zobrazením priemernej intenzity pixelov v priečnom smere pozdĺž rezu v regióne s dĺžkou 2 mm a šírkou 2 mm (obr. 3.). Vzhľadom na kalibráciu obrazu, keď jeden mm zodpovedal 127,50 pixelov, sme touto metódou dosiahli na 2 mm dĺžky rezu 250 meraní.

## 2.2 Meranie transparentnou páskou

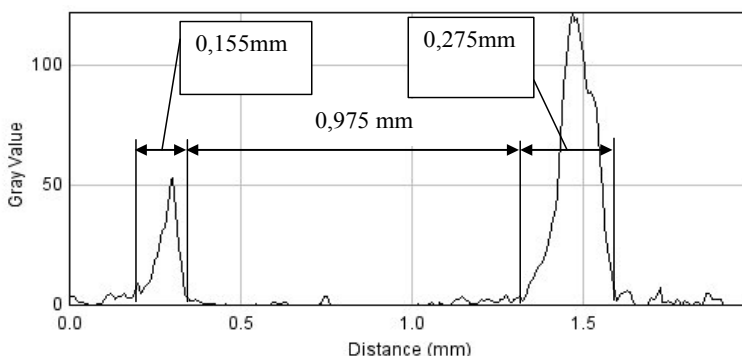
Metóda merania transparentnou páskou (obr. 4.) spočívala v zosnímaní geometrie reznej špáry transparentnou páskou v smere kolmom na povrch obrobku a následným fixovaním transparentnej pásky na biely podklad. Objekt merania, t.j. šírka reznej špáry bola potom mikroskopicky zosnímaná v smere kolmom na povrch transparentnej pásky. S využitím programu ImageJ segmentačnou metódou k-means clustering sme hľadali tri regióny a to oblasť nezmeneného obrobku, oblasť teplom zmeneného obrobku a priestor reznej špáry (obr. 5.).



Obr. 4. Meranie transparentnou páskou



Obr. 5. Fotografia pre meranie transparentnou páskou, vrchná strana reznej špáry a fotografia upravená segmentovaním



Obr. 6. Vyhodnotenie šírky reznej špáry a širok teplom ovplyvnených zón pre meranie transparentnou páskou

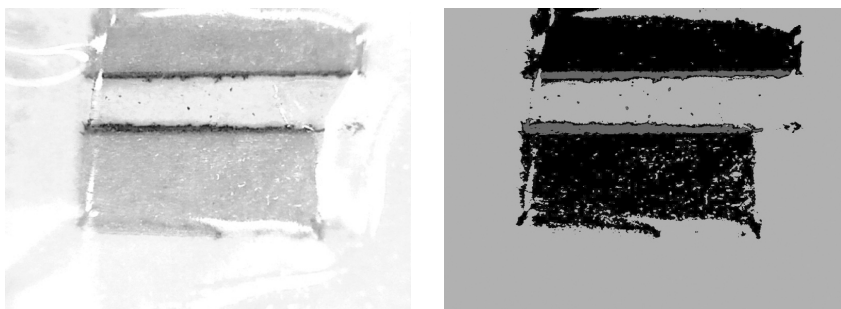
Vyhodnotenie šírky reznej špáry a širok teplotou ovplyvnených zón sme uskutočnili tiež zobrazením priemernej intenzity pixelov v priečnom smere pozdĺž rezu v regióne s dĺžkou 2 mm a šírkou 2 mm (obr. 6.), čo zodpovedá po kalibrácii obrazu 250 meraniam.

## 2.3 Meranie odobratím vzorky

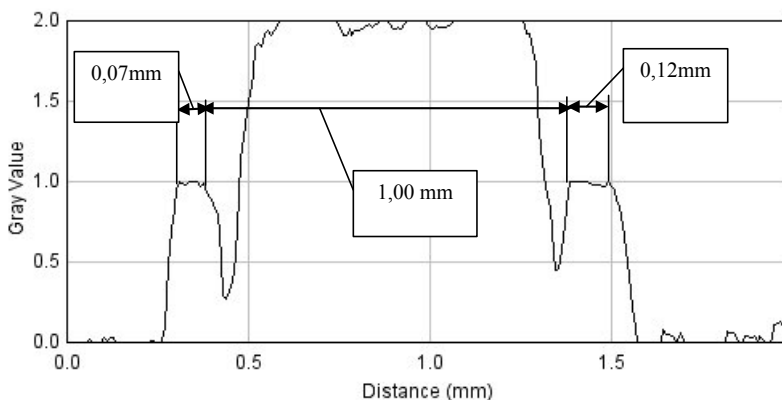
Meranie odobratím vzorky (obr. 7.) spočívalo v odobratí vzorky jemným dlátom v priestore kolmom na povrch obrobku, ktorý bol potiahnutý priehľadnou kontaktnou lepiacou páskou s cieľom fixovať odobratú vzorku a nezdeformovať tak údaj o šírke reznej špáry. Následne bola odobratá vzorka ukotvená na biely podklad, odfotografovaná a vyhodnotená programom ImageJ (obr. 8.) s využitím metódy k-means clustering a zobrazením priemernej intenzity pixelov v priečnom smere pozdĺž rezu v dĺžke a šírke 2 mm ako v predchádzajúcich meraniach (obr. 9.).



