

A
F
T
ACTA
FACULTATIS
TECHNICAE



TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE

1

ROČNÍK: XVIII

ZVOLEN 2013

OBSAH

VEDECKÉ ČLÁNKY

NÁVRH KOLEKTOROVEJ PLOCHY PRE OHREV VODY V JEDÁLNI TU VO ZVOLENE PROPOSAL OF COLLECTOR SURFACE FOR HEATING-UP WATER IN THE CANTEEN OF THE TU IN ZVOLEN Richard Bergel – Jozef Víglaský	7
MODERNIZÁCIA EXPERIMENTÁLNEHO ZARIADENIA TRIBOTESTER M86 EXPERIMENTAL EQUIPMENT MODERNIZATION OF TRIBOTESTER M86 Michal Čmarada – Mária Remperová – Pavel Beňo	19
BEZKONTAKTNÉ MERANIE GEOMETRICKÝCH ROZMEROV STROJÁRSKÝCH SÚČIASTOK V REÁLNO M ČASE CONTACTLESS MEASUREMENT OF GEOMETRIC DIMENSIONS OF MACHINE PARTS IN REAL TIME Michal Čmarada – Jozef Šuriansky	29
POROVNANIE TEORETICKÝCH A EXPERIMENTÁLNYCH HODNÔT VLASTNÝCH FREKVENCIÍ PÍLOVÉHO KOTUČA COMPARISON OF THEORETICAL AND EXPERIMENTAL VALUES OF NATURAL FREQUENCIES OF CIRCULAR SAW BLADE Adam Droba – Dušan Paulíny – Ján Svoreň	39
VPLYV KOMBINOVANÉHO PÔSOBENIA HLUKU A ENERGETICKÉHO VÝDAJA NA PRACOVNÚ POHODU ČLOVEKA IMPACT OF COMBINED INTERACTIONS OF NOISE AND ENERGY EXPENDITURE FOR WORK COMFORT OF HUMAN Richard Hnilica – Miroslav Dado – Valéria Messengerová – Martin Jankovský	47
APLIKÁCIA DRVIČA NEŽIADÚCICH NÁRASTOV AKO ADAPTÉRA PRE LESNÉ KOLESOVÉ TRAKTORY APPLICATION OF THE CRUSHER OF UNDESIRABLE ADVANCE GROWTH THEN ADAPTER FOREST WHEELED TRACTORS Richard Hnilica – Miroslav Stanovský – Valéria Messengerová – Michaela Hnilicová – Miroslav Dado	57
TRIBOTECHNICKÁ DIAGNOSTIKA HYDRAULICKÝCH OLEJOV V LABORATÓRNYCH A PREVÁDZKOVÝCH PODMIENKACH TRIBOTECHNICAL DIAGNOSTICS HYDRAULIC OILS IN THE LABORATORY AND OPERATING CONDITIONS Michaela Hnilicová – Marián Kučera	65
MODELOVANIE NAPÍNANIA PÍLOVÝCH LISTOV MODELLING OF SAW BLADES TENSION Ľubomír Javorek – Ján Svoreň – Jozef Michálik	77
SIMULÁCIA PADANIA ČASTÍ POMOCOU HORIZONTÁLNEHO POSUVNÉHO STOLA S JEDNÝM STUPŇOM VOĽNOSTI SIMULATION OF FALLING OF PARTICLES USING HORIZONTAL MOVING TABLE WITH ONE DEGREE OF FREEDOM Pavol Koleda – Peter Koleda	83
ODOLNOSŤ VYBRANÝCH NAVÁROVÝCH MATERIÁLOV PROTI ABRAZÍVNEMU OPOTREBENIU NA BRÚSNOM PLÁTNE RESISTANCE OF SELECTED WELDED MATERIALS AGAINST ABRASIVE WEAR ON THE EMERY CLOTH Martin Kotus – Tomáš Pauliček – Daniela Kalincová – Marek Daňko – Tomáš Holota	93

PROAKTÍVNY PRÍSTUP PRI ÚDRŽBE STROJOV ANALÝZOU OLEJOVEJ NÁPLNE PROACTIVE APPROACH DURING MACHINE MAINTENANCE ANALYSIS OIL FILLING Marián Kučera – Michaela Hnilicová – Jozef Čuchran	99
URČENIE SILOVÉHO PÔSOBENIA V ODVETVOVACEJ HLAVICI DETERMINATION OF FORCE EFFECT IN DELIMBER Juraj Mikleš.....	107
DYNAMICKÁ STABILITA LESNÉHO KOLESOVÉHO TRAKTORA S NÁKLADOM A ODOLNOSŤ PROTI PREVRÁTENIU ON THE DYNAMIC STABILITY OF LOGGING TRACTORS WITH SKIDDING LOG AGAINST OVERTURNING Milan Mikleš.....	119
VÝSKUM SKLONU LAMIEL LAMELOVÉHO ODLUČOVAČA PRE ZVÝŠENIE SEPARAČNEJ ÚČINNOSTI RESEARCH OF THE LAMELLA SEPARATOR PLATE ANGLE FOR INCREASING THE SEPARATIVE EFFICIENCY Sláva Parničanová – Rastislav Igaz	127
RIADENIE RIZIKA PROCESU OBRÁBANIA VÝROBKU RISK MANAGEMENT OF PRODUCT MACHINING PROCESS Tomáš Pauliček – Martin Kotus – Tomáš Holota – Martin Blaško	133
BEZKONTAKTNÉ POLOHOVANIE MAGNETICKÉHO OBJEKTU S VYUŽITÍM LEVITÁCIE CONTACTLESS POSITIONING OF A MAGNETIC OBJECT BASED ON LEVITATION Rudolf Petráš – Jozef Šuriansky	141
KVALITA ODLIATKOV HLÁV VALCOV – HODNOTENIE CHÝB THE QUALITY OF THE CYLINDER HEAD CASTINGS – EVALUATION OF DEFECTS Petra Semanová – Daniela Kalincová.....	151
NÁVRH METÓDY MERANIA STUPŇA ZUHOLNATENIA REZNEJ ŠPÁRY S VYUŽITÍM ČÍSLICOVÉHO SPRACOVANIA OBRAZU PO PROCESSE REZANIA DREVA ZVÄZKOM ŽIARENIA THE DESIGN OF CHARRING DEGREE MEASUREMENT METHOD USING DIGITAL IMAGE PROCESSING AFTER THE PROCESS OF CUTTING WOOD BY BEAM RADIATION Juraj Suja – Milada Gajtanska – Rastislav Igaz	159
MATEMATICKÉ MODELOVANIE KONTAMINÁCIE PRACOVNÉHO OVZDUŠIA AEROSÓLMI PROCESNÝCH KVAPALÍN MATHEMATICAL MODELING OF WORK AIR CONTAMINATION BY METAL WORKING FLUID MIST Erika Sujová	165
REFERÁT	
NÁVRH A REALIZÁCIA MERACIEHO REŤAZCA NA MERANIE ZRÝCHLENIA DESIGN AND REALIZATION OF THE DEVICES FOR MEASURING OF ACCELERATION Ján Antl – Jozef Rédl.....	177

VEDECKÉ ČLÁNKY

NÁVRH KOLEKTOROVEJ PLOCHY PRE OHREV VODY V JEDÁLNI TU VO ZVOLENE

PROPOSAL OF COLLECTOR SURFACE FOR HEATING-UP WATER IN THE CANTEEN OF THE TU IN ZVOLEN

Richard BERGEL – Jozef VÍGLASKÝ

ABSTRACT: This paper deals with designing of a large-scale solar thermal system for heating-up water in climatic condition within the Zvolen location. The study also analysed consumption of hot water within the canteen of the Technical University in Zvolen and determination of collector surface as well as a number of solar collectors needed for heating-up water. This design carried out by the simulation programme T*SOL Expert 4.5 at the Co THERMO|SOLAR Ziar Ltd. and also by calculation as recommended within available literature and references.

Key words: solar energy, solar collector, hot water, renewable energy, environment

ABSTRAKT: Príspevok sa zaoberá návrhom slnečného veľkokapacitného systému pre ohrev vody v klimatických podmienkach Zvolena. Štúdia analyzuje spotrebu teplej vody v jedálni Technickej univerzity vo Zvolene a stanovuje počet slnečných kolektorov potrebných na jej prípravu. Návrh bol vykonaný simulačným programom T*SOL Expert 4.5 v spoločnosti THERMO|SOLAR Žiar s.r.o. a výpočtom pomocou dostupnej literatúry.

Kľúčové slová: slnečná energia, slnečný kolektor, teplá voda, obnoviteľné zdroje energie, životné prostredie

ÚVOD

Energia je dnes kľúčovým fenoménom rozvoja každej sféry spoločnosti – priemyslu, poľnohospodárstva a v neposlednom rade ľudských domácností. Jej spoľahlivé zabezpečenie sa môže radiť k hlavným problémom rôznych krajín. V uplynulých rokoch našla energia zastúpenie vo využívaní fosílnych zdrojov, napr. uhlia, ropy, plynu ako nosičov energie, či palív. Neustály nárast cien týchto zdrojov a nosičov energie, či z nich produkovaného tepla a elektriny, núti každého človeka hľadať alternatívy k súčasným spôsobom prípravy tepla, teplej vody a elektriny. V súčasnosti sa preto vo všetkých hospodársky vyspelých krajinách intenzívne uvažuje o nových alternatívnych – netradičných zdrojoch energie a skúmajú

sa možnosti ich využitia. Tu sa naskytuje príležitosť pre obnoviteľné zdroje a formy energie (Halahyja, Valášek, 1983).

Geotermálna a jadrová energia s nimi nemajú súvis. Fosilné palivá majú pôvod v rastlinných a živočíšnych organizmoch, ktoré by sa bez slnka a fotosyntézy nezaobišli. Energia vody poháňajúca turbíny vodných elektrární je len dôsledkom kolobehu vody v prírode, poháňaného Slnkom prostredníctvom odparovania vody v oceánoch. Veterné elektrárne využívajú prúdenie vzduchu vyvolané nerovnomerným ohrevom jednotlivých častí atmosféry. Ani drevo, či iná biomasa, by neexistovalo bez slnka a fotosyntézy. Nakoniec aj za to, že žijeme a dýchame môže Slnko, nevyhnutné pre rast rastlín, základnej potravy ľudí a zvierat. Slnko je jediným zdrojom energie, na ktorý sa ľudstvo môže úplne spoľahnúť. Slnčná energia dokáže poskytnúť všetko, čo sa od energie požaduje a to často veľmi jednoducho, čisto a bez rizika. Množstvo slnečného žiarenia, ktoré dopadne na Zem za jeden rok je až 10 tisíc krát väčšie, ako je celosvetová spotreba energie. Dokonca aj energia dopadajúca na strechu rodinného domu v oblastiach „chudobných“ na slnečné žiarenie (napríklad severná Európa) je 10-krát vyššia ako je jeho spotreba. Na územie Slovenska dopadne ročne asi 200 krát viac slnečnej energie ako je jeho súčasná spotreba primárnych energetických zdrojov. Ide o obrovský, v súčasnosti nedostatočne využívaný, potenciál energie (Iliaš a kol., 2006).

V konečnom dôsledku, doposiaľ využívané zdroje energie, či už ich získavanie alebo priama „výroba“ energie z nich, viedli k značnej devastácii prírody. Je nevyhnutné napraviť svoje chyby, vymyslieť nové a prevratné systémy, ktoré dokážu „vyrábať“ energiu pre potreby ľudstva bez toho, aby dochádzalo k znečisťovaniu a devastácii Zeme. Preto by malo v dnešnej dobe nachádzať využívanie slnečnej energie, ktorá je najčistejším zdrojom energie aj spomedzi obnoviteľných zdrojov, čoraz väčšie uplatnenie v praxi.

1. SLNEČNÁ ENERGIA DOSTUPNÁ V KLIMATICKÝCH PODMIENKACH ZVOLENA

Podľa (Iliaš a kol., 2006) je rozdiel medzi najchladnejšími a najteplejšími regiónmi na Slovensku v dopadajúcom množstve energie približne len 15 %. Najviac slnečného žiarenia zaznamenávame počas roka na juhu Slovenska, najmenej na Orave a Kysuciach.

Tabuľka 1 zobrazuje množstvo dopadajúceho slnečného žiarenia v oblasti Zvolena v jednotlivých mesiacoch na horizontálnu rovinu (H_h), optimálne naklonenú rovinu (H_{opt}), pre oblasť Zvolena $H_{opt} = 35^\circ$, ako aj priemerné mesačné teploty (t).

Pri využívaní solárnych tepelných systémov má veľký význam doba slnečného svitu. Rozoznávame teoretickú dobu slnečného svitu, ktorá predstavuje dobu svietenia Slnka bez uvažovania oblačnosti, u tejto doby sa každý rok počíta s konštantnou dĺžkou a skutočnú dobu slnečného svitu. Skutočná doba slnečného svitu predstavuje dobu svietenia Slnka s prihliadaním na oblačnosť. V tabuľke 2 sú zapísané hodnoty teoretickej a skutočnej doby slnečného svitu počas roka v oblasti Zvolena.

Tab. 1 Množstvo dopadajúceho slnečného žiarenia v oblasti Zvolena
(PGIS – Interactive Maps, 2010)

Mesiac	H_h [Wh.m ² /deň]	H_{opt} [Wh.m ² /deň]	t [°C]
Január	919	1450	-2,30
Február	1600	2300	-0,10
Marec	2680	3360	4,10
Apríl	3960	4390	10,40
Máj	4900	4960	15,10
Jún	5250	5100	18,10
Júl	5470	5440	20,10
August	4490	4810	19,60
September	3310	4050	15,20
Október	2150	3060	10,40
November	1040	1560	4,60
December	702	1100	-1,40
Ø	3039,25	3465,00	9,48

Tab. 2 Teoretická a skutočná doba slnečného svitu v oblasti Zvolena
(Slovenský hydrometeorologický ústav)

Mesiac	Skutočná doba slnečného svitu t_{skut} [h]				Teoretická doba slnečného svitu t_{teor} [h]
	Rok				Rok
	2008	2009	2010	2011	
Január	38,4	66,8	48,1	64,3	272,49
Február	129,4	62,3	47,1	105,9	283,36
Marec	128,5	106,9	182	202,8	366,73
Apríl	189,5	284,8	222,9	224,1	408
Máj	248,9	282,5	145,7	320,6	471,82
Jún	255,4	215,5	241,4	187,2	479,7
Júl	246,2	325,9	296,9	206,9	482,05
August	286	251,6	222,9	295,2	443,3
September	152,5	217,8	130	243,2	374,4
Október	98,3	90	132,5	140,8	332,63
November	56,8	61,7	65,8	80,5	275,1
December	71	40,3	49,2	23,8	253,27

2. SÚČASNÝ STAV PRÍPRAVY TEPLEJ VODY V UNIVERZITNEJ JEDÁLNI A JEJ SPOTREBA

Donedávna sa na prípravu TV v jedálni využívala kotolňa nachádzajúca sa v priestoroch areálu TU vo Zvolene. Palivom v kotolni bol zemný plyn. V dnešnej dobe je dodávka tepla na 100% zabezpečená zo strany teplárne Zvolenská teplárenská a. s. Teplo je dodávané do výmenníčky, ktorá sa nachádza v priestoroch spomínanej kotolne. Z výmenníčky je teplo ďalej prerozdelené pre objekty TU. Budova jedálne je vybavená samostatnou výmenníčkou, do ktorej sa privádza teplo z prvej výmenníčky. Týmto teplom sa zabezpečuje ohrev vody v zásobníku vody. Voda privádzaná do zásobníka je upravovaná v samostatnom zariadení (Bergel, 2012).

Spotreba TV v jedálni TU vo Zvolene závisí najmä od počtu nahlásených porcií v jednotlivých mesiacoch. Tento počet kolíše v závislosti od počtu pracovných dní v mesiaci a od množstva študentov prítomných na TU. Z toho vyplýva, že najväčšia spotreba TV je v mesiacoch, v ktorých prebieha výučba oboch semestrov, naopak najmenšiu spotrebu vykazujú mesiace, počas ktorých je skúškové obdobie a prázdniny. Počet porcií v jednotlivých mesiacoch, počet pracovných dní a jednotlivé spotreby TV v roku 2010 a v roku 2011 zobrazujú tabuľky 3 a 4 (Bergel, 2012).

Tab. 3 Súhrnná tabuľka spotrebovanej TV v roku 2010 (Nosálová, 2012)

Mes.	Prac. dni	Počet porcií	Počet zamest.	Spotreba TV zamest. [l/deň]	Spotreba TV na porcie [l/deň]	Celková spotreba TV [l/deň]
1	19	16216	23	460	6827,79	7287,79
2	20	22959	23	460	9183,60	9643,60
3	23	29682	23	460	10324,17	10784,17
4	20	22293	23	460	8917,20	9377,20
5	21	20995	23	460	7998,10	8458,10
6	22	15511	23	460	5640,36	6100,36
7	21	5656	23	460	2154,67	2614,67
8	17	4682	23	460	2203,29	2663,29
9	20	20401	23	460	8160,40	8620,40
10	21	27267	23	460	10387,43	10847,43
11	20	26496	23	460	10598,40	11058,40
12	15	17468	23	460	9316,27	9776,27
Ø	20	19135	23	460	7642,64	8102,64

Tab. 4 Súhrnná tabuľka spotrebovanej TV v roku 2011 (Nosálová, 2012)

Mes.	Prac. dni	Počet porcií	Počet zamest.	Spotreba TV zamest. [l/deň]	Spotreba TV na porcie [l/deň]	Celková spotreba TV [l/deň]
1	20	16422	23	460	6568,80	7028,80
2	20	22464	23	460	8985,60	9445,60
3	23	29692	23	460	10327,65	10787,65
4	19	21779	23	460	9170,11	9630,11
5	22	21362	23	460	7768,00	8228,00
6	22	14518	23	460	5279,27	5739,27
7	10	2776	23	460	2220,80	2680,80
8	0	0	0	0	0,00	0,00
9	20	12798	23	460	5119,20	5579,20
10	21	23667	23	460	9016,00	9476,00
11	20	21914	23	460	8765,60	9225,60
12	16	14427	23	460	7213,50	7673,50
Ø	20	19135	23	460	6702,88	7124,54

Mesiac august v roku 2011 vykazuje nulovú spotrebu TV z dôvodu rekonštrukcie je-dálne, ktorá prebiehala od polovice júla do konca augusta.

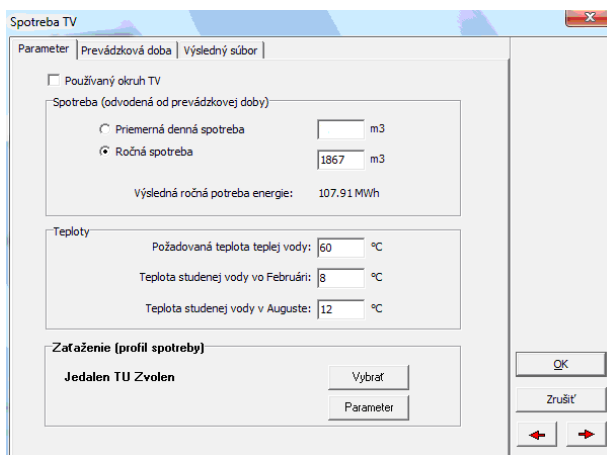
3. NÁVRH POČTU KOLEKTOROV SIMULAČNÝM PROGRAMOM T*SOL EXPERT 4.5

Základným vstupným údajom pre výpočet veľkosti kolektorového poľa prostredníctvom simulačného programu, je ročná spotreba TV a spotreba TV v jednotlivých mesiacoch. V tabuľke 5 sú hodnoty priemernej mesačnej spotreby vody za roky 2010–2011. Vy-chádzali sme z hodnôt uvedených v tabuľkách 3 a 4.

Tab. 5 Hodnoty priemernej mesačnej spotreby vody za roky 2010–2011

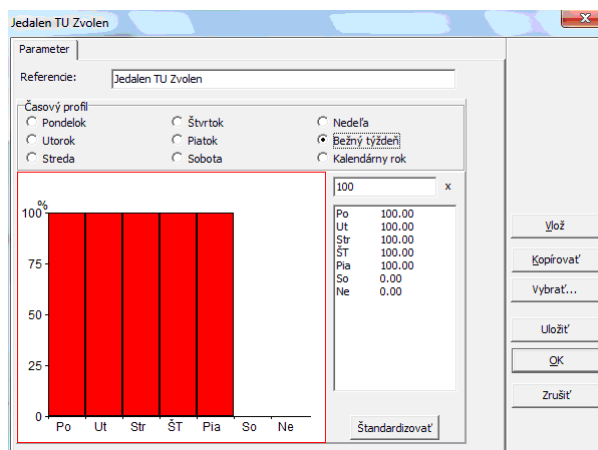
	Mesiac											
	I 56 %	II 77 %	III 100 %	IV 75 %	V 72 %	VI 53 %	VII 22 %	VIII 18 %	IX 57 %	X 86 %	XI 82 %	XII 54 %
Ø spot. TV [m ³ /mes]	140	191	248	185	179	130	55	46	142	213	203	135
Max. spot. TV [m ³ /mes]	240											
Roč. spot. TV [m ³ /rok]	1867											

Stanovená ročná spotreba vody bola prvým vstupným údajom programovej simulácie. Taktiež sme museli definovať vstupné údaje, ako sú požadovaná teplota TV na výstupe a teplota vstupnej vody do zásobníka TV. Všetky tieto nastavenia sú znázornené na obrázku 1.



Obr. 1 Nastavenie ročnej spotreby TV, teploty TV na výstupe a teploty vstupnej vody (Ježo, 2012)

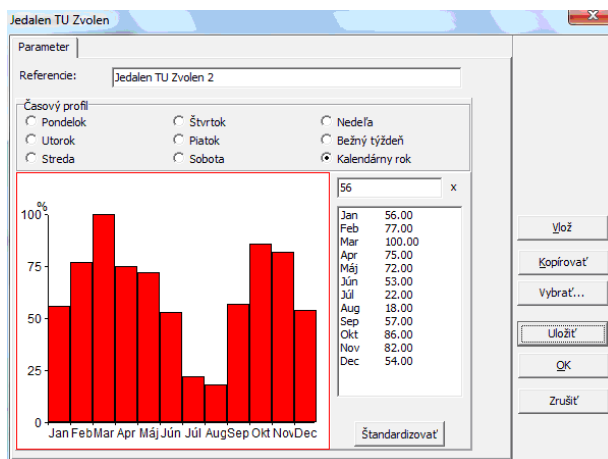
Následne sme definovali spotrebu TV v jednotlivých dňoch. Prvým piatim dňom v týždni sme definovali 100% spotrebu, víkendom bola z dôvodu nečinnosti jedálne definovaná nulová spotreba TV. Tieto nastavenia sú zobrazené na obrázku 2.



Obr. 2 Definovanie spotreby TV v jednotlivých dňoch v týždni (Ježo, 2012)

V ďalšom kroku sme stanovili percentuálnu spotrebu v jednotlivých mesiacoch. Podľa tabuľky 7 sme ako základ (100%) zvolili mesiac Marec, kedy je najvyššia spotreba TV.

Od tohto základu sme stanovili percentuálnu spotrebu vo zvyšných mesiacoch. Tieto nastavenia zobrazuje obrázok 3.



Obr. 3 Percentuálna spotreba TV v jednotlivých mesiacoch (Ježo, 2012)

Na základe takto definovaných vstupných údajov sme realizovali simulácie s rôznym počtom slnečných kolektorov TS 300. Ako najvhodnejšiu variantu sme vybrali systém s počtom kolektorov 24 kusov, s uhlom sklonu od horizontálnej roviny 40°. Napriek faktu, ktorý pre oblasť Zvolena uvádza optimálny sklon 35°, sme lepšie výsledky dosiahli v simulačnom programe pri sklone 40°. V tabuľke 6 sú uvedené výsledky ročnej simulácie pri počte 24 kolektorov.

Tab. 6 Výsledky ročnej simulácie (Ježo, 2012)

Výkon inštalovaných kolektorov	34,1 kW
Energia získaná z kolektorového okruhu	27,48 MWh
Podiel solárnej energie na ohrev TV	24,5 %
Podiel úspory energie podľa EN 12976	25,6 %
Účinnosť systému	49 %
Zníženie emisií CO ₂	6.5 t

4. NÁVRH POČTU KOLEKTOROV VÝPOČTOM

Návrh veľkosti kolektorového poľa sme volili pre letné obdobie, kedy je minimálna spotreba TV. V mesiacoch s vyššou spotrebou TV bol potrebný vyšší počet kolektorov, ktoré by sa v lete neúnosne prehrievali. Na výpočet sme použili vzorce podľa (Klenovčanová, Imriš, 2006)

Denná spotreba tepla na ohrev TV:

$$Q_{spotr} = m \cdot c \cdot \Delta T \quad [\text{kWh/deň}] \quad (1)$$

m – množstvo vody [l/deň]

c – merná tepelná kapacita vody – 4200 [J/kg.K]

ΔT – rozdiel teplôt [K]

Výstupnú teplotu TV (60°C) sme stanovili podľa súčasnej teploty ohrievania TV. Množstvo vody (2655,51 l) je priemerná denná spotreba vody v mesiacoch júl, august v rokoch 2010–2011.

Skutočná energia dopadajúceho slnečného žiarenia pri zanedbaní energie difúzneho žiarenia:

$$Q_{Sdeň} = \tau \cdot Q_{Sdeň\ teor} \quad [\text{kWh/m}^2] \quad (2)$$

τ – pomerná doba slnečného svitu

$Q_{Sdeň\ teor}$ – teoretická slnečná energia dopadajúca na optimálne naklonenú rovinu [kW/m²]

Pomerná doba slnečného svitu:

$$\tau = \frac{\tau_{skut}}{\tau_{teor}} \quad (3)$$

τ_{skut} – skutočná doba slnečného svitu

τ_{teor} – teoretická doba slnečného svitu

Stredná intenzita slnečného žiarenia počas dňa:

$$I_{str} = \frac{Q_{sdeň\ teor}}{\tau_{teor}} \quad [\text{W/m}^2] \quad (4)$$

Účinnosť kolektorov s jedným krycím sklom:

$$\eta_k = \eta_0 - k \cdot \frac{(t_a - t_v)}{I_{str}} \quad (5)$$

η_0 – optická účinnosť kolektora

k – celkový súčiniteľ prestupu tepla kolektorom (zvyčajne 6 W/m².K)

t_a – teplota TV na výstupe [°C]

t_v – priemerná teplota vzduchu [°C]

Množstvo energie zachytenej absorberom za priemerný deň:

$$Q_{Adeň} = \eta_k \cdot Q_{Sdeň} \quad [\text{kWh/m}^2] \quad (6)$$

Za účelom zníženia konečného počtu kolektorov sa namiesto skutočnej energie dopadajúceho slnečného žiarenia ($Q_{Sdeň}$) počíta s teoretickou slnečnou energiou ($Q_{Sdeň\ teor}$).

$$Q_{A\ deň}^I = \eta_k \cdot Q_{S\ deň\ teor} \quad [\text{kWh/m}^2] \quad (7)$$

Plocha kolektorového poľa:

$$S = \frac{(1 + \gamma) \cdot Q_{spotr}}{Q_{Adeň}^I} \quad [\text{m}^2] \quad (8)$$

γ – straty v potrubnom rozvoде a zásobníku

$Q_{A\ deň}^I$ – množstvo energie zachytenej absorbérom za priemerný deň, pri teoretickej energii dopadajúceho slnečného žiarenia [kWh/m^2]

Plocha kolektorového poľa sa počíta v mesiaci, kedy sú priaznivejšie slnečné podmienky.

Počet kolektorov

$$P = \frac{S}{S_{AK}} \quad [\text{m}^2] \quad (9)$$

S_{AK} – absorbná plocha jedného kolektora

V tabuľke 7 sú zhrnuté výpočty pre návrh počtu kolektorov v našom prípade.

Tab. 7 Súhrn vypočítaných hodnôt pri návrhu počtu kolektorov

	Q_{spot}	$Q_{Sdeň}$	τ	I_{str}	η_k	$Q_{Adeň}$	$Q_{Adeň}^I$	S	P
Júl	154,9	3,05	0,56	349,84	0,13	0,4	0,71	240	137
August	154,9	2,89	0,6	336,36	0,09	0,26	0,43		

Výpočtom sme dosiahli priveľký počet kolektorov. Daný výpočet nezahŕňa podľa vzorca 2 energiu difúzneho žiarenia, ktorá je v praxi pri využívaní slnečných kolektorov podstatná, keďže toto žiarenie dosahuje v celoročnom priemere cca 50–60 % globálneho žiarenia. Taktiež vzorce uvádzané v literatúre zvyknú byť často všeobecné. Aj tieto fakty prispeli k značne vyššiemu počtu kolektorov navrhnutých výpočtom oproti návrhu v simulačnom programe. Technickí pracovníci spoločnosti THERMO|SOLAR Žiar s. r. o. potvrdili odchýlku výsledkov simulačného programu T*SOL Expert 4.5 v praxi na $\pm 10\%$. Mohli sme preto prijať za správny návrh veľkosti kolektorového poľa výstup simulačného programu (Bergel, 2012).

5. DISKUSIA

Návratnosť kapitálových nákladov na vybudovanie navrhnutého solárneho systému je závislá najmä od kolísania cien fosílnych palív a od celkovej spotreby TV v jedálni.

Po vstupe Slovenskej republiky do EÚ a po možnosti podávania žiadostí o nenávratné finančné príspevky na využívanie energie slnečného žiarenia, sa na našom území podstatne viac zviditeľnila táto forma „získavania“ energie. V roku 2011 bola Ministerstvom hospodárstva Slovenskej republiky vyhlásená výzva na predkladanie žiadostí o poskytovanie dotácií na podporu využívania slnečnej energie a biomasy. Celková výška vyčlenených dotácií predstavovala 2 675 200 €. Vysoký dopyt po solárnej technike v súčasnej dobe vyčerpáva zdroje tejto finančnej pomoci. Európska únia ani vláda SR definitívne nevyslovili stop finančnej podpore v tomto smere. Práve naopak, pri snahe dodržiavať rôzne záväzky členských krajín EÚ, medzi ktoré patrí zníženie emisií oxidu uhličitého o 20 % do roku 2020 v porovnaní s rokom 1990, rovnako ako aj na zníženie spotreby energie o 20 % jej úspornejším využívaním a zvýšenie podielu energie z obnoviteľných zdrojov na 20 %, možno v blízkej dobe očakávať opätovné vyčlenenie financií pre nadobudnutie solárnej techniky.

Pri reálnom uvažovaní o realizácii solárneho systému navrhnutého v príspevku treba vziať do úvahy generálnu prehliadku doterajších zariadení, slúžiacich k príprave TV v jedálni a prípadnú výmenu niektorých z nich. Ponechanie niektorých starších zariadení v prevádzke by mohlo znížiť vypočítanú účinnosť navrhnutého solárneho systému.

Taktiež je nevyhnutné pripomenúť ďalší faktor, ktorý môže znížiť účinnosť systému. Mesto Zvolene leží v oblasti Slovenska s vysokým výskytom hmiel (Mindáš, Škvarenina, 1995, 2002). Tento faktor môže mať negatívny vplyv na účinnosť solárneho systému navrhnutého v danej oblasti. Penzión Almada, ktorý je situovaný v blízkosti univerzitetnej jedálne, má päťročné skúsenosti so slnečnými kolektormi nainštalovanými na vlastnej budove a nepotvrdil, že by tento faktor viditeľne znížil účinnosť jeho solárneho systému na prípravu TV za posledných päť rokov. Táto informácia, ale nevyvracia informáciu o častom výskyte hmiel v oblasti, a preto je vhodné pri projektovaní zariadenia s predpokladom dlhodobého využívania tento faktor vziať do úvahy. V prípade inštalácie slnečného systému na streche jedálne TU vo Zvolene, dokážu v letných mesiacoch (júl a august) pokryť významné náklady na prípravu TV a v ostatných mesiacoch roka časť nákladov.

Ak budú v blízkom čase opäť vyhlásené výzvy na predkladanie žiadostí o poskytovanie dotácií v rámci využívania slnečnej energie, bola by škoda nevyužiť túto možnosť a nepodať návrh na nenávratný finančný príspevok, ktorý by univerzite čiastočne pokryl potrebné kapitálové náklady.

6. ZÁVER

V minulosti boli slnečné kolektory u nás považované za luxus, ktorý si priemerný človek nemohol dovoliť a využívaniu slnečnej energie sa venovali väčšinou len nadšenci. Avšak po prudkom náraste cien fosílnych palív a pri poskytovaní finančných stimulov zo strany štátu na solárnu techniku sa stali investície do využívania slnečnej energie prijateľnými pre väčšinu záujemcov. Dnes by mal byť slnečný kolektor prejavom ekonomického a environmentálneho myslenia ľudí a štátu, ktorý obývajú.

Príspevok naznačil možnosti reálneho využitia energie slnečného žiarenia ako spôsob prípravy teplej vody v jedálni Technickej univerzity vo Zvolene. Aj táto prevádzka je závislá pri príprave TV na fosílnych palivách. Nakoľko zdrojom energie pre prípravu

TV v jedálni TU vo Zvolene je spoločnosť Zvolenská teplárenská a.s., samotná jedáleň sa nemôže vyhnúť závislosti na týchto palivách. Spoločnosť Zvolenská teplárenská a.s. spaľuje pre „výrobu“ tepelnej energie prioritne hnedé uhlie (70 %), biomasu vo forme biopaliva – drevných štiepok (30 %) a zemný plyn v prípade potreby.

Inštalovanie dvadsiatich štyroch solárnych kolektorov na streche jedálne jej nezábezpečí úplnú samostatnosť v príprave teplej vody a teda aj nezávislosť na fosílnych palivách, nahradí to však určitú potrebu tepelnej energie dodávanej spoločnosťou Zvolenská teplárenská a. s. Hlavný prínos takéhoto projektu možno vidieť v čiastočnom znížení nákladov na financovanie dodávky tepla potrebného pre prípravu TV.

Záverom nemožno zabúdať na stále aktuálnu tému znižovania emisií skleníkových plynov v atmosfére, k čomu efektívne využívanie slnečnej energie nepochybne speje a upozorniť na to má aj tento projekt.

LITERATÚRA

- BERGEL, R. 2012. *Inovatívne riešenie pre prípravu teplej vody s využitím slnečnej energie v Študentskom domove Bariny TU vo Zvolene*: záverečná diplomová práca. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky. 2012. 65 s. 6 príloh.
- HALAHYJA, M. – VALÁŠEK, J. a kol. 1983. *Solárna energia a jej využitie*: ALFA Bratislava, 1983. 290 s. ISBN 63–132–83
- ILIAŠ, I. – GUSCHLBAUER–HRONEK, K. – BENESCH, B. – GERHARD, B. 2006. *Možnosti využívania slnečnej energie*: Energetické centrum Bratislava, 2006. 71 s. ISBN 80-969466-0-9.
- JEŽO, M.. *Osobná konzultácia*. jezo@thermosolar.sk [cit. 2012.03.05-08]
- KLENOVČANOVÁ, A. – IMRIŠ, I. 2006. *Zdroje a premeny energie*: ManaCon Prešov, 2006. 492 s. ISBN 80-89040-29-2
- MINĎÁŠ, J. – ŠKVARENINA, J. 1995. *Výskyt a charakteristika hmiel na Slovensku v období 1971–1989*. Meteorologické správy, 48, 5, s. 133–139.
- MINĎÁŠ, J. – ŠKVARENINA, J. 2002. *Výskyt hmiel*. In *Atlas krajiny Slovenskej republiky*, MŽP SR, Bratislava.
- NOSÁLOVÁ, E. *Dokumentácia jedálne TU vo Zvolene*. Osobná konzultácia
- Photovoltaic Geographical Information System – Interactive Maps. [cit. 2012.02.10] Dostupné na internete: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>>
- Slovenský hydrometeorologický ústav. [cit. 2012.02.10] Dostupné na internete: <http://www.shmu.sk/sk/?page=1&id=klimat_operativneudaje4&anchor=svit#svit>

Adresy autorov:

Ing. Richard Bergel

Katedra environmentálnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,
TU Zvolen, Študentská 26, 960 53 Zvolen, bergel.richard@gmail.com

prof. Ing. Jozef Víglašský, CSc.

Katedra environmentálnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,
TU Zvolen, Študentská 26, 960 53 Zvolen, jozef.viglasky@tuzvo.sk

MODERNIZÁCIA EXPERIMENTÁLNEHO ZARIADENIA TRIBOTESTER M86

EXPERIMENTAL EQUIPMENT MODERNIZATION OF TRIBOTESTER M86

Michal ČMARADA¹ – Mária REMPEROVÁ² – Pavel BEŇOŠ³

ABSTRAKT: Článok sa zaoberá modernizáciou experimentálneho zariadenia Tribotester M86. Modernizácia zahŕňa odbornú kontrolu snímačov trecieho momentu a zaťaženia s ich následnou kalibráciou, revíziu a prípadnú výmenu elektronických zosilňovacích a meracích prvkov a nakoniec vytvorenie aplikácie pre zaznamenávanie a grafické vyhodnocovanie dát získaných z tribotestera. Po úspešnej modernizácii, bolo nevyhnutné, otestovať a kalibrovať modernizovaný merací reťazec.

Kľúčové slová: tribotester, modernizácia, meracie zariadenie

ABSTRACT: The article deals with the modernization of the experimental equipment Tribotester M86. Modernization includes professional inspection of sensors for measuring the friction torque and the load and their subsequent calibration, inspection and possible replacement of amplifiers and electronic components and finally the creation of application for measurement and graphical evaluation of data obtained from the tribotester. After a successful upgrade it was necessary to test and calibrate the modernized measurement chain.

Keywords: tribotester, modernization, measuring equipment

1 ÚVOD

Pre správnu funkciu, počas požadovanej životnosti klzného ložiska, je ho potrebné správne navrhnuť a prevádzkovať. Funkčné požiadavky, ktoré sú kladené na klzné ložiská sú veľmi rozdielne a niektoré i protichodné. Preto je návrh ložiska veľmi náročný. Rýchly rozvoj laboratórnej a výpočtovej techniky dovoľuje v súčasnosti riešiť náročné úlohy, vyplývajúce z teoretického riešenia klzných ložísk aj pri uvažovaní väčšieho počtu vstupných parametrov. [4]

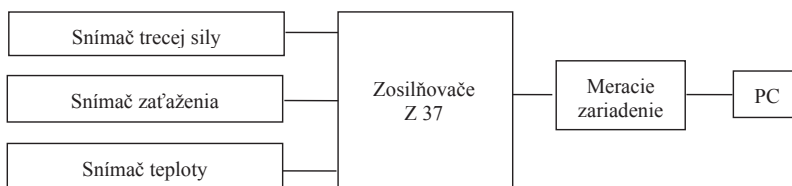
V laboratórnych podmienkach sa na testovanie využíva experimentálne zariadenie tribotester. V roku 1988 bol na TU vo Zvolene zakúpený Tribotester M86. V tej dobe sa jednalo o inovovaný model, ktorý už pomocou mikroprocesora riadil a vyhodnocoval skúšky klzných vlastností.

Tieto zmeny ale nezodpovedajú požiadavkám 21. storočia pre experimentálne skúmanie a vyhodnocovanie výsledkov. Bolo potrebné obnoviť, alebo úplne prerobiť, časti meracieho reťazca. Pritom sa vychádzalo z požiadaviek:

- Presného a rýchleho ovládania.
- Zabezpečenia kompatibility s modernými vyhodnocovacími softvérovými programami.
- Grafickej prezentácie údajov.

2 MERACÍ REŤAZEC EXPERIMENTÁLNEHO ZARIADENIA TRIBOTESTER M86

Pôvodný merací reťazec (Obr. 1) pozostával zo snímača trecieho momentu, zaťaženia, snímača teploty, zosilňovačov Z37 pre každý snímač jeden a meracieho zariadenia s výstupom na PC. Od roku 1990, kedy univerzita zakúpila Tribotester M86, bol inovovaný pôvodný softvérový program na softvér napísaný v programovacom jazyku Pascal pre MS DOS, pod ktorým zariadenie pracovalo do súčasnosti. Pôvodné analógové snímače boli úplne alebo čiastočne nefunkčné a vyžadovali odbornú rekonštrukciu.



Obr. 1 – Pôvodný merací reťazec

Inovácia celého meracieho reťazca sa dotkla hlavne digitalizačnej časti meracieho reťazca, čo zahŕňalo A/Č prevodník a softvérové vybavenie PC a pozostávala z nasledujúcich krokov:

- Zaslania snímačov na opravu a kalibráciu.
- Overenie funkčnosti snímačov.
- Revízia zosilňovacích prvkov.
- Návrh novej digitalizačnej časti.
- Voľba komponentov pre zber a spracovanie údajov.
- Návrh a vytvorenie softvérového vybavenia PC.
- Overenie činnosti navrhnutého zapojenia.

2.1 Meranie tlakovej sily a trecieho momentu

Na snímanie tlakovej sily a trecieho momentu sa použili tenzometrické snímače sily (Obr. 2). Snímače pracujú v rozsahu do 15 kN (snímač tlakovej sily) a 0,22 kN (snímač trecieho momentu) s napájaním 15 V a menovitým signálom 150 mV. Ďalšie technické údaje sú uvedené v Tabuľke 1.

Snímač tlakovej sily (Obr. 1a) je umiestnený medzi prítlačnou pružinou a ložiskovým domcom. Tlaková sila vyvolaná pôsobením pružiny je cez guľovú plochu snímača prenášaná na ložiskový domec. Veľkosť tlakovej sily, ktorá zaťažuje snímač, je zachytená prostredníctvom výstupného analógového signálu, ktorý je zosilnený zosilňovačom Z37 a signál je ďalej digitalizovaný v A/Č prevodníku.

Veľkosť trecieho momentu je pomocou ramena ložiskového domca prenášaná na snímač trecej sily (Obr. 2b). Signál zo snímača je taktiež zosilnený prostredníctvom príslušného zosilňovača Z37 a následne digitalizovaný pomocou A/Č prevodníka.



Obr. 2 – Používané snímače a) snímač tlakovej sily (1) b) snímač trecej sily (2)

Tabuľka 1 Technické parametre snímačov

Typ	Snímač 1	Snímač 2
	P 20	AP 100 L – 2
Rozsah	15 kN	0,22 kN
Napájanie	15 V	15 V
Menovitý signál	150 mV	150 mV
Výrobné číslo	3 000	7 529
Výrobca	Rukov Rumburk	Rukov Rumburk

Snímače vzhľadom na svoj vek bolo potrebné odborne skontrolovať a v prípade nevyhovujúcich parametrov vykonať novú kalibráciu (kapitola 4).

2.2 Digitalizačná časť

V rámci obnovy Tribotestera M86 bol jeden z hlavných bodov aj modernizácia jeho digitalizačnej časti, ktorá už nebola schopná spĺňať požiadavky modernej doby. Pri modernizácii sme vychádzali z nasledujúcich požiadaviek:

- Presného a rýchleho prevodu meranej veličiny.
- Rýchleho prenosu údajov do PC.
- Zabezpečenia kompatibility s vyhodnocovacím softvérom.
- Grafická prezentácia údajov.

2.2.1 Analógovo-číslícový prevod (A/Č prevodník)

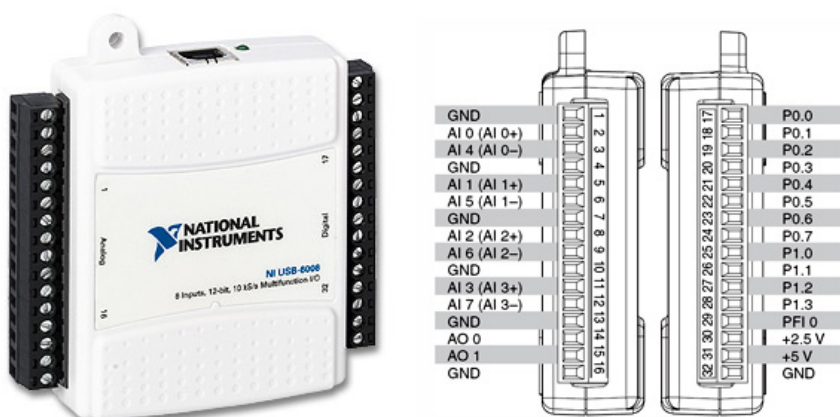
Analógovo-číslícový prevod slúži na spracovanie zosilneného signálu zo snímačov a jeho prevedenie do číslicovej podoby. Pri modernizácii boli stanovené podmienky, aby nové zariadenie obsahovalo:

- A/Č prevodník (minimálne 12 bitov)
- komunikačné rozhranie pre komunikáciu s PC (RS 232, USB, Ethernet)
- Rozhodovalo sa medzi:
- Mikrokontrolérom (MCU) s prevodníkmi a komunikačným rozhraním. Do úvahy pripadali MCU od firiem Freescale, prípadne Atmel.
- A komerčne dostupnými meracími zariadeniami s vyhovujúcimi parametrami.

Nakoľko v priebehu projektu katedra MS zakúpila meracie zariadenie NI USB 6009, ktoré vyhovovalo stanoveným podmienkam, mohli sme upustiť od prvého návrhu a modernizáciu realizovať prostredníctvom meracieho zariadenia NI USB 6009. Toto zariadenie obsahuje:

- 8 analógových vstupov (14-bitov, 48 000 vzoriek/s),
- 2 analógové výstupy (12-bitov, 150 vzoriek/s),
- 12 digitálnych I/O,
- 32-bitový čítač.

Zariadenie NI USB 6009 od firmy National Instruments je kompatibilné s prostrediami LabVIEW a LabWindows/CVI a rozšírením „Measurement studio“ pre vývojové prostredie Microsoft Visual Studio .NET. Technické parametre zariadenia sú uvedené v Tabuľke 2.



Obr. 3 – NI USB 6009

Tabuľka 2 – Technické parametre NI USB 6009

Diferenciálny	Jednotkový
4 analógové vstupy	8 analógových vstupov
rozlíšenie 14 bit	rozlíšenie 13 bit
vzorkovanie 48 000 vzoriek/s.	vzorkovanie 48 000 vzoriek/s.
merací rozsah $\pm 10V, \pm 5V, \pm 4V, \pm 2,5V, \pm 2V, \pm 1,25V, \pm 1V$	merací rozsah $\pm 10V$
šum 5 mVrms	
napájanie cez USB 5V / 200 mA	
pripojiteľnosť k PC USB typ B	
pracovné napätie $\pm 10V$	
vstupná impedancia 144 k Ω	
prepätová ochrana $\pm 35V$	
časovač – externý alebo softvérový	
fyzikálne rozmery 63,5 \times 85,1 \times 23, 2 mm	
váha 54 g	
prevádzková teplota 0–55°C	

3 VYTVORENIE NOVÉHO MERACIEHO A VYHODNOCOVACIEHO SOFTVÉRU

Pôvodné softvérové riešenie meracieho zariadenia v programe Pascal pozostávalo zo zobrazovania nameraných údajov v prostredí MS DOS. Údaje, zo všetkých troch snímačov sa aktualizovali každú sekundu a zobrazovali sa chronologicky pod sebou. Takéto sledovanie priebehu trecieho momentu v závislosti od veľkosti zaťažujúcej sily, alebo klznej rýchlosti ložiska je veľmi neprehľadné. Namerané údaje boli síce ukladané do súborov, ale práca s nimi je v takejto forme zložitá a zdĺhavá, nakoľko nefunguje úplná kompatibilita s novými operačnými systémami.

V rámci obnovy digitalizačnej časti bolo potrebné vytvoriť nový program, ktorý by splňal požiadavky:

- Grafickej prezentácie nameraných údajov.
- Možnosť ukladania dát.
- Možnosť meniť parametre, napr. vzorkovací čas, mód merania...
- Možnosť exportu do formátu csv.

Na základe týchto požiadaviek bol vytvorený nový program, ktorý bol napísaný v objektovo orientovanom programovacom jazyku c# (c Sharp). Tento program bol vytvorený v programovacom prostredí „Microsoft Visual Studio 2010“, ktoré poskytuje množstvo nástrojov pre získanie prenosu, spracovanie a grafickú prezentáciu údajov. Tento program samozrejme dokáže komunikovať s meracím zariadením NI USB 6009 prostredníctvom komunikačného rozhrania USB. Takto získané údaje je možné prezentovať v tabuľkovej a grafickej forme a zároveň umožňuje požadovaný export údajov do formátu „csv“. Na základe rozhodnutia využiť programovacie nástroje od firmy Microsoft je zabezpečená aj kompatibilita s operačnými systémami Windows XP, Vista, Win7 a novšími.

4 KALIBRÁCIA MERACIEHO REŤAZCA

4.1 Kalibrácia snímača zaťaženia a tretej sily

Snímače boli zaslané do Českej republiky na odborné preskúšanie funkčnosti Ing. Karolovi Vojtovi. Tu bolo realizované odskúšanie snímačov, kontrola izolačných odporov a v prípade snímača 2 (snímač tlakovej sily) aj kalibrácia. Snímač 1 nebolo možné plnohodnotne sfunkčnúť a bola doporučená výmena za nový. Hlavné údaje z kalibračného protokolu sú uvedené v Tabuľke 3

Tabuľka 3 Hlavné údaje z kalibračného protokolu

Kalibrácia snímača	Snímač 1	Snímač 2
<i>Nulová hodnota</i>	-0,51 mV	-0,24 mV
<i>Nelinearita</i>	0,31 % U _{vj}	0,50% U _{vj}
<i>Zlúčená chyba</i>	-0,17 % U _{vj}	0,63% U _{vj}
<i>Chyba kalibrácie</i>	0,14 % U _{vj}	0,50 % U _{vj}
<i>Vplyv teploty na nulovú hodnotu</i>	0,0041 % U _{vj}	Nie je
<i>Vplyv teploty na signál</i>	0,0018 % U _{vj}	Nie je
Základné merania		
<i>Použitie napájacie napätie</i>	15,2 V	15,2 V
<i>Nulový signál</i>	-0,50 mV	-0,25 mV
<i>Zaťažovacia sila</i>	15,044 kN	0,222 kN
<i>Skutočný výstupný signál</i>	150.48	151.33

4.2 Kalibrácia meracieho reťazca

Bola vykonaná revízia zosilňovacích prvkov Z37, pričom bol určený ich zosilňovací činiteľ. Na základe overenia funkčnosti týchto prvkov a následnom zistení zosilňovacích činiteľov, bolo možné prispôbiť parametre digitalizačnej časti pre zabezpečenie presného merania zaťaženia, tretieho momentu a teploty.

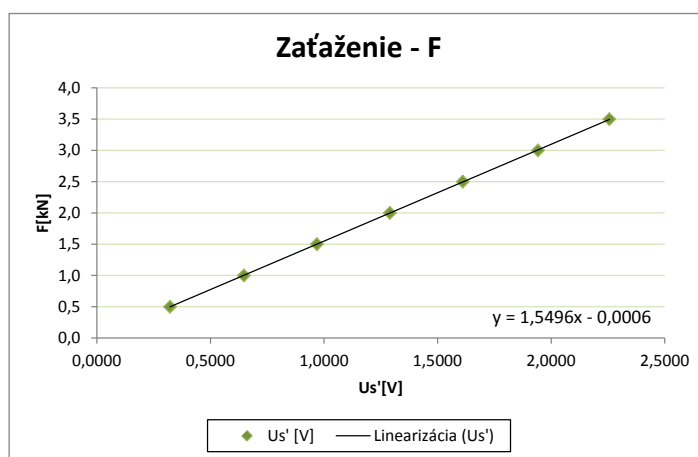
4.2.1 Kalibrácia pre snímač zaťaženia

Pre účely merania zaťaženia bolo nevyhnutné vykonať kalibráciu snímača spolu s jeho príslušným zosilňovačom Z37. Pri meraní bol využitý stolný merací prístroj MXD-4660A Digital Multimeter, ktorý dokáže merať napätia rádovo v milivoltoch s rozlíšením až 10 μ V.

Postupným zvyšovaním sily pôsobiacej na snímač zaťaženia sme zmerali príslušné hodnoty napätí priamo na výstupe snímača (U_s), ale aj na výstupe zosilňovača Z37 (U_s'). Namerané údaje sú uvedené v nasledujúcej tabuľke a sú aj graficky reprezentované v grafickej forme.

Tabuľka 4 Kalibrácia meracieho reťazca pre snímač zaťaženia

F[kN]	U_s [mV]	U_s' [V]	A_u
0,500	5,00	0,3220	64,40
1,000	10,00	0,6473	64,73
1,500	15,00	0,9687	64,58
2,000	20,00	1,2900	64,50
2,500	25,00	1,6111	64,44
3,000	30,00	1,9420	64,73
3,500	35,00	2,2563	64,47
Priemerné zosilnenie $A_u =$			64,55



Obr. 4 – Zaťaženie: Namerané údaje a linearizovaný model

Pomocou linearizácie hodnôt v grafe sme určili rovnicu pre výpočet hodnoty zaťaženia z nameraného napätia na prevodníku USB 6009:

$$F = 1,5496 \cdot U_s' - 0,0006 \text{ kN} \quad (1)$$

U_s – napätie na výstupe snímača

U_s' – napätie na výstupe príslušného zosilňovača

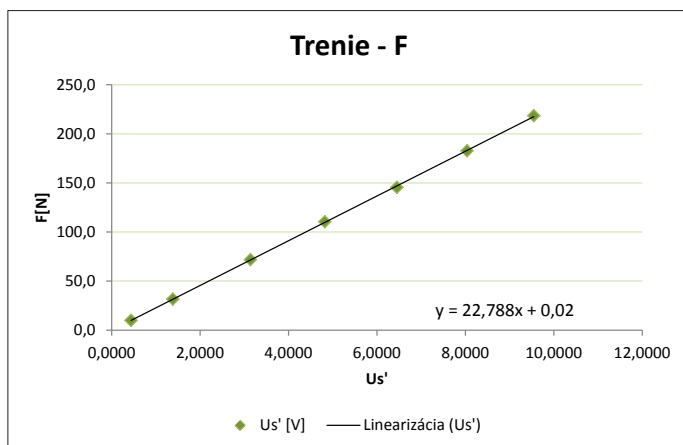
4.2.2 Kalibrácia pre snímač trecej sily

Aby sme dosiahli čo najpresnejší prevod hodnôt trecieho momentu, bolo potrebné vykonať kalibráciu snímača a príslušného zosilňovača Z37. Rovnako ako v prvom prípade aj tu sme použili presný digitálny voltmeter MXD-4660A pre odčítavanie hodnôt napätia na výstupe snímača (U_s) a na výstupe príslušného zosilňovača (U_s').

Postupným zaťažovaním snímača sme simulovali pôsobenie trecích síl. Namerané údaje sú uvedené v tabuľke 5 a ich grafická reprezentácia je uvedená na obr. 5.

Tabuľka 5 Kalibrácia meracieho rezacza pre snímač trecieho momentu

F [N]	U _s [mV]	U _s ' [V]	Au
10,003	6,76	0,4384	64,86
31,642	21,38	1,3852	64,79
71,913	48,59	3,1400	64,62
110,454	74,63	4,8206	64,59
145,543	98,34	6,4528	65,62
182,750	123,48	8,0374	65,09
218,522	147,65	9,5461	64,65
Priemerné Au =			64,89



Obr. 5 – Trecí moment: Namerané údaje a linearizovaný model

Ako výsledok kalibrácie sme získali linearizovanú charakteristiku trecieho momentu, z ktorej sme pre jej výpočet získali nasledujúcu rovnicu:

$$F = 22,788 \cdot U'_s + 0,02 \text{ N} \quad [N] \quad (2)$$

U_s – napätie na výstupe snímača

U_s' – napätie na výstupe príslušného zosilňovača

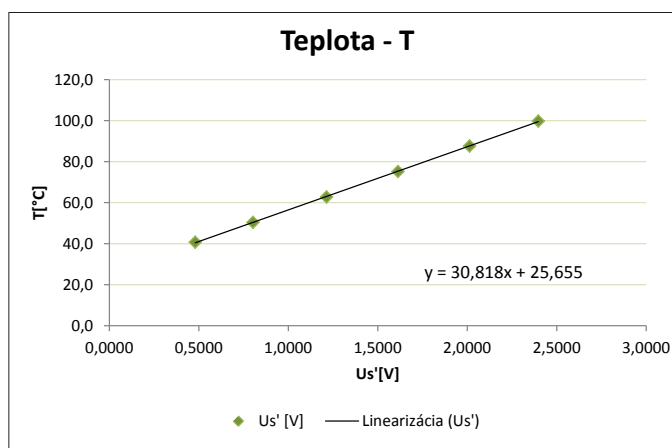
4.2.3 Kalibrácia pre snímač teploty

Postup pri kalibrácii teploty bol podobný ako v predchádzajúcich príkladoch. Opäť sme pomocou presného stolného voltmetra merali napätie na výstupe zo snímača a na výstupe z jeho príslušného zosilňovača Z37. Presné hodnoty teplôt sme určovali pomocou

digitálneho teplomeru HH12A. Výsledky týchto meraní sú uvedené v nasledujúcej tabuľke a graficky reprezentované na obr. 6.

Tabuľka 6 Kalibrácia meracieho rezazca pre snímač teploty

TS[°C]	Us [mV]	Us' [V]	Au
40,700	0,73	0,4800	657,53
50,400	1,23	0,8030	652,85
62,800	1,87	1,2140	650,59
75,200	2,48	1,6130	650,40
87,600	3,09	2,0130	651,25
99,800	3,71	2,3970	646,09
Priemerné zosilnenie Au =			651,45



Obr. 6 – Teplota: Namerané údaje a linearizovaný model

Linearizáciou nameraných hodnôt sme určili rovnicu pre výpočet teploty. Výsledný tvar rovnice je:

$$T = 30,8186 \cdot U'_s + 25,655 \text{ } [^{\circ}\text{C}] \quad (3)$$

U_s – napätie na výstupe snímača

U'_s – napätie na výstupe príslušného zosilňovača

Výsledky kalibrácií a vytvorené linearizované modely boli priamo využité v aplikácii pre PC, v ktorej slúžili na získavanie a prezentáciu presných údajov v reálnom čase.

5 ZÁVER

Celková modernizácia digitalizačnej časti experimentálneho zariadenia Tribotester M86 pozostávala prevažne z výmeny digitalizačného vybavenia za modernejšiu a výkonnejšiu náhradu za účelom merania.

Obnovou snímačov sa dosiahlo presnejšie snímanie údajov. Realizované kalibrácie snímačov určili presnosť snímanej hodnoty, od jednotlivých snímačov.

Vo vytvorenej aplikácii je možné sledovať jednotlivé zložky (prítlačná sila, veľkosť trenia, teplota) samostatne. Obsluha môže selektovať, ktorá z daných veličín sa bude zaznamenávať a ktoré sa uložia.

LITERATÚRA

- [1] NATIONAL INSTRUMENTS CORPORATION. 2012. *NI USB 6008/6009 User guide and Specifications*. USA : National instruments, 2012. 30 strán. Dostupné na internete < <http://digital.ni.com/manuals.nsf/websearch/CE26701AA052E1F0862579AD0053BE19>>
- [2] ZVL – závody na výrobu ložísk koncern, Považská Bystrica, [technický list], m 1986
- [3] KUČERA M., REMPER M., 2009. Čistota viacrozsahového traktorového oleja. IN.: C[2] OYOUS 2009, [3] konferencie mladých vedeckých pracovníkov, 24. března 2009. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, s. 159–166. ISBN 978–80–213–1934–9.
- [4] SEKEREŠ J., TURIS J., 2009. Tribológia ako súčasť návrhu strojných uzlov. TU Zvolen: TU Zvolen, 73 str., ISBN 978-80-228-2089-9

Kontaktná adresa:

Ing. Michal Čmarada¹ – Ing. Mária Remperová² – doc. Ing. Pavel Beňo, PhD.³

¹ Katedra informatiky a automatizačnej techniky a

^{2,3} Katedra mechaniky a strojnictva FEVT

Technická univerzita vo Zvolene

Študentská 26

960 53 Zvolen

BEZKONTAKTNÉ MERANIE GEOMETRICKÝCH ROZMEROV STROJÁRSKYCH SÚČIASTOK V REÁLNOМ ČASE

CONTACTLESS MEASUREMENT OF GEOMETRIC DIMENSIONS OF MACHINE PARTS IN REAL TIME

Michal ČMARADA – Jozef ŠURIANSKY

ABSTRACT: The article deals with the real-time image processing using c++ OpenCV and c# EmguCV libraries. Detailed analysis and testing of implemented methods have been used to propose optimal procedures for working with real time image processing. The result of these experiments is the design of application and procedures for targeting structural elements of machine parts. This application is useful for further testing and evaluation of various techniques of image processing in real time and its deployment in a real environment in the manufacturing process.

Keywords: image processing, element detection, distance measurements, opencv, emguvcv

ABSTRAKT: Článok sa podrobnejšie zaoberá spracovaním obrazu v reálnom čase pomocou c++ OpenCV a c# EmguCV knižníc. Podrobnou analýzou a testovaním jednotlivých metód, boli navrhnuté optimálne postupy pre prácu s obrazom v reálnom čase. Výsledkom pokusov je navrhnutie pôvodnej aplikácie a postupov na zameriavanie konštrukčných prvkov strojárskych súčiastok. Takáto aplikácia je výhodná pre ďalšie testovanie a vyhodnocovanie rôznych techník spracovania obrazu v reálnom čase ako aj jej nasadenie v reálnom prostredí v procese výroby.

Kľúčové slová: spracovanie obrazu, detekcia prvkov, meranie vzdialeností, opencv, emguvcv

1. ÚVOD

Spracovanie obrazu v reálnom čase sa používa v nespočetných odvetviach výroby, preto je na túto oblasť kladených čoraz viac nárokov na výpočtový výkon, ako aj rýchlosť algoritmov. V moderných výrobných systémoch sa výroba neustále zrýchľuje a systémy, ktoré dohliadajú na proces výroby sú často založené na kamerových systémoch. Preto je nevyhnutné, aby tieto systémy zabezpečili spracovanie informácií v reálnom čase.

Nakoľko sa v poslednej dobe toto odvetvie dostáva do popredia, bolo potrebné vyvinúť nové spôsoby spracovania obrazových informácií. Moderné programovacie

jazyky už poskytujú značné množstvo knižníc na prácu s digitálnym obrazom. Nie všetky sú však vhodné aj na prácu s údajmi v reálnom čase. Jednou z týchto knižníc na prácu s digitálnym obrazom v reálnom čase je OpenCV (OpenCV, 2012), pre programovací jazyk c++ a ich mutácia EmguCV (EmguCV, 2012) pre programovací jazyk c#

1.1 OpenCV

Vznik týchto knižníc sa datuje do roku 1999 a ich vývojom sa zaoberala firma Intel. Aj keď pôvodne boli tieto knižnice písané v programovacom jazyku c, v roku 2009 boli prepísané do jazyka c++. V súčasnosti obsahujú viac ako 2500 optimalizovaných funkcií a sú dostupné vo viacerých programovacích jazykoch a viacerých operačných systémoch vrátane mobilných platforiem. Na ich základe bolo postavených nespočetne veľa rozširujúcich knižníc na prácu s počítačovým videním, implementáciu v robotických systémoch, detekciu a rozpoznávanie tváří a objektov, 2D a 3D spracovanie obrazu a mnoho ďalších.

1.2 EmguCV

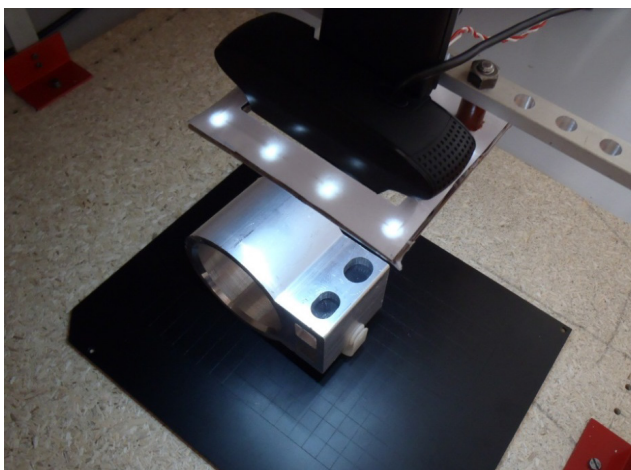
Je multiplatformový nástroj, ktorý slúži na zaobalenie OpenCV knižníc do prostredia „.NET“. To zahŕňa podporu pre viacero programovacích jazykov (C#, VB, VC++, Iron-Python...) a viacero operačných systémov (Windows, Linux, Mac OS X, iOS a Android). Poskytuje tie isté funkcie ako OpenCV a pridáva niektoré nástroje na jednoduchšiu tvorbu grafického rozhrania.

2. HARDVÉROVÝ MODEL EXPERIMENTÁLNEJ ZOSTAVY

Tento model pozostáva z kamery Logitech HD ProWebcam C920, ktorá umožňuje snímať video vo FullHD rozlíšení s frekvenciou maximálne 30 snímok/s. Kamera obsahuje možnosť automatického a manuálneho zaostrovania, preto je možné nasnímať požadovaný objekt aj z malej vzdialenosti.

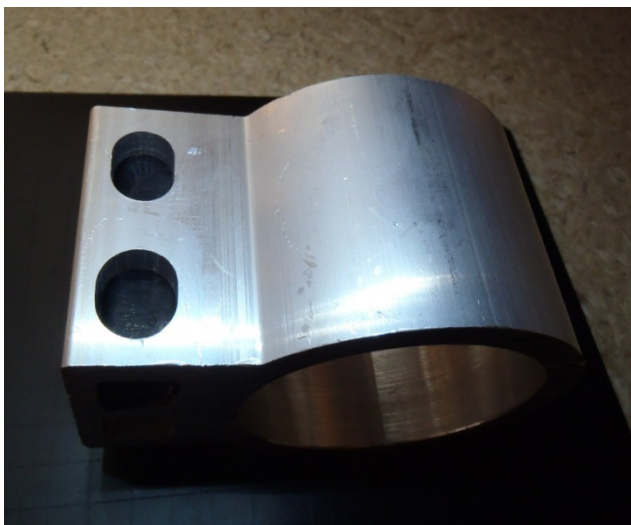
Kamera je umiestnená kolmo nad skenovaným objektom, pričom tento objekt je umiestnený na čiernej podložke (má napodobniť dopravníkový pás) (Obrázok 1). Vzdialenosť kamery od objektu je možné meniť v rozmedzí 5 až 15 cm. Okolo kamery sú umiestnené LED diódy, ktoré slúžia na osvetlenie snímaného objektu. Intenzitu osvetlenia je možné upravovať pomocou nastaviteľného zdroja pre LED (LED driver).

Prítomnosť osvetlenia je nevyhnutná pri snímaní obrazu, z dôvodu potlačenia tieňov a iných rušivých elementov z nasnímaného digitálneho obrazu. Regulácia jasu zabezpečí potrebnú korekciu svetelných podmienok za účelom čo najvyššej možnej kvality získaného obrazu a následné rozpoznávanie prvkov v obraze.



Obrázok 1 – Hardvérový model testovacej zostavy

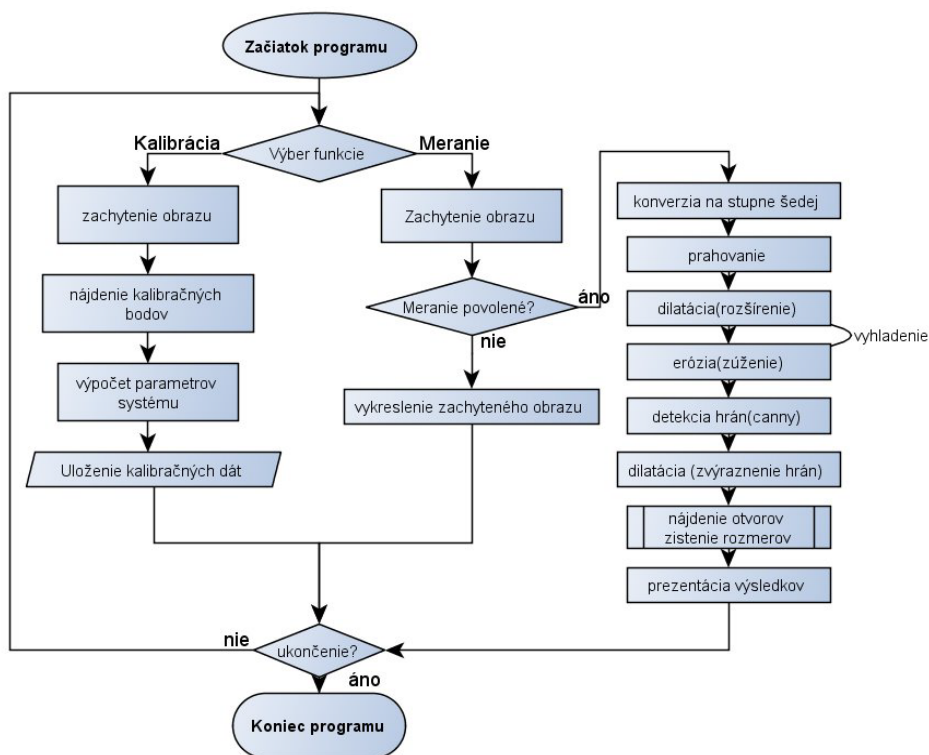
Skenovaný objekt predstavuje strojársku súčiastku (Obrázok 2) po základnom opravovaní. Jej rozmery sú 10,5 cm × 5,6 cm × 8 cm. Súčiastka je vyrobená z hliníka a jej povrch nebol nijakým spôsobom upravovaný. Súčiastka obsahuje niekoľko frézovaných otvorov, ktoré musia spĺňať určité výrobné parametre.



Obrázok 2 – Strojárska súčiastka

3 SOFTVÉROVÉ VYBAVENIE

Na základe požiadaviek v kapitole 4.1, bolo za pomoci vývojového prostredia Microsoft Visual studio 2010 (Microsoft, 2012) a programovacieho jazyka c# vytvorené experimentálne softvérové vybavenie pre účely testovania rôznych metód predspracovania a spracovania digitálneho obrazu zachytávaného v reálnom čase ako aj následné vyhodnotenie nameraných údajov. Základný princíp funkčnosti softvérového vybavenia je znázornený pomocou vývojového diagramu (Obrázok 3).



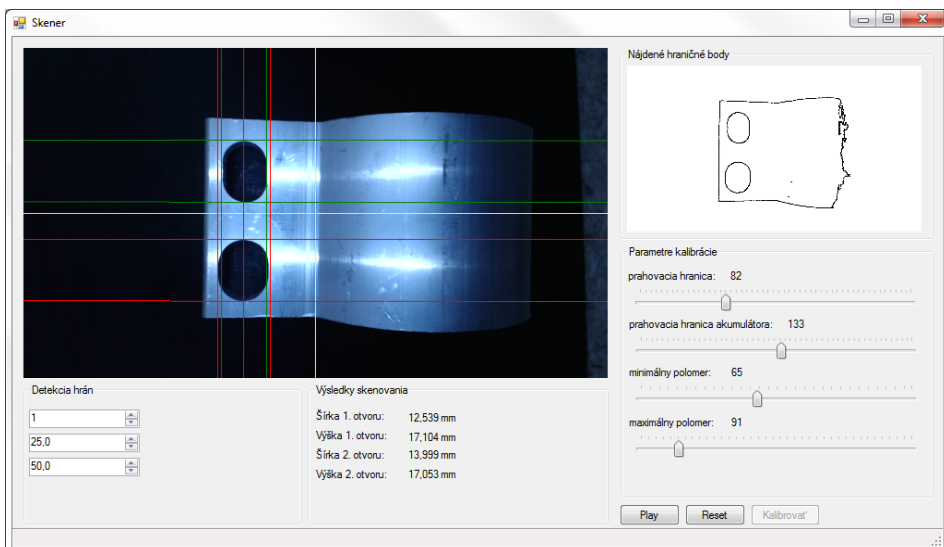
Obrázok 3 – Vývojový diagram

Program bol vytvorený v programovacom jazyku c# a využíva knižnice EmguCV a OpenCV pre prácu s počítačovým videním. Program je rozdelený do dvoch vetiev. Po vykonaní úvodnej kalibrácie sa implicitne vykonáva funkcia merania rozmerov konštrukčných otvorov. Kalibrácia slúži na zistenie parametrov systému. Pri kalibrácii sa využíva model s vytlačeným vzorom a známymi vzdialenosťami bodov (Obrázok 4), pomocou ktorých sú následne prepočítané parametre systému. Druhá časť programu slúži na prezentáciu výsledkov.



Obrázok 4 – Kalibračná doštička nasnímaná kamerou

Okno aplikácie (Obrázok 5) je rozdelené na dve hlavné časti. Na ľavej strane sa nachádza náhľad videa v reálnom čase, spolu so zameranými konštrukčnými otvormi, pomocnými osami a v spodnej časti aj s nameranými parametrami otvorov. Na pravej strane sa nachádza okno, na ktorom sa zobrazujú rozpoznané hrany objektu a panel s parametrami pre kalibráciu systému. V spodnej časti okna sa nachádzajú aj ovládacie tlačidlá, ktoré slúžia na spustenie/pozastavenie snímania, resetovanie systému a kalibráciu systému.



Obrázok 5 – Softvérové vybavenie

4 EXPERIMENT

4.1 Kritérium testovania

Pri výrobe tejto konkrétnej súčiastky je potrebné, aby otvory na ľavej strane súčiastky (Obrázok 2) boli súosové a rozmery týchto otvorov musia byť v prípustnej tolerancii. Presné rozmery otvorov sú uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1 – Presné rozmery konštrukčných otvorov

	Otvor č. 1	Otvor č. 2
Výška otvoru	17,1 mm	17,1 mm
Šírka otvoru	12,4 mm	14,1 mm

Kritérium na optický systém je určenie polohy, súosovosti a rozmerov otvorov skenovanej súčiastky s presnosťou $\pm 0,1$ mm. Ďalším kritériom je snímanie, spracovanie a vyhodnocovanie digitálneho obrazu v reálnom čase. Snímanie v reálnom čase v tomto prípade znamená, že dopravné oneskorenie by nemalo presiahnuť hodnotu 250 ms.

4.2 Spracovanie obrazu v reálnom čase

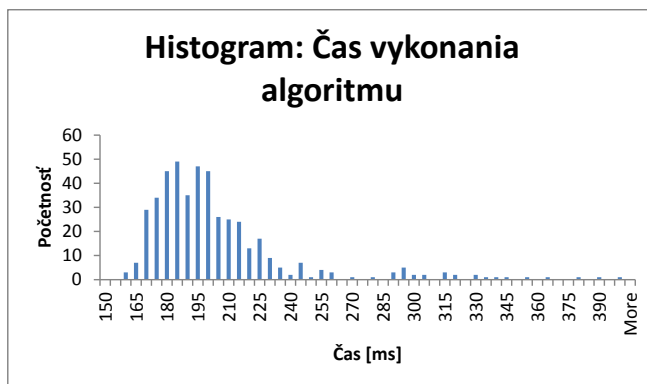
Pri vyhodnocovaní systému z hľadiska spracovania údajov v reálnom čase, bol do algoritmu implementovaný systém na meranie času potrebného na spracovanie jednej snímky. Následne bolo vykonaných 500 meraní, ktoré slúžili na zistenie času potrebného na vykonanie jedného merania. Výsledky tohto merania je možné vidieť v tabuľke 2 prípadne na histograme (Obrázok 6).

Tabuľka 2 – Čas vykonania algoritmu

Priemerný čas merania	202,1 ms
Maximálna hodnota	398,0 ms
Minimálna hodnota	156,0 ms
Medián	193,0 ms
Smerodajná odchýlka	36,6 ms

Ako vyplýva z histogramu (Obrázok 6), väčšina hodnôt dopravného oneskorenia sa pohybovala pod hodnotou 200 ms. Táto hodnota predstavuje pri snímkovacej frekvencii 25 obrázkov za sekundu oneskorenie 5 obrázkov za sekundu. Takéto malé dopravné oneskorenie je takmer nepostrehnuteľné a zároveň spĺňa navrhované kritériá, preto je možné považovať tento systém za systém merania v reálnom čase.

Keďže bol systém testovaný na prenosnom počítači (2,8 Ghz dvojjadrový procesor, 4GB RAM), môžeme pri použití moderných výpočtových prostriedkov predpokladať aj niekoľko násobné zlepšenie výkonu a skrátenie času spracovania (minimálne na polovicu).



Obrázok 6 – Histogram: Čas vykonania algoritmu

4.3 Priebeh experimentu

Počas experimentu bolo vykonaných 10 meraní rozmerov tej istej súčiastky v rôznych polohách a pri rôznej intenzite osvetlenia, aby sa simulovali podmienky v reálnom prostredí. Na základe týchto meraní bola vyhodnotená presnosť skenovacieho systému a boli navrhnuté postupy pre dodatočné vylepšenie systému.

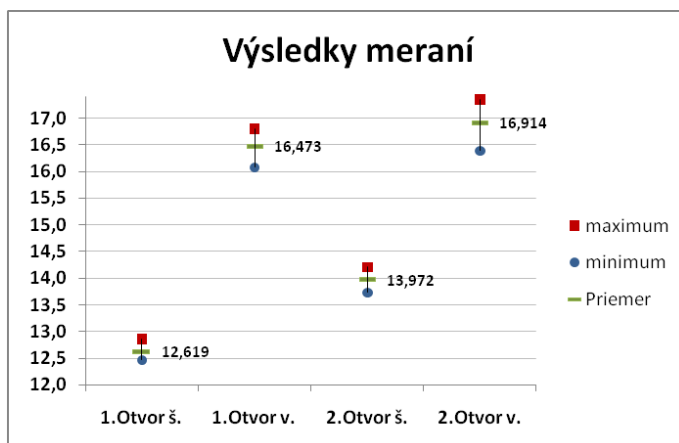
Kritérium spracovania digitálneho obrazu v reálnom čase bolo splnené už pri návrhu systému (kapitola 4.2), kde sa použili optimalizované a len nevyhnutné algoritmy na predspracovanie a vyhodnotenie obrazu. Medzi tieto algoritmy patria ekvalizácia obrazu, morfológické operácie dilatácia a erózia (Acharya, 2005) (Gonzalez, 2003) a v konečnej fáze detekcia hrán, zameriavanie objektov v obraze a grafické vykresľovanie výsledkov. Kritérium súosovosti je vyhodnocované graficky.

4.4 Výsledky experimentu

Výsledky jednotlivých meraní sú uvedené v nasledujúcej tabuľke (Tabuľka 3), pričom boli porovnané s reálnymi rozmermi otvorov strojárskej súčiastky (Tabuľka 1). Pre názornejšie zobrazenie sú výsledky zobrazené aj graficky (Obrázok 7). Na tomto grafe je možné vidieť priemerné namerané rozmery konštrukčných otvorov ako aj ich minimálne a maximálne hodnoty.