Obr. 7. Meranie odobratím vzorky



Obr. 8. Fotografia pre meranie odobratím vzorky, vrchná strana reznej špáry a fotografia upravená segmentovaním



Obr. 9. Vyhodnotenie šírky reznej špáry a širok teplotou ovplyvnených zón pre meranie odobratím vzorky

Meranie odobratím vzorky spočívalo v odobratí vzorky jemným dlátom v priestore kolmom na povrch obrobku, ktorý bol potiahnutý priehľadnou kontaktnou lepiacou páskou s cieľom fixovať odobratú vzorku a nezdeformovať tak údaj o šírke reznej špáry. Následne bola odobratá vzorka ukotvená na biely podklad, odfotohrafovaná a vyhodnotená programom ImageJ (obr. 8.) s využitím metódy k-means clustering a zobrazením priemernej intenzity pixelov v priečnom smere pozdĺž rezu v dĺžke a šírke 2 mm ako v predchádzajúcich meraniach (obr. 9.).

## 2.4 Priama metóda merania

Tab. 1. Meranie priamou metódou.

	Šírka rezu vrátane teplom ovplyvnených zón	Šírka reznej špáry	Teplom ovplyvnená zóna 1	Teplom ovplyvnená zóna 2
Aritmetický priemer	<b>1,241 mm</b>	<b>0,962 mm</b>	<b>0,132 mm</b>	<b>0,136 mm</b>
Smerodajná odchýlka	0,023 mm	0,039 mm	0,015 mm	0,016 mm
Min. hodnota	1,188 mm	0,899 mm	0,107 mm	0,118 mm
Max. hodnota	1,284 mm	1,049 mm	0,161 mm	0,161 mm

Meranie priamou metódou spočívalo v odfotohrafovaní priestoru reznej špáry tak ako v metóde bez úpravy vzorky a po kalibrácii v meraní dĺžkových mier priamo na fotografii v programe ImageJ bez dodatočných obrazových úprav. Pre každú oblasť reznej špáry bolo uskutočnených 20 meraní, ktorých výsledok je prehľadne spracovaný do tabuľky. (Tab. 1.).

## 3. ZÁVER

Pre porovnanie meracích metód sme výsledky zapísali do tabuľky (Tab. 2.) a porovnali ich s priamou metódou merania reznej špáry s uvedením miery odlišnosti v percentuálnom vyjadrení.

Tab. 2. Porovnanie meracích metód.

	Šírka rezu vrátane teplom ovplyvnených zón	Šírka reznej špáry	Teplom ovplyvnená zóna 1	Teplom ovplyvnená zóna 2
Meranie bez úpravy vzorky	1,285 mm (3,55 %)	0,958 mm (0,42 %)	0,16 mm (21,2 %)	0,167 mm (22,8 %)
Meranie transparentnou páskou	1,405 mm (13,22 %)	0,975 mm (1,35 %)	0,155 mm (17,4 %)	0,275 mm (102,2 %)
Meranie odobratím vzorky	1,19 mm (4,11 %)	1,00 mm (3,95 %)	0,07 mm (47 %)	0,12 mm (11,8 %)
<b>Meranie priamou metódou na fotografii</b>	<b>1,241 mm</b>	<b>0,962 mm</b>	<b>0,132 mm</b>	<b>0,136 mm</b>

Meranie bez úpravy vzorky, transparentnou páskou aj odobratím vzorky sa uskutočňovalo hľadáním troch regiónov na fotografii vzorky segmentovaním, pričom sa využila

vlastnosť dreva, ktorá spôsobí zmenu zafarbenia dreva pôsobením teploty (Kačík, Kačíková, 2011, Kubovský, Kačík, 2010). V tabuľke sú zapísané rozmery šírky rezu vrátane teplom ovplyvnených zón. Z nameraných hodnôt vyplýva, že v prípade merania šírky reznej špáry sú všetky metódy rovnocenné. Najväčší rozdiel 3,95 % je medzi priamou metódou a meraním odobratím vzorky, čo je akceptovateľná odchýlka. Z praktického hľadiska je však meranie bez úpravy vzorky najrýchlejšie aj v porovnaní s priamou metódou, kde sa spracovaním obrazovej informácie vyhodnotí mnohonásobne viac hodnôt, v našom prípade 250 hodnôt, oproti 20 hodnotám merania priamou metódou.