Tabulka 3 – Výsledky meraní

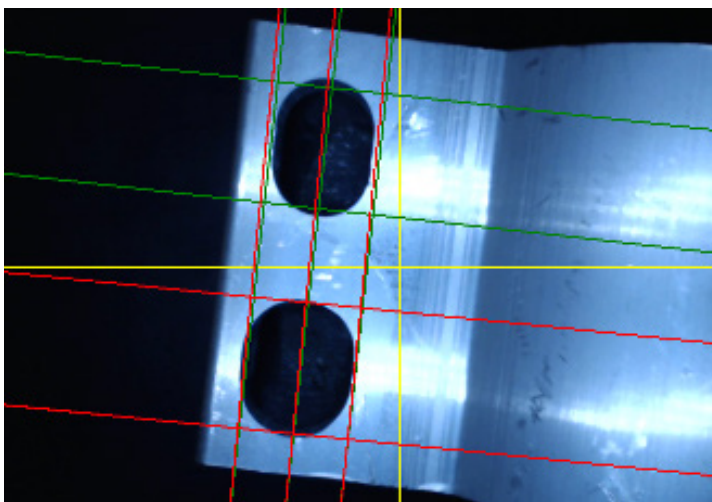
p.č.	Rozmery [mm]				Odchýlka [%]			
	1. otvor		2. otvor		1. otvor		2. otvor	
	v	š	v	š	v	š	v	š
1	16,800	12,571	17,298	13,869	-1,75%	1,38%	1,16%	-1,64%
2	16,640	12,545	16,959	13,951	-2,69%	1,17%	-0,82%	-1,06%
3	16,543	12,702	17,024	14,017	-3,26%	2,44%	-0,44%	-0,59%
4	16,352	12,622	16,792	13,753	-4,37%	1,79%	-1,80%	-2,46%
5	16,365	12,635	17,351	13,911	-4,30%	1,90%	1,47%	-1,34%
6	16,714	12,485	16,457	14,083	-2,26%	0,69%	-3,76%	-0,12%
7	16,649	12,473	16,581	14,207	-2,64%	0,59%	-3,04%	0,76%
8	16,081	12,692	16,386	13,735	-5,96%	2,35%	-4,18%	-2,59%
9	16,292	12,600	17,113	14,200	-4,73%	1,61%	0,08%	0,71%
10	16,290	12,861	17,180	13,992	-4,74%	3,72%	0,47%	-0,77%
priemer	16,372	12,618	16,914	13,971	-3,67%	1,76%	-1,09%	-0,91%



Obrázok 7 – Grafické zobrazenie výsledkov meraní

4.5 Vyhodnotenie meraní

Z grafu aj tabuľky je vidieť, že priemerná chyba systému sa pohybovala okolo $\pm 1\%$, pričom najväčšiu chybovosť do výsledkov zanášala výška prvého konštrukčného otvoru (3,76% v priemere). To bolo spôsobené nesprávnym zameraním výšky otvoru (Obrázok 8) pri detekcii hrán v niekoľkých prípadoch merania.



Obrázok 8 – Nesprávne zameranie 1. Otvoru (meranie č. 8)

Podobný problém sa vyskytoval aj pri meraní výšky druhého otvoru, tam však táto chyba bola omnoho nižšia (1,76 % v priemere). Naopak pri zisťovaní šírky konštrukčných otvorov sa vyskytovali chyby v priemere 1%. K menšej chybovosti pri zameriavaní šírky otvorov prispeli hlavne dlhšie bočné hrany otvorov, ktoré dopomohli k ich jednoduchšiemu zameriavaníu.

Z hľadiska reálnych rozmerov súčiastky táto chyba predstavuje približne 0,2 mm a teda presnosť tohto systému je $\pm 0,2\text{mm}$ pri meraní rozmerov konštrukčných otvorov. Požiadavkou však bolo, aby presnosť systému bola $\pm 0,1\text{mm}$. Aby bolo možné dosiahnuť vyššiu presnosť, je potrebné upraviť snímacie zariadenie pridaním viacerých zdrojov osvetlenia s nižšou intenzitou. Rovnomernejšie osvetlenie prispeje k vyššej kvalite nasnímaného obrazu a teda aj k presnejšej detekcii hrán objektov. Takisto je možné zmenšiť vzdialenosť kamery od snímaného objektu, čím dosiahneme vyššieho rozlíšenia prepočítaného na 1mm.

5 ZÁVER

Výhodou systému je, že dokáže pracovať s obrazom v reálnom čase, čo bolo preukázané v kapitole 4.2 po vykonaní merania času potrebného na spracovanie vstupného obrazu. Výsledky potvrdili, že výstupné údaje po spracovaní obrazu je možné dostať s dopravným oneskorením v priemere pod 200 ms od zachytenia snímky kamerou.

Presnosť systému v experimente dosiahla hodnotu $\pm 0,2$ mm a priemerná odchýlka skutočnej od nameranej hodnoty bola v priemere $\pm 1\%$. Napriek tomu že nebola dosiahnutá požadovaná presnosť $\pm 0,1\text{mm}$, je možné systém vylepšiť menšou úpravou a dosiahnuť tak niekoľko násobne lepších výsledkov s presnosťou rádovo aj v stotínach milimetra. To je možné zabezpečiť hlavne rovnomernejším rozložením osvetlenia, priblížením kamery ku skenovanému objektu a doladením parametrov detekcie hrán, prípadne použitím kamery s vyšším rozlíšením a podobne.

Ďalšou výhodou navrhnutého meracieho systému je jeho cena. Ako snímacie zariadenie bola použitá kvalitnejšia FullHD kamera s pripojením cez USB, ktorá je v porovnaní s priemyselnými kamerami niekoľko násobne lacnejšia. Napriek tomu však boli dosiahnuté priaznivé výsledky a presnosť systému je v určitých odvetviach výroby už teraz postačujúca, no napriek tomu je možné ju ešte zvýšiť. Jedná sa teda o účinné a lacné riešenie, ktoré je možné nasadiť vo výrobných systémoch.

LITERATÚRA

- ACHARYA, T., RAY, A. K. : 2005. *Image processing: principles and applications*, New Jersey: John Wiley and Sons, 2005,452 ISBN 9780471719984.
- EMGUCV: 2012. *Online documentation*. Online: <<http://www.emgu.com/wiki/index.php/Documentation/>>
- GONZALEZ, R. C, WOODS, R. E., EDDINS, S. L.: 2003. *Digital Image processing using MATLAB*. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2003, 609. ISBN 0130085197
- MICROSOFT: 2012. *Visual Studio 2010 – Online product documentation*. Online: <[http://msdn.microsoft.com/query/dev10.query?appId=Dev10IDEF1&l=EN-US&k=k\(MSDNSTART\)&rd=true](http://msdn.microsoft.com/query/dev10.query?appId=Dev10IDEF1&l=EN-US&k=k(MSDNSTART)&rd=true)>
- OPENCV: 2012. *OpenCV 2.4.3 documentation*. Online: <<http://docs.opencv.org/>>

Kontaktná adresa:

Ing. Michal Čmarada

Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky

Študentská 26, 960 53 Zvolen, Slovenská republika

e-mail: xcmarada@is.tuzvo.sk

prof. Ing. Jozef Šuriansky, CSc.,

Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky

Študentská 26, 960 53 Zvolen, Slovenská republika

e-mail: surian@vsld.tuzvo.sk

POROVNANIE TEORETICKÝCH A EXPERIMENTÁLNYCH HODNÔT VLASTNÝCH FREKVENCÍ PÍLOVÉHO KOTÚČA

COMPARISON OF THEORETICAL AND EXPERIMENTAL VALUES OF NATURAL FREQUENCIES OF CIRCULAR SAW BLADE

Adam DROBA– Dušan PAULÍNÝ – Ján SVOREŇ

Abstrakt. Dnešným trendom v oblasti spracovania dreva kotúčovými pílamí je zvyšovanie reznej rýchlosti za účelom zlepšenia kvality a drsnosti povrchu, zvýšenia presnosti rezania. Dosiagnutím priameho rezu je zabezpečená geometrická presnosť obrobku a znižuje sa odpad materiálu vo forme pilín. V procese rezania pri vysokých otáčkach dochádza ku kmitaniu v pílovom kotúči, čo vedie k jeho nestabilite. Redukcia amplitúdy kmitania je nevyhnutná pre odstránenie nežiaducich účinkov kmitania pílového kotúča. V tomto článku sú zhrnuté výsledky experimentálnych meraní a vypočítaných hodnôt vlastných frekvencií pílového kotúča s priemerom 350 mm a počtom zubov 36. Výpočty boli uskutočnené na školskej verzii programu Creo/Elements 1.0 a experimentálne merania na meracej aparátúre. Výsledky oboch metód boli navzájom porovnané.

Kľúčové slová: Creo/Elements, pílový kotúč, vlastné uhlové frekvencie, kritické otáčky

Abstract. Current trends in area of woodworking industry with circular saws is increasing of the cutting speed in order to improve the quality of surface roughness, increase the accuracy of cutting with consideration to achieve a direct cut, ensuring geometric accuracy of the workpiece and reduces the waste of material in the form of sawdust. The sawing with high cutting speed resulting in the saw blade vibration, which can lead to instability of saw disc. The reduction of oscillation amplitude is required to remove undesired effects of circular saw blade oscillation. In this paper are summarized results of measurements of natural frequencies and computed values on circular saw blade with diameter of 350 mm and number of teeth 36. The computations were done by software Creo/Elements Simulation 1.0 and measurements were done on measuring apparatuses showed below. Results of both methods have been compared.

Key words: circular saw blade, natural frequencies, critical rotation speed, Creo/Elements

1 ÚVOD

V súčasnosti je možné nájsť mnoho rozličných zariadení na spracovanie dreva a materiálov na báze dreva v drevárskom priemysle. Medzi takéto najpoužívanejšie

zariadenia patria kotúčové píly, ktorých reznými nástrojmi sú pílové kotúče rôzneho konštrukčného vyhotovenia. Dnešným trendom v oblasti spracovania dreva kotúčovými pílamami je zvyšovanie otáčok za účelom zlepšenia kvality a drsnosti povrchu, zvýšenia presnosti rezania. Dosiahnutím priameho rezu je zabezpečená geometrická presnosť obrobku a znižuje sa odpad materiálu vo forme pilín. V procese rezania pri vysokých otáčkach vznikajú vibrácie v pílovom kotúči, čo vedie k jeho nestabilite. Redukcia amplitúdy kmitania je nevyhnutná pre odstránenie nežiaducich účinkov kmitania pílového kotúča (Svoren, 2002). Od vlastných uhlových frekvencií sa ďalej odvíjajú hodnoty kritických otáčok pílového kotúča. Vlastné uhlové frekvencie pílového kotúča je možné vyjadriť podľa (Strzelecki, 1974) na základe rovnice (len v prípade ak sa jedná o plný pílový kotúč):

$$f_{st} = \kappa_{k(\alpha)} \frac{a}{D^2} \sqrt{\frac{E}{3 \cdot \rho \cdot (1 - \nu^2)}} \quad [\text{Hz}] \quad (1)$$

$\kappa_{k(\alpha)}$ – koeficient tvaru kmitania, upínacieho pomeru a vnútorného napätia pílového kotúča
 E – Youngov modul pružnosti
 ρ – hustota materiálu pílového kotúča
 ν – Poissonovo číslo
 a – hrúbka tela pílového kotúča
 D – priemer pílového kotúča

Príčinami kmitania pílového kotúča pri rotácii sú najmä nerovnomerná hrúbka tela pílového kotúča (nerovnomerné rozloženie hmoty), vnútorné napätie v pílovom kotúči, ako aj presnosť upnutia na pracovnom hriadelí. Kmitanie však nemusí vznikáť len od pílového kotúča, ale môže vznikáť aj od iných častí pracovného zariadenia (stroja). V praxi to znamená, že ak dochádza ku kmitaniu stroja prípadne jeho jedného alebo viacerých prvkov (ložisko, hriadeľ atď.), dochádza ku kmitaniu celého systému, čiže aj samotného pílového kotúča. Kmitanie týchto prvkov je veľmi nežiaduci stav, pretože keď frekvencia kmitania stroja (jeho častí) dosiahne hodnotu zodpovedajúcu frekvencii vlastného kmitania pílového kotúča, vzniká rezonancia (Braun, 2002).

Kritické otáčky pílového kotúča sú otáčky, pri ktorých dochádza k jeho veľkému rozkmitaniu, ktoré je sprevádzané nadmerným dynamickým zaťažením (Javorek, 2006). Toto kmitanie je popísané dvomi pohybujúcimi sa vlnami, ktoré sa pohybujú opačným smerom voči sebe (dopredu postupujúca vlna a dozadu postupujúca vlna). Tieto vlny je možné popísať rovnicami (2, 3). Bolo dokázané, že keď sa frekvencia dozadu postupujúcej vlny rovná približne nule, kmitanie kotúča rapídne narastá a tento stav sa nazýva kritickými otáčkami, ktoré môžeme matematicky vyjadriť rovnicou (4).

$$\text{Rovnica dopredu postupujúcej vlny:} \quad f_1 = f_{dyn(n)} + \frac{k \cdot n}{60} \quad [\text{Hz}] \quad (2)$$

$$\text{Rovnica dozadu postupujúcej vlny:} \quad f_2 = f_{dyn(n)} - \frac{k \cdot n}{60} \quad [\text{Hz}] \quad (3)$$

$$\text{Rovnica pre výpočet kritických otáčok:} \quad n_k = \frac{60 \cdot f_{stat}}{\sqrt{k^2 - \lambda}} \quad [\text{Hz}] \quad (4)$$

k – počet uzlových priemerov ($k=1,2,3,4,5\dots$)
 n – počet otáčok pílového kotúča

f_{stat} – vlastná uhlová frekvencia kmitov pílového kotúča, t. j. keď $n = 0$

λ – koeficient odstredivej sily

$f_{dyn(n)}$ – dynamická frekvencia vlastných kmitov pílového kotúča

n_k – kritické otáčky pílového kotúča

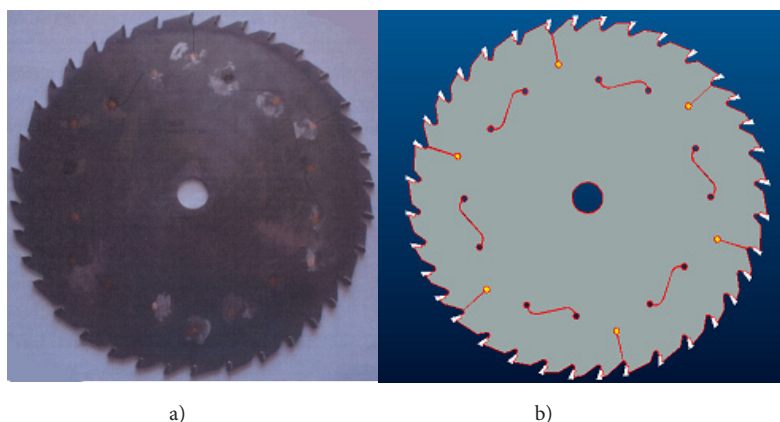
Vo všeobecnosti sa pre zníženie amplitúdy kmitov pílových kotúčov používajú nasledujúce metódy:

- zvyšovanie tuhosti pílového kotúča valcovaním,
- voľba vhodnej konštrukcie pílového kotúča (sendvičové pílové kotúče, materiál tela kotúča zo zliatin), ktorá tlmí kmitanie,
- vhodná úprava tela pílového kotúča (drážky rôznych tvarov).

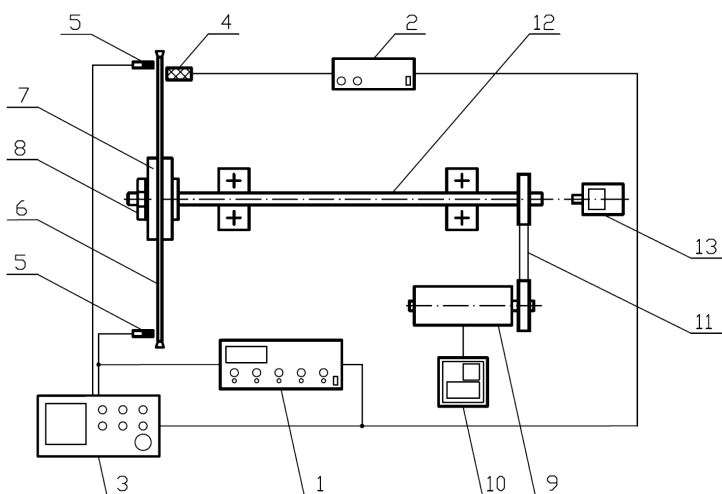
Výskum zameraný na kmitanie pílových kotúčov a kritických otáčok je predmetom záujmu viacerých vedeckých prác. Experimentálnymi metódami kmitania pílových kotúčov sa zaoberali (Mote 1965; Pahlitzsch a Rowinski, 1966; Stachiev, 1970; Strzelecki, 1974; Schajer, 1984; Yu a Mote, 1987; Siklienka a Svoreň, 1997; Stachiev, 2000; Orłowski a kol., 2007; Veselý a kol., 2012). Práce venujúce sa problematike aplikácie metódy konečných prvkov pri riešení kmitania pílových kotúčov boli oblasťou výskumu týchto autorov (Gogu 1988; Münz, 1981; Michna a Svoreň, 2007; Ekevad a kol., 2009). Analytickému riešeniu za pomoci Besselových funkcií sa venovali (Southwell, 1922; Kirshoff, 1982). Aj napriek veľkému množstvu prác nie je doteraz známa metóda, ktorú by bolo možné považovať za východiskovú a porovnávaciu metódu.

2 MATERIÁL A METÓDY

Pre teoretickú analýzu bol použitý softvér Creo/Elements Simulation 1.0, s ktorým je možné vytvoriť modálnu analýzu, statickú aj dynamickú. V tomto článku sa venujeme iba statickej analýze. Pre experimentálne merania bola použitá meracia aparátúra, schematicky zobrazená na (Obr. 1).



Obrázok 1 Pílový kotúč a) reálny pílový kotúč použitý pre experiment, b) model pílového kotúča pre MKP



Obrázok 2 Meracia aparatúra – (1 – generátor signálu, 2 – zosilňovač, 3 – digitálny osciloskop, 4 – elektromagnetický budič, 5 – snímače kmitania, 6 – pílový kotúč, 7 – príruby, 8 – matica, 9 – elektromotor, 10 – frekvenčný menič, 11 – prevod s klinovým remeňom, 12 – hriadeľ, 13 – bezkontaktný otáčkomer)

Telo pílového kotúča (Obr. 1a, 1b) bolo upravené na základe výsledkov publikovaných prác (Svoreň a Naščák, 1997; Svoreň, 2011). Použitie takéhoto typu drážok spôsobuje posun hranice kritických otáčok, čo umožnilo použiť vyššie pracovné otáčky pílového kotúča.

Pílový kotúč mal nerovnomerný rozstup zubov opakujúci sa po 1/6 svojho obvodu. V tele boli vyrezané dilatčné radiálne drážky rozmiestnené po obvodu a drážky tvaru „S“. Všetky drážky boli ukončené medenými nitmi. Ďalšie parametre kotúča sú v (Tab. 1).

Tabuľka 1 Parametre pílového kotúča

Parametre PK	
Priemer PK [mm]	350
Hrúbka PK [mm]	2,4
Počet zubov	36
Priemer upínacej diery [mm]	30
Výška zuba [mm]	13
Rozstup zubov [mm]	nerovnomerný

Pre určenie teoretických hodnôt vlastných frekvencií pílového kotúča bol použitý program Creo/Elements Simulation 1.0, ktorý umožňuje vytváranie statických modálnych analýz. Pri modálnych analýzach bol použitý model pílového kotúča (Obr. 1b), ktorý bol presnou kópiou pílového kotúča pre experimentálne merania a bol vytvorený podľa výrobného výkresu s definovanými podmienkami (materiál, veľkosť upínacích prírub, atď.). Pri experimentálnej metóde merania bola použitá meracia aparatúra, ktorej detail

je vidieť na (Obr. 3). Meracia aparatúra bola zhotovená na Katedre drevárskych strojov a zariadení FEVT – TU vo Zvolene.



Obrázok 3 Detail meracej aparatúry

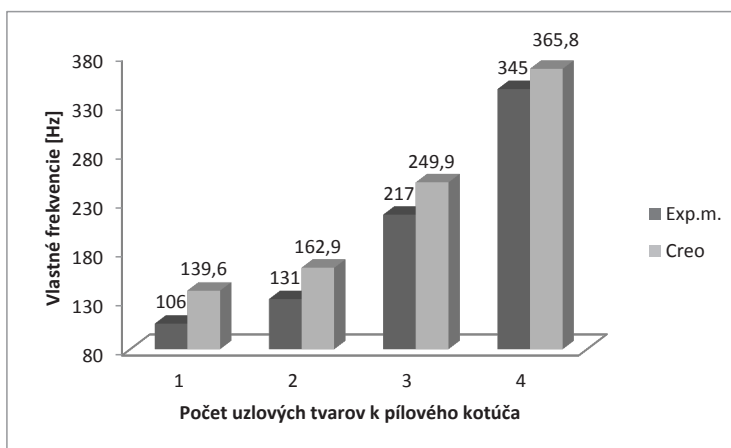
3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Hodnoty vlastných uhlových frekvencií získané experimentálnymi meraniami a modálnou analýzou sú prezentované na (Obr. 4). Zo získaných hodnôt vyplývajú nasledovné závery:

- Z pozorovaných výsledkov vyplýva, že hodnoty získané počítačovým softvérom (modálna analýza) sú vyššie ako experimentálne namerané. Tabuľka 2 udáva percentuálny rozdiel vlastných frekvencií pre každý uzlový priemer $k = 1, 2, 3, 4$. Dobrá zhoda výsledkov je pre $k = 3$ a $k = 4$, ktoré sú pre nás zaujímavé.

Tabuľka 2 Percentuálny rozdiel vypočítaných a nameraných vlastných frekvencií (modálna analýza/experiment)

k	1	2	3	4
%	24,1	19,6	13,2	5,7



Obrázok 4 Namerané a vypočítané vlastné frekvencie pre prvé štyri vlastné tvary pílového kotúča

- Presnosť výsledných hodnôt z modálnej analýzy je ovplyvnená voľbou „meshovacej siete“.
- Pri porovnaní hodnôt vlastných uzlových frekvencií oboch metód treba brať do úvahy, že pri modálnej analýze počítačovým softvérom sa počítalo s predvolenými hodnotami modulu pružnosti, ktoré nemusia odpovedať presným hodnotám daného materiálu tela pílového kotúča (sú v určitom rozmedzí).

ZÁVER

Počítačové softvéry v dnešnej dobe umožňujú relatívne presne simulovať správanie sa skúmaných javov v reálnych podmienkach prevádzky. Pri výskume boli zisťované vlastné frekvencie pílového kotúča. Malý rozdiel vo výsledkoch nameraných a vypočítaných vlastných frekvencií umožňuje vypočítané výsledky považovať za smerodajné pri návrhu konštrukcie pílového kotúča a tým ušetriť čas a výdavky na jeho výrobu ako aj samotné experimentálne meranie. Tieto softvéry nám teda poskytujú prvotné informácie o tom akým smerom sa majú uberať zmeny v experimente, ktoré môžeme vykonať pomocou jednoduchých úprav namodelovaného pílového kotúča.

LITERATÚRA

- EKEVAD, M.; CRISTOVAO, L.; GRÖNLUND, A.: 2009. Different methods for monitoring flatness and tensioning in circular – saw blades. In: *Proceedings 19th International Wood Machining Seminar, Nanjing, 21.–23. October 2009*, p. 121–131, Faculty of Wood Science and Technology, Nanjing Forestry University, 21 037 Jiangsu, China.
- GOGU, G.: 1988. Berechnung der Eigenfrequenzen von Kreissägeblättern mit der Finite-Element-Methode. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 46, 1988, č. 3, s. 91–100.

- JAVOREK, L.: Nástroje, časť 1, Zvolen: TU, 2006, 167 s., ISBN 978-80-228-1714-1
- KIRSHOFF, G. R.: 1982. Gesammelte Abhandlungen. Leipzig, 237–285.
- KAZIMIERZ, O., SANDAK, J., TANAKA, Ch.: 2007. The critical rotational speed of circular saw: simple measurement method and its practical implementations, *Journal of Wood Science* 53: 388–393.
- MICHNA, S., SVOREŇ, J.: 2007. Application of CAD, CAE with FEM for estimation ranges of values of critical rotational speed of Circular saw blades. *Acta facultatis Technicae*, 9(1), 201–206.
- MOTE, C. D.: 1965. Free Vibration of Initially Stressed Circular Disk. *Journal of Engineering for Industry*, 5, 1965, s. 258–264.
- MÜNZ, V. V.: 1981. Richtiges Vorspannen von Kreissägeblättern. *Holz – und Kunststoffverarbeitung*, 16, 1981, č. 2, s. 142–148.
- ORLOWSKI, K., SANDAK, J.: 2005. Measurement of critical rotation speed of circular saw, COSTA Action E35, Rosenheim Workshop, 2005, Rosenheim, Germany, 9 s.
- PAHLITZSCH, G.; ROWINSKI, B.: 1966. Über der Swingungsverhalten von Kreissägeblättern. 2. Mitteilung: Ermittlung und Auskungen der Kritischen Drehzahlen und Eigen frequenzen der Sägeblätter. *Holz als Roh – und Werkstoff*, 24, 1966, č. 8, s. 341–346.
- SIKLIENKA, M.– SVOREŇ, J.: Frekvencie vlastných tvarov kmitov pílových kotúčov pristicom kmitaní. *Vedecké štúdie 10/1997/A*, ES TU Zvolen, 1998, 51 s. ISBN 80-228-0686-2.
- STACHIEV, J. M.: 1970. Rezonansnyje kolebanija diskovykh pil. *Izv. VUZ, Lesnoj žurnal*, 13, 1970, č. 5, s. 78–84.
- SVOREŇ, J.: 2011. The analysis of the effect of the number o teeth of the circular-sawblade on the critical rotation speed, In: 4th International Scientific Conference – WOODWORKING TECHNIQUE, 2011, Prague, Czech Republics. p. 306–313. ISBN 978-80-213-2182-3.
- SVOREŇ, J.; NAŠČÁK, L.: 1997. Vplyv drážok tela pílových kotúčov na rezonančné a kritické otáčky. *Acta Facultatis Technicae*, 1, 1997, č. 1, s. 9–99. ISBN 80-228-0706-0
- SVOREŇ, J.: 2002. Experimentálne určenie vlastného tvaru kmitania pílového kotúča pri rezaní. In: *Acta facultatis technicae – FEVT TU Zvolen*, 6, 2002, č. 1, s. 99–105. ISBN 80-228-1256-2.
- SOUTHWELLER, R. V.: 1922. On the free transverse vibrations of a inform circular disc clamped at its centre, and on the effects of rotation. *Proceedings of the Royal Society of London, Series A* 101.
- VESELÝ, P. a kol.: 2012. Diagnostics of Circular Saw Blade Vibration by Displacement Sensors. (Dijagnostika vibracija lista kružne pile u zpomócdavač apomaka). *Izdavač Šumarski fakultet Sveučilišta, Zagreb, Drvna Industrija*, 63 (2), 2012, pp. 81–86. ISSN 1847–1153.
- ZHAO-HAO, Z., YING-JIE, Q.: Analysis of inherent frequency of main blades of precision panel saw, Heilongjiang, China, Northeast Forestry University, 6s.
- YU, R. C.; MOTE, C. D.: 1987. Vibration of Circular saws Containing Slots. *Holz als Roh – und Werkstoff*, 45, 1987, s. 155–160. ISSN 0018-3768.
- BRAUN, SIMON, G.; EWINS, DAVID, J.; RAO, SINGIRESU, S.: 2002. *Encyclopedia of Vibration*, Volumes 1–3, Elsevier. [online], [cit. 2013-01-23]. Dostupné na internete: http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?_EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=1873&VerticalID=0 (online verzia)
- MOBLEY, R. K.: 1999. *Vibration Fundamentals*. Elsevier. [online], [cit. 2013–01–23]. Dostupné na internete: http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?_EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=450&VerticalID=0 (online verzia)

Kontaktná adresa:

Ing. Adam Droba

e-mail: adam.droba@tuzvo.sk

Ing. Dušan Paulíny, PhD.

e-mail: pauliny@tuzvo.sk

doc. Ing. Ján Svoreň, CSc.

e-mail: svoren@tuzvo.sk

Pracovisko:

Katedra drevárskych strojov a zariadení

Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24, SK – 960 53 Zvolen

VPLYV KOMBINOVANÉHO PÔSOBENIA HLUKU A ENERGETICKÉHO VÝDAJA NA PRACOVNÚ POHODU ČLOVEKA

IMPACT OF COMBINED INTERACTIONS OF NOISE AND ENERGY EXPENDITURE FOR WORK COMFORT OF HUMAN

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

ABSTRACT: In mechanical engineering plants there are many negative factors which affect the workers and present strain on the organism of the workers during their active jobs. When evaluating the work load effects, it is necessary to take the synergism of all risk factors in effect into consideration as opposed to individual risk factor evaluation. The aim of this paper is to lay out the possibilities of complex work environment evaluation. The basis for this is the basic presumption, that there are several risk factors affecting the human body during the work process.

Key words: complex assessment, work environment, risk, experiment, noise, energy expenditure

ABSTRAKT: V prevádzkach strojárskoho priemyslu pôsobí množstvo negatívnych faktorov, ktoré rôznou intenzitou zaťažujú organizmus človeka počas aktívnej práce. Pri posudzovaní pracovného zaťaženia je potrebné zohľadniť vzájomný synergizmus všetkých pôsobiacich negatívnych faktorov pracovného procesu a nie len ich samostatné vyhodnotenie. Náplňou tohto príspevku je pomocou experimentu načrtnúť možnosti komplexného hodnotenia kvality pracovného prostredia. Vychádzať sa bude zo základného predpokladu, že na organizmus človeka počas jeho práce na rôznych pozíciách pôsobia rôzne rizikové faktory.

Kľúčové slová: komplexné hodnotenie, pracovné prostredie, riziko, experiment, hluk, energetický výdaj

ÚVOD

Riziko je vo všeobecnosti chápané ako miera ohrozenia. Ak sa na tento fenomén nazerá v kontexte adresných priemyselných aktivít, potom riziko predstavuje identifikovateľnú a kvantifikovateľnú mieru ohrozenia životov a zdravia ľudí, materiálových hodnôt alebo vybraných parametrov životného prostredia [6].

Vychádzajúc zo skúseností a sledovania trendov v hodnotení rizikových faktorov v pracovnom prostredí je možné sledovať, že v praxi je stále prevládajúci proces hodnotenia predpísaných faktorov pracovného prostredia. Jedná sa o parciálne hodnotenie účinku každého (predpísaného) pôsobiaceho faktora na organizmus človeka samostatne. Nutné si je uvedomiť, že tento spôsob hodnotenia nezohľadňuje spolupôsobenie všetkých prítomných rizikových faktorov pracovného prostredia. Z tohto dôvodu je cieľom zamerať sa na proces hodnotenia komplexnej kvality pracovného prostredia, čiže zohľadniť vzájomný synergizmus všetkých pôsobiacich negatívnych faktorov pracovného prostredia a nie len ich samostatné vyhodnotenie. Uvedenou problematikou sme sa zaoberali vo viacerých príspevkoch [1–5].

V príspevku je pomocou experimentu načrtnutá možnosť komplexného hodnotenia kvality pracovného prostredia pomocou matematického modelu. Vychádzať sa bude zo základného predpokladu, že na organizmus človeka počas jeho práce na rôznych pozíciách pôsobia rôzne rizikové faktory. Pri tomto experimente sa bude vychádzať už zo zistených a nameraných údajov.

Na začiatku si je predovšetkým potrebné stanoviť intenzitu a trvanie vplyvu hodnotených rizikových faktorov pracovného prostredia na organizmus človeka. Kvantifikovať vplyv jednotlivých parametrov pracovného prostredia na organizmus človeka je veľmi ťažké. O to zložitejšie je nájsť matematickú závislosť medzi úrovňou pracovného prostredia ako celku a jeho účinkami na človeka (aj keď je napríklad prakticky dokázaná závislosť medzi zlepšovaním pracovného prostredia a rastom pracovného výkonu – produktivity práce).

MATERIÁL A METODIKA

V príspevku je pomocou experimentov naznačená možnosť komplexného hodnotenia kvality pracovného prostredia pomocou matematického modelu. Vychádzať sa bude zo základného predpokladu, že na organizmus človeka počas jeho práce na rôznych pozíciách pôsobia rôzne rizikové faktory.

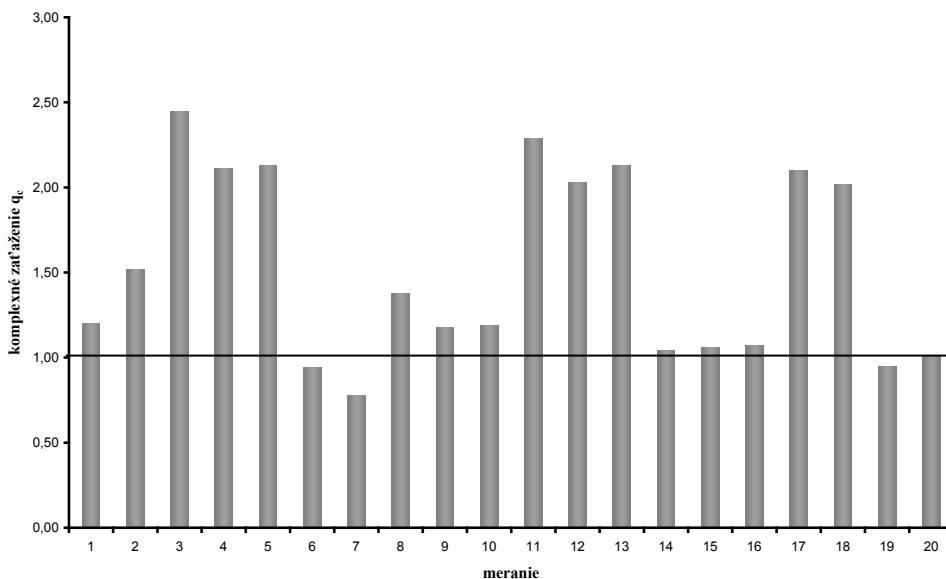
Predovšetkým je potrebné stanoviť intenzitu a trvanie vplyvu hodnotených rizikových faktorov pracovného prostredia na organizmus človeka. Kvantifikovať vplyv jednotlivých parametrov pracovného prostredia na organizmus človeka je veľmi ťažké. O to zložitejšie je nájsť matematickú závislosť medzi úrovňou pracovného prostredia ako celku a jeho účinkami na človeka.

VÝSLEDKY

Pri experimente sa vychádzalo z podmienky, že na človeka v priemysle pôsobia súčasne rôzne rizikové faktory. Pri komplexnom hodnotení takéhoto pracovného prostredia sa hodnotí interakcia všetkých rizikových faktorov. Daný experiment komplexného hodnotenia bol zameraný na štyri vybrané rizikové faktory, ktoré majú vplyv na zdravie a pohodu človeka pri práci. Jedná sa o hluk, osvetlenie, teplotu a fyzickú záťaž. Výsledky tohto

experimentu boli prezentované v článku „Návrh spôsobu hodnotenia kombinovaných účinkov rizikových faktorov“ v *Acta facultatis technicae*, roč. 16, č. 2 [2].

Výsledky komplexného hodnotenia sú uvedené na obrázku 1. Z týchto výsledkov je ako referenčná hodnota braná $q_c = 1$.



Obrázok 1 Grafické zobrazenie komplexného zaťaženia q_c

Z výsledkov znázornených na obrázku 1 je zrejmé, že merania, ktorých hodnota komplexného hodnotenia $q_c < 1$, možno považovať za vyhovujúce. Z týchto výsledkov je zároveň zrejmé, že pri meraniach, kde bola prekročená aspoň jedna limitná hodnota ($q_c > 1$), tak ide o pásmo s vysokým škodlivým účinkom. Pásmo, v ktorom sú hodnoty komplexného hodnotenia blízke 1, možno považovať za prípustné pásmo s mierne škodlivým účinkom.

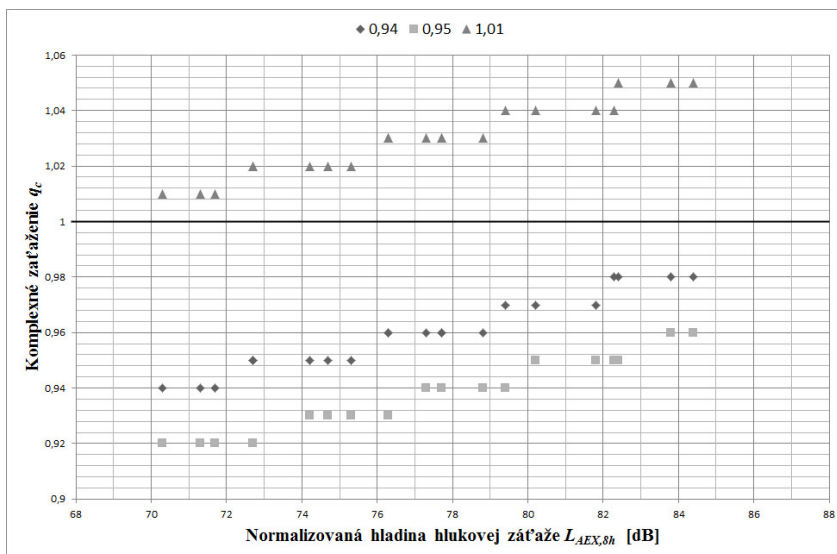
Ďalej v experimente bolo potrebné zamerať sa na tie merania, ktorých hodnota q_c je blízka 1. Išlo hlavne o merania č. 6, 19 a 20. Predpokladom pri skúmaní komplexného hodnotenia bola zmena vstupných parametrov a sledovanie, ako sa tým bude meniť hodnota výsledného komplexného hodnotenia.

Experiment 1 – zmena hlukovej záťaže

V tomto prípade sa postupovalo nasledovne. Vykonali sa zmeny hladiny hluku, pričom boli stanovené rôzne časové doby pre pôsobenie hladín hluku 80/70 dB, 75/80 dB, 85/75 dB, 83/70 dB, 70/75 dB, 78 dB, 75 dB a 73 dB (Tabuľka 1 a Obrázok 2).

Tabuľka 1 Výsledky q_c pri zmenách hladiny hluku

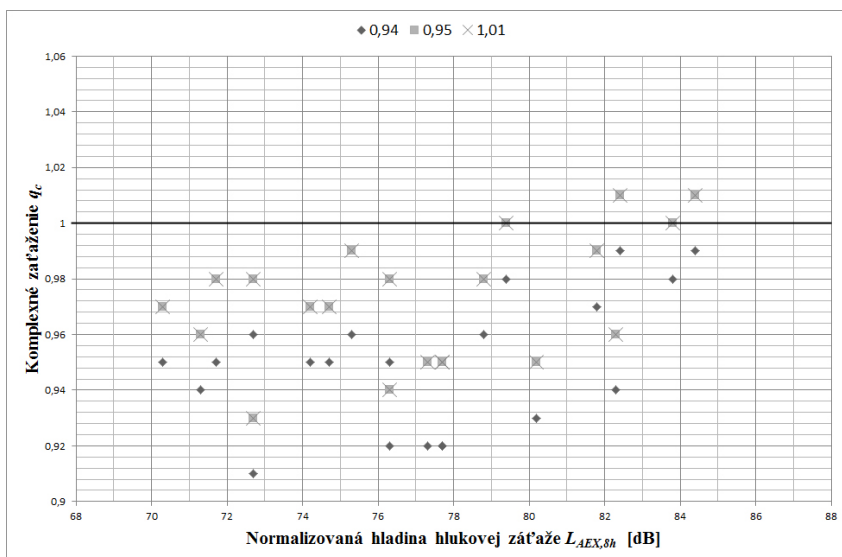
Poradové číslo zmeny	Meranie		6	19	20
	Komplexné zaťaženie q_c		0,94	0,95	1,01
	časovanie	$L_{AEX,8h}$ [dB]			
1	80 dB – 4 h 70 dB – 3,5 h	77,3	0,96	0,94	1,03
2	80 dB – 6 h 70 dB – 1,5 h	78,8	0,96	0,94	1,03
3	80 dB – 7 h 70 dB – 0,5 h	79,4	0,97	0,94	1,04
4	75 dB – 4 h 80 dB – 3,5 h	77,7	0,96	0,94	1,03
5	75 dB – 6 h 80 dB – 1,5 h	76,3	0,96	0,93	1,03
6	75 dB – 7 h 80 dB – 0,5 h	75,3	0,95	0,93	1,02
7	85 dB – 4 h 75 dB – 3,5 h	82,3	0,98	0,95	1,04
8	85 dB – 6 h 70 dB – 1,5 h	83,8	0,98	0,96	1,05
9	85 dB – 7 h 70 dB – 0,5 h	84,4	0,98	0,96	1,05
10	83 dB – 4 h 75 dB – 3,5 h	80,2	0,97	0,95	1,04
11	83 dB – 6 h 70 dB – 1,5 h	81,8	0,97	0,95	1,04
12	83 dB – 7 h 70 dB – 0,5 h	82,4	0,98	0,95	1,05
13	80 dB – 3 h 70 dB – 4,5 h	76,3	0,96	0,93	1,03
14	80 dB – 1,5 h 70 dB – 6 h	74,2	0,95	0,93	1,02
15	80 dB – 0,5 h 70 dB – 7 h	71,7	0,94	0,92	1,01
16	70 dB – 4 h 75 dB – 3,5 h	72,7	0,95	0,92	1,02
17	70 dB – 6 h 75 dB – 1,5 h	71,3	0,94	0,92	1,01
18	70 dB – 7 h 75 dB – 0,5 h	70,3	0,94	0,92	1,01
19	78 dB – 7,5 h	77,7	0,96	0,94	1,03
20	75 dB – 7,5 h	74,7	0,95	0,93	1,02
21	73 dB – 7,5 h	72,7	0,95	0,92	1,02



Obrázok 2 Grafické znázornenie q_c pri zmenách hladiny hluku

Experiment 2 – zmena hlukovej záťaže súčasne so zmenou energetického výdaja

Pri tomto experimente sa postupovalo tak, že sa vykonala zmena hladiny hluku súčasne so zmenou energetického výdaja. Konkrétne išlo o zmeny normalizovanej hladiny hlukovej expozície $L_{AEX,8h}$ (Tabuľka 2), pri zmene energetického výdaja za zmenu 7,5, 8 a 8,2 MJ (Tabuľka 2 a Obrázok 3).



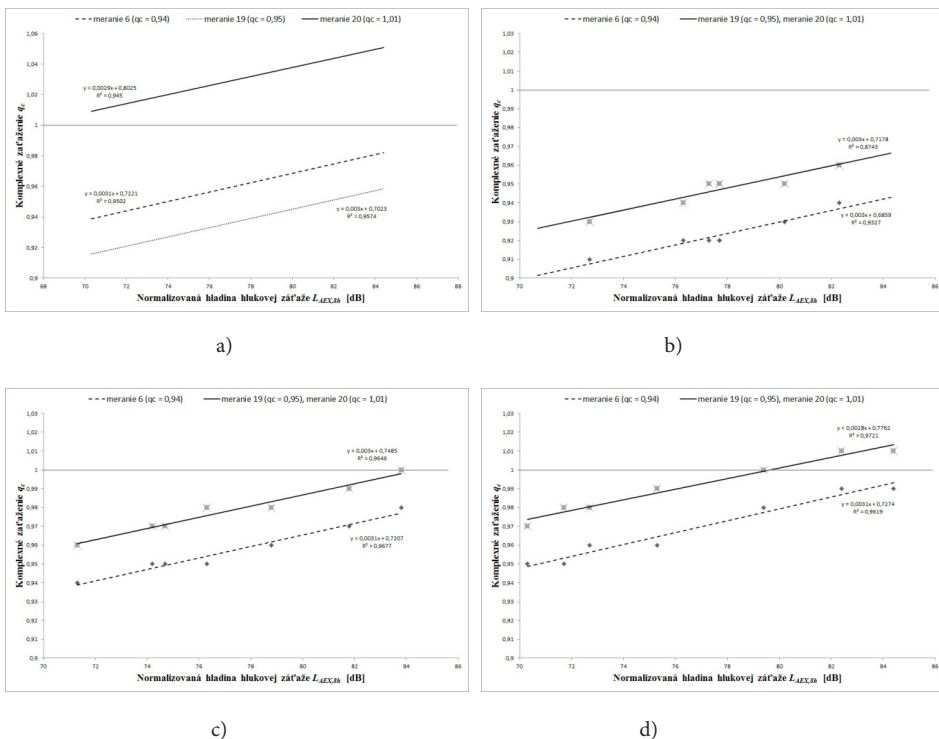
Obrázok 3 Grafické znázornenie q_c pri zmene hluku a energetického výdaja

Tabulka 2 Výsledky q_c pri zmene hluku a energetického výdaja

Poradové číslo zmeny	Meranie		6	19	20
	Komplexné zaťaženie q_c		0,94	0,95	1,01
	Energetický výdaj zmenový [MJ]	$L_{AEX,8h}$ [dB]			
1	7,5	77,3	0,92	0,95	0,95
2	8	78,8	0,96	0,98	0,98
3	8,2	79,4	0,98	1,00	1,00
4	7,5	77,7	0,92	0,95	0,95
5	8	76,3	0,95	0,98	0,98
6	8,2	75,3	0,96	0,99	0,99
7	7,5	82,3	0,94	0,96	0,96
8	8	83,8	0,98	1,00	1,00
9	8,2	84,4	0,99	1,01	1,01
10	7,5	80,2	0,93	0,95	0,95
11	8	81,8	0,97	0,99	0,99
12	8,2	82,4	0,99	1,01	1,01
13	7,5	76,3	0,92	0,94	0,94
14	8	74,2	0,95	0,97	0,97
15	8,2	71,7	0,95	0,98	0,98
16	7,5	72,7	0,91	0,93	0,93
17	8	71,3	0,94	0,96	0,96
18	8,2	70,3	0,95	0,97	0,97
19	7,5	77,7	0,92	0,95	0,95
20	8	74,7	0,95	0,97	0,97
21	8,2	72,7	0,96	0,98	0,98

Vychádzajúc z experimentov, je možné konštatovať nasledovné. Pri všetkých experimentoch hodnota komplexného zaťaženia q_c so zhoršujúcimi pracovnými podmienkami (zvýšenie hodnoty rizikového faktora) rastie. Pri zmene hladín hluku je možné sledovať, že ak zmena hodnoty hlučnosti nebola vysoká nedošlo ani k zmene q_c .

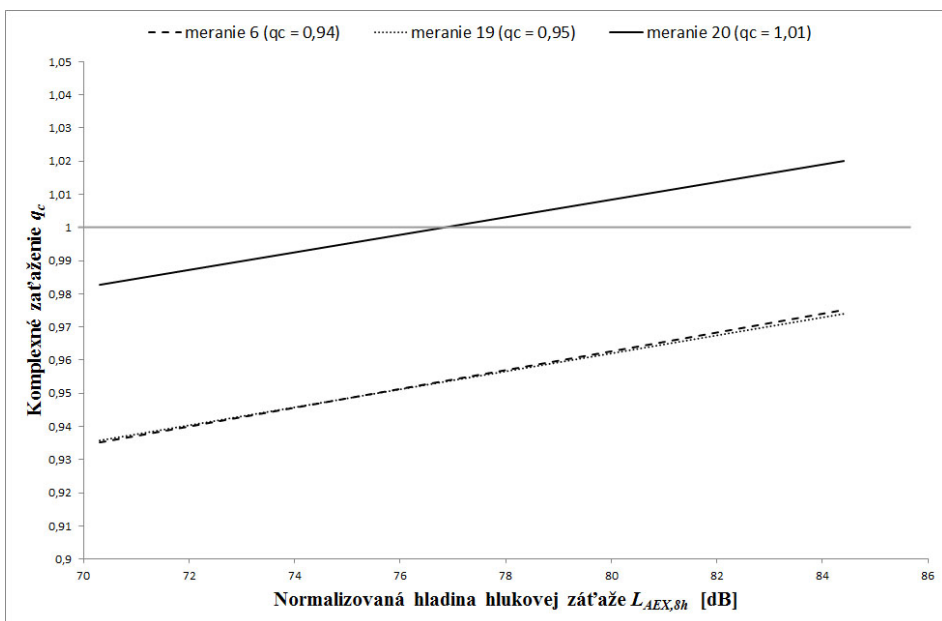
Uskutočnil sa aj experiment so zmenou hodnôt hluku a energetického výdaja súčasne. Normalizovaná hladina hlukovej záťaže bola v rozmedzí 70,3 až 84,4 dB a energetický výdaj zmenový sa striedavo menil (7,5 MJ, 8 MJ a 8,2 MJ). Pri tomto experimente je možné rovnako konštatovať, že pri zhoršujúcich pracovných podmienkach (zvýšenie hodnoty rizikového faktora) rastie aj hodnota komplexného zaťaženia q_c .



Obrázok 4 Lineárna regresná analýza zmien komplexného zaťaženia q_c
a) experiment 1,
b) experiment 2 (energetický výdaj 7,5 MJ),
c) experiment 2 (energetický výdaj 8 MJ),
d) experiment 2 (energetický výdaj 8,2 MJ).

Zmeny komplexného zaťaženia q_c pri uvedených experimentoch sa posúdili lineárnou regresnou analýzou. Výsledok lineárnej regresie pre *Experiment 1* je znázornený na obrázku 4a a *Experiment 2* na obrázku 4b, 4c a 4d. Na osi x sú uvedené normalizované hladiny hlukovej záťaže $L_{AEX,Sh}$ a na osi y hodnoty komplexného zaťaženia q_c . Z jednotlivých výsledkov je možné konštatovať, že zo zvyšujúcou hodnotou rizikového faktora sa zvyšuje aj hodnota komplexného zaťaženia. Názorne je tu vidieť, ako sa so zvyšujúcou hodnotou zmenového energetického výdaja zvyšuje aj komplexné zaťaženie q_c (Obrázok 4b, 4c a 4d).

Celkové porovnanie zmien komplexného zaťaženia q_c pri rôznych zmenách hodnôt rizikových faktorov bolo urobené pomocou lineárnej regresnej analýzy. Výsledok tohto porovnania je znázornený na obrázku 6. Pri tomto hodnotení sa brali do úvahy len hodnoty, ktoré nie sú z pohľadu legislatívy limitné. Výsledky sú transformované na normalizovanú hladinu hlukovej expozície $L_{AEX,Sh}$.



Obrázok 5 Lineárna regresná analýza zmien komplexného zaťaženia q_c .

Z regresných analýz vykonaných experimentov, znázornených na obrázku 5 sú zrejmé nasledovné závery. V prípade prijateľného rizikového faktora sa z jeho zvyšujúcou hodnotou pri nezmenených ostatných rizikových faktoroch blíži komplexné zaťaženie q_c hodnote 1. V prípade prekročenia niektorého z faktorov nad limitnú hodnotu ($q_c > 1$) sa stáva dané pracovné prostredie pre človeka rizikovým. Záverom je možné konštatovať, že pri tejto metóde hodnotenia je potrebné ešte uskutočniť ďalšie experimenty a nájsť hodnotu komplexného zaťaženia q_c nižšiu ako 1 pre prípad korektného komplexného posudzovania pracovného prostredia v prípade, že všetky rizikové faktory neprekračujú limitné hodnoty.

ZÁVER

Z výsledkov uskutočnených meraní a následného experimentálneho posúdenia je možné konštatovať, že výsledok komplexného hodnotenia matematickou multikriteriálnou metódou výrazne ovplyvňuje určenie váhového koeficientu významnosti. Vyššia hodnota váhového koeficientu znamená, že daný rizikový faktor viac ovplyvňuje výsledok a naopak, rizikový faktor s nižšou hodnotou váhového koeficientu ovplyvňuje výsledok podstatne menej. Z tohto dôvodu bol výsledok vyhovujúci aj pri meraniach, pri ktorých hodnoty faktorov s nižším váhovým koeficientom boli prekročené. Z tohto dôvodu je potrebné svedomito a zodpovedne pristupovať k posudzovaniu jednotlivých dvojíc rizikových faktorov v Saatyho matici, na základe ktorých sú potom určené výsledné váhy koeficientov významnosti.

Z doterajších výsledkov vyplýva, že stanovenie referenčnej hodnoty pre komplexné hodnotenie rizikových faktorov, pri ktorej dôjde už k poškodeniu zdravia, je veľmi komplikované a preto je nutné pokračovať v nastavenom modeli komplexného posudzovania pracovného prostredia so zapracovaním nových postupov. V súčasnej dobe je to hlavne vypracovanie nového matematického modelu, kde by sa zohľadnil okrem objektívneho hodnotenia pracovného prostredia aj subjektívne hodnotenie.

LITERATÚRA

- [1] HNILICA, R., 2012. Návrh spôsobu hodnotenia kombinovaných účinkov rizikových faktorov. In *Acta facultatis technicae : vedecký časopis Fakulty environmentálnej a výrobnjej techniky*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2011. ISSN 1336-4472. roč. 16, č. 2, s. 31–37. ISSN 1336-4472.
- [2] HNILICA, R., 2012. Synergické pôsobenie rizikových faktorov v pracovnom prostredí a spôsoby ich hodnotenia. In *Acta facultatis technicae: vedecký časopis Fakulty environmentálnej a výrobnjej techniky*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2012, roč. 17, č. 2, s. 25–34. ISSN 1336-4472.
- [3] HNILICA, R., DADO, M. 2009. Úvod do komplexného hodnotenia kvality pracovného prostredia v strojárskych priemyselných prevádzkach pri zváraní. In *XI. Medzinárodná vedecká konferencia mladých 2009*. Zvolen: TU, 2009, ISBN 978-80-228-1994-7.
- [4] HNILICA, R., DADO, M. 2009. Komplexné hodnotenie kvality pracovného prostredia v drevospracujúcom priemysle. In *Acta facultatis technicae: vedecký časopis Fakulty environmentálnej a výrobnjej techniky*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2009, roč. 12, č. 2, s. 119–130. ISSN 1336-4472.
- [5] HNILICA, R., DADO, M., MESSINGEROVÁ, V., JANKOVSKÝ, M. 2012. Utilization of mathematical models in complex work environment assessment methods. *Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti* [online], 2012, roč. 5, č. 3–4. Dostupný z WWW: <<http://www.bozpinfo.cz/josra/josra-03-04-2012/mat-metody-v-prac-prostredi.html>>. ISSN 1803-3687.
- [6] SUJOVÁ, E. Risk designing and the method of dual probability. In *Bezpečnosť – Kvalita – Spôľahlivosť*: 4. medzinárodná vedecká konferencia. Košice : Technická univerzita v Košiciach, 2009, s. 233–238. ISBN 978-80-553-0137-2.

Príspevok bol spracovaný v rámci riešenia vedeckého grantového projektu KEGA 016TUZVO-4/2011 „Tvorba modelov pre posudzovanie miery rizika práce v lesníckych 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 45 5206 596,
e-mail: hnilica@tuzvo.sk, dado@tuzvo.sk

prof. Ing. Valéria Messingerová, CSc., Ing. Martin Jankovský, Katedra lesnej ťažby a mechanizácie, Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen,
e-mail: messingerova@tuzvo.sk, jankovskyma@gmail.com, tel.: +421 45 5206 284.

APLIKÁCIA DRVIČA NEŽIADÚCICH NÁRASTOV AKO ADAPTÉRA PRE LESNÉ KOLESOVÉ TRAKTORY

APPLICATION OF THE CRUSHER OF UNDESIRABLE ADVANCE GROWTH THEN ADAPTER FOREST WHEELED TRACTORS

**Richard HNILICA – Miroslav STANOVSKÝ – Valéria MESSINGEROVÁ
– Michaela HNILICOVÁ – Miroslav DADO**

ABSTRACT: This article indicates the possibility of using these base machines with hydrostatic transmission of energy to drive adapters for mechanization of works on forest establishment and timber stand improvement. Most of mechanized work in the silviculture is provide the universal wheeled tractors which are used as the base machine. Current situation in forest practice requires utilization of wheeled forest tractors as carriers of multi-purpose adapters. One of these adapters is the crusher of undesirable advance growth, which functional model is developed at Technical University in Zvolen. The paper presents new knowledge from its technical solution.

Key words: crusher, advance growth, fluid drive, adapter, forest wheeled tractor

ABSTRAKT: Príspevok naznačuje možnosti využitia bázových strojov, s ich hydrostatickým prenosom energie, na pohon adaptérov pre mechanizáciu prác pri zakladaní a výchove lesa. Väčšina mechanizovaných prác pri pestovateľskej činnosti je zabezpečená univerzálnymi kolesovými traktormi, ktoré sa využívajú ako bázové stroje. Súčasná situácia v lesnej prevádzke si však vyžaduje aj použitie lesných kolesových traktorov ako nosičov viacúčelových adaptérov. Jedným z týchto adaptérov je drvič nežiaducich nárastov, ktorého funkčný model sa vyvíja na Technickej univerzite vo Zvolene. Práca prináša nové poznatky z jeho technického riešenia.

Kľúčové slová: drvič, nežiaduci nárast, hydrostatický prevod, adaptér, lesný kolesový traktor

ÚVOD

Pre správnu funkciu lesného hospodárstva, je potrebné zabezpečiť obnovu lesných porastov v krajine, platí to tak na území štátnych ako aj súkromných lesov. Potreba zalesňovania je na plochách, z ktorých boli odstránené porasty z dôvodu plánovanej ťažby, kalamitnej ťažby, požiaru, znehodnotenia porastu škodcami alebo iných dôvodov. Opätovné zalesňovanie je možné realizovať samoobnovením lesa alebo umelou cieľenou výsadbou

sadeníc vypestovaných v lesných škôlkach. Umelá výsadba je z dôvodu regulovanej, rovnomernejšej a najmä rýchlejšej obnovy v hospodárskych lesoch využívaná častejšie.

Pred samotnou výsadbou je vhodné dané miesto upraviť, a tým zabezpečiť kvalitné podmienky pre rast novej sadenice. Za týmto účelom sa využívajú v súčasnosti rôzne nemechanizované alebo mechanizované spôsoby. Keďže nemechanizované spôsoby sú pracnejšie ako mechanizované, je potrebné sa zamerať na odstránenie tejto namáhavej práce rozličným stupňom mechanizácie prác. K základným mechanizovaným spôsobom práce pri zakladaní a výchove lesa patrí kultivácia prostredia pomocou rôznych mechanizmov (mulčovače, drviče nežiaducich nárastov) a príprava pôdy (pôdne frézy). Na pohon týchto mechanizmov je nutné využiť bázový stroj ako ich hnací agregát. K bázovým strojom, ktoré je možné pre tieto účely využiť sú univerzálny kolesový traktor UKT a lesný kolesový traktor LKT. Mechanizáciou prác pri zakladaní a výchove lesa sa zaoberali autori v prehľadových príspevkoch [3, 5].

Lesné kolesové traktory sú svojimi technickými parametrami predurčené pre prácu v terénoch so sklonmi medzi 20 až 40 %. Terény so sklonom menším sú vhodné pre prácu traktorov univerzálnych, naopak, terény so sklonitosťou nad 40 % iba pre lanové systémy.

Z pohľadu vybavenosti traktorov adaptérami pre jednotlivé činnosti možno jednoznačne konštatovať, že najväčšia pozornosť bola doposiaľ venovaná traktorom univerzálnym, ktoré využívajú pre pohon adaptérov hlavne vývodový hriadeľ (mechanický prevod). Lesné kolesové traktory nachádzajú v súčasnosti využitie predovšetkým ako stroje pri výrobe dreva.

V horských oblastiach (sklony svahov nad 20 %) sa však stretávame s požiadavkami na riešenie najrôznejších problémov aj zo strany pestovania a ochrany lesa, čo po technickej stránke úzko nadväzuje na pohyb lesných kolesových traktorov. Pri týchto traktoroch je prenos energie zabezpečený na základe hydrostatického prenosu energie. Tu si je nutné uvedomiť, že ich percentuálne využitie v lesníckej prevádzke je vysoké. Táto skutočnosť viedla k myšlienke návrhu drviča nežiaducich nárastov LD-2000, ako adaptéra na lesné kolesové traktory.

MATERIÁL A METODIKA

Ako najnaliehavejšia oblasť pre vývoj vhodných adaptérov pre lesné kolesové traktory v podmienkach lesného hospodárstva, bola zvolená oblasť zakladania a výchovy lesa.

Vypracovali sa podrobné lesotechnické požiadavky, ktoré čo najviac charakterizovali požadované vlastnosti adaptéra, jeho funkčnosť a možnosti ďalšieho využitia. Na základe vypracovaných lesotechnických požiadaviek sa vypracoval konštrukčný návrh drviča nežiaducich nárastov LD-2000. Posúdili sa tiež možnosti využitia bázových strojov LKT a z nich sa vytypoval najvhodnejší na pripojenie adaptéra.

Rozkreslila sa výkresová dokumentácia spôsobu uchytenia na zadnú časť bázového stroja. Následne sa vypracovala podrobná výkresová dokumentácia drviča nežiaducich nárastov LD-2000 s prihliadnutím na vypracované lesotechnické požiadavky.

VÝSLEDKY

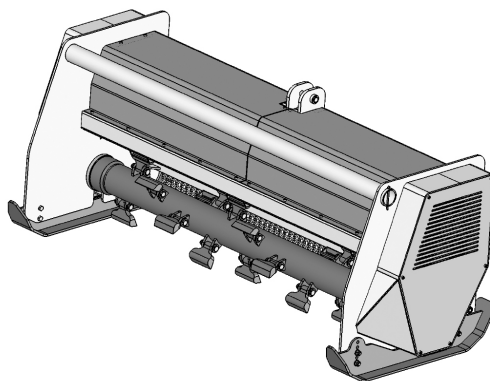
Pri sledovaní danej problematiky je potrebné pozornosť venovať hlavne konštrukciám adaptérov vhodných pre použitie v náročných podmienkach lesníckej prevádzky, ktorá vyžaduje robustnú konštrukciu adaptérov, kvalitnejšie materiály v porovnaní s poľnohospodárskymi a komunálnymi adaptérmi. Zo získaných poznatkov pracovná šírka adaptérov, pracujúcich v lesníckej prevádzke, z hľadiska priechodnosti terénom nemá presiahnuť šírku bázového stroja.

Lesotechnické požiadavky

Drvič ako adaptér pre mechanizáciu prác v lese sa bude používať na likvidáciu nežiaduceho drevinového, alebo burinového nárastu na viacročných holinách, prípadne iných plochách, ktoré je potrebné následne zalesniť. Predpokladaná hrúbka likvidovaného nárastu je minimálne 7 cm. Využitie musí nájsť aj pri likvidácii poťažbových zvyškov. Drvič je prídavným zariadením neseným na trojbodovom závесе lesného kolesového traktora a bude pracovať v terénoch dostupných pre bázový stroj.

Základné podmienky, ktoré konštrukcia drviča musí spĺňať:

- Pevná konštrukcia, ktorá zaručí dlhú životnosť, minimálne prestoje a takmer bezporuchovú prevádzku.
- Nástroje budú špeciálne a vysoko odolné, s dobrou účinnosťou pri likvidácii nežiaducich nárastov alebo poťažbových zvyškov. Ich výmena musí byť jednoduchá a rýchla, najlepšie pomocou skrutkových spojov, u ktorých je predpoklad jednoduchej manipulácie. Pracovné nástroje musia byť meniteľné aj jednotlivito.
- Celý rotor drviča musí byť dostatočne odolný a pevný, poháňaný hydromotorom cez vysokovýkonné remenice alebo silové pásy, ktoré zabezpečia dokonalú synchronizáciu.
- Synchronizácia musí zabezpečiť optimálny a vyvážený chod hnacieho hriadeľa a musí zabrániť torzným kmitom v pohone.
- Konštrukčný typ pohonu musí zabezpečiť účinné drvenie vegetácie pri minimálnom opotrebení jednotlivých častí adaptéra ako aj nástrojov.



Obrázok 1 3D model drviča nežiaducich nárastov LD-2000

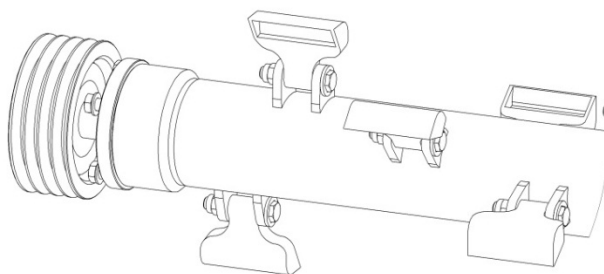
Základné požadované technické parametre:

- výkonová trieda 50 ÷ 100 kW,
- pracovná šírka záberu min 1700 mm,
- celková šírka drviča min 2000 mm,
- počet nástrojov 30,
- hmotnosť 800 kg.

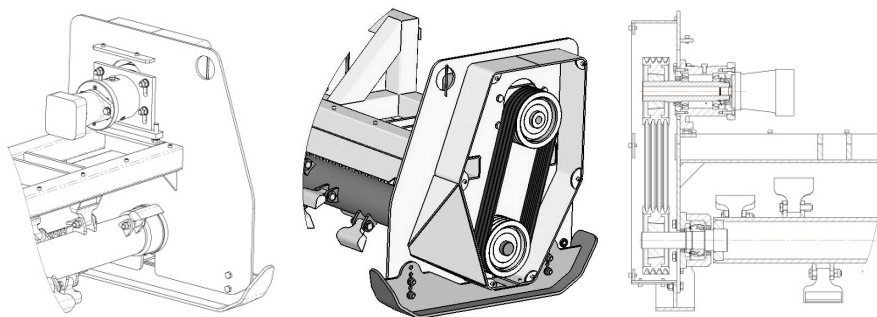
Technické riešenie

Uvažované technické zariadenie sa bude používať na likvidáciu nežiaduceho drevinového, alebo burinového nárastu na viacročných holinách, prípadne iných plochách, ktoré je potrebné zalesniť. Hrúbka likvidovaného nárastu by nemala presiahnuť 70 mm.

Konstruktívne riešenie drviča je možné vidieť na obrázku 1. Nosnou časťou adaptéra je robustný rám, ktorý plní súčasne funkciu krytu, aby sa zabránilo vyhadzovaniu drevného a burinového materiálu prípadne skál do okolia. Pracovnou časťou je horizontálne uložený rotujúci valec (rotor), pričom k drveniu nárastu dochádza pri posune a rýchlom otáčaní (cca 2700 ot.min⁻¹) rotora v teréne. Na rotore sa výkyvne uložili pracovné kladivá (obrázok 2), ktoré je možné v prípade potreby (opotrebenie, strata) rýchlo vymeniť. Rotor je uchytený v ráme prostredníctvom dvojradových súdkových ložísk. Pohon rotora pozostáva z dvoch hydromotorov a klinových remeňov (Obrázok 3).



Obrázok 2 Pracovné kladivá drviča nežiaducich nárastov



Obrázok 3 Pohon rotora drviča nežiaducich nárastov LD-2000

Ako bázový stroj je možné použiť lesné kolesové traktory LKT 82, LKT 81 ITL a LKT 81 T vyrábané jediným slovenským výrobcom LKT, s. r. o., Trstená [4]. Výber konkrétneho typu bude závisieť od prevádzky. Traktory by mali byť vybavené zadným trojbodovým závesom a hydraulickými hadicami na pripojenie pohonu drviča nežiaducich nárastov. Daný adaptér je však možné pripojiť na akýkoľvek uvedený lesný kolesový traktor po vykonaní určitých drobných konštrukčných zásahov na štíte LKT. Okrem spomenutého upnutia na zadný štít je v ďalšom riešení možnosť upnutia adaptéra na radlicu LKT. Toto riešenie prichádza do úvahy hlavne pri starších typoch lesných kolesových traktorov (LKT 81). Tieto typy LKT nemajú ešte vyriešené ergonomické usporiadanie pracoviska obsluhy traktora (obojsstranné riadenie s otočnou sedačkou). Dané usporiadanie by potom viedlo k jednostrannej fyzickej záťaži obsluhy.

Drvič bude pre pohon využívať hydraulický okruh traktora, ktorému dodáva olej hydraulické piestové čerpadlo JR75 – Sauer Danfoss. Z týchto údajov je nutné vychádzať pri návrhu pohonu drviča nežiaducich nárastov [1, 2].

Otáčky hydrogenerátora sa stanovujú podľa vzťahu:

$$n_G = \frac{n_m}{i_{m\epsilon}} \quad (1)$$

kde n_G sú otáčky hydrogenerátora [$ot.min^{-1}$],

n_m sú otáčky motora [$ot.min^{-1}$],

$i_{m\epsilon}$ je prevodový pomer medzi motorom a hydrogenerátorom [-].

Vychádzajúc z otáčok hydrogenerátora je ďalej potrebné stanoviť prietokové množstvo, vychádzajúc zo vzťahu:

$$\eta_{pr} = \frac{Q}{V_G \cdot n_G} \cdot 100\%$$

potom,

$$Q = V_G \cdot n_G \cdot \frac{\eta_G}{100} \quad (2)$$

kde η_G je prietoková účinnosť hydrogenerátora [%],

Q je prietokové množstvo [$l.min^{-1}$],

V_G je geometrický objem hydrogenerátora [cm^3].

Vychádzajúc z výsledkov vzťahov (1) a (2) je možné pristúpiť k návrhu hydromotorov potrebných pre pohon drviča. Potom k základným parametrom pre návrh vhodných hydromotorov pohonu drviča patria:

- požadované otáčky rotora drviča n_{PR} [min^{-1}],
- požadovaný prevod remeňovým prevodom i_{rem} [-],
- potrebné otáčky hydromotora $n_{HM} = n_{PR} \cdot i_{rem}$ [min^{-1}],
- požadované prietokové množstvo Q [$l.min^{-1}$].

Na základe uvedených požadovaných parametrov sa vyberú vhodné hydromotory spĺňajúce stanovené parametre. Čiže pri požadovanom prietoku Q budú pre vybrané hydromotory definované otáčky n_{HM} .

Výsledné otáčky rotora drviča potom budú:

$$n_{VR} = \frac{n_{HM}}{i_{rem}} \quad (3)$$

Výkon na hydrogenerátore:

$$N = \frac{Q \cdot p}{60} \cdot \eta_{HG} \quad [kW] \quad (4)$$

kde p je tlak [MPa].

Krútiaci moment na hydrogenerátore:

$$M_{KHG} = \frac{160 \cdot Q \cdot p}{n_G} \cdot \eta_G \quad [Nm] \quad (5)$$

Krútiaci moment na rotore drviča potom bude:

$$M_{KR} = M_{KHG} \cdot i_h \cdot i_{rem} \quad [Nm] \quad (6)$$

kde i_h je hydraulický prevod [-].

Na pohon drviča sa využije, ako už bolo vyššie spomenuté, hydraulický okruh bázo-
vého stroja. Keďže sa uvažuje s remeňovým prevodom 1:1, tak prepojenie hydromotorov
bude paralelné, ktoré budú napájané z dvoch sekcií ($2 \times 100 l$) prídavného rozvádzača PVG
32 ovládaného elektricky z kabíny.

Pre nasadenie a odskúšanie sa vytypoval z týchto strojov ako najvhodnejší bázo-
vý stroj LKT 82. Uvedený traktor je najvýkonnejší spomedzi súčasných strojov LKT. Pre po-
hon sa zvolili axiálne hydromotory Poclairn – séria M2 28 S4 04 00 00. Ide o hydromotor
s geometrickým objemom 28 cm^3 , s ktorým je možné dosiahnuť maximálne výstupné otáč-
ky na rotore drviča cca $2\,700 \text{ ot. min}^{-1}$, krútiaci moment 195 Nm a celkový výstupný výkon
sa dosiahne až cca 56 kW (Tabuľka 1).

Tabuľka 1 Vypočítané technické parametre pre pohon drviča nežiaducich nárastov adaptovaného na bázo-
vý stroj LKT

Napojenie na LKT		Poclairn Hydraulics M2 28 S4 04 00 00		
		LKT 81 T	LKT 81 ITL	LKT 82
výstupný výkon na rotore drviča	<i>kW</i>	31,77	34,00	56,07
výstupné otáčky hydromotora	<i>ot. min⁻¹</i>	2 332,75	1 997,4	2 744,73
výstupný krútiaci moment na rotore drviča	<i>Nm</i>	130,1	162,6	195,1
prevodový pomer [hydromotor : rotor]	-	1,0	1,0	1,0
celkový geometrický objem hydromotorov	<i>cm³</i>	56,7	56,7	56,7
počet hydromotorov	-	2,0	2,0	2,0
geometrický objem hydromotorov	<i>cm³</i>	28,36	28,36	28,36
max. systémový tlak	<i>bar</i>	160	200	240
vstupné otáčky motora bázo- vého stroja	<i>ot. min⁻¹</i>	2 200	2 200	2 300
geometrický objem čerpadla	<i>cm³</i>	80,0	45,0	75,0
prietok z čerpadla	<i>l. min⁻¹</i>	139,3	119,3	163,9

Rovnako je možné použiť aj vyššie spomenuté lesné kolesové traktory rady LKT 81. Tu si je však nutné uvedomiť, že budú dosahované parametre nižšie, pričom na prácu drviča ešte postačujúcich (Tabuľka 1). Pre bazový stroj LKT 81 ITL bude celkový výstupný výkon 34 kW a pre bazový stroj LKT 81 T to bude 32 kW.

Základné technické parametre LD-2000

- Dĺžka 982 mm
- Šírka 2350 mm
- Výška 915 mm
- Šírka záberu 2000 mm
- Bazový stroj LKT 82 príp. LKT 81 ITL a LKT 81 T
- Otáčky rotora drviča 2700 min⁻¹
- Rýchlosť pojazdu 2,5 km.h⁻¹
- Výkon na rotore drviča 30 ÷ 60 kW
- Umiestnenie na bazovom stroji zadný trojbodový záves, zadný štít, radlica
- Hmotnosť 790 kg
- Pracovné nástroje vymeniteľné kladivá 20 ks

Funkčný vzor drviča nežiaducich nárastov je vyrobený (Obrázok 4) a v najbližšom možnom období z hľadiska klimatických podmienok sa začnú overovacie skúšky.

Originalita tohto riešenia spočíva v konštrukčných parametroch, ktoré umožňujú využiť adaptér ako prídavné zariadenie na lesný kolesový traktor. Ďalším originálnym konštrukčným prvkom je jeho rýchle adaptovanie priamo na zadný štít, čím sa jeho použitie unifikuje.



Obrázok 4 Funkčný model drviča nežiaducich nárastov LD-2000

ZÁVER

Záverom je možné konštatovať, že lesné kolesové traktory s ich hydrostatickým prenosom energie sú svojou konštrukciou a využitím vhodnými bazovými strojmi pre pohon adaptérov pre mechanizáciu prác pri zakladaní a výchove lesa.

Tu si však je nutné uvedomiť základné požiadavky pri návrhu adaptérov. Pôjde hlavne o ekonomicky nízku náročnosť, širokú využiteľnosť v rôznych podmienkach, jednoduchosť a rýchlu montáž na LKT, optimálnu šírku záberu, obsluhu vodičom traktora z kabíny, zabezpečenie preklzu pohonu pri pevných prekážkach, primeranú hlučnosť, minimálny prenos vibrácií na obsluhu (vodiča), využitie domácich výrobných a náhradných dielov, súčastí a materiálov, ekologickú vhodnosť, dostatočnú bezpečnosť a ochranu zdravia pri práci a dostatočnú výkonnosť.

Z uvedeného príspevku je možné záverom skonštatovať, že základné požiadavky kladené na tento adaptér boli splnené, pričom funkčnosť adaptéra bude odskúšaná v prevádzkových podmienkach.

LITERATÚRA

- [1] HNILICA, R., KOSTÚR, J. 2012. Návrh pracovného ústrojenstva pôdnej frézy. In *Acta facultatis technicae*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2012. ISSN 1336-4472. roč. 17, č. 1, s. 119–131.
- [2] HNILICA, R., STANOVSKÝ, M. 2012. Využitie hydraulického pohonu adaptérov pre mechanizáciu prác pri zakladaní a výchove lesa. In *Použitie ekologicky vhodných médií v hydraulických a mazacích systémoch lesných strojov : kolokvium ku grantovej úlohe VEGA 1/0525/09*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2012. ISBN 978-80-228-2320-3, s. 38–45.
- [3] HNILICOVÁ, M., a kol. 2012. Možnosti mechanizácie prác pri pestovaní lesa a poťažbovej úprave – drvič nežiaducich nárastov. In *XIV. Medzinárodná vedecká konferencia mladých 2012*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2012. ISBN 978-80-228-2342-5. s. 111–118.
- [4] Firemná stránka LKT s.r.o., Trstená. [online] [cit. 2011-10-19]. Dostupné na internete: <<http://www.lktrstena.sk/fotogaleria/brezovica-2010>>
- [5] SLUGEŇ, J., KOSTÚR, J. 2011. Prehľad súčasného stavu pôdnych fréz. In *Sborník referátů XIII MVK Mladých*. Praha : ČZU Praha, 2011. ISBN 978-80-213-2194-6. s. 196–202.

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia vedeckého grantového projektu APVV-0145-10 „Vývoj adaptérov pre mechanizáciu prác pri zakladaní a výchove lesa“.

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 45 5206 596,
e-mail: hnilica@tuzvo.sk, dado@tuzvo.sk

prof. Ing. Valéria Messingerová, CSc., Ing. Miroslav Stanovský, CSc.,
Katedra lesnej ťažby a mechanizácie, Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene,
T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen,
e-mail: messin@tuzvo.sk, stanovs@tuzvo.sk, tel.: +421 45 5206 284

Ing. Michaela Hnilicová,
Katedra lesnej a mobilnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobných techník,
Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 960 53 Zvolen,
e-mail: michaela.hnilicova@gmail.com, tel.: +421 45 5206 582

TRIBOTECHNICKÁ DIAGNOSTIKA HYDRAULICKÝCH OLEJOV V LABORATÓRNYCH A PREVÁDZKOVÝCH PODMIENKACH

TRIBOTECHNICAL DIAGNOSTICS HYDRAULIC OILS IN THE LABORATORY AND OPERATING CONDITIONS

Michaela HNILICOVÁ – Marián KUČERA

Abstract: In this day and age, predictive maintenance and condition monitoring of the machinery are necessities for any company that has machinery. The role of predictive maintenance is without waiting for the emergence of the failures today, but they actively seek to avoid. And this is the role of oil analysis which is a highly effective management tool for monitoring the health of mineral oils of hydraulic mechanisms for long periods of operation. Avoid failure of the whole system can be regular monitoring of the technical state of mechanisms based on an analysis of the hydraulic oil contamination. Oil analysis can detect wear metals, oil contamination, the level of the content of additives and basic physico-chemical parameters of oil. For detect the actual oil level is necessary to use appropriate diagnostic method. This article describes an experiment aimed at assessment of the status oil level used in the hydraulic systems of machines using a laser analyzer LaserNet Fines-C.

Key words: tribotechnical diagnostics, maintenance, hydraulic oil, condition monitoring

ABSTRAKT: V súčasnosti, prediktívna údržba a monitorovanie stavu strojov je nevyhnutnosťou pre každú spoločnosť využívajúcou stroje. Úlohou prediktívnej údržby je nečakať na poruchu, ale predchádzať poruchám kým vzniknú. Toto je úlohou analýzy olejov, ktorá je vysoko účinným nástrojom na sledovanie stavu olejov hydraulických mechanizmov počas ich dlhodobej prevádzky. Zabrániť zlyhaniu celého systému je možné pravidelným monitorovaním technického stavu mechanizmov založenom na analýze znečistenia hydraulického oleja. Analýza olejov môže odhaliť množstvo oterových kovov, znečistenie oleja, množstvo prídavných látok a fyzikálno-chemické parametre oleja. Pre zistenie aktuálneho stavu olejovej náplne je nevyhnutné použiť vhodnú diagnostickú metódu. Predložený príspevok popisuje experiment zameraný na vyhodnotenie stavu olejovej náplne použitej v hydraulických systémoch strojov pomocou laserového analyzátoru častíc LaserNet Fines-C.