Ako vedľajší, avšak tiež dôležitý výsledok navrhnutých metód je možnosť posúdenia veľkosti teplom ovplyvnených regiónov v procese rezania dreva zväzkom žiarenia na povrchu obrobku a po odobratí tenkej vrstvy materiálu obrobku aj pod povrchom materiálu obrobku. Za predpokladu výberu rezanej vzorky dreva s čo najhomogénnejšími vlastnosťami, čo je možné dosiahnuť meraním reznej špáry na malom priestore a symetrickým prúdením pomocného plynu v oblasti reznej špáry, môžeme objektívne predpokladať rovnakú šírku teplom ovplyvnených zón. Z nameraných výsledkov je zrejmé, že vyššie uvedenej požiadavke objektívne najviac vyhovujú dve metódy merania a to meranie bez úpravy vzorky a meranie priamou metódou na fotografii.

## CONCLUSION

For comparison of measurement methods, we wrote down the results into a table (Table 2) and compared them with the direct method of measuring of the kerf, indicating the difference in percentage.

Measurement without preparation of the sample, measurement by transparent tape and also measurement by sampling was made by looking for three regions in image samples by segmenting using the wood quality, which causes discoloration of wood by temperature influence (Kačík, Kačíková, 2011, Kubovský, Kačík, 2010). Kerf width including heat affected zones is written in the table. The measured values show that in case of the kerf width measurement, all the methods are equivalent. The biggest difference 3.95 % is between direct method and measurement when the sample is taken, which is an acceptable deviation. From a practical point of view, measurement without sample preparation is faster in comparison to the direct method, because with processing of visual information it is possible to evaluate many more values, in our case the values of 250, compared to 20 measurement values of the direct method.

As a side, but also an important result of the proposed methods is the ability to assess the size of heat affected regions of the workpiece surface in the process of wood cutting by beam radiation and after removing a thin layer of material it is also possible to assess the size of heat affected regions beneath the surface of the workpiece. Assuming the choice of wood samples with the most homogeneous properties, which can be achieved by measuring the kerf in a small space and a symmetric auxiliary gas flow in the kerf, it can be objectively assumed that the heat affected zones have the same width. The measured results show, that for the requirements mentioned above, there are objectively two most suitable methods of measurement: measurement without sample preparation and direct measurement method on photography.

## LITERATÚRA

- IGAZ, R., ČERNECKÝ, J.: 2009. Závislosť hustoty tepelného toku od povrchovej profilácie vertikálne orientovaného profilu. *Acta Facultatis Technicae*, vol. XIII, 1/2009, TU Zvolen, str. 83–91, ISSN 1336-4472
- HLAVÁČ, V., ŠONKA, M.: 1992. *Počítačové vidění*. Praha: Vydavatelství Grada a. s., 1992, 272 s. ISBN 80-85424-67-3
- JIRŮ, J.: 1988. Číslíkové zpracování obrazové informace. Referát. *Lékař a technika*, 1988, ročník 19, č. 1/88, s. 17–21. ISSN 0301-5491
- KAČÍK, F., KAČÍKOVÁ, D.: 2011. *Chemické a mechanické zmeny dreva pri termickej úprave. Vedecká monografia*. Zvolen: Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 2011, 71 s. ISBN 978-80-228-2249-7
- KUBOVSKÝ, I., KAČÍK F.: 2010. *Zmeny v hlavných zložkách dreva spôsobené ožarovaním povrchu CO2 laserom. Vedecká monografia*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2010. – 71 s. : obr., tab. – VEGA 1/0490/09. – ISBN 978-80-228-2159-9

### **Kontaktná adresa:**

Ing. Juraj Suja  
Podzámčok 31  
962 61 pošta Dobrá Niva  
e-mail: jukas@stonline.sk

doc. RNDr. Milada Gajtanska, CSc.  
Katedra fyziky, elektrotechniky a aplikovanej mechaniky  
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky  
Technická univerzita vo Zvolen  
T. G. Masaryka 24  
960 53 Zvolen  
e-mail: milada.gajtanska@tuzvo.sk