Kľúčové slová: tribotechnická diagnostika, údržba, hydraulický olej, monitorovanie stavu

ÚVOD

Tribotechnika je oblasť, ktorá každého sprevádza už od narodenia, i keď si to ani neuvedomuje. Sú to všetky jeho pohybové ústroje. Je to pohyb sám, bez ktorého by život nebol životom. Medzi starostlivosťou o ľudské telo a starostlivosťou o mechanické systémy ako sú stroje a zariadenia, je určitá paralela. Oba systémy sú závislé na čistote kvapalín v nich prúdiacich. Ak znečistenie prekročí limitnú úroveň, oba zlyhajú.

Diagnostický proces v technike je možné popísať podobne ako imunitný systém v ľudskom tele. Má ho chrániť od zlého. Ak telo napadne baktéria, imunitný systém ju najskôr skúma určitým druhom bunky, ktorá jej pridá „menovku“. Teda rozoznáva dobré od zlého, dekoduje ju a privolá si na pomoc ostatné bunky, aby vytvorili spolu obranný val alebo stratégiu, aby to, čo je zlé, nemohlo preniknúť hlbšie do tela. Problém je tak odstránený skôr, než vyvolá vážne ochorenie. V horšom prípade infikuje aj svoje okolie. Opačný problém je, ak sa vlastný imunitný systém otočí sám proti sebe a spôsobí antiimúnne ochorenie, ktoré začne bojovať aj so zdravými bunkami a imunitný systém stráca schopnosť bojovať s chorobami.

Podobný proces prebieha aj pri strojoch. Stáva sa to, ak pracovníci namiesto toho, aby sa postavili na obranu tribologického systému, riešia namiesto problému samých seba. Tak infekcia neriešeného sa iba rozrastá. Nečakajme, kým problém príde, namiesto toho, aby sme problém riešili. Nečakajme, až nás zub začne bolieť, ale pravidelne absolvujeme preventívne prehliadky. Každé zariadenie, ktoré sa používa, môže podľahnúť poruche. Dôležité je poznať aktuálny stav a podmienky.

Zvláštne a dnes silne preferované postavenie v systéme technickej diagnostiky má bezdemontážna diagnostika, ktorá zisťuje stav stroja a jeho častí v zmontovanom stave a tiež v bežných prevádzkových podmienkach. Nevyžaduje sa teda demontáž jednotlivých častí stroja, napr. spaľovacieho motora, prevodovky, hydrogenerátora či hydromotora a riadiacich prvkov zo stroja, ale vyžaduje to vyriešiť diagnostický systém a prispôbenie diagnostikovaných objektov prostriedkom diagnostiky. [4]

MATERIÁL A METÓDY

Pre úspešnú realizáciu výroby (procesu všeobecne) sú nevyhnutné také činnosti, ako je meranie, analýza, monitorovanie a všetky nápravné aktivity (údržba). Pri správne vedenej organizácii práce, musí byť nastavený proces riadenia tak, že sa presne vie, čo treba merať, kde sa bude monitorovať, aké analýzy sa majú vykonávať, komunikačné cesty pre tok informácií a spätné väzby pre efektívne riadenie vlastnej výkonnosti.

Tribotechnická diagnostika je časťou bezdemontážnej techniky zaoberajúca sa zisťovaním technického stavu trecích uzlov na základe odobranej vzorky maziva, ktorým sú tieto uzly mazané [2]. Jej úlohou je laboratórne zistiť stav, vyhodnotiť a oznámiť výskyt cudzích látok v mazive a aj jeho zmenu, a to z hľadiska kvantitatívneho a kvalitatívneho. Tribotechnická diagnostika nám umožňuje racionálne a ekonomické využívanie mazív, včasnú identifikáciu vznikajúcich porúch pri prevádzke strojov a zariadení.

Aby bola analýza olejov efektívna, je vhodné dodržať šesť nasledujúcich krokov:

- čo je cieľom,

- z ktorých technologických jednotiek majú byť odobraté vzorky oleja,
- ktoré sú miesta odberu vzoriek,
- kedy vzorku odobrať,
- interval vzorkovania,
- aké testy vykonať. [12]

Zabrániť zlyhaniu celého systému je možné pravidelným monitorovaním stavu oleja. Program monitorovania stavu analyzuje znečistenie hydraulického kvapaliny. Pravidelne monitorovať „zdravotný“ stav hydraulického oleja znamená zamerať sa na nasledujúce ukazovatele a fyzikálno-chemické analýzy, ktoré sú dôležité pri analýze hydraulického kvapaliny:

- farba a vzhľad vzorky oleja,
- kinematická viskozita pri 40 °C,
- číslo kyslosti,
- koncentrácia oterových kovov,
- degradácia oleja,
- obsah vody,
- penivosť,
- mechanické nečistoty, počet častíc a
- analýza častíc opotrebenia.

Farba a vzhľad vzorky oleja

Farba je vyjadrením kvality oleja a prítomnosti cudzích častíc a iných suspendovaných látok. Je prvým kritériom, ktorým možno orientačne posúdiť stav oleja už pri odbere vzorky zo stroja. Stanovuje sa subjektívne, porovnaním skúmaného oleja s farebnými etalónmi. Skúšobná metóda, ktorá sa používa na hodnotenie farby oleja, je STN 65 6076 „Ropné produkty. Stanovenie farby podľa stupnice ISO“.

Stanovenie kinematickej viskozity

K základným parametrom, ktoré sa v hydraulických olejoch stanovujú je kinematická viskozita. Určenie kinematickej viskozity pri 40 °C potvrdzuje hlavne, či bol použitý správny olej alebo či nedošlo k doplneniu iným druhom oleja. Správna viskozita je dôležitá pre vznik pokiaľ možno hydrodynamického režimu mazania a vytvoreniu optimálnej hrúbky mazacieho filmu. Postup stanovenia je uvedený v norme STN EN ISO 3104+A1 „Ropné výrobky. Priehľadné a nepriehľadné kvapaliny. Stanovenie kinematickej viskozity a výpočet dynamickej viskozity“. Pokiaľ ide o olej typu HV, stanovuje sa tiež viskozita pri 100 °C a hodnota viskozitného indexu. [11]

Meranie viskozity je možné vykonávať niekoľkými druhmi viskozimetrov. Najčastejšie sa stanovuje v sklenenom Ubbelohdeho kapilárnom viskozimetri. Nárast viskozity je spojený s oxidáciou oleja, jeho poškodením, a v takom prípade sa odporúča aj sekundárna skúška na číslo kyslosti oleja. Ako ďalšia sekundárna skúška sa používa aj infračervená spektrometria FTIR, ktorá má schopnosti na zistenie zmeny určitých väzieb, čo sa prejaví najmä z dôvodu použitia nesprávneho oleja alebo zmiešaním olejov, čím nastane zmena pôvodného spektra [12].

Stanovenie čísla kyslosti

Opotrebovanie oleja je okrem iného spôsobené oxidáciou uhlíkov, čím vznikajú látky, ktoré majú kyslé vlastnosti. Starutím oleja sa zvyšuje množstvo prítomných kyslých látok a preto podľa ich obsahu môžeme do určitej miery posudzovať stupeň degradácie. Množstvo týchto kyslých látok udáva číslo kyslosti (TAN), ktorý je veľmi dôležitým ukazovateľom kvality používaného oleja.

Pre stanovenie čísla kyslosti možno použiť titráciu s farebnými indikátormi, to znamená porovnaním s vopred zadanou hodnotou kyslosti (modrá-vyššia kyslosť, zelená-rovnaká kyslosť, žltá-nižšia kyslosť ako porovnávací látka) a potenciometrickú titráciu. [12]

Stanovenie celkového čísla kyslosti v hydraulických olejoch potenciometrickou titráciou je založené na titrácii kyslých látok nachádzajúcich sa v skúšobnej vzorke 0,1 M KOH (alkoholický roztok hydroxidu draselného, kde M znamená koncentráciu).

Stanovenie koncentrácie oterových kovov

Prevádzka strojov a zariadení je jednoznačne spojená s opotrebovaním, ktoré sa v konečnom dôsledku prejavuje ako trvalá a nežiaduca zmena povrchu alebo rozmerov funkčných plôch strojov a zariadení. Táto zmena je vytváraná vzájomným pôsobením funkčných trecích plôch a pracovného média, ktoré toto opotrebovanie vyvoláva.

Analýza oterových prvkov je technika, ktorá umožňuje stanoviť obsah kovov obsiahnutých vo vzorke oleja a na základe zmien obsahu oterových prvkov určuje vážnosť opotrebovania. Najúčinnnejšie analýzy olejov sú schopné súčasne zistiť a vyčíslit dohromady 15 až 20 oterových kovov a kontaminantov vo vzorke použitého oleja.

Ku stanoveniu kovov, resp. prvkov, v mazacích olejoch sú využívané rôzne metódy elementárnej spektroskopie – atómová absorpčná spektrometria (AAS), optická emisná spektrometria s indukčne viazanou plazmou (OES-ICP), optická emisná spektrometria s rotujúcou diskovou elektródou (RD OES) alebo röntgenová fluorescenčná spektrometria (XRF). [10]

Sledovanie degradácie hydraulického oleja

Hydraulický olej je často vystavený nepredvídaným prevádzkovým podmienkam, ktoré majú podstatný vplyv na jeho životnosť. Dôvodom na výmenu hydraulického oleja je degradácia základového oleja, úbytok prísad a nečistoty v oleji.

Oxidácia je primárny proces chemickej degradácie oleja. V mnohých prípadoch sa týka len základového oleja. Výsledkom procesu oxidácie sú v prípade uhlíkových olejov organické kyseliny alebo polymérové zložky s vysokou molekulovou hmotnosťou. Antioxidačné prísady sa počas prevádzky oleja postupne vyčerpávajú, dôsledkom čoho rastie oxidácia základového oleja.

Ako základná skúška sa používa najmä kontrola čísla kyslosti oleja. Spoľahlivosť tejto skúšky môže byť ovplyvnená prítomnosťou prísad proti opotrebeniu. Ďalšou skúškou je infračervená spektrometria FTIR. Počas oxidácie sa základné molekuly oleja (uhlíkovíky) menia na ketóny, aldehydy, karboxyláty a iné tranzitné molekuly. Tieto nové molekuly môžu byť merané s FTIR infračervenou spektroskopiou.

Kontrola úbytku prísad patrí medzi najťažšie identifikovateľné kvalitatívne ukazovatele, parametre, čo sa týka ich zisťovania, hodnotenia pri analýze olejov. Na stanovenie

úbytku prísad sa ako primárna skúška používa elementárna spektroskopia, pretože mnohé prísady sú organicko–kovové zlúčeniny, ktoré obsahujú zinok, fosfor, horčík, kremík a iné prvky.

Stanovenie obsahu vody

Okrem pevných, kovových častíc z opotrebenia, ďalšou veľmi deštruktívnou nečistotou nachádzajúcou sa v hydraulickom oleji je vlhkosť, voda. Voda v oleji je nežiaduci činiteľ, ktorý vzniká počas prevádzky stroja a spôsobuje nepriaznivé degradačné procesy v sledovanom oleji. Stanovenie obsahu vody v oleji je dôležitou informáciou pre zistenie kvality oleja. [1]

Ako jednoduchá skúška na zistenie prítomnosti vody v oleji sa používa vizuálny praskací test (do 500 ppm). Obsah vody sa stanovuje podľa STN 65 6062 „Ropné výrobky. Stanovenie obsahu vody.“. Ako ďalšiu primárnu skúšku je možné použiť infračervenú spektrometriu FTIR, ktorá je efektívna pre zistenie vlhkosti nad cca 1 000 ppm.

Ako sekundárnu skúšku je možné použiť skúšku na viskozitu oleja, pretože jej nárast dáva často informáciu o tom, že v oleji je prítomná voda (vodná emulzia). Podľa elementárnej spektroskopie sa môže tiež zistiť prítomnosť vody tak, že sa zistí prítomnosť niektorých prvkov, ako napr. vápnika (tvrdá voda) a sodíka (soli vo vode). [12]

Na zistenie obsahu vody, vlhkosti sa s výhodou používa najmä titračná metóda, skúška podľa Karla Fischera, ktorá je uvedená v norme STN 65 0330 „Chemické produkty. Stanovenie obsahu vody podľa Karla Fischera“.

Stanovenie penivosti

Vzduch v hydraulickom oleji je taktiež považovaný za nečistotu, pretože kyslík obsiahnutý v bublinkách vzduchu spôsobuje oxidáciu kvapaliny. V hydraulických systémoch vzduch spôsobuje stlačiteľnosť kvapalín, a tým znižuje účinnosť prenosu energie. Typickým príznakom prítomnosti vzduchu v oleji je jeho penivosť.

Pre stanovenie množstva vzduchu v oleji je potrebné merať čas potrebný na uvoľnenie vzduchu a tzv. penovú charakteristiku. Uvoľnenie vzduchu je mierou času, ktorý je potrebný na uvoľnenie bubliniek vzduchu (voľný vzduch) z oleja na hladinu. Čas potrebný na uvoľnenie vzduchu je meraný podľa normy DIN 51 381. [9]

Hodnotenie mechanických nečistôt a počtu častíc

Pevné látky, nečistoty sú často klasifikované ako tvrdé alebo mäkké. Tvrdé častice (prach, kremík, železo, meď) môžu byť príčinou mechanického opotrebenia, napr. abrazívneho, zatiaľ čo mäkké častice môžu tvoriť kaly alebo povrchové nečistoty známe ako laky (lepkavé živice). Ďalšou veľmi deštruktívnou nečistotou nachádzajúcou sa v mazacom systéme v oleji je vlhkosť, voda. Prítomnosť vzduchu v oleji, mazacom systéme tiež prináša mnohé nežiaduce aspekty, ktoré majú vplyv na životnosť mazacieho oleja a na funkčnosť hydraulického systému.

V súčasnosti sa mechanické nečistoty v hydraulických olejoch hodnotia buď gravimetricky alebo pomocou kódu čistoty oleja, ktorý poskytuje predovšetkým počet častíc v oleji a distribúciu ich veľkosti. Gravimetrická metóda, v prípade hydraulických olejov, používa membránový filter s veľkosťou pórov 0,8 až 0,45 μm , čo znamená, že zachytí aj degradačné produkty oleja väčších rozmerov.

Stanovenie kódu čistoty nemá praktický význam u iných olejov, okrem hydraulických a turbínových. Nečistoty, a to aj čiastočky omnoho menšie, ako je hranica viditeľnosti voľným okom, môžu spôsobiť vážne poruchy hydraulického systému. Na svete sa používajú tri hlavné systémy vyhodnocovania meraní kódu čistoty, a to ISO 4406, NAS 1638 a SAE AS 4059.

V súčasnosti sa k stanoveniu počtu častíc vo vzorke oleja používajú tri metódy. Prvá z nich je optická mikroskopia (ISO 4407). Častice sú počítané „manuálne“ v zornom poli mikroskopu na membráne, ktorá je rozdelená rastrom (pomyselnou mriežkou) na rovnaké políčka štvorcového tvaru. Druhá a dnes asi najrozšírenejšia metóda je použitie automatických počítačov častíc (ISO 115007). Používajú sa v zásade dva základné princípy – optické prístroje s bielym svetlom, ktoré je v senzore zatienené prechádzajúcimi časticami a optické prístroje s laserom, kde prechádzajúce častice spôsobujú rozptyl laserového lúča. Laserové prístroje sú považované za presnejšie a citlivejšie. Tretou používanou metódou je blokácia otvorov (BS 3406). Vzorka prechádza otvormi (membránami) s presne definovanou veľkosťou otvoru, najčastejšie 10 µm.

Analýza a klasifikácia častíc opotrebenia

Analýza častíc opotrebovania a jej klasifikácia do tried odpovedajúcich typov opotrebovania umožňuje sledovať ako aktuálny stav, tak dlhodobý trend opotrebovania strojných súčastí. V prípade včasného zistenia blížiacej sa poruchy dáva možnosť preventívnych opatrení, ktoré môžu zabrániť hroziacej poruche zariadenia. [7]

So vzrastajúcim opotrebovaním sa zvyšuje koncentrácia prímеси v oleji. Z tohto dôvodu je preto ďalšou dôležitou úlohou zistiť nielen množstvo, ale aj veľkosť týchto častíc a spôsob, prípadne aj pôvod ich vzniku. Na zistenie veľkosti, tvaru a morfológie častíc v mazacom oleji, ktoré vypovedajú o režime opotrebovania stroja, je možné použiť ferografickú analýzu, ktorá je jednou z používaných metód časticovej analýzy olejov.

Ferografia je technika, ktorá slúži na analyzovanie úlomkov a produktov oteru, vznikajúcich v dôsledku opotrebovania. Je založená na separácii častíc, oddelených v priebehu opotrebovania trecích plôch do oleja.

Princípom ferografickej analýzy je mikroskopické posúdenie produktov opotrebovania feromagneticky izolovaných z analyzovanej vzorky. Na definovanie režimu opotrebovania sa posudzujú nasledovné charakteristiky izolovaných produktov:

- pozícia častice na vytvorenom ferograme,
- orientácia hlavného rozmeru častice,
- tvar častice a veľkosť častice,
- charakteristiky povrchu častice – farba, ryhovanie, pitting a pod.

Morfológia častice napovie napr. či je častica čerstvá (má ostré hrany a vznikla vytrhnutím materiálu v nedávnej dobe) alebo prúdi s olejom v systéme už dlhší čas (má zaoblený tvar, obrúsené hrany). Z morfológie častíc sa dá zistiť aj jej pôvod, či je to častica adhezívna, abrazívna atď. a podľa toho sa stanovuje režim opotrebovania (bežné, medzné, kritické, zábehové). Spolu s inými metódami sa dá približne zistiť, kedy a v ktorej časti systému častica vznikla a aké sily to spôsobili. [6]

Analytická ferografia je založená na oddelení cudzorodých častíc v olejovej náplni mazacej sústavy stroja a zariadenia od vlastného oleja. Vzorka oleja je najskôr zriedená technickým benzínom na zlepšenie adhézie a oddelenia častíc z oleja. Zriedená vzorka

steká po špeciálne skonštruovanom sklenenom sklze zvanom ferogram, ktorý je vystavený pôsobeniu silného magnetického poľa. Magnetickým zachytením častíc z oleja je vytvorený ferogram. Častice zachytené na ferograme sú skúmané polarizačným bichromatickým mikroskopom vybaveným digitálnou kamerou [8].

Princíp ferografie s priamym odčítaním zostáva rovnaký ako pri analytickej ferografii, len namiesto sklíčka je použitá tenkostenná sklenená kapilára zafixovaná v divergentnom magnetickom poli špeciálneho magnetu. Kapilárou preteká skúšaný olej. V dvoch miestach, kde sa usadzujú veľké a malé častice, sú napevno zabudované zdroje žiarenia a snímače, ktoré snímajú úbytok intenzity žiarenia. Ten je priamo úmerný stupňu pokrytia steny kapiláry časticami. Na ferografe s priamym odčítaním trvá analýza jednej vzorky asi 7 až 10 minút. [4]

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Na overenie teoretických predpokladov sa realizoval experiment na stroji s olejovými náplňami MADIT OH-HM 46 (hydraulický minerálny olej s prísadami proti peneniu a s obsahom modifikátora viskozity s depresantným účinkom) a PANOLIN HLP SYNTH ϵ_1 (plne syntetický, rýchlo biologicky rozložiteľný hydraulický olej s prísadami proti starnutiu, korózii a opotrebeniu).

Z dôvodu homogenity celej olejovej náplne, z ktorej sa vzorka odoberala, bola olejová náplň pred odberom dostatočne premiešaná minimálne 20 minútovou prevádzkou zariadenia, a tým zohriata na prevádzkovú teplotu.

Na vzorkovnici sa po každom odbere na štítkoch označili tieto údaje:

- druh hydraulickej náplne,
- typ stroja,
- dátum posledného odberu,
- dátum aktuálneho odberu,
- doba prevádzky zariadenia.

Vzorky boli odoberané na začiatku posudzovania hydraulických náplní (1. odber) a po odpracovaní 200 mth (2. odber). Skutočný interval odberu vzoriek je uvedený v Tabuľke 1.

Aby boli dosiahnuté čo najobjektívnejšie výsledky analýz, vzorky boli odoberané rovnakým spôsobom a za rovnakých podmienok.

Tabuľka 1 Interval odberu vzoriek

Druh hydraulickej náplne	Dátum odberu		Predpísaný interval odberu vzoriek [mth]	Skutočný interval odberu vzoriek [mth]
	1. odber	2. odber		
PANOLIN HLP SYNTH 46	11. 10. 2010	02. 12. 2010	200	196
MADIT OH-HM 46	04. 10. 2010	16. 11. 2010	200	195

Pre vyhodnotenie stavu hydraulických náplní použitých v hydraulickom systéme stroja bol použitý laserový automatický čítač a klasifikátor častíc LaserNet Fines-C (LNF-C).

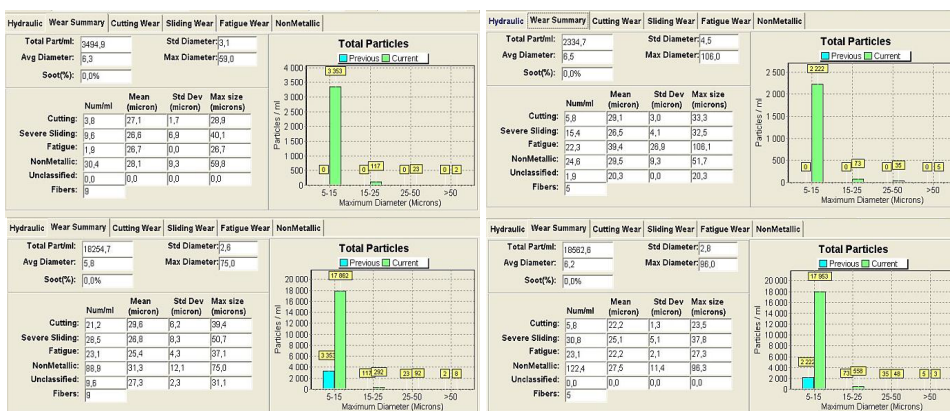
LNF-C pracuje na princípe presvecovania vzorky oleja výkonným laserovým lúčom. Olej je z nádoby nasávaný čerpadlom cez sitko do sklenenej meracej clony so šírkou 100 µm. Súčasne s prechodom oleja meracou clonou prechádzajú aj lúče impulzného laseru. Tie sú po dopade na pozadie snímané CCD kamerou, ktorá sníma tvar jednotlivých častíc obsiahnutých v pretekajúcej vzorke oleja. Snímky sú zaznamenávané rýchlosťou 30 obrazov za sekundu, čo je cca 5 400 obrazov na 1 ml oleja. Obraz je digitalizovaný a pomocou softvéru spracovaný. Obrisy častíc je možné zobrazit' na obrazovke počítača.

Príprava vzorky oleja pre analýzu spočívala v jej homogenizácii tzn. v dokonalom pretrepaní a odstránení vzduchových bublín v ultrazvukovom kúpeli. Po vybratí vzorky z kúpeľa a zadaní potrebných údajov o analyzovanej vzorke do počítača sa umiestnilo nasávacie zariadenie do nádoby a spustila sa analýza. Ak je to potrebné, vzorka oleja sa nariedi technickým benzínom v pomere 1:10. Po dokončení analýzy sa prístroj prepláchol čistým hydraulickým olejom a opätovne sa spustila analýza.

Vlastná analýza trvala približne tri minúty a po vyhodnotení analyzovanej vzorky bol zobrazený výsledok analýzy, ktorý poskytol komplexnú informáciu o:

- analýze tvaru oterových častíc a ich identifikáciu,
- množstve častíc v rozmedzí od 4 do 100 µm,
- kategorizácii vzorky podľa kódu čistoty na základe hodnotenia podľa noriem NAS 1638, ISO 4406:1999, NAVAIR 01-1A,17, SAE AS4059,
- klasifikácii častíc väčších ako 20 µm (adhezívne, abrazívne, únavové, nekovové),
- obsahu sadzí a vody.

Po uskutočnení analýzy vzoriek hydraulických olejov pomocou analyzátora častíc LNF-C sa získali informácie o vývoji celkového počtu častíc v skúmanom stroji pri vys užití oleja PANOLIN HLP SYNTH 46 a MADIT OH-HM 46. Výsledky analýz jednotlivých vzoriek hydraulických olejov sú uvedené na Obrázku 1 a v Tabuľke 2. Obrázok 1a popisuje výsledky analýzy vzoriek olejov PANOLIN HLP SYNTH 46 (úvodná analýza a po odpracovaní 196 mth). Obrázok 1b popisuje výsledky analýzy vzoriek olejov MADIT OH-HM 46 (úvodná analýza a po odpracovaní 195 mth).



a)

b)

Obrázok 1 Výsledky merania – počet častíc.

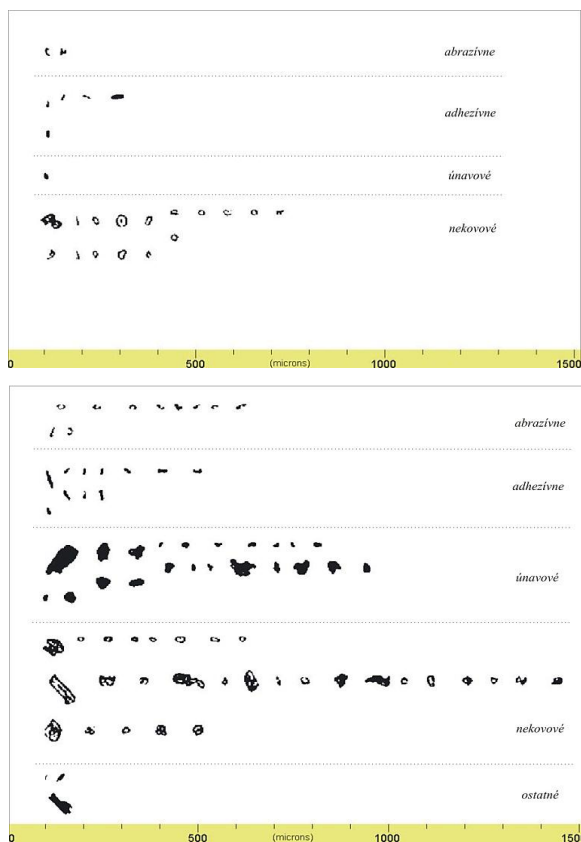
a) PANOLIN HLP SYNTH 46

b) MADIT OH-HM 46

Tvar častíc zistených v hydraulických olejoch a ich roztriedenie do jednotlivých tried je zobrazený na Obrázku 2. Častice nezaradené do jednotlivých tried, t. j. tie, ktoré sú menšie ako 5 µm a väčšie ako 100 µm, sa neklasifikujú podľa tvaru. Všetky ďalšie experimentálne údaje sú uložené v databáze, kde sú dostupné prostredníctvom riadiaceho softvéru.

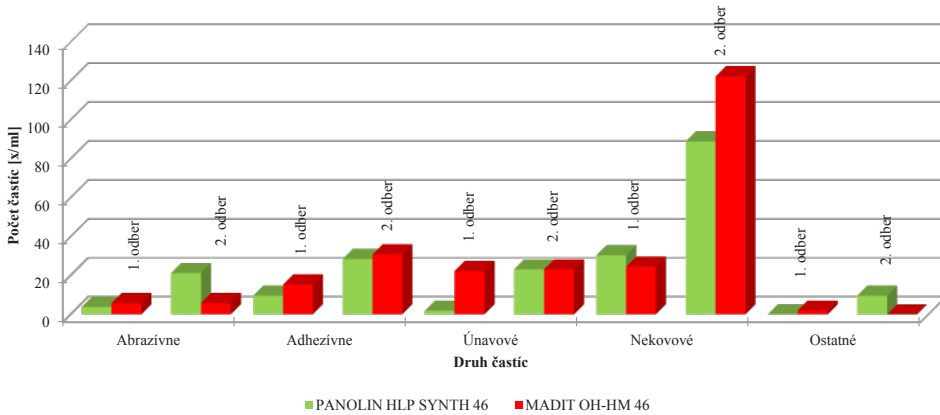
Tabulka 2 Počet jednotlivých druhov častíc väčších ako 20 µm.

Druh častíc/ počet častíc [x/ml]	Doba prevádzky [mth]			
	PANOLIN HLP SYNTH 46		MADIT OH-HM 46	
	614 [1. odber]	810 [2. odber]	2 005 [1. odber]	2 200 [2. odber]
Abrazívne	3,8	21,2	5,80	5,80
Adhezívne	9,6	28,5	15,40	30,80
Únavové	1,9	23,1	22,30	23,10
Nekovové	30,4	88,9	24,60	122,40
Ostatné	0,0	9,6	1,90	0,00



Obrázok 2 Zobrazenie častíc väčších ako 5 µm roztriedených podľa tvaru do jednotlivých tried.
a) PANOLIN HLP SYNTH 46
b) MADIT OH-HM 46

Vzájomné výsledné porovnanie jednotlivých tried častíc v obidvoch typoch hydraulických olejov je znázornené na Obrázku 3.



Obrázok 3 Porovnanie častíc v hydraulických olejoch väčších ako 20 μm roztriedených do jednotlivých tried.

Z výsledkov porovnania hydraulických olejov PANOLIN HLP SYNTH 46 a MADIT OH-HM 46 použitých v rovnakom stroji nie je možné povedať, ktorý olej je vhodnejší. Zvolený postup je však správny. Tu si je potrebné uvedomiť, že daný počet vzoriek (2 odbery) pre jednoznačné závery, ktorá z hydraulických náplní je vhodnejšia, je nepostačujúci. Pre posudzovanie by bolo vhodné zvoliť ešte doplnkovú metódu analýzy hydraulických náplní (napr. meranie viskozity), čo by vhodným spôsobom dopĺňalo uvedenú tribotechnickú analýzu.

ZÁVER

V niektorých krajinách je tribotechnické skúšanie na vysokej úrovni, u nás na Slovensku je situácia horšia. Laboratórií, ktoré sú schopné analyzovať všetky základné parametre mazacích látok na jednom mieste je veľmi málo. Na druhej strane treba povedať, že aj spoločenská objednávka na takéto analýzy je malá, postupne sa však zvyšuje, pretože každá pracovná hodina mazadla navyše predstavuje veľký finančný prínos.

Treba si však uvedomiť, že sa neustále pohybujeme v oblasti rozhodnutia, ktoré môže zničiť veľmi drahý stroj, alebo môžeme ušetriť veľa peňazí za drahé mazacie náplne. Aby bolo naše rozhodnutie správne, musíme mať objektívne výsledky o stave mazacej náplne.

Otázkou ostáva, čo treba analyzovať. Parametrov je pomerne dosť. V príspevku sme sa preto snažili poskytnúť širší pohľad na metódy, ktoré sa používajú pre analýzu hydraulických olejov.

Ako je z uvedeného príspevku zrejmé, ide o náročné a dosť komplexné testovanie a analyzovanie. Treba však povedať, že ak máme všetky parametre zamerané, práca ešte nekončí. Všetky výsledky by sa mali zhromažďovať pre jednotlivý stroj alebo zariadenie.

Na tento účel existujú špecializované programy, ktoré vložené výsledky porovnávajú a vykonávajú trendovú analýzu.

Z takýchto analýz sa už dá veľmi presne určiť v akom stave je mazacia náplň a príslušné zariadenia, z ktorého bola zobratá skúšaná vzorka. Vhodná interpretácia výsledkov z uskutočnených analýz umožňuje nielen včasne upozorniť na príznaky vznikajúcej poruchy, ale v rade prípadov umožniť i lokalizáciu miesta vzniku mechanickej poruchy.

LITERATÚRA

- [1] ČERNEYOVÁ, M. 2011. Prehľad metód monitorovania stavu hydraulického oleja programom analýzy olejov. *XIII. mezinárodní vědecká konference mladých 2011 : sborník referátů z mezinárodní vědecké konference*. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2011, s. 22–27. ISBN 978-80-213-2194-6
- [2] ČUCHRAN, J., STANOVSKÝ, M. 2012. Hodnotenie stavu motorových olejov metódami tribotechnickej diagnostiky. *Použitie ekologicky vhodných médií v hydraulických a mazacích systémoch lesných strojov : kolokvium ku grantovej úlohe VEGA 1/0525/09*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2012, s. 46–55. ISBN 978-80-228-2320-3
- [3] ČUCHRAN, J., LAUROVÁ, M., KUČERA, M., ČERNEYOVÁ, M. 2011. Uplatňovanie tribotechnickej diagnostiky pri hodnotení technického stavu odvozných sústav. *XIII. mezinárodní vědecká konference mladých 2011 : Sborník referátů z mezinárodní vědecké konference*. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2011. ISBN 978-80-213-2194-6, s. 22–27.
- [4] DÁLIK, P. 2011. Diagnostika hydraulických olejov. *Tribotechnika*. 2011, roč. IV, č. 4, s. 18–19. ISSN 1338-0524
- [5] HNILICA, R., DADO, M. 2012. Basic mechanisms of metalworking fluid mist formation. *Použitie ekologicky vhodných médií v hydraulických a mazacích systémoch lesných strojov : kolokvium ku grantovej úlohe VEGA 1/0525/09*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2012, s. 56–60. ISBN 978-80-228-2320-3.
- [6] Lotn. Meranie parametrov mazacích olejov a hydraulických kvapalín [online]. Košice [cit. 2011-06-16]. Dostupné na internete: <http://www.sli.sk/index.php?option=com_content&view=article&id=77%3Ameranieparametrov-mazacich-olejov-a-hydraulickychkvapalin&catid=36%3Amerania&Itemid=53&showall=1>.
- [7] MACHALÍK, S., JURÁNEK, R., ZEMČÍK, P. 2011. Automatická klasifikace částic opotřebování. *Technické informace*. [online]. 2011, číslo 1, s. 18–19 [cit. 2012.08.11]. Dostupné na internete: <<http://www.tribotechnika.cz/>>.
- [8] MAJDAN, R., ABRAHÁM, R., HUJO, E., MOJŽIŠ, M. 2012. Fyzikálno-chemické vlastnosti ekologického oleja. *Tribotechnika*. Roč. V, č. 2, s. 28–30. ISSN 1338-0524
- [9] MAJDAN, R., KUREKOVÁ, M., PULENKA, R., RÁŠO, M. 2012. *Vlastnosti prevodových a hydraulických olejov traktorov*. [online]. Nitra : Pôdohospodársky poradenský systém, 2012 [cit. 2012.04.11]. Dostupné na internete: http://www.agroporadenstvo.sk/stroje/clanky/hydraulicke_oleje.htm>.
- [10] NOVÁČEK, V. 2008. Opořebení strojů sledované pomocí analýz mazacích olejů. *Technické informace*. [online]. 2008, číslo 1, s. 4–5 [cit. 2012.01.11]. Dostupné na internete: <<http://www.tribotechnika.cz/>>.
- [11] NOVÁČEK, V. 2011. Několik příkladů z proaktivní údržby hydraulických systémů. *Technické informace*. [online]. 2011, číslo 2, s. 18–19 [cit. 2012.07.10]. Dostupné na internete: <<http://www.tribotechnika.cz/>>.

[12] PEŤKOVÁ, V. a kol. 2012. *Tribotechnika v teórii a praxi*. Košice : Vydavateľstvo Vienaľa pre TU v Košiciach Strojnícka fakulta, 2012. s. 366 s. ISBN 978-80-8126-057-5.

Príspevok bol spracovaný v rámci riešenia vedeckého projektu VEGA č. 1/0403/11
„Výskum technických parametrov motorových píl s ohľadom na ergonómiu
a ekológiu práce“.

Kontaktná adresa:

Ing. Michaela Hnilicová, PhD., doc. Ing. Marián Kučera, PhD.,
Katedra lesnej a mobilnej techniky, FEVT, TU vo Zvolene, Študentská 26,
960 53 Zvolen, tel.: +421 45 5206 822,
e-mail: michaela.hnilicova@gmail.com, kucera@tuzvo.sk

MODELOVANIE NAPÍNANIA PÍLOVÝCH LISTOV

MODELLING OF SAW BLADES TENSION

Eubomír JAVOREK – Ján SVOREŇ – Jozef MICHÁLIK

ABSTRACT: This article is focused on the possibility of modern methods for tool design and presentation one from its application – virtual modeling and tension predetermination in crosssection of saw blade.

Key words: saw blade, stress, modelling.

ABSTRAKT: Článok je orientovaný na možnosti moderných metód navrhovania nástrojov a ukážku virtuálneho modelovania a predikcie napätia v priečnom priereze pílového listu.

Kľúčové slová: pílový list, napätie, modelovanie

1. ÚVOD

V súčasnej dobe, kedy neustále narastá požiadavka na skrátenie etapy vývoja akýchkoľvek súčiastok, rezných nástrojov nevynímajúc je využívanie novodobých metód navrhovania aj nástrojov nevyhnutné. Je to tak preto, lebo rezné nástroje sú tvarovo zložité, zhotovené väčšinou z drahých materiálov a preto je žiaduce minimalizovať finančné straty z „nevydarených“ produktov konštruktéra. Využívanie CAD technológií sa neustále rozširuje (IŽOL a ŽARNAJ, 2004; ČUBOŇOVÁ, 1998) tak v oblasti navrhovania, ako aj v oblasti predikovania pomerov pri obrábaní (ORLOWSKI, 2010).

2. CHARAKTERISTIKA NAMÁHANIA PÍLOVÝCH LISTOV

Z hľadiska pílenia je dôležité, aby napínacie sily pílových listov mali vhodnú veľkosť. Voľné pílové listy zapríčiňujú ohnutie, chybné rezanie, prepínané pílových listov spôsobí veľké predĺženia, tým stráti svoju pružnosť a v krajnom prípade sa zničia. Pílové listy rámových pííl sú zaťažované nasledujúcimi silami, ktoré v jeho priereze vytvárajú napätie, predovšetkým ťahové.

Tieto sily sú:

- napínacia sila vytvorená mechanicky (klin, excenter...), hydraulicky, príp. iným spôsobom,

- zotrvačná sila, v dôsledku zrýchleného vertikálneho pohybu;
- rezná sila F_c a pasívna sila F_f .

Sily vytvárajú napätie, ktoré v priebehu rezania môže klesnúť v dôsledku predĺženia pílového listu od vzniknutého tepla.

Hodnota napínacej sily je rôznymi autormi rôzne odporúčaná. V prípade, ak je umiestnená symetricky, potom platia nasledujúce vzťahy.

KOLLMAN (1955) Technologie in Holzes. Springer-Verlag udáva vzťah podľa H. Fischera:

$$F_n = \frac{F' \cdot L}{0,4 \cdot y} \quad [\text{N}] \quad (1)$$

kde:

F' ... sila, spôsobujúca stranové vybočenie pílového listu o hodnotu y v 1/2 voľnej dĺžky pílového listu [N],

L ... dĺžka pílového listu [mm].

FISCHER, pre veľkosť napínacej sily F_n , udáva vzťah:

$$F_n = 8000 \cdot a^2 \quad [\text{N}] \quad (2)$$

kde:

a ... hrúbka pílového listu [mm].

Podľa tohto vzťahu sa napínacia sila zväčšuje so štvorcom hrúbky pílového listu.

H. MARSCHNER (1942) (KOLLMANN 1955: Technologie in Holzes. Springer-Verlag.) tvrdí, že napínacia sila má mať hodnotu:

$$F_n = L \cdot (7,74 \cdot a^2 + 1,65 \cdot a^2 \cdot F_f) \quad [\text{N}] \quad (3)$$

kde:

a ... hrúbka pílového listu [mm],

L ... voľná dĺžka pílového listu [mm],

F_f ... sila v smere posuvu [N].

V prípade, ak je napínacia sila umiestnená asymetricky (obr. 1), potom pre napätie v priečnom priereze pílového listu platí:

$$\sigma_{max,min} = \frac{F_n}{a \cdot B_1} \cdot (1 \pm 6 \cdot m) \quad [\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}] \quad (4)$$

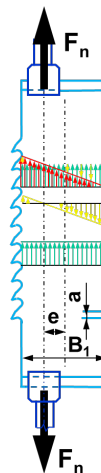
kde:

F_n ... napínacia sila [N],

a ... hrúbka pílového listu [mm],

B_1 ... šírka pílového listu bez zubov [mm],

m ... pomer excentricity nositeľky napínacej sily a šírky pílového listu bez zubov [-] (pozri obr. 1).



Obrázok 1 Napätie v priečnom priereze (pílový list s priamym chrbtom) (Javorek, 2006)

Hodnotu $m = e/B_1$ sa odporúča udržať v rozsahu (0,15 ÷ 0,4).

KOLLMANN uvádza tvrdenie Birmanna o použití takej veľkej napínacej sily, aby v pílovom liste vyvolala ťahové napätie (120÷150) MPa, resp. B. Thunnela, že sila má byť taká veľká, aby v priereze pílového listu ($a \times B_1$) vyvolala ťahové napätie $\sigma_t = (30 \div 120)$ MPa.

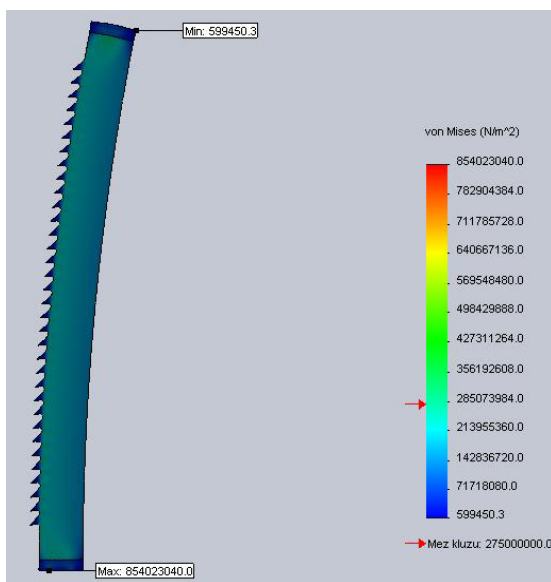
3. CIEĽ EXPERIMENTU

Cieľom experimentu bolo namodelovať rôzne pílové listy s rovnakými rozmermi ($L= 1200$ mm, $B_{1, \min} = 100$ mm, $a = 2,4$ mm) ale rôznymi tvarmi chrbta ($B_1 = 100$ mm – priamy chrbát, $B_{1, \min} = 100$ mm – rozširujúci sa chrbát so zápichom (J typ), pílový list s výrezmi (DSG Scraper typ), napínané silou, ktorá v priereze pílového listu s rozmermi $B_{1, \min} = 100$ mm, $a = 2,4$ mm vytvorí napätie $\sigma_n = 150$ MPa, t.j. v ostatných dvoch pílových listoch bola sila identická, ale napätie sa menilo. Umiestnenie napínacej sily – 55 mm, resp. 35 mm od chrbta pílového listu. V tomto príspevku sú zobrazené priebehy napätí pri polohe nositeľky napínacej sily 55 mm od chrbta listu.

Vlastnosti materiálu:

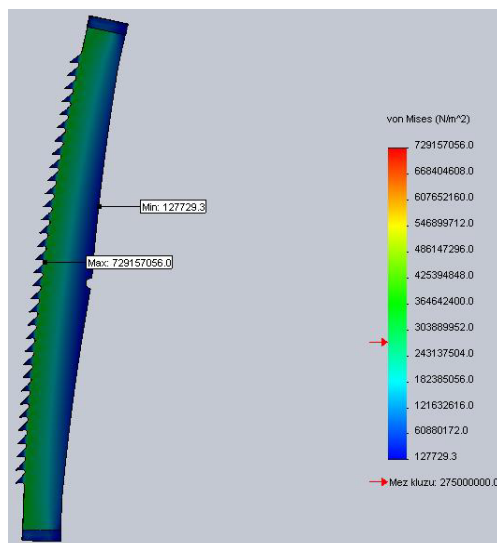
• Youngov modul pružnosti	201000	[N·mm ⁻²]
• Poissonovo číslo	0,31	[-]
• Modul pružnosti v šmyku	77000	[N·mm ⁻²]
• Hustota	7,92	[kg·dm ⁻³]
• Medza pevnosti v ťahu	620	[N·mm ⁻²]
• Medza klzu	275	[N·mm ⁻²]

V pílovom liste s priamym chrbtom je priebeh napätia v celej voľnej dĺžke konštantný.



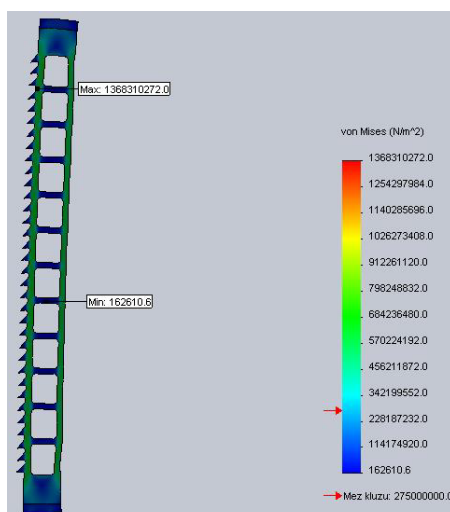
Obrázok 2 Napätie v pričnom priereze (pílový list s priamym chrbtom) (Michálik, 2010)

V pílovom liste s meniacim sa rozmerom B_1 sa priebeh napätia pozdĺž pílového listu menil (vplyvom zmeny veľkosti prierezu) ale menil sa aj v priečnom smere – v smere k zubom vzrastalo. Extrémne hodnoty sú zobrazené na obr. 3.



Obrázok 3 Napätie v priečnom priereze (J-Typ) (Michálik, 2010)

Pri pílovom liste typu DSG Scraper možno konštatovať, že priebeh napätia v celej voľnej dĺžke sa mení podľa okamžitého priečného prierezu PL a výrazne narastá v oblasti zubov listu.



Obrázok 4 Napätie v priečnom priereze (DSG Scraper) (Michálik, 2010)

4. ZÁVER

Príspevok ukazuje možnosti modelovania súčiastok, v tomto prípade nástrojov, v moderných CAD/CAM systémoch (Pro/ENGINEER, Catia, I-DEAS, UNIGRAPHICS, Euklid 3 ...). Výsledky získané modelovaním je však potrebné verifikovať buď modelovaním v inom systéme, alebo uskutočniť experiment pre potvrdenie alebo vyvrátenie modelovaním získaných výsledkov.

5. ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- ČUBOŇOVÁ, N., 1998: Aplikácia CAD/CAM systému Pro/Engineer vo výučbe.
[Dostupné na internete 20.02.2013] <<http://fstroj.utc.sk/journal/sk/019/019.htm>>
- IŽOL, P., ŽARNAY, J.: CA. pristupy při návrhu řezných nástrojů.
[Dostupné na internete 20.02.2013]
<<http://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/1497-ca-pristupy-pri-navrhu-reznych-nastroju.html>>
- JAVOREK, L.: *Nástroje (I. část)*. Zvolen: Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 2006. 171 s. ISBN 978-80-228-1714-1.
- KOLLMANN, F. 1953: *Das Spannen von Gattersägenblättern, insbesondere mit hydraulischen Spannvorrichtungen*. Holz als Roh- und Werkstoff. V. 11, Issue 4, s. 156–161.
- MICHÁLIK, J. 2010: *Analýza a modelovanie namáhania pilových listov rámových pil*. Bakalárska práca, Zvolen: FEVT Technická univerzita vo Zvolene, 47 s. Vedúci: L. Javorek.
- ORLOWSKI, K. A. 2010: *The fundamentals of narrow-kerf sawing: the mechanics and quality of cutting*. Publishing house of the Technical University in Zvolen. S. 150.

Kontaktná adresa:

doc. Ing. Ľubomír Javorek, CSc.
doc. Ing. Ján Svoreň, 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
svoren@tuzvo.sk

Ing. Jozef Michálik
J. G. Tajovského 953/3
962 12 Detva
e-mail: michalik.j@zoznam.sk

SIMULÁCIA PADANIA ČASTÍC POMOCOU HORIZONTÁLNEHO POSUVNÉHO STOLA S JEDNÝM STUPŇOM VOĽNOSTI

SIMULATION OF FALLING OF PARTICLES USING HORIZONTAL MOVING TABLE WITH ONE DEGREE OF FREEDOM

Pavol KOLEDA – Peter KOLEDA

ABSTRACT: This article deals with possibility of falling particles simulation, that originate at production process, using a horizontal movement table with one degree of freedom. The analysis of moving patterns is realised by means of software image processing, whereby the goal is to determine the rate of pattern deformation in the image at specific speed. Simplified computer model in the second part of article describes the course of reaction between the particle and the plate at the actuating acceleration of the gravitational acceleration value. There are also compared the kinematic quantity of moving plate and particle.

Keywords: fractional particle, gravitational acceleration, simulation

ABSTRAKT: Článok sa zaoberá možnosťou simulácie padajúcich častíc, ktoré vznikajú vo výrobnom procese, pomocou horizontálneho pohybového stola s jedným stupňom voľnosti. Analýza pohybujúcich sa vzoriek je realizovaná prostriedkami softvérového spracovania obrazu, pričom cieľom je stanovenie stupňa skreslenia vzorky v obraze pri určitej rýchlosti. Zjednodušený počítačový model v druhej časti článku ilustruje priebehy reakcií medzi časticou a podložkou pri aktuálnom zrýchlení s hodnotou gravitačného zrýchlenia. Tiež sú tu porovnané kinematické veličiny pohybujúceho sa stola a častice.

Kľúčové slová: frakčná častica, gravitačné zrýchlenie, simulácia

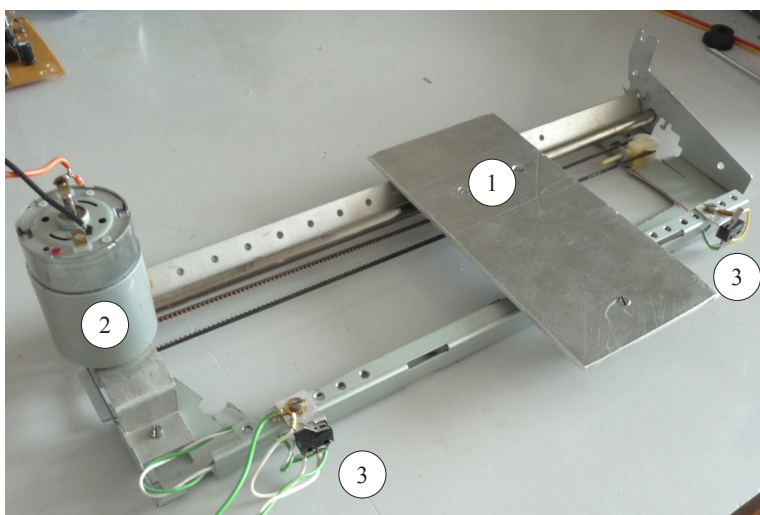
ÚVOD

Automatizované meranie rozmerov frakčných častíc vznikajúcich vo výrobnom procese (drevné piliny a pod.) môže zjednodušiť údržbu výrobného zariadenia, znížiť jeho poruchovosť a znížiť počet výrobkov s odchýlkami od želaného tvaru. V tomto prípade je snímanie častíc ovplyvnené ich pohybom, a to buď voľným pádom alebo zrýchlením udeleným obrábacím strojom, prípadne dopravným zariadením.

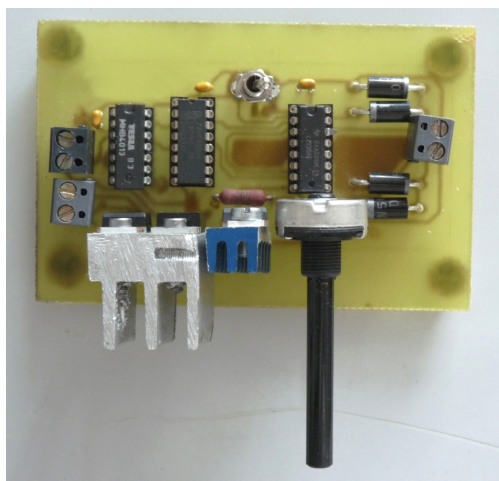
Optické metódy merania rozmerov objektov zachytených na statických snímkach patria k perspektívnym bezkontaktným meracím metódam. Ich nasadením je možné jednoduchšie zistiť rádo vo viac parametrov o snímaných objektoch než klasickými metódami. Samotné predspracovanie získaných snímkov zahŕňa niekoľko operácií, ktorých cieľom je potlačiť irelevantné informácie zachytené v obraze (Hrčková, 2012). Ak sa majú vyhodnocovať aj kinematické veličiny pohybujúcich sa objektov, analýza dynamického obrazu okrem klasických metód predspracovania (Sonka, 2007) často krát vyžaduje aj vhodnú metódu na stanovenie neznámej rýchlosti pohybujúcich sa objektov. Na meranie rýchlosti pohybujúcich sa objektov sa obvykle používajú úsekové metódy merania rýchlosti. Kvalitatívna analýza dynamickej scény sa vykonáva aj pomocou analýzy obrazovej sekvencie a jej následného vyhodnotenia (Bouthemy, 1993).

MATERIÁL A METÓDY

Pre laboratórnu simuláciu podmienok padania častíc je používané translačné zariadenie umožňujúce translačný pohyb častíc na kovovej doske v jednej osi (obr. 1). Translačné zariadenie pozostáva z pojazdu 1, ktorý je posúvaný po koľajničke pomocou jednosmerného motora 2. Pojazd s kovovou doskou vykonáva translačný pohyb obmedzený koncovými spínačmi 3. Keď doska na konci jednej úvrate zopne koncový spínač, systémom ovládania motora sú prepólované svorky motora, čím sa zmení zmysel otáčania a pojazd sa začne pohybovať do opačnej strany. Týmto smerom sa pohybuje až kým doska nezopne koncový spínač na druhej úvrati. Doska sa teda pohybuje po dráhe, ktorej dĺžka je nastavená koncovými spínačmi. Tie menia polaritu svoriek motora pomocou ovládacieho obvodu (obr. 2). Rýchlosť motora a teda aj rýchlosť translačného posunu kovovej dosky je možné plynulo regulovať pomocou potenciometra.



Obrázok 1 Translačné zariadenie



Obrázok 2 Ovládací obvod translačného zariadenia

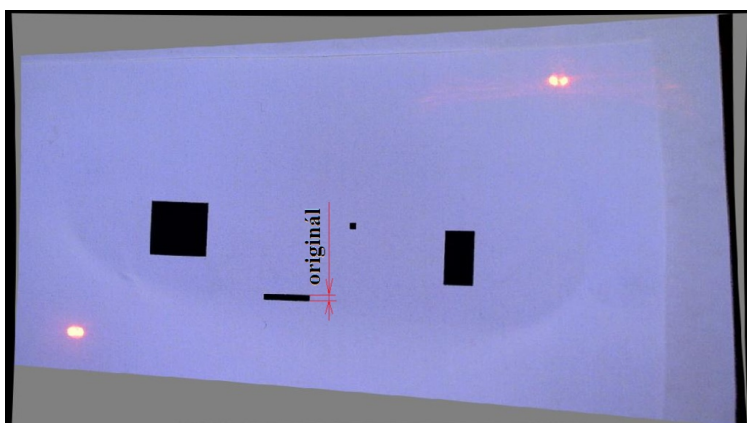
Rýchlosť a smer pohybu frakčných častíc v reálnom prostredí majú náhodný charakter, nie je jednoduché presne určiť dráhu ich pohybu. Častice majú rôznu veľkosť. Pri trieskovom obrábaní dreva pôsobia na padajúce piliny rôzne sily, ako napríklad vlastná tiaž pilín, zrýchlenie udelené rezným nástrojom, sily pôsobiace v danom prostredí (vietor, vibrácie, ventilácia, odsávanie atď.) Mnohé z týchto vplyvov ovplyvňujúcich smer a rýchlosť pohybu častíc nie je jednoduché určiť, preto je smer a rýchlosť padajúcich pilín len odhadnutá.

Pri simulácii padania častíc pomocou translačného zariadenia je skúmaná hlavne maximálna možná rýchlosť, pri ktorej je ešte možné zisťovať rozmery častíc bez chyby merania, prípadne zistiť pomerový koeficient prepočtu zistených rozmerov častíc pohybujúcich sa určitou známou rýchlosťou. Simulácia predpokladá voľný pád častíc s priamočiarym pohybom bez vplyvu okolia. Meranie rozmerov častíc pri takomto pohybe je ovplyvnené rýchlosťou snímania daných kamier. Čím dlhší čas potrebujú kamery pre exponovanie záberu, tým viac sú objekty v obraze ovplyvnené pohybom.

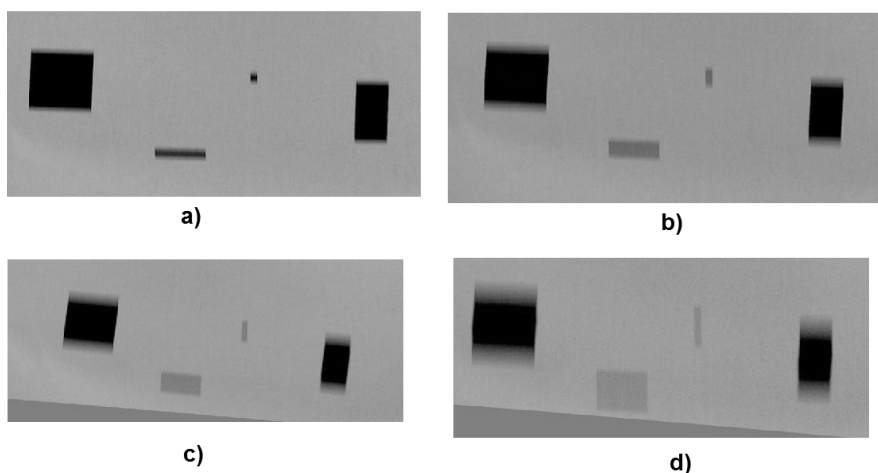
Pre ilustratívne pochopenie správania sa frakčných častíc na povrchu translačného mechanizmu bol vytvorený jeho počítačový model, na ktorého simuláciách sa sledovali priebehy relevantných veličín.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Počas simulácie padania častíc boli prevedené merania rozmeru častice, ktorý bol ovplyvnený pohybom častíc pri rôznych rýchlostiach ako aj v statickej polohe. Častice boli nahradené plošnými vzormi so známymi rozmermi (obr. 3).



Obrázok 3 Rozmer skúšobnej vzorky pri statickom snímaní



Obrázok 4 Dynamické snímanie častíc pri rôznych rýchlostiach:
a) $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, b) $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, c) $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, d) $18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Pri simulácii dynamického snímania častíc je meraný rozdiel rozmeru jednej častice v smere pohybu vibračného zariadenia. Rozdiel rozmerov častíc pri rôznych rýchlostiach pohybu je viditeľný na obr. 4, pričom s narastajúcou rýchlosťou sa zväčšuje rozmer častíc v smere ich pohybu. Skreslenie meraných častíc je spôsobené nízkou rýchlosťou snímania kamerami, použité kamery snímajú maximálnou rýchlosťou 30 fps. Chybu snímania je možné odstrániť dvomi spôsobmi:

- použitím vysokorýchlostných kamier,
- kompenzáciou určených rozmerov podľa známej rýchlosti pohybu častíc.

Použitím vysokorýchlostných kamier sa niekoľkonásobne zvýši rýchlosť snímania jednej snímky a tým sa zníži skreslenie pri dynamickom snímaní. Tieto kamery môžu mať rýchlosť snímania až 1 000 000 fps (kamera Olympus i-SPEED FS, obr. 5), čo znamená zosnímanie jednej snímky za jednu mikrosekundu. Pri rýchlosti pohybu častíc $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ to prináša skreslenie rozmerov o 0,02 mm. Nevýhodou týchto kamier je ich cena, ktorá sa pohybuje okolo 150 000 USD (Olympus co., 2013).



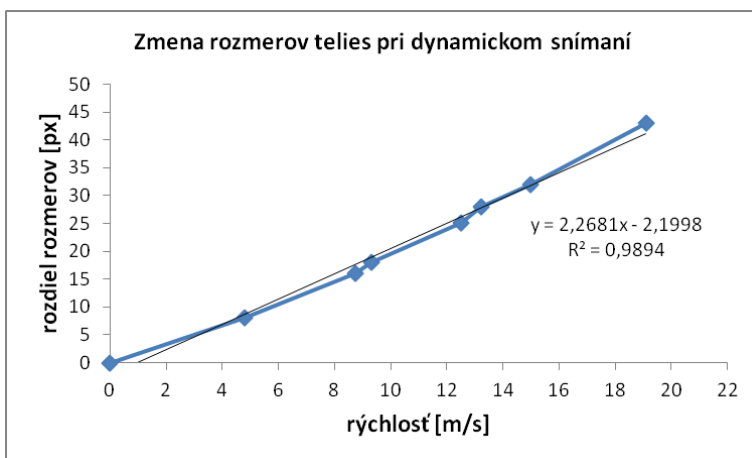
Obrázok 5 Vysokorýchlostná kamera Olympus i-SPEED FS (Olympus co., 2013)

Pri kompenzácii chyby dynamického snímania je nutné poznať rýchlosť, akou sa merané častice pohybujú. Na základe známej rýchlosti častíc určenej z dráhy prejdenej za definovaný čas sú prepočítané zistené rozmery podľa prevodového vzťahu získaného z meraní (tab. 1).

Tabuľka 1 Zmena rozmeru častice vplyvom jej rýchlosti

rýchlosť [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	dĺžka [px]	rozdiel [px]
0	9	0
4,80	17	8
8,75	25	16
9,33	27	18
12,50	34	25
13,23	37	28
15,00	41	32
19,10	52	43

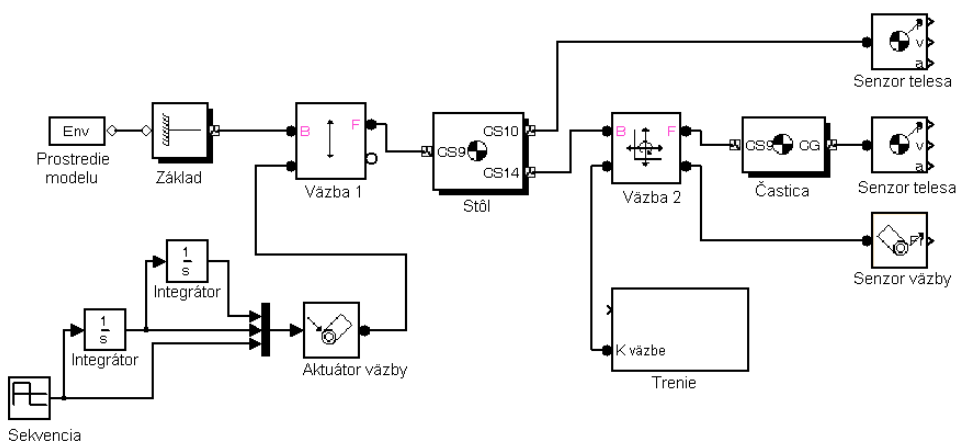
Z nameraných hodnôt predĺženia rozmeru častice pri dynamickom snímaní je určená ich lineárna regresná krivka s rovnicou a koeficientom korelácie R^2 (obr. 6).



Obrázok 6 Závislosť zmeny rozmeru na zmene rýchlosti pohybu častíc

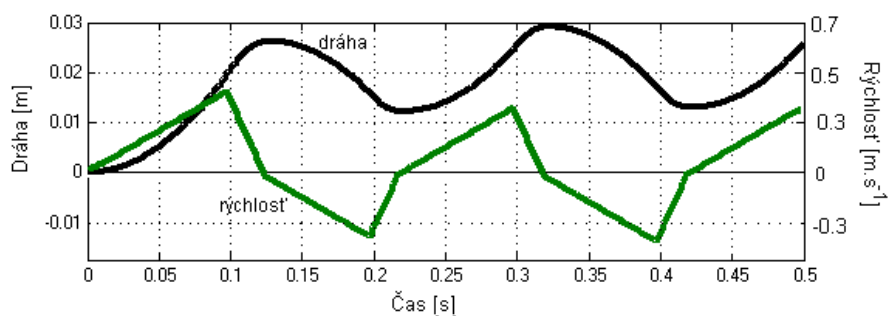
Zistená rovnica lineárnej regresie predstavuje kompenzačný vzťah pre dynamické snímanie častíc so známou rýchlosťou. Udáva zmenu rozmeru častice v smere pohybu pri určitej rýchlosti.

Počítačový model translačného mechanizmu (obr. 7) predstavuje dekompozíciu zjednodušené hlavné časti s ohľadom na ich fyzikálnu správnosť. Je tvorený rámom ako rovinou, na ktorej sa pohybuje pojazďový stôl v jednom smere. Medzi rámom a stolom je definovaná posuvná väzba, v ktorej pôsobí aktuálne zrýchlenie v smere osi z. Medzi stolom a časticou s hmotnosťou 0,01 g je väzba s tromi stupňami voľnosti (pohyb v smere osí x a z a rotácia okolo osi y). V tejto väzbe je definované aj trenie s príslušnými koeficientmi pre statické a kinetické trenie.

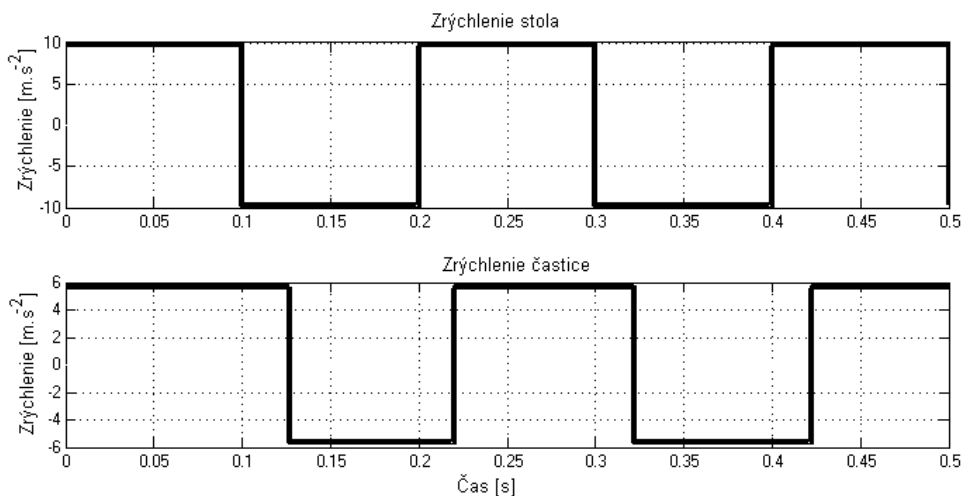


Obrázok 7 Počítačový model translačného stola

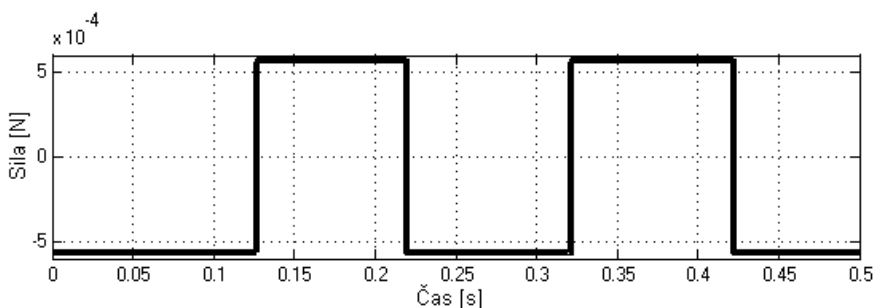
Aktuálne zrýchlenie v smere osi z má veľkosť gravitačného zrýchlenia, v intervaloch 0,1 s sa mení jeho znamienko, čím vzniká lineárny oscilačný pohyb. Rýchlosť a príslušná dráha sú získané integráciou zrýchlenia podľa času, dĺžka simulácie je 0,5 s. Snímané sú reakcie v jednotlivých väzbách, dráhy, rýchlosti a zrýchlenia stola a častice. Keďže je pohyb definovaný len v smere osi z, na grafoch sú znázornené len tieto zložky snímaných kinematických veličín. Na obr. 8 sú znázornené rozdiely priebehov dráhy a rýchlosti stola a častice, na obr. 9 priebehy ich zrýchlenia, pričom je viditeľné, že zrýchlenie častice nedosiahlo hodnotu gravitačného zrýchlenia.



Obrázok 8 Rozdiel dráhy a rýchlosti stola a častice



Obrázok 9 Zrýchlenie stola a častice



Obrázok 10 Zložka F_z reakčnej sily

Z výsledkov simulácie je zrejmé, že zotrvačné sily spôsobujú relatívny pohyb medzi časticou a stolom. Tieto sily pri determinovanom zrýchlení teda prekonávajú odpory voči pohybu a rýchlosť častice nie je identická s rýchlosťou stola. Relatívny pohyb medzi časticou a stolom začína byť viditeľný približne od zrýchlení $\pm 5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

ZÁVER

Počítačová simulácia gravitačného zrýchlenia frakčných častíc vznikajúcich pri obrábaní dreva pomocou horizontálneho pohybového stola prináša určité nedostatky. Podľa simulácie pri zrýchlení stola na hodnote gravitačného zrýchlenia nastáva relatívny pohyb medzi stolom a časticami na ňom umiestnenými, ktorý závisí najmä od veľkosti konkrétnej častice, jej hustoty a geometrických rozmerov. Tieto parametre určujú veľkosť odporov voči pohybu (najmä statického trenia) a veľkosť zotrvačnej sily, ktorá by spomenuté odpory nemala prekonať, čím by rýchlosť častíc zodpovedala rýchlosti stola. Zrýchlenie častíc podľa simulácie však nemalo hodnotu gravitačného zrýchlenia.

Následok uvedených nedostatkov je nemožnosť charakterizácie zrýchlenia častíc ako zrýchlenia gravitačného. Hlavným parametrom ovplyvňujúcim relatívny pohyb medzi časticami a podložkou je koeficient statického trenia, pričom jeho zvýšenie vedie k odstráneniu nežiadúcich pohybov. Vhodné riešenie je aj zadefinovanie časti meracieho priestoru, v ktorom sa dá s určitosťou tvrdiť, že rýchlosť častíc zodpovedá rýchlosti stola. K snímaniu pri takejto rýchlosti a v určenom malom priestore je však potrebné použiť vysokorýchlostný kamerový systém.

LITERATÚRA

- BOUTHEMY, P., FRANÇOIS, E. 1993. Motion Segmentation and Qualitative Dynamic Scene Analysis from an Image Sequence. *Internation Journal of Computer Vision*, 1993, 10/2, s. 157–182. ISSN 1573-1405
- HRČKOVÁ, M. 2012. Vplyv predspracovania na analýzu špeciálnych obrazov. *Acta Facultatis Technicae*, 2012, r. XVII, č. 3, s. 35–43. ISSN 1336-4472

OLYMPUS Corporation. *High Speed Video Cameras: i-SPEED FS* [online]. Dostupné na: <http://www.olympus-ims.com/en/hsv-products/i-speed-fs/> [cit. 21. 1. 2013].
SONKA, M., HLAVAC, V., BOYLE, R. 2007. *Image Processing, Analysis and Machine Vision*. CL Engineering, 2007, 872 s. ISBN-13 978-0495082521

Kontaktná adresa:

Ing. Pavol Koleda, PhD.

Ing. Peter Koleda, PhD.

Katedra informatiky a automatizačnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,
Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 960 53 Zvolen

ODOLNOSŤ VYBRANÝCH NAVÁROVÝCH MATERIÁLOV PROTI ABRAZÍVNEMU OPOTREBENIU NA BRÚSNOM PLÁTNE

RESISTANCE OF SELECTED WELDED MATERIALS AGAINST ABRASIVE WEAR ON THE EMERY CLOTH

**Martin KOTUS – Tomáš PAULIČEK – Daniela KALINCOVÁ
– Marek DAŇKO – Tomáš HOLOTA**

ABSTRACT: The article deals with the issue of resistance additive materials against wear in the laboratory conditions. Resistance of materials are defined using the relative resistance against wear on the emery cloth and hardness of the weld. Experimental results confirmed the adequacy of the additive materials in conditions of prevailing abrasive wear.

Key words: surfacing, additional material, relative resistance, abrasive wear

ABSTRAKT: Príspevok sa zaoberá problematikou odolnosti prídavných materiálov proti opotrebeniu v laboratórnych podmienkach. Odolnosť materiálov sme definovali pomocou pomernej odolnosti proti opotrebeniu na brúsnom plátne a tvrdosti návaru. Experimentálne výsledky potvrdili vhodnosť použitých prídavných materiálov do podmienok s prevládajúcim abrazívnym opotrebením.

Kľúčové slová: naváranie, prídavný materiál, pomerná odolnosť, abrazívne opotrebenie

ÚVOD

Poľnohospodárske stroje pracujú v rôznych pôdnych podmienkach, ktoré sú definované štruktúrou pôdy, jej vlhkosťou ale aj chemickým zložením. Hlavne časti strojov, ktoré prichádzajú do kontaktu s pôdou sú vystavené intenzívnemu opotrebeniu. Funkčné časti sú opotrebované v podmienkach abrazívneho opotrebenia a nedostatočne vykonávajú svoju činnosť.

Najčastejšími príčinami porúch strojných súčastí a konštrukcií sú tribologické procesy, ktoré prebiehajú na funkčných povrchoch. V oblasti prevencie materiálových strát je najdôležitejšia úloha pripisovaná technológiám aktívnej povrchovej ochrany materiálov v trecích uzloch, napr. renovácia naváraním. (Viňáš, 2004)

Vzhľadom na ekonomickú a časovú náročnosť prevádzkových skúšok sú často tribologické skúšky vykonávané v laboratórnych podmienkach. Za určitých podmienok

je možné výsledky z laboratórných meraní použiť pri definovaní vhodnosti materiálov do konkrétnych prevádzkových podmienok. (Čičo et al., 2011; Viňáš, 2008)

Cieľom príspevku je otestovať vybrané prídavné materiály proti abrazívnemu opotrebeniu v laboratórných podmienkach. Prídavný materiál bude nanosený naváraním a otestovaný na skúške podľa normy STN 01 5084 – odolnosť kovových materiálov proti abrazívnemu opotrebeniu na prístroji s brusným plátnom.

1. MATERIÁL A METÓDY

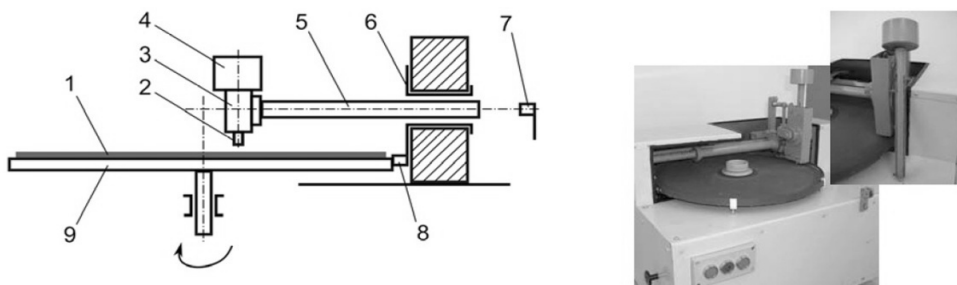
Tribologickými skúškami je možné stanoviť veľkosť opotrebenia na základe straty materiálu spôsobené opotrebením, t. j. hmotnosti vzorky. Kritériom pre hodnotenie odolnosti materiálov v laboratórných podmienkach je pomerná odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu ($\psi_{abr.}$), ktorá je definovaná ako podiel hmotnostných úbytkov etalónových telies k hmotnostným úbytkom skúšobných vzoriek testovaného materiálu. Porovnávacie skúšobné telesá sú vyrobené z ocele 12 014.20 podľa normy STN 41 2014 s vymedzeným rozmedzím tvrdosti HV = 95 ÷ 105.

Podmienky pri laboratórnej skúške na stanovenie odolnosti skúšaných materiálov boli dodržané podľa príslušnej normy, a podľa nej sa aj postupovalo pri praktickej skúške. Priemerné hodnoty hmotnostných úbytkov sa vypočítali z úbytkov hmotnosti pre každú skúšobnú vzorku.

Ako prídavný materiál sme vybrali návarové elektródy typového označenia Castolin 2R a Eutectic 4002. Patria medzi rutilové obalené elektródy na báze FeCrMo so zvýšeným obsahom uhlíka. Vyznačujú sa vysokou tvrdosťou a odolnosťou proti oteru, tlaku a rázu. Sú menej náchylné k popraskaniu, vzniku trhlín aj pri tvorbe viacvrstvových návarov. Ich použitie je pri tvorbe povrchových vrstiev u zubov lopát, bágrových lyžíc, drvičov, vnútorné steny miešačiek, pri naváraní stavebného náradia ako vrtáky, atď.

Tvorba nanosenia prídavného materiálu na základný materiál zodpovedala odporúčaniam výrobcu, pričom sme dodržali odporúčané podmienky a parametre pri ručnom oblúkovom naváraní.

Merania hmotnostných úbytkov, tvrdosti podľa Vickersa (HV10 podľa normy STN ISO 6507) sme vykonali na prístrojoch a zariadeniach v priestoroch laboratórií Katedry kvality a strojárskych technológií TF SPU v Nitre.



Obrázok 1 Skúšobný prístroj na stanovenie pomernej odolnosti proti opotrebeniu:
1 – brusné plátno, 2 – vzorka, 3 – držiak, 4 – závažie, 5 – pohybová skrutka, 6 – otočná matica,
7 – koncový vypínač, 8 – narážka, 9 – otáčajúca sa vodorovná doska

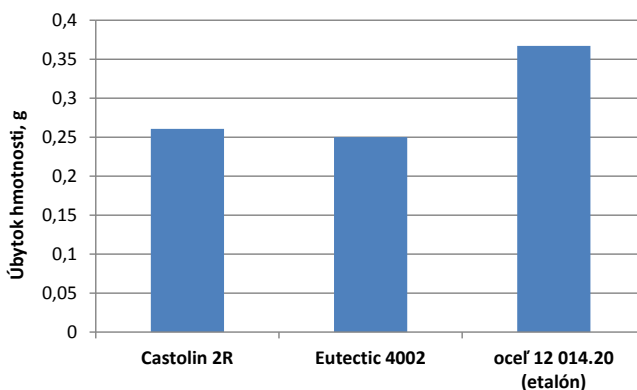
2. VÝSLEDKY A DISKUSIA

V tabuľke č. 1 sú uvedené dosiahnuté a namerané výsledky hmotnostných úbytkov pri sledovaných skúšobných vzorkách, tvrdosť HV10 udávaná výrobcom a nami dosiahnutá tvrdosť, ako aj vypočítaná pomerná odolnosť Ψ_{abr} proti opotrebeniu.

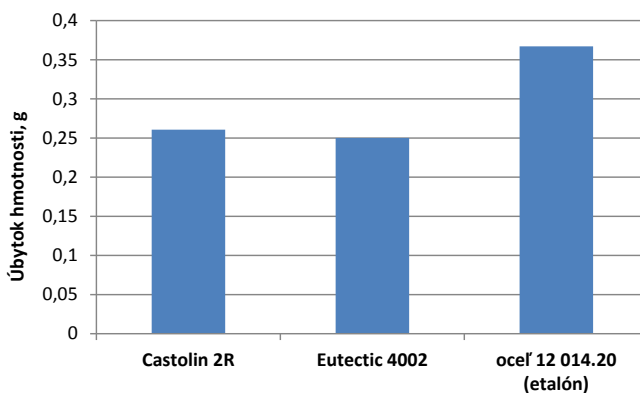
Graficky zobrazené úbytky hmotnosti sú na obrázku č. 2, tvrdosti HV10 na obrázku č. 3 a pomerná odolnosť proti opotrebeniu na obrázku č. 4.

Tabuľka 1 Tvrdosť HV10, úbytok hmotnosti a pomerná odolnosť

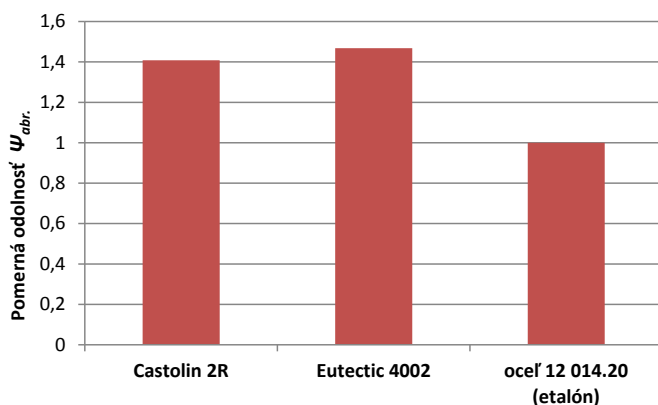
Materiál	Tvrdosť HV10 udávaná výrobcom	Nameraná tvrdosť HV10	Úbytok hmotnosti [g]	Pomerná odolnosť Ψ_{abr} [-]
Castolin 2R	615–720	578	0,2607	1,408
Eutectic 4002	514–527	417	0,2501	1,468
ocel 12 014.20 (etalón)	95–105	106	0,3671	1



Obrázok 2 Priemerné hmotnostné úbytky skúšobných vzoriek



Obrázok 3 Priemerné hodnoty tvrdosti udávané výrobcom a nami dosiahnuté



Obrázok 4 Vypočítaná pomerná odolnosť Ψ_{abr} proti opotrebeniu

Z porovnania tvrdosti materiálov a pomernej odolnosti môžeme konštatovať, že u materiálu s nižšou tvrdosťou stúpla hodnota pomernej odolnosti, t. j. znížila sa veľkosť opotrebenia. Namerané tvrdosti nezodpovedali hodnotám udávaných výrobcami, ale musíme poznamenať, že sme vytvorili návary kde je predpoklad premiešania návarového kovu so základným materiálom. Daný výrobca prídavných materiálov udáva tvrdosť čistého návarového kovu bez uvažovania premiešania návaru so základným materiálom.

Odolnosť proti opotrebeniu nie je len vnútornou vlastnosťou materiálu, ktorou môžeme jednoznačne charakterizovať určitú danosť materiálu, ako napríklad jeho niektoré mechanické, alebo fyzikálne vlastnosti. Avšak musíme ich poznať (napr. tvrdosť), pretože môžu významne vplyvať na odolnosť proti opotrebeniu.

Kovaříková et al. (2011) dosiahli pomernú odolnosť proti opotrebeniu $\Psi_{abr} = 3 \div 5$ u kovových práškov NP16, NP 22, NP42, NP62 s prísadou wolfrám karbidov nanosených CO_2 laserom. Avšak vytvorené návary dosiahli vyššiu tvrdosť ako pri nami vytvorených návaroch.

Auroti Viňáš-Brezinová (2009) sledovali odolnosť základných elektród E 511B, E 518B a EW11 proti opotrebeniu v prevádzke (pôda) a v laboratóriu (korundová a kamenná drvina). Návary boli vykonané jednovrstvové a dvojvrstvové a dosiahnuté výsledky potvrdili zvýšenú odolnosť funkčných plôch odolávajúcich abrazívnemu opotrebeniu.

Kovaříková (2007) uvádza, že dnešné naváracie materiály sú založené na legovaní Cr a C, čím sa získa v návaroch veľké množstvo karbidov Cr, a tým dobrá odolnosť proti abrazívnemu opotrebeniu.

Votava et al. (2005, 2007) stanovili pomernú odolnosť nielen na brúsnom plátne, ale aj v prevádzke pri opotrebení lemešov pluhu v pôdnych podmienkach. Testovali oceľ triedy 14 026.3 avšak po žíhaní na mätko, normalizačnom žíhaní, zušľachťovaní a kalení. Štruktúry takto tepelne upravenej ocele boli ferit + globulárny perlit, ferit + lamelárny perlit, sorbit a martenzit. Pomerná odolnosť proti opotrebeniu dosahovala hodnotu $\Psi_{abr} = 1,1 \div 1,9$.

Abrazívne opotrebenie je zložitý proces, u ktorého je ťažké vypracovať obecný model, podľa ktorého by bolo možné spoľahlivo stanoviť veľkosť opotrebenia. Abrazívne opotrebenie má priamy vplyv na celkovú dobu prestojov (poruchy, výmena opotrebených

častí, ...) a kvalitu vykonanej práce. Hlavnou príčinou vysokého opotrebenia nástrojov pre spracovanie pôdy sú predovšetkým tvrdé častice SiO₂, kde ich tvrdosť dosahuje 900 až 1 280 HV. (Votava et al., 2012)

ZÁVER

Pôduspracujúci nástroj poľnohospodárskeho stroja sa musí vyznačovať vysokou technickou úrovňou a musí vykonávať kvalitnú prácu. Na splnenie tejto požiadavky musí byť jeho funkčná časť odolná voči opotrebeniu. Zvýšenie odolnosti a oteruvzdornosti povrchu materiálu je možné dosiahnuť nanosením prídavného materiálu, ktorý svojím chemickým zložením vytvorí takú štruktúru materiálu, ktorá bude odolávať danému druhu opotrebenia.

Pre prevádzkovú prax môžeme potvrdiť vhodnosť použitia prídavných materiálov ako jednu z možností na zníženie veľkosti opotrebenia. Avšak musíme poznamenať, že danej problematike je potrebné venovať pozornosť, nakoľko na trhu sú stále novšie druhy prídavných materiálov pri súčasnom vývoji technológií vytvárania oteruvzdorných vrstiev.

LITERATÚRA

- ČÍČO, P. – KOTUS, M. – KALINCOVÁ, D. 2011. Odolnosť dlátových radličiek v podmienkach abrazívneho opotrebenia. In Acta facultatis technicae. Zvolen : Technická univerzita, 2011. Ročník XVI, č. 2, s. 25–30. ISSN 1336-4472.
- DAŇKO, M. – ČÍČO, P. – KOTUS, M. – PAULÍČEK, T. 2011. Odolnosť materiálov vytvorených laserovým naváraním proti abrazívnemu opotrebeniu. In Kvalita a spoľahlivosť technických systémov. Nitra : SPU, 2011. s. 101–105. ISBN 978-80-552-0595-3.
- KOVAŘÍKOVÁ, I. 2007. Štúdium vybraných druhov návarov odolných proti abrazívnemu opotrebeniu. In Zvárač. Roč. IV, č. 1, 2007. s. 19–22. ISSN 1336-5045.
- KOVAŘÍKOVÁ, I. – ŠIMEKOVÁ, B. – HODÚLOVÁ, E. – ULRICH, K. 2011. Properties of composite wear resistant layers created by laser beam. In *Intelligent Manufacturing & Automation: Power of Knowledge and Creativity*. Vol. 22, No. 1. Vienna, Austria. s. 1193–1194. ISSN 1726-9679.
- ŠPENDEL, P. – DAŇKO, M. – ANDRÁSSYOVÁ, Z. – KOTUS, M. 2011. Odolnosť tvrdomávarov proti opotrebeniu pri laboratórnych skúškach. In Najnovšie trendy v poľnohospodárstve, v strojárstve a v odpadovom hospodárstve. ŠVK. Nitra : SPU, 2011. s. 185–190. ISBN 978-80-552-0588-5.
- VIŇÁŠ, J. 2004. Voľba vhodných prídavných materiálov pre renováciu funkčných povrchov namáhaných vysokými tlakmi. In Acta Mechanica Slovaca – Pro-tech-ma 2004. 2-B/2004 roč. 8. TU, Košice. s. 465–470. ISSN 1335-2393.
- VIŇÁŠ, J. 2008. Možnosti predĺženia životnosti pojazďových kolies naváraním. In: Svět Svaru, roč. 12, č. 1, 2008. s. 22–24. ISSN 1214-4983.
- VIŇÁŠ, J. – BREZINOVÁ, J. 2009. Obnova funkčných plôch poľnohospodárskych dielcov využitím technológie navárania. In Transfer inovácií : Špecializovaná publikácia / vedecko-technické výstupy grantových úloh. Košice : TU-SjF, 2009. č. 15 (2009), s. 184–187. ISSN 1337-7094.
- VOTAVA, J. – BEDNÁŘ, R. – FAJMAN, M. – VAVERKOVÁ, L. 2012. Abrazívni a degradační proces technických materiálů používaných v zemědělství. In Kvalita a spoľahlivosť technických systémov. Nitra: SPU Nitra, 2012, s. 171–175. ISBN 978-80-552-0798-8.

- VOTAVA, J. – ČERNÝ, M. – FILÍPEK, J. 2005. Vliv tepelného zpracování na abrazivní opotřebení. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 2005. sv. LIII, č. 5, s. 175–185. ISSN 1211-8516.
- VOTAVA, J. – ČERNÝ, M. – FILÍPEK, J. 2007. Abrazivní opotřebení plužních čepelí z ADI litiny. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 2007. sv. LV, č. 1, s. 173–182. ISSN 1211–8516.

Kontaktná adresa:

Ing. Martin Kotus, PhD., Ing. Tomáš Pauliček, Ing. Marek Daňko, PhD., Ing. Tomáš Holota.
Katedra kvality a strojárskych technológií, Technická fakulta,
Slovenská poľnohospodárska univerzita, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra.
E-mail: martin.kotus@uniag.sk

Ing. Daniela Kalincová, PhD., Katedra výrobných technológií a materiálov,
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita vo Zvolene,
Študentská 26, 960 53 Zvolen.

PROAKTÍVNY PRÍSTUP PRI ÚDRŽBE STROJOV ANALÝZOU OLEJOVEJ NÁPLNE PROACTIVE APPROACH DURING MACHINE MAINTENANCE ANALYSIS OIL FILLING

Marián KUČERA – Michaela HNILICOVÁ – Jozef ČUCHRAN

Abstract: Monitoring functions and oil filling machine status during the period of operation, monitoring ongoing changes in the properties of oil and the concentration of wear metals creates conditions to ensure reliable operation throughout its lifetime. Mobile machines are monitored with the help of so that this is particularly diagnostic machine, respectively. parts (engine, transmission, hydraulics) and a delay of exchange deadlines oil filling is completely incidental. Oil samples were then taken before each regularly carried oil change, which is followed by the original equipment manufacturers.

Key words: oil analysis, indicators quality, proactive maintenance

Abstrakt: Monitorovanie funkcie olejovej náplne a stavu stroja počas doby prevádzky, sledovanie priebežných zmien vlastností oleja a koncentrácia oterových kovov vytvára podmienky pre zaistenie spoľahlivej funkcie po celú dobu jeho životnosti. Výrobné stroje sú pomocou analýz sledované tak, že ide predovšetkým o diagnostiku stroja, resp. jeho častí (motor, prevody, hydraulika) a predĺženie výmenných lehôt olejových náplní je úplne podružné. Vzorky olejov sa potom odoberajú vždy pred pravidelne vykonávanými výmenami olejov, ktoré sú dodržiavané podľa predpisu výrobcu stroja.

Kľúčové slová: analýza olejovej náplne, indikátory kvality, proaktívna údržba

1 ÚVOD

Zmeny v mazacom oleji sú ovplyvnené predovšetkým prebiehajúcim oxidačným procesom, tepelnou degradáciou (horúce miesta) a chemickými reakciami, ktoré vznikajú v reálnych prevádzkových podmienkach strojového zariadenia (Nováček 2011). Tieto javy prebiehajú pri kontakte so vzdušným kyslíkom pri zvýšenej teplote, často v prítomnosti vody, kovových a nekovových nečistôt. Samotný proces oxidácie je sprevádzaný prítomnosťou menej stabilných molekúl, ktoré rýchlo oxidujú a vytvárajú kyslé produkty. Bogatu et al. 2009, Hájek et al. 1998, Nizam a Bari 2009 uvádzajú, že sa tieto ďalšou oxidáciou menia na komplexnejšie zlúčeniny, čo vytvára v olejových systémoch výrobných zariadení predpoklad pre vznik rôznych kalov, lakov, živíc a nevhodných polárnych látok, ktoré sa usadzujú na funkčných kovových povrchoch strojových súčastí pracovných systémov, čím

zhoršuje funkčnosť mazaných súčastí ako aj odvod tepla z trecích uzlov. Okrem toho je mazivo v prevádzke ovplyvňované i ďalšími faktormi medzi ktoré možno zaradiť prevádzkovú teplotu, prevádzkový tlak, obehové číslo a veľkosť olejovej náplne, požadovanú a dostatočnú filtráciu a v neposlednom rade aj starostlivosť o mazivo počas prevádzky (Majdan et al. 2011, Tkáč et al. 2010). Starostlivá kontrola, hodnotenie fyzikálno-chemických vlastností olejovej náplne a zisťovanie obsahu nečistôt a prísad v oleji si však vyžaduje určité praktické skúsenosti (Turis et al. 2012). Praktické skúsenosti s analýzou olejov nás učia, že najúspešnejšie programy sú tie, ktoré vznikajú po starostlivom hodnotení a v spojení so stanovenými cieľmi (Holmberg a Helle 2006, Kureková a Paulenková 2010, Vdoleček 2006). Základom je vypracovanie kvalitného konceptu už na začiatku tak, aby nemusel byť neskôr upravovaný.

V prípade, že má byť proaktívna údržba efektívna, je k zaisteniu úspechu v analýze olejov potrebné:

- stanoviť cieľovú úroveň čistoty stroja (limitné hodnoty), čoho výsledkom je významné predĺženie životnosti,
- určiť metódy starostlivosti o olejové náplne pre odstránenie znečisťujúcich látok a kontaminantov, čoho výsledkom je odstránenie alebo zníženie zdrojov znečistenia na vstupe,
- implementovať program monitorovania znečistenia oleja i strojového zariadenia, čoho výsledkom je filtrácia v skorších intervaloch.

2 METÓDY A MATERIÁL

Pre čo najpresnejšie a najobjektívnejšie monitorovanie stavu častí výrobného zariadenia sa vychádza pri sledovaní jednak z limitov jednotlivých parametrov, jednak z ich trendov. Limity sú používané predovšetkým na začiatku monitorovania a ďalej potom ako „posledné inštancie“ v priebehu, kedy sú už rozhodujúce trendy. Vychádza sa z podrobných informácií o stroji, resp. jeho časti a z prevádzkových podmienok. Ďalej sa pri stanovení limitov berú do úvahy odporúčenia výrobcu stroja, skúsenosti s podobnými typmi strojov ako aj z hodnôt zistených pri analýze nového nepoužitého oleja. S týchto údajov môžeme potom porovnávať výsledky konkrétnej analýzy, ale tiež historické výsledky tohto stroja alebo jeho časti. Jediné týmto spôsobom vieme hodnotiť stav strojových dielov na základe analýzy oleja.

2.1 Význam jednotlivých sledovaných parametrov

Ani napriek veľkému množstvu nameraných parametrov nie je vždy záruka správneho posúdenia stavu olejovej náplne a zariadenia, keď ich nesprávne interpretujeme. Preto je nevyhnutné poznať „normálne“ a hraničné hodnoty jednotlivých parametrov, ako aj súvislosti medzi nimi. Až keď vieme, čo jednotlivé hodnoty sledovaných parametrov znamenajú môžeme urobiť objektívny posudok olejovej náplne a zariadenia z tribodiagnostického hľadiska. Inak by sa výsledok analýz stal len bezcennou zmesou čísel.

Kinematická viskozita ako jeden z najdôležitejších parametrov kvapalných mazív určuje tvorbu kvapalinového trenia alebo mazania, únosnosť mazacieho filmu, veľkosť odporu pri rozbehu pohyblivých častí, tesniacu schopnosť maziva, jeho čerpaceľnosť a tepelnú vodivosť. Je mierou tekutosti a vnútorného trenia oleja. Od nej závisí hrúbka mazacieho filmu. Meraním kinematickej viskozity olejov počas prevádzky sa sleduje či olej spĺňa svoju funkciu v mazacom systéme, čím sa predchádza nadmernému opotrebovaniu trecích častí. Limitnou hodnotou pre zmenu kinematickej viskozity je $\pm 10\%$. Pre každý stroj je výrobcom určený rozsah viskozity pre dané mazivo, ktoré musí znižovať trenie a predchádzať nadmernému opotrebovaniu mazaných častí stroja. V použítom oleji viskozita rastie z dôvodu vzniku nečistôt a to buď prienikom z vonkajšieho prostredia alebo opotrebovaním a starnutím oleja. Jej pokles môže byť spôsobený napr. zriedením olejovej náplne s palivom, alebo kontamináciou s iným médiom. Jej zvýšenie môže signalizovať napr. silné oxidačné zmeny oleja (priemyselné oleje), alebo jeho znečistenie spalinami alebo sadzami (motorový olej).

BN (Base Number) je hodnota alkalickéj rezervy pri motorových olejoch. Olej by sa mal vymeniť, keď jej hodnota je polovičná oproti počiatkovej hodnote BN pri novom oleji.

TAN (Total Acid Number) je veľmi dôležitým ukazovateľom kvality použitej olejovej náplne. Hovorí tiež o obsahu voľných kyselín, ktoré v oleji vznikli v dôsledku jeho oxidačných zmien a tým priamo určuje stupeň degradácie oleja. Motorový olej a olej pre plynové motory by sa mal vymeniť, keď sa hodnoty TAN a BN vyrovnajú. Pri ostatných treba poznať hraničnú hodnotu TAN, prípadne ju konfrontovať s infračerveným spektrom, ktoré v prípade oxidačných zmien vykazuje výraznú prítomnosť karboxylovej skupiny C=O (hovorí o prítomnosti produktov oxidácie oleja – aldehydov, ketónov, karboxylových kyselín).

Bod vzplanutia – je dôležitým bezpečnostným parametrom napr. pri nehorľavých hydraulických kvapalinách (HFDU-kvapaliny), alebo teplonosných médiách. Napr. v motorových olejoch môže jeho zníženie znamenať kontamináciu oleja palivom, resp. v iných olejoch kontamináciu prchavými látkami.

Obsah vody – je dôležitý parameter vo väčšine olejov, pretože kontaminácia oleja vodou môže spôsobiť problémy, ako je korózia, strata mazacích vlastností oleja, tvorba kalov a usadenín. Väčšina olejov je hygroskopických, teda pohlcujú vlhkosť z okolitého prostredia. Pri niektorých olejoch je vlhkosť jedným z rozhodujúcich parametrov, ovplyvňujúcich aplikačné vlastnosti oleja, napr. priernosť napätie u transformátorového oleja. Dôsledkom nadmerného obsahu vody je zvýšený oder a opotrebovanie trecích dvojíc, čo môže spôsobiť poruchu ložísk, upchatie filtrov a zapečenie motora. Kvôli zvýšenému obsahu vody z prostredia, je často potrebné používať oleje s detergentno-dispergačnými vlastnosťami, ktoré sú schopné pohltiť väčšie množstvo vody bez straty mazacích vlastností oleja (hydraulické oleje, oleje pre pneumatické systémy).

Celkové znečistenie – hovorí o kontaminácii oleja mechanickými nečistotami. Tieto nečistoty môžu nepriaznivo ovplyvniť mazacie vlastnosti oleja, pôsobiť v systéme

abrazívne, upchávať mazacie kanáliky, ventily, prispievať k tvorbe kalov a usadenín v systéme. Tento parameter je mimoriadne dôležitý napr. pri hydraulických a turbínových olejoch. V týchto prípadoch však lepší obraz o znečistení poskytne kód čistoty (meraný laserovým počítačom častíc, alebo ručne s použitím mikroskopu a rastrovacej mriežky).

Kód čistoty – je významný hlavne u hydraulických a turbínových olejov. Dnes sa meria hlavne laserovým počítačom častíc, metódou prerušenia svetelného lúča. Poskytuje údaje o počte častíc v oleji podľa veľkostných kategórií. Tie sú rôzne pre metódu ISO a NAS, ako aj forma kódového čísla, ktoré sa udáva ako výsledok merania.

Optická emisná spektrometria s budením spektra pomocou indukčne viazanej plazmy (OES – ICP) – často používaná metóda na stanovenie aditívnych, kontaminačných a oterových prvkov v oleji.

- a) **Aditívne prvky** – k najdôležitejším patrí zinok, fosfor, síra, vápnik a bárium. Treba poznať zloženie oleja a obsah prvkov v čerstvom oleji, aby sa dal sledovať ich úbytok. Väčšinou sa takto stanovuje obsah EP-prísad, ktoré majú priamy vplyv na protioterové vlastnosti oleja.
- b) **Kontaminačné prvky** – sú prvky, ktoré by sa v systéme normálne nemali nachádzať. Najčastejšie sa sleduje kremík, ktorý hovorí o znečistení oleja prachovými časticami.
- c) **Oterové prvky** – k najdôležitejším stanovovaným oterovým prvkom patria: železo, hliník, chróm, olovo, meď, cín, horčík. Tu je potrebná znalosť konštrukcie systému, či zariadenia, aby sa dalo predpokladať, odkiaľ jednotlivé oterové prvky môžu pochádzať, a tiež sú potrebné skúsenosti v danej oblasti (napr. meď môže pochádzať pri motorovom oleji z opotrebovania ložísk, vačky, ojnice, ale aj z chladiaceho systému).

Infračervená spektrometria je optická nedeštruktívna analytická metóda, ktorá poskytuje rýchle a komplexné informácie o stave použitého maziva a využíva sa na stanovenie zmien oleja, nap. pri olejoch pre plynové motory sa touto metódou stanovuje oxidácia, nitrácia a sulfinácia oleja. Touto metódou sa dá zistiť aj kontaminácia oleja iným olejom, alebo produktom, ale aj vodou. Porovnaním IČ-spektier sa dá zistiť zhoda olejov, alebo rozdiely medzi nimi. Dnes knižnice spektier umožňujú s určitou pravdepodobnosťou pomerne presne identifikovať konkrétny typ oleja.

3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Výber parametrov pre analýzy olejových náplní závisí od toho, či sa použitá olejová náplň analyzuje na účely výskumu a vývoja mazív, alebo sa jedná o rutinné analýzy v rámci stratégie údržby. V prvom prípade je cieľom získanie čo najväčšieho množstva parametrov z olejovej náplne ako aj zo strojového zariadenia pre ich možné využitie pri nových vylepšených receptúrach mazacích olejov. V prípade rutinných analýz je veľmi dôležité vybrať dominantné parametre tak, aby pri čo najmenších prevádzkových nákladoch poskytli dostatočne verný obraz o stave olejovej náplne i stroja (Sekereš a Turis 2009). Veľmi vhodná je aj kombinácia klasických a moderných prístrojových metód (Peřková 2012). Na základe praktických skúseností môžeme stanoviť kľúčové sledované parametre pre jednotlivé skupiny olejových náplní, viď tabuľka 1.

Tabuľka 1 Kľúčové parametre pre jednotlivé skupiny olejových náplní

	Hydraulické oleje	Turbínové oleje	Prevodové oleje	Kompresory
Kinematická viskozita pri 40 a 100 °C	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>
Viskozitný index	<i>A</i>	<i>N</i>	<i>A</i>	<i>A</i>
Prítomnosť vody alebo chladiacej kvapaliny	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>
Celkové znečistenie	<i>N</i>	<i>N</i>	<i>A</i>	<i>A</i>
Alkalická rezervna	<i>N</i>	<i>N</i>	<i>N</i>	<i>N</i>
Číslo kyslosti	<i>A</i>	<i>N</i>	<i>N</i>	<i>A</i>
Deemulgačná charakteristika	<i>N</i>	<i>A</i>	<i>N</i>	<i>N</i>
Bod vzplanutia	<i>N</i>	<i>N</i>	<i>N</i>	<i>N</i>
Obsah oterových, kontaminujúcich a aditívnych kovov	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>
Infračervené spektrum	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>
Kód čistoty	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>N</i>	<i>N</i>
Korozívny účinok na oceľ a meď	<i>N</i>	<i>N</i>	<i>A</i>	<i>N</i>

Poznámka: *A* – parameter sa sleduje, *N* – parameter sa nesleduje

3.1 Stanovenie limitov kvalitatívnych vlastností mazacích olejov

Zabezpečiť plynulú a spoľahlivú prevádzku strojov a zariadení je jeden z hlavných dôvodov pre vykonávanie analýz mazív. V tejto súvislosti treba uviesť, že pozornosť je venovaná trom postupom analýzy mazacích olejových náplní. Ide o:

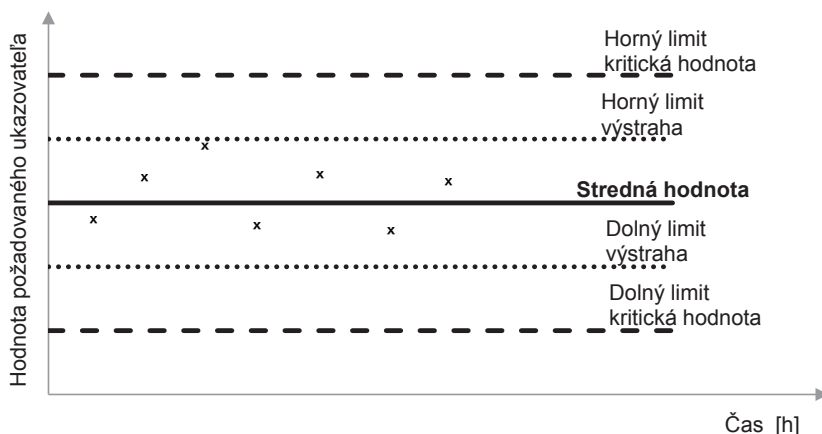
1. Analýzu kvapalných vlastností mazacieho oleja (proaktívna činnosť) – medzi kontrolované kvalitatívne ukazovatele patrí najmä kinematická viskozita, číslo kyslosti a alkalita AN/BN, analýza jednotlivých prvkov (elementárna spektroskopia) a infračervená spektroskopia FTIR (prísady);
2. Analýzu znečistenia mazacieho oleja (proaktívna činnosť) – medzi kontrolované kvalitatívne ukazovatele patrí napr. obsah vody, vlhkosť, počet častíc a teplota vzplanutia;
3. Analýzu opotrebovania častí strojov a trecích uzlov (prediktívna činnosť) – medzi kontrolované kvalitatívne ukazovatele patrí hlavne hustota častíc (Fe), ferografia a prvková analýza.

Kontrola jednotlivých kvalitatívnych ukazovateľov podľa tabuľky 2 je zameraná na stanovenie konkrétnych nameraných hodnôt, ktoré dávajú celkový obraz o stave olejovej náplne a jednotlivých trecích uzlov zariadenia. Jedná sa o určité maximálne povolené odchýlky od požadovaných hodnôt v nameraných jednotkách, ktoré podliehajú analýze, hodnoteniu a sú uvádzané ako výstražné a hraničné hodnoty, resp. limity. Pri hodnotení niektorých ukazovateľov sa uvádzajú horné limity, napr. počet častíc a úroveň opotrebovania. Iné ukazovatele sú také, kde sa uvádzajú iba dolné limity, ako napríklad číslo alkality BN, teplota vzplanutia, hodnotenie aditív (FTIR). Ostatné ukazovatele majú dolné aj horné limity, a to najmä kinematická viskozita a infračervená spektroskopia (FTIR). V tabuľke 2 sú uvedené niektoré kvalitatívne údaje a ich hodnotenie podľa jednotlivých nameraných hodnôt ako základný ukazovateľ, ukazovateľ životnosti, zmeny a štatistický údaj. Na obrázku 1 sa názorne uvádzajú hodnotiace limity, ich výstražná a kritická hodnota.

Tabulka 2 Kvalitatívne ukazovatele olejových náplní

Kvalitatívny ukazovateľ	Základný ukazovateľ	Ukazovateľ životnosti	Ukazovateľ zmeny	Štatistický údaj
Kinematická viskozita pri 40 °C pri 100 °C	HL, DL HL, DL	HL, DL HL, DL	- -	- -
Počet častíc	HL	-	HN	HL
Voda podľa Karl-Fischera	HL	-	HN	HL
RPVOT	-	DL	HP	DL
Číslo kyslosti	DL	HL	HN	-
Oxidácia/Nitrácia	-	HL	HN	HL
FTIR	-	-	-	-
Obsah kovov	-	-	HN	HL
Obsah nečistôt	HL	-	HN	HL
Obsah prísad	-	DL	HN, HP	DL, HL

Poznámka: HL – horný limit, DL – dolný limit, HN – hodnota nárastu, HP – hodnota poklesu
 RPVOT – oxidačná skúška v rotačnej tlakovej nádobe podľa ASTM D 2272, FTIR – infračervená spektrometria s Fourierovou transformáciou

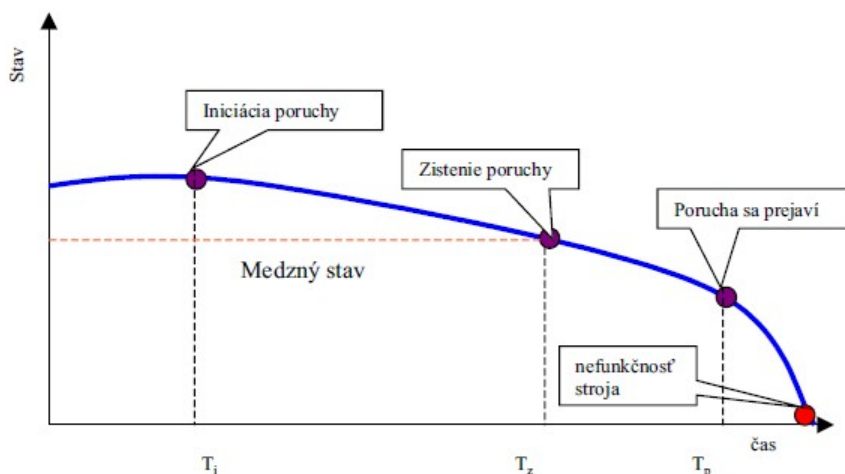


Obr. 1 Namerané hodnoty v porovnaní s nastavenými úrovňami

Časom sa každé zariadenie opotreboáva, jeho stav sa zhoršuje a výkonnosť klesá. Vtedy po určitom čase prestane byť činné a dostáva sa do stavu poruchy. Vznik a priebeh vývoja poruchy možno znázorniť na nasledovnom obr. 2.

V čase T_i počas prevádzky zariadenia dochádza k udalosti, v dôsledku ktorej nastáva iniciácia poruchy. Táto porucha sa ihneď neprejaví, ale postupom času sa ďalej rozširuje. V tomto čase porucha ešte stále nemusí byť zistená. V podmienkach prevádzky, záťažových dôvodov, či iných okolností sa porucha ďalej vyvíja. V momente prekročenia medzného stavu sa prejaví (Kováč et al. 2011). Pokiaľ údržba včas nezasiahne, dochádza k neočakávanému odstaveniu zariadenia, ktoré môže končiť haváriou. Podľa uvedeného

obrázku je zřejmé, že v časovom intervale medzi T_i a T_p vhodným zásahom sa môže predísť havarijnému odstaveniu stroja. Pokiaľ je interval meraní, kontrol nastavený nevhodne, alebo kontrola nie je dôsledná, prekročenie medzného stavu sa nezistí a nastane neočakávané odstavenie zariadenia až havária. V intervale medzi T_i a T_p je časový priestor pre varovanie, priestor na odhalenie poruchy ešte pred bodom T_p .



Obr. 2 Vývoj poruchy od jej iniciácie do času odstávky zariadenia

Samotné limity sú viac proaktívne ako prediktívne, čo vyplýva zo samotnej činnosti údržby a opráv strojov a zariadení. Proaktívne signály sú často rozhodujúce pre určenie vhodnosti a kvality nameraných hodnôt. V praxi sa používajú:

- základné limity, ktoré sa používajú pri hodnotení počtu častíc ISO 4406:1999, na stanovenie prítomnosti vody a prísad v olejových náplniach, čísla kyslosti AN a pod.,
- limity pre stanovenie životnosti oleja (výmenné intervaly), ktoré vyplývajú z daných prevádzkových podmienok a hlavne z chemických a fyzikálnych vlastností mazív, ktoré hrajú rozhodujúcu úlohu. Ako najčastejšie sú používané údaje o stave čísla kyslosti a alkality AN/BN, kinematickej viskozity, skúška oxidačnej stálosti olejov (RPVOT), základná elementárna spektrometria, infračervená spektrometria (FTIR) pre stanovenie nitrácie, oxidácie prísad, dielektrická konštanta a iné.

ZÁVER

Tribotechnická diagnostika dokáže odhaliť na základe výsledkov z kontroly kvalitatívnych ukazovateľov jednotlivých vzoriek mazacích olejov z laboratória a získaných údajov z prevádzky nielen stav olejových náplní, ale hlavne stav strojových zariadení. Na záver treba pripomenúť, že každá skupina mazacích olejov má svoje špecifické vlastnosti. To znamená, že pre jednotlivé druhy mazacích olejov treba stanoviť kvalitatívne ukazovatele, ktoré budú kontrolované. Je to dôležité a môže to značne ovplyvniť výsledok kontroly a celkové náklady na vzorkovanie, teda aj tribotechnickú diagnostiku.

*Predložený príspevok bol vypracovaný v súvislosti s riešením projektu VEGA
č. 1/0403/11 „Výskum technických parametrov motorových píl s ohľadom
na ergonómiu a ekológiu práce.“*

POUŽITÁ LITERATÚRA

- BOGATU, L., PETRE, I., MARIN, A., TANASESCU C., PETRE, D., ANTONESCU, N. N., MIRCI L. 2009. Hydraulic oils from renewable feed stock with a low environmental impact. *Acta Tribologica*, Volume 17, 2009, pp. 13–16. ISSN 1220-8434.
- HÁJEK, J., MACHOVIČ, V., KRÍŽOVÁ, O., SEDLÁČKOVÁ, V., NOVOTNÁ, M. 1998. Využití infračervené spektrofotometrie pro sledování změn při oxidaci řepkového oleje. *Chemické listy* 92, s. 434–440. ISSN 0009-2770.
- HOLMBERG, K., HELLE, A. 2006. Tribology as basis for machinery condition diagnostics and prognostics. The 19th International Congress and Exhibition on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management, Luleå University of Technology: Sweden.
- KOVÁČ, J., KRILEK, J., KALINCOVÁ, D. 2011. The Method Analysis of Saw Blades Wearing Measurement. *Manufacturing and Industrial Engineering*, Volume X., No. 1, s. 74–77. ISSN 1338-6549.
- KUREKOVÁ, M., PAULENKOVÁ, R. 2010. Tribotechnická diagnostika olejov. *Spravodaj ATD SR*, č. 1, 2.
- MAJDAN R., KOSIBA J., TULÍK J., KROČKOVÁ D., ŠINSKÝ V., 2011. The comparison of biodegradable hydraulic fluid with mineral oil on the basis of selected parameters. *Research in Agricultural Engineering*, 57 (*Special Issue*): s. 43–49. ISSN 1212-9151
- NIZAM M. K., BARI, H. A. 2009. The use of vegetable oil in lubricant as base oil: Review. National Conference on Postgraduate Research (NCON-PGR) : UMP Conference Hall, Malaysia, pp. 123–127.
- PEŤKOVÁ, V., STOPKA, J., PAČAIOVÁ, H., BALLA, J., KUREKOVÁ, M., DEMIAN, P., SLOBODA, A., KMEC, P., LOŠONSKÝ, M. Tribotechnika v teórii a praxi. Vydavateľstvo VIE-NALA: Košice: Strojnícka fakulta, 2012, s. 366. ISBN 978–80-8126-057-5.
- SEKEREŠ, J., TURIS, J. Tribológia ako súčasť návrhu strojových uzlov. *Vedecké štúdie 3/2009/A*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, s. 73. ISBN 978-80-228-2089-9
- STOPKA, J. 2011. Degradácia mazacích olejov. In: *Strojárstvo Extra* č.3, s. 64–65.
- TKAČ, Z., MAJDAN, R., DRABANT, Š., JABLONICKY, J., ABRAHAM, R., CVIČELA, P., 2010. The accelerated laboratory test of biodegradable fluid type “ertto”. *Research in Agricultural Engineering*, 56, s. 18–25. ISSN 1212-9151
- TURIS, J., BEŇO, P., MARIENČÍK, J., REMPEROVÁ, M. 2012. Predikcia vplyvu produktov kontaktných javov a degradačných procesov v prevodovom mechanizme. *Acta facultatis technicae*. Volume XVII., 2012 (3), s. 33 – 42. ISSN 1336-4472.
- VDOLEČEK, F. 2006. Technická diagnostika v systémoch údržby. *AUTOMA*, č. 5, s. 30–32. ISSN 1210-9592.

Kontaktná adresa:

doc. Ing. Marian Kučera, Ph.D., Ing. Michaela Hnilicová,
Katedra lesnej a mobilnej techniky,
Ing. Jozef Čuchran, Ph.D., Katedra drevárskych strojov a zariadení,
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita vo Zvolene,
Študentská 26, 960 53 Zvolen, Slovenská republika, e-mail: kucera@tuzvo.sk

URČENIE SILOVÉHO PÔSOBENIA V ODVETVOVACEJ HLAVICI

DETERMINATION OF FORCE EFFECT IN DELIMBER

Juraj MIKLEŠ

ABSTRACT: Limbing belongs to the most laborious of cutting production process. In this paper the optimal solution of the head construction from the view point of its form and tool geometry is given. In the present force analysis for the operation of a delimiting. The objective of these experimental tests was to minimize energy requirement for delimiting through determination of optimum geometry of delimiters while providing for the good quality of delimiting.

Key words: forest machinery, delimiting, force analysis

ABSTRAKT: Odvetvovanie je jednou z najprácejších operácií ťažbovo výrobného procesu. V práci je riešená optimálna konštrukcia odvetvovacej hlavice z hľadiska tvaru a geometrie nástroja. Je prezentovaná silová analýza v priebehu odvetvovania. Na základe experimentálnych skúšok za účelom minimalizácie energetickej náročnosti pri odvetvovaní bola určená geometria odvetvovacích nožov pri zabezpečovaní kvality odvetvovania.

Kľúčové slová: lesné stroje, odvetvovač, silová analýza

1. PROBLEMATIKA A DOTERAJŠIE POZNATKY

Stavba strojov pre odvetvovanie a aplikáciou metódy postupného opracovania kmeňov je spojená s výskumom rezných odporov vetiev v ich votknutí a vyšetrovaním optimálneho tvaru a geometrie rezných nástrojov. Pre zaistenie kvality odvetvovania kľúčovú úlohu zohráva tvar rezučeho obrysu okolo kmeňa. Je to v podstate priemet ostria jednotlivých segmentov odvetvovacích nožov do roviny kolmej na os kmeňa, do značnej miery ovplyvňuje kvalitu odvetvenia a závisí od tvaru ostria nožov a kinematiky mechanizmu posúvania.

Publikované materiály neodpovedajú na tie otázky, ktoré súvisia so zvláštnosťami práce rezných nožov u odvetvovacích strojov. Pre riešenie týchto problémov bolo u nás postavené špeciálne zariadenie, dovoľujúce sledovať proces rezania vetiev v laboratórnych podmienkach a merať pritom rezné sily, z čoho vyplýva energetická náročnosť procesu rezania.

2. MATERIÁL A METÓDY

Pre poznanie silových pomerov rezania bol ako základná drevina použitý smrek, pretože jeho rezný odpor z dreív, ktoré prichádzajú do úvahy pre strojné odvetvovanie, sa javí ako maximálny.

Publikované práce (MacDonald, 1993; Voronicyn, Gugelev, 1989; Golod, 1987; Sokolov, Leonov, 1987; Radocha et al., 1986) z problematiky odvetvovania nedávajú odpoveď z hľadiska minimalizácie rezných odporov pri odvetvovaní nožovou odvetvovacou hlavicou.

Rezné odpory vetiev sa merali u čerstvo zrúbaného dreva s vlhkosťou 40 až 70 %. Vzhľadom na rôznorodosť vetiev pred každým pokusom (rezaním) sa zmeral priemer vetvy v rovine rezania (v kôre i bez kôry), uhol sklonu jej osi od normály k vektoru reznej rýchlosti a urobila sa charakteristika votknutia, ako nebolo obvyklé. Pre rezaní sa používali nože s geometrickými parametrami uvedenými v tab. 1., rýchlosť rezania bola $4 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$. (pozri obr. 1)

Úloha spočívala v stanovení optimálnej geometrie nástroja. Za rovnakých rezných podmienok sa určila veličina maximálnej reznej sily (resp. meranej reznej sily).

Tab. 1

Ordinal number	δ (°)	α (°)		h		s (mm)	Cutting edge radius ²
		α_1	α_2	h_1	h_2		
1	15		30		5	15	0,012 – 0,025
2	20		4		3	15	0,012 – 0,025
3	15		7 30		7 3,5	15	0,012 – 0,025
4	0		30		8	15	0,012 – 0,025
5	15		5 15		5 2,5	15	0,012 – 0,025
6	15		4		2	15	0,012 – 0,025
7	15		7		2	15	0,012 – 0,025
8	15		15		2	15	0,012 – 0,025
9	15		30		2	15	0,012 – 0,025
10	20		4		2	15	0,012 – 0,025
11	20		7		2	15	0,012 – 0,025
12	20		15		2	15	0,012 – 0,025
13	20		30		2	15	0,012 – 0,025
14	15		30		1	15	0,012 – 0,025
15	30		30		2	15	0,012 – 0,025

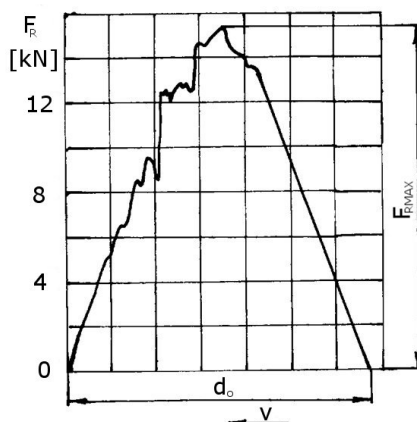
3. VÝSLEDKY

3.1 Experimentálne skúšky

Pri vykonaní experimentov ako hlavná úloha bola postavená výskum reznej sily v závislosti od meniacich sa parametrov charakterizujúcich proces rezania.

Záznamy priebehu síl boli získané pri zrezávaní vetiev smreka pozri obr. 1. Tvar oscilogramov je typický pre daný spôsob rezania. Pri zrezávaní vetvy v jej votknutí charakter priebehu reznej sily pôsobiacej v smere posuvu je podľa tvaru veľmi blízky trojuholníku so

zrezaným vrcholom. Pri zväčšovaní hĺbky vnikaním noža rezná sila rastie lineárne, priebeh sa zhoduje čo do tvaru s typickou krivkou celkových deformácií dreva – diagram pri namáhaní dreva v ohybe a stláčaní pozdĺž vlákien. Lineárna závislosť sa mení obyčajne len pri hĺbke vniknutia nástroja rovnej približne polovici, alebo niečo menej ako polovica priemeru vetvy.



Obr.: 1 Záznam priebehu reznej sily počas prerezávania vetiev

Pre smrek sa charakter závislosti nemení (jej priebeh) pri rezaní nožami s rôznymi geometrickými parametrami a nemení sa so zväčšovaním hrúbky vetvy a taktiež so zmenou uhla vrastania (os sklonu vetvy) vetvy v medziach charakteristických pre danú drevinu.

Možné je konštatovať, že proces rezania vetvy klinovým nožom je proces zložitej deformácie vzorky dreva s konzolovým upevnením jej pružného základu.

Odvetvovanie je špeciálny prípad beztrieskového rezania, keď tvar noža je klinový, a preto smer pôsobenia deformujúcej sily je pod určitým uhlom voči vláknám a nesúhlasí so smerom pohybu noža. Z toho vyplýva, že proces rezania nožom môžeme považovať za proces nepretržitej zložitej deformácie dreva vetiev, súčasne s ktorou prebieha zmenšenie priečneho prierezu vetvy v zóne maximálnych napätí od ohybového momentu a strižnej sily.

Známe je, že charakter krivky diagramu celkových deformácií dreva sa nemení s uhlom medzi vláknami a smerom deformujúcej sily, mení sa len tangens uhla sklonu tejto krivky a veľkosť medze pevnosti (medza plastickej deformácie). To dáva podklad pre záver, že pri beztrieskovom rezaní charakter závislosti reznej sily od hĺbky vniknutia noža v prvej fáze procesu musí byť taktiež stály, nezávislý od geometrických parametrov noža. Sily trenia závisia od odporu dreva, deformovanie nemôže zmeniť charakter závislosti, danej procesom šírenia deformácie. Ich vplyv v procese rezania je ohraničený zmenou absolútnej veľkosti celkového odporu, pôsobiaceho proti vnikaniu noža do dreva.

S rastom rezného uhla, pri jednej a tej istej hĺbke vniknutia noža, sa zväčšuje priemerná hodnota deformácie vlákien, nachádzajúcich sa v zóne pôsobenia čela. To musí viesť

k rastu deformačnej sily. Jednako stupeň tohto rastu bude závisieť taktiež od veľkosti momenta odporu nezrezanej časti vetvy, zodpovedajúcej danej hĺbke vniknutia.

V súlade so známym predpokladom z literatúry pre drevo nachádzajúce sa pod pôsobením vzrastajúceho zaťaženia, je charakteristické rozdelenie procesu deformovania na dve výrazne odlišné oblasti, oblasť neúplnej pružnosti pri $\sigma < \sigma_m$ a oblasť plastického tečenia pri $\sigma \geq \sigma_m$, ktoré je charakteristické prítomnosťou nevratných deformácií. Tvorením daných zón deformovania možno objasniť charakter krivky zmeny reznej sily na úseku jej rastu (stúpania).

Pri vnikaní noža, pokiaľ deformácie v zóne minimálneho momentu odporu ohybu nevychádzajú za oblasť neúplnej pružnosti, t. j. pri $\sigma < \sigma_m$, bude lineárna závislosť. Daná závislosť sa nemení, pokiaľ napätia v tejto zóne nedosahujú medze pevnosti. Taký proces musí prebiehať nezávisle od geometrických parametrov noža a druhu dreveniny, ak pritom sa nemení charakter rezania, napríklad nedochádza k rozvlákneniu alebo po elementoch k štiepaniu v zrezávanej vrstve dreva.

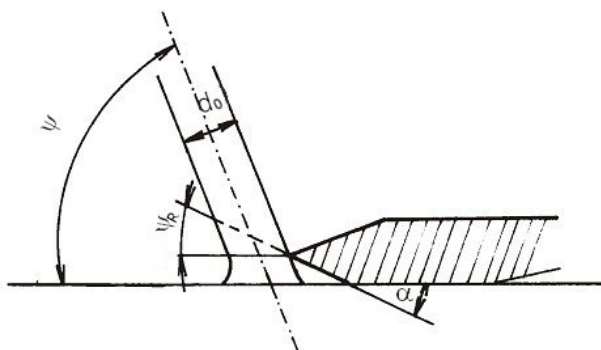
Pri použití špeciálneho snímača pre určenie polohy osi zrezávanej časti vetvy je stanovené, že odklon vetvy od počiatočnej polohy sa začína pri vniknutí noža do hĺbky cca 0,2 d_0 . Táto veličina nie je stála a mení sa v závislosti od biologických zvláštností vetvy a výšky roviny rezu od povrchu kmeňa. Otáčanie vetvy prebieha na úkor ohybu vlákien dreva od napätí, ktoré vnikajú pri vnikaní noža. Vyšetrením deformácie mriežky, nanesej na rovine pozdĺžneho prierezu vetvy, je stanovené, že ohýbanie vetvy v procese jej zrezávania prináša podstatné zmeny napätí v dreve, nachádzajúcej sa v bezprostrednom kontakte s povrchom noža. Stupeň deformácie vlákien v rozsahu kontaktu s plochami noža nie je rovnaký. Pri ostrí noža vlákna sú deformované značne menej, ako v určitej vzdialenosti od neho. Výsledky týchto experimentov sú podkladom pre použitie noža.

Zvláštnosťou nožov určených pre zrezávanie vetiev silovou metódou, je nevyhnutné spojenie efektívneho rezania s kopírovacou schopnosťou nožov v procese premiestňovania po povrchu obrábaného kmeňa.

Veľkosť energetických strát, je významným faktorom pri výbere optimálnej hodnoty uhla na chrbtovej strane noža, jednako, nemôže sa považovať za rozhodujúce v konštrukcii odvetvovacích strojov.

Význačnou vlastnosťou noža je schopnosť noža kopírovať pozdĺžnu krivku kmeňa stromu v spojení s vysokými reznými vlastnosťami. Pre obrábanie priamočiarych stromov týmto potrebám najlepšie vyhovuje nôž, ktorého uhol chrbta je $\alpha = 0$. Pri iných podmienkach musí byť záporný. Ako ukázali výskumy, záporný uhol zväčšuje deformáciu vlákien dreva, nachádzajúcich sa pod rovinou rezania a následne rastie rezná sila. Pretože ideálne stromy s priamočiarym povrchom sa nevyskytujú, aby nedošlo k zarezávaniu do kmeňa, je nutné voliť záporný uhol α .

Záporná veličina vyvoláva odklon noža v dôsledku pôsobenia odtlačacej sily, potom rovina rezania sa nachádza pod určitým uhlom ψ_R k smeru posuvu. Hodnota ψ_R je tým väčšia, čím väčší je uhol α a čím je menší uhol vrastania vetvy, ale vždy sa zachováva nerovnosť $\psi_R \leq \alpha$. Tento problém nebol predmetom skúmania, ale má značný vplyv predovšetkým na kvalitu odvetvovania. Vyplýva z neho, že záporná hodnota uhla α má byť minimálna. (pozri obr. 2)

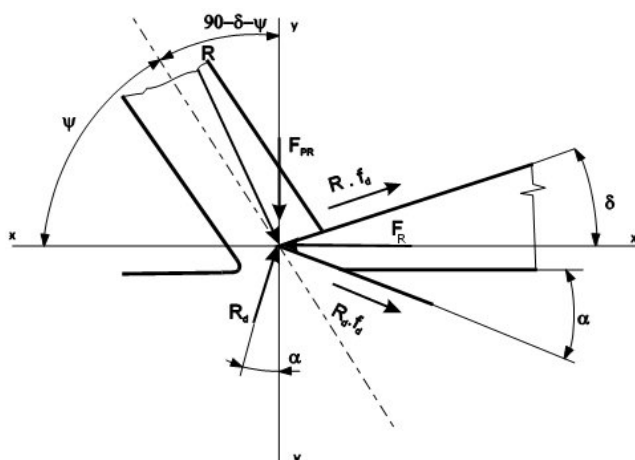


Obr.: 2 Vplyv uhla chrpta noža α na odklon noža

Na základe spracovania meraní podľa štatistických metód sa ukázala ako optimálna geometria noža v tab. 1 pod číslom 10 t. j. s nasledovnou geometriou $\delta = 20^\circ$, $\alpha = 4^\circ$, $n = 2 \text{ mm}$, $s = 15 \text{ mm}$, $\rho = 0,02 \text{ mm}$.

3.2 Určenie sily potrebnej na premiestňovanie stromu v odvetvovacej hlavici

Sila potrebná na premiestňovanie stromu pri zrezávaní vetiev v odvetvovacej hlavici musí prekonať rezné a trecie odpory. Určenie týchto síl umožní stanoviť výkon pohonu resp. energetickú náročnosť procesu odvetvovania. K tomu je nevyhnutné urobiť silovú analýzu veľkosti síl, pôsobiacich paralelne s osou kmeňa. Základom tejto analýzy je vyšetrenie sústavy síl, ktoré vznikajú pri rezaní vetvy nožom klinovitého tvaru s uhlom chrpta $\alpha \neq 0$ (obr. 3). Súčasne dostávame obraz o charaktere rezania, ktoré patrí do problematiky beztrieskového rezania prostredníctvom nožov v smere nesúhlasnom so smerom vlákien prerezávaného dreva.



Obr.: 3 Silová analýza pri odvetvovaní

Zostavíme rovnice rovnováhy síl v smere osi x, y:

$$\Sigma F_x = 0; F_R - R_d (f_d \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) - R (f_d \cdot \cos \delta + \sin \delta) = 0 \quad (1)$$

$$\Sigma F_y = 0; -F_{PR} + R_d (\cos \alpha - f_d \sin \alpha) - R (\cos \delta - f_d \sin \delta) = 0 \quad (2)$$

Na základe poznatkov z teórie pevnosti a pružnosti (Case, J. 1999) zostavíme rovnicu, ktorá bude charakterizovať porušenie (delenie) vetvy pri miestnych deformáciách kombinovaného namáhania (od noža) na ťah (rozťahovaní) a ohyb po úpravách dostaneme:

$$R \cdot \sin(\delta + \psi) - \frac{\sigma \cdot S \cdot W}{(W + eS)} = 0 \quad (3)$$

kde: F_{PR} – prítláčná sila noža ku kmeňu [N]

R_d – reakcia kmeňa na chrbát noža [N]

R – reakcia vetvy na čelo noža [N]

f_d – koeficient trenia plôch noža o drevo vetvy

σ – medza pevnosti dreva vetvy na ťah pozdĺž (v smere) vlákien [Pa]

S – plocha nezrezanej časti vetvy [m²]

W – prierezový modul v ohybe, k osi z [m³]

e – excentricita prierezu častí vetvy

δ – rezný uhol

α – uhol chrbta

ψ – uhol rastu vetvy

Riešením (1 a 2) a po vykonaní úprav, nájdeme pozdĺžnu reznú silu v smere osi z:

$$F_R = F_{PR} \frac{f_d \cos \alpha + \sin \alpha}{\cos \alpha - f_d \sin \alpha} + R \left[(\cos \delta - f_d \sin \delta) \cdot \frac{f_d \cos \alpha + \sin \alpha}{\cos \alpha - f_d \sin \alpha} + (\sin \delta + f_d \cos \delta) \right] \quad (4)$$

Keď označíme: $f_{T,D} = \frac{f_d \cdot \cos \alpha + \sin \alpha}{\cos \alpha - f_d \cdot \sin \alpha}$

kde $f_{T,D}$ – komplexný koeficient trenia a deformácie dreva na chrbtovej strane noža

Ak dosadíme veličinu R z výrazu (3) tak dostaneme:

$$F_R = F_{PR} \cdot f_{T,D} + \frac{\sigma \cdot S \cdot W}{(W + eS) \cdot \sin(\delta + \psi)} \left[\cos \delta (f_{T,D} + f_d) + \sin \delta (1 - f_d \cdot f_{T,D}) \right] \quad (5)$$

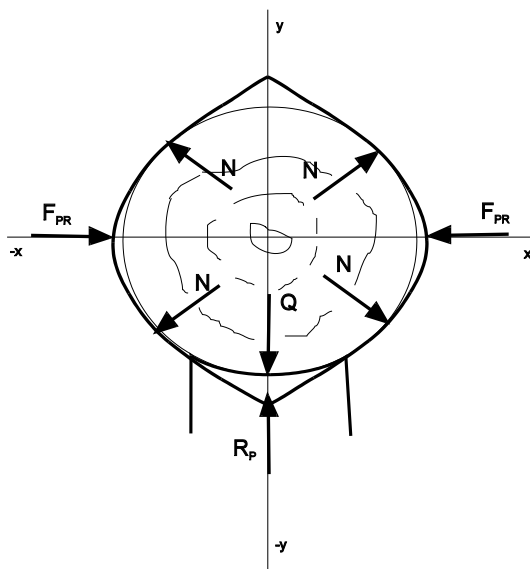
Veličina komplexného koeficienta $f_{T,D}$, ktorý zahrňuje trenie a pružno-plastickú deformáciu dreva sa mení nielen v závislosti od koeficienta f_d a uhla chrbta noža, ale tiež v závislosti od otupenia noža. Podľa údajov experimentov E. Kivimu a teoretických zovšeobecnení prof. Beršadského (1979), vplyv otupenia sa v podstate prejavuje na chrbtovej ploche noža, na ktorej dochádza k intenzívnemu opotrebeniu. To zväčšuje hrúbku deformovanej vrstvy dreva pod povrchom reznej plochy a z toho vyplýva aj rast rezného odporu.

Pri zatupení noža veličina $f_{T,D}$, bude mať tvar: $f_{T,D} = a_p \cdot \frac{f_d \cos \alpha + \sin \alpha}{\cos \alpha - f_d \sin \alpha}$

kde a – koeficient otupenia

Pre určenie trecích síl nožov po povrchu kmeňa stromu rozoberieme sústavu síl, ktoré pôsobia na priečnom priereze kmeňa (obr. 4).

Rozoberieme reakcie vnútorných síl, ktoré pôsobia zo strany kmeňa na nože



Obr.: 4 Určenie trecích síl nožov

Priemet celkovej sily trenia do osi z vyjadríme rovnicou:

$$F_z = 2N \cdot f_k \cdot n + Q \cdot f_p \quad (6)$$

kde: n – počet nožov

N – silové reakcie pri pritlačaní nožov ku kmeňu

Q – tiaž stromu pripadajúca na spodnú podperu (pevný nôž)

f_k, f_p – koeficienty trenia kôry kmeňa o nože a po spodnej podpere

platí, že:
$$N = \frac{F_{PR}}{2 \sin \frac{\beta}{2}}$$

Po dosadení tohto výrazu do rovnice (6) dostaneme:

$$F_z = \frac{F_{PR} \cdot f_k \cdot n}{\sin \frac{\beta}{2}} + Q \cdot f_p \quad (7)$$

kde β – uhol medzi chrbtovými plochami noža

Pri odvetvovaní vo väčšine prípadov prtláčacia sila noža je kompenzovaná otláčacou silou vetvy, ktorá pôsobí na nôž, vtedy pri celkovom počte zrezávaných vetiev n_R platí:

$$F_z = \frac{F_{PR} \cdot f_k \cdot n - n_R}{\sin \frac{\beta}{2}} + Qf_p \quad (7)$$

Potrebnú celkovú silu pri odvetvovaní určíme ako súčet rezného odporu a síl na prekonanie trenia všetkých nožov odvetvovacej hlavice

$$F_c = F_z + F_R \cdot n_R$$

Po dosadení za veličiny síl F_z a F_R dostaneme výraz:

$$F_c = \frac{\sigma \cdot S \cdot W}{(W + eS) \sin(\delta + \psi)} \left[\cos \delta (f_{T,D} + f_d) + \sin \delta (1 - f_d \cdot f_{T,D}) \right] n_R + F_{PR} \left(n_s f_{T,D} + \frac{n - n_R}{\sin \frac{\beta}{2}} \cdot f_k \right) + Q \cdot f_p \quad (8)$$

V prípade že miesto valca máme prednú klznú podperu vtedy $f_p = f_k$

Priemerné hodnoty geometrických parametrov odvetvovacej hlavice a predmetu opracovania sú nasledovné:

$$\delta = 30^\circ; \beta = 120^\circ; \psi = 60^\circ; f_d = 0,3; f_{T,D} = 0,5; f_k = 0,5$$

Vzťah (8) sa zjednoduší a nadobúda tvar pre odvetvovaciu hlavicu:

$$F_H = \frac{1,13\delta \cdot S \cdot W \cdot n_k}{W + eS} + 0,6F_{PR} \cdot n + 0,5Q \quad (9)$$

Maximálna rezná sila, pripadajúca na jeden nôž sa určí z podmienky zrezávania vetvy medzného priemeru:

$$F_{Rmax} = \frac{1,13\delta \cdot S_{max} \cdot W_{max}}{W_{max} + e_{max} \cdot S_{max}} + 0,6F_{PR} \quad (10)$$

Určíme priemerný a maximálny počet vetiev n_R , ktoré sú zrezávané jednou hlavice. Pre tento účel je nevyhnutné rozobrať zákonitosti rozmiestenia na kmeňoch stromov a pravdepodobnosť ich stretu s nožami v odvetvovacej hlavici, čo je predmetom aj tejto dizertačnej práce.

Priemerný počet vetiev v praslene modelovaného stromu podľa údajov, ktoré sme získali, predstavuje cca 3 ks. Je známe taktiež, že priemer vetiev závisí od priemeru kmeňa a vyjadrujú to približné korelačné závislosti.

Veličina priemerných a maximálnych priemerov vetiev v závislosti od objemu kmeňa (Mikleš, M. 1994) sú uvedené v tab. 2.

Tab. 2

Objem Kmeňa [m ³]	Stredný priemer vetiev, [cm]		Maximálny priemer vetiev [cm]	
	borovica	smrek, jedla	borovica	smrek, jedla
0,14	2,5	1,3	9,5	4,2
0,22	2,8	1,5	11,0	4,8
0,30	3,2	1,7	11,5	6,4
0,40	3,4	2,0	12,0	6,8
0,50	3,7	2,1	12,5	7,2
0,76	4,3	–	16,0	–

Pri vzdialenosti medzi praslenmi 30–50 cm a medzi nožami odvetvovacej hlavice 25–30 cm (sú v dvoch radoch), ktoré sú rozmiestnené po obvode kmeňa, súčasne sa zrezáva, pravidelne, nie viac ako polovica vetiev rozmiestnených v praslene.

Najnepriaznivejšia poloha nožov je keď polovica vetiev jedného praslena a polovica vetiev druhého praslena sa budú zrezávať všetkými nožami súčasne. V tom prípade maximálna rezná sila musí byť vztiahnuta k trom vetvám, pritom treba uvažovať dve vetvy stredného priemeru a jednu, čo do veľkosti maximálneho priemeru. Ak vychádzame z údajov modelovaného stromu, tak možno konštatovať, že priemerná rezná sila po celej dĺžke kmeňa stromu neprevýši treciu silu pri premiestňovaní kmeňa a reznú silu na odstránenie jednej vetvy stredného priemeru. Potom vzťah (9) pre jednotlivé prípady nadobúda tvar:

Pre určenie priemernej sily na odvetvovanie:

$$F_{Hst} = \frac{1,13\delta \cdot S_{st} \cdot W_{st}}{W_{st} + e_{st}} + 0,6F_{PR} \cdot n + 0,5Q \quad (11)$$

Pre určenie maximálnej sily, pôsobiacej na hlavicu:

$$F_{Hmax} = 2,265\delta \left(\frac{S_{st} \cdot W_{st}}{W_{st} + e_{st}S_{st}} + \frac{S_{max} \cdot W_{max}}{2(W_{max} + e_{max}S_{max})} \right) + 0,6F_{PR} \cdot n + 0,5Q \quad (12)$$

Aby sme určili potrebný inštalovaný výkon pohonu stroja je nevyhnutné poznať trecie sily v jednotlivých uzloch mechanizmu na premiestňovanie predmetu práce. Rozbor síl je na obr. 7.3. Ako príklad sa uvádza určenie veľkosti trecích síl na dopravníku, na ktorom je postupne rozmiestnených niekoľko odvetvovacích hlavíc. Trecie sily sa určia podľa vzťahu:

$$\sum F_T = S_o \left(\frac{\mu_2 d_1 + \mu_3 d_2}{R} \right) + 2\mu_1 q_o L \left(1 + \frac{\mu_2 d_1 + \mu_3 d_2}{2R} \right) + \mu_1 \cdot Q_d \cdot n_d +$$

$$+ G_H \cdot n_H \cdot \mu_1 \left(1 + \frac{\mu_2 d_1 + \mu_3 d_2}{2R} \right) \quad [N] \quad (13)$$

kde; $S_o = \frac{1}{2} S_1$ S_1 – sila napnutia (natiahnutia) reťaze

μ_2, μ_3 – koeficient trenia v ložiskách hnacích kladiek a v kĺboch reťaze
 d_1, d_2 – zodpovedajúce priemery ložísk a kĺbov reťaze
 R_1 – polomer hnacej a napínacej kladky reťaze
 μ_1 – koeficient trenia vo vedení rámu
 q_0 – tiaž jedného bežného metra reťaze
 Q_d – tiaž stromu
 n_d – počet stromov
 G_H – tiaž odvetvovacej hlavice
 n_H – počet hlavíc

Podľa údajov Zalegallera (1981) veľkosť

$$\frac{\mu_2 d_1 + \mu_3 d_2}{R} = 0,08$$

Potom vzťah (7.13) nadobudne tvar

$$F_T = 0,08S_o + 2,08\mu_1 q_o L + \mu_1 Q_d n_d + 1,04\mu_1 G_H n_H \quad (14)$$

Potrebný výkon pohonu odvetvovacieho stroja pri uvažovaní trecích síl mechanizme premiestňovania stromov (v dopravníku) sa vyjadruje:

$$P_{odvet} = \frac{(F_{Hst} + \sum F_T) \cdot v}{\eta} \quad (15)$$

v – posuvná rýchlosť stromu (ms^{-1})

η – účinnosť pohonu

4 ZÁVER

Na základe vykonaných informatívnych výpočtov pri opracovaní stromu s objemom $0,4 \text{ m}^3$ jednou odvetvovacou hlavicom pri posuvnej rýchlosti 1 ms^{-1} , výkon pohonu odvetvovacieho stroja sa pohybuje v rozmedzí $25 \div 30 \text{ kW}$, pri použití dvoch odvetvovacích hlavíc súčasne výkon sa pohybuje v rozmedzí $40 \div 50 \text{ kW}$.

Predložené experimentálne a metodické podklady budú slúžiť pre návrh a konštrukčné spracovanie hlavíc odvetvovacích strojov.

LITERATÚRA

GOLOD, J. G., 1987: Eksperimental'nyje issledovanije sumarnoj vnešnej nagruzki na protaskinva-juščij mechanism sučkoreznych mašin (Experimental Investigation of Cumulative Load Force in Pull-thru Mechanism of Delimiting Machines). In: Voprosy mehanizacii lesosečanych ra-bot, Trudy CNIIME, Chimki: 38–45.

MACDONALD, A. J., 1993. Review of mechanical delimiters in Western Canada, FERIC, Techni-cal Report No TR-93, Vancouver: 27.

- VORONYCYN, K. I., GUGELEV, S. M., 1989: Mašinnaja obrezka sučjev na leseške (Machine Delimiting in Forest Glade), Forest Industry, Moscow, 272 p.
- SOKOLOV, V. N.; LEONOV, A. L., 1987. Kačestvo mašinnoj obrezki sučjev (Quality of machine delimiting). In: Voprosy mehanizacii leseučnyh rabot. Chimki, Trudy CNIIME: 46–51.
- RADOCHA, M.; MANDALÍK, J.; LUBEK, J., 1986. Biotechnické charakteristiky stromov a matematické modelovanie parametrov zariadení na ich spracovanie (Biotechnical characteristics of trees and mathematics model of equipment parameters for processing). (Výskumná správa), Zvolen, VÚLH: 54.
- BERŠADSKIJ, A. L.; CVETKOVA, N. I., 1979: Rezanije drevisimy, Vyšejja škola, Minsk, 1979, 304 s.
- KIVIMAN, E. M., 1950, Cutting force in woodworking, Finsky technologický inštitút, Helsinki, 1950, 150 s.
- MIKLEŠ, M., 1994: Výskum geometrie nožov odvetvovacej hlavice, Acta Facultatis Forestalis Zvolen, XXXVI, 1994, s. 333–345.
- MIKLEŠ, M., MIKLEŠ, J., KRILEK, J.,: Lesné stroje a zariadenia, Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2011, 295 s., ISBN 978-80-228-2302-9.
- CASE, J; CHILVER, A. H; ROSS C. T. F. 1999. Strenth of Materials and Structures, Arnold – New York, 1999, 705 s., ISBN 0470379804.

Kontaktná adresa:

Ing. Juraj Mikleš, PhD.,

Technická univerzita vo Zvolene, Katedra environmentálnej techniky,

Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Študentská 26, 96053 Zvolen,

e-mail: miklesj@tuzvo.sk

DYNAMICKÁ STABILITA LESNÉHO KOLESOVÉHO TRAKTORA S NÁKLADOM A ODOLNOSŤ PROTI PREVRÁTENIU

ON THE DYNAMIC STABILITY OF LOGGING TRACTORS WITH SKIDDING LOG AGAINST OVERTURNING

Milan MIKLEŠ

Abstrakt: Podľa doterajších pravidiel sa svahová dostupnosť určovala ako stanovený diel najmenej statickej stability v stupňoch. Výskum tejto problematiky ukázal, že svahová dostupnosť je tiež funkciou rýchlosti pohybu a má byť určená ako najmenší sklon svahu pre danú rýchlosť podľa špecifikovaných kritérií za podmienky, že odolnosť proti sklzu, odolnosť proti prevráteniu, alebo funkcia komponent vozidla dosiahne definovanú hraničnú hodnotu. V práci sú naznačené možnosti predpovedí svahovej dostupnosti vozidiel a niektoré technické výpočty.

Kľúčové slová: lesné stroje, traktory, dynamická stabilita

Abstract: According to the still existing regulations, the SD is expressed as certain portion of the smallest angle of the static stability in degrees. However, the research info this matter has revealed that apart from other fuctons is a significant function of the velocity of motion and shoud by assessed by finding the smallest value of slope atagiven speed by specified criteria on condition that lithe the resistance to sliding, resistance to overturning or the functional reliability of vehicle components reach the defined limit. The present state of art predisting hillside performace of wheeled vehicles is ontlined together with some recommendations on the techniques of computation.

Key words: forest machinery, tractors, dynamic stability

1 ÚVOD

Pri využívaní kolesových približovacích traktorov v podmienkach horských oblastí je nevyhnutné pri ich pohybe prekonávať pne, balvany, ležiace kmene a rozličné iné prekážky. Náklad (kmene) je voľne zavesený na kozlíku traktora. Pri prekonávaní prekážok, v závislosti od rýchlosti pohybu traktora vzniká klopný moment v priečnom smere, ktorý znižuje stabilitu. Je nebezpečné z hľadiska stability ak dôjde k superpozícii kmitania od voľne zaveseného nákladu s kmitaním spôsobeným od prekážok. Inými slovami, keď prebieha

rezonančné kmitanie nákladu pri nájazde jedným a tým istým zadným kolesom na dve postupne za sebou sa nachádzajúce prekážky blízko vedľa seba. Obzvlášť nebezpečné pre traktory je, keď rozkmitanie prebehne pri pohybe traktora na bočnom sklone, keď nabieha na prekážku zadné koleso, ktoré sa nachádza vyššie na svahu.

2 PROBLEMATIKA A SÚČASNÝ STAV

2.1 Stabilita lesných ťahačov

Stabilita lesného ťahača (LKT) môže byť ovplyvnená nasledovnými faktormi: sklону terénu, prekážkami, ktoré spôsobujú bežné preklápanie (balvany, pne) a horizontálne posuvy a bočné sily, ktoré vznikajú pri manévrovaní traktora. Problematikou sa zaoberalo viacej autorov Grečenko (1983, 1984, 1986), Schwanghart (1978), Hunter (1981), Šesták, Škulavík, Sklenka (1993), Spencer (1981) a ďalší.

Na základe skúseností je možné, že so špeciálnymi traktormi so štvorkolesovým pohonom za priaznivých podmienok je možné pracovať na svahoch do sklonu 40 %. Pre vyššie sklony svahov cca 25° je potrebné nasadiť špeciálne ľahké stroje s nízkotlakovými pneumatikami, ktoré sú v praxi pri vhodnom spôsobe jazdy schopné prekonať lokálne svahy do sklonu 30°. V týchto prípadoch lepšie podmienky záberu poskytujú terra-pneumatiky s úzkymi a nízkymi zubami dezénu STG.

Svahová dostupnosť sa výrazne zhoršuje pri zvyšujúcej vlhkosti pôdy, ktorú zisťujeme predovšetkým v hĺbke 0 až 5 cm. Na hlinito-piesčitej pôde sú veľmi výhodné podmienky pre frakciu vzorky s vlhkosťou 25 %, vlhkosť 30 až 40 % je v horských podmienkach v lete normálna, za „mokrú“ sa považuje pôda s vlhkosťou nad 40 % alebo nad 30 % s mokrým povrchom.

Príčinou kritických situácií býva tiež sklz, ktorý môže viesť k haváriám prevrhnutím, pritom prvotné preklopenie je dynamickými účinkami, poprípade funkčnými nedostatkami stroja.

Základnou metódou experimentálneho výskumu jazdy na svahoch je meranie priamo v teréne s použitím skutočných vozidiel. Obvykle je predmetom merania pohybu vozidiel po spádnici, pozdĺž vrstevnice a pri zatáčaní. Cieľom je získať podklady, ktoré sa využívajú s istým rizikom k predpovedi vlastností ťahačov na svahoch. Súčasne zmyslom výskumu je, aby riziko pri práci bolo, čo najmenšie.

2.2 Definícia základných pojmov riešenej problematiky

Svahová dostupnosť je medzný uhol svahu pre jazdu vozidla (traktora), pri ktorom buď odolnosť proti sklzu, odolnosť proti prevráteniu, alebo funkcia komponent vozidla dostanú do určeného medzného stavu.

Svahová použiteľnosť je medzný uhol pre nasadzovanie stroja v technologickom procese, pri ktorom sa buď kvalita, či výkonnosť práce, alebo svahová dostupnosť do určeného medzného stavu.

Uhol svahu (β) je uhol medzi spádnicou svahu a vodorovnou rovinou.

Z rovnice (1) dostaneme

$$F = \frac{Q \cdot x_c}{l \cdot \sin(90^\circ - \gamma - \theta)} = \frac{Q \cdot x_c}{l \cdot \cos(\gamma + \theta)}$$

Veličinu x_c určíme nasledovným spôsobom. Položíme moment od normálovej zložky sily zotrvačnosti F_z^n rovný sume momentov elementárnych síl zotrvačnosti k bodu O_1 (Brousil, Slavík, Zeman, 1989).

$$F_z^n \cdot x_c = \int_0^l dF_z^n x$$

Keď dosadíme do tejto rovnice hodnoty jeho zložiek a riešime pre x_c , nájdeme súradnicu bodu pôsobenia sily zotrvačnosti (Kononenko, Mítereč, 1970)

$$x_c = \frac{4}{5}l$$

Normálová zložka ťahovej sily v lane môže byť vyjadrená

$$N = F \cdot \cos(\gamma + \theta) = \frac{x_c}{l_x} Q$$

Zložka sily v smere osi $O_1 O_2$, P_x bude mať tvar

$$P_x = F \cdot \sin(\gamma + \theta) = \frac{x_c}{l} \cdot Q \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \theta)$$

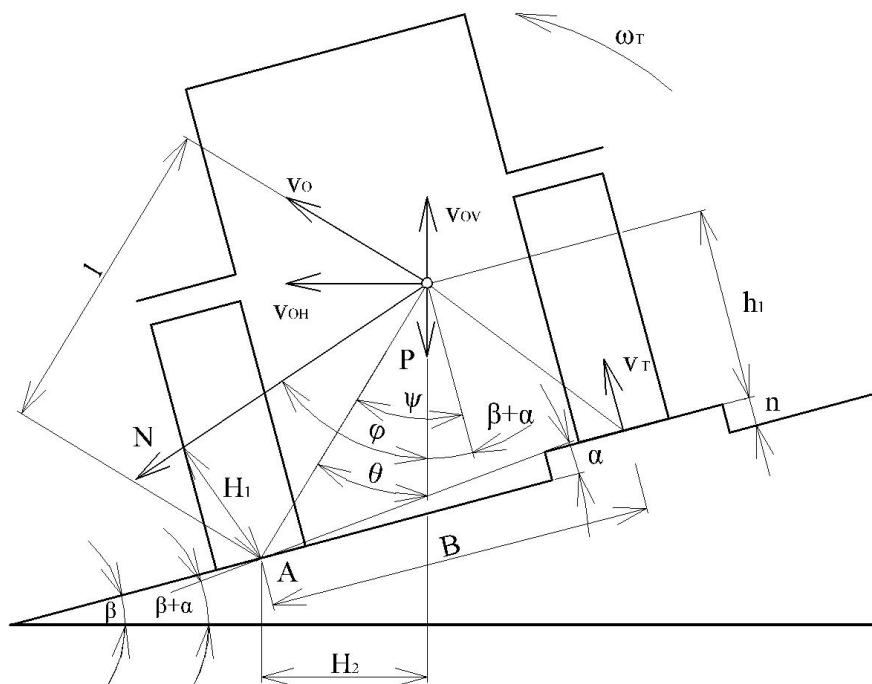
Vertikálna zložka sila P sa rovná

$$P = P_x \cdot \sin \theta = \frac{x_c}{l} \cdot Q \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \theta) \cdot \sin \theta$$

Horizontálna sila H rovnobežná s povrchom nevyvolá priečny klopňý moment a preto ju nemusíme uvažovať.

Uhol sklonu sily N k rovine klopenia $n-h$ (obr. 1) v závislosti od uhla vychýlenia kmeňov φ (obr. 2) sa nachádza v medziach $0^\circ - \theta^\circ$. Tento uhol je malý a môžeme ho zanedbať. Vtedy moment v priečnom smere traktora pri nájazde jedného zadného kolesa na vyvýšeninu výšky h (pozri obr. 2) bude:

$$\sum M_A = 0 \quad N \cdot H_1 - P \cdot H_2 = 0 \quad (2)$$



Obr. 2

Podľa obr. 2 rozmery vo vzťahu (2) môžeme určiť nasledovne:

$$H_1 = l_1 \sin(\varphi - \theta_1); \quad H_2 = l_1 \sin \theta_1$$

kde $\theta_1 = \psi - \beta - \alpha$

Pretože uhol sklonu α nie je veľký použijeme zjednodušenie

$$\alpha = \arcsin \frac{n}{B} \approx \frac{n}{B} \quad (3)$$

Po dosadení týchto hodnôt pre výpočet klopného momentu od kmeňov dostaneme:

$$M_{KL} = \frac{x_c}{l} Q \cdot l [\sin(\varphi - \theta_1) - \operatorname{tg}(\gamma + \theta) \sin \theta \sin \theta_1] \quad (4)$$

Zo vzťahu (4) vyplýva, že pri podmienke:

$$\sin(\varphi - \theta_1) \leq \operatorname{tg}(\gamma + \theta) \sin \theta \sin \theta_1 \quad (5)$$

je klopný moment rovný nule. Pri splnení podmienky (5) kmitanie zväzku kmeňov v polo-závесе na kozlíku traktora nenaruší jeho priečnu stabilitu.

Ľavú stranu nerovnosti (5) môžeme vyjadriť

$$\sin(\varphi - \theta_1) = \sin \varphi \cdot \cos \theta_1 - \cos \varphi \cdot \sin \theta_1$$

Pri malom uhle φ možno položiť $\sin \varphi \doteq \varphi$ a $\sin \theta_1 = \theta$

$$\varphi \leq \operatorname{tg}(\gamma + \theta) \cdot \sin \theta \sin \theta_1 + \theta_1$$

po substitúcii keď $\operatorname{tg}(\gamma + \theta) \sin \theta = a$

$$\text{dostaneme } \varphi \leq (a + 1) \theta_1 \quad (6)$$

Uhlová rýchlosť traktora pri nájazde na vyvýšeninu (peň, balvan) (obr. 2) bude

$$\omega_T = \frac{d\alpha}{dt}$$

Pritom stredná hodnota horizontálnej rýchlosti bodu závesu nákladu 0 bude

$$v_{oh} = \frac{\alpha}{t} \cdot l \cos \theta_{1st}$$

kde t – čas nájazdu

θ_{1st} – priemerná hodnota uhla θ_1 pri nájazde traktora na vyvýšeninu

$$\theta_{1st} = \psi - \beta - \frac{\alpha}{2}$$

Maximálna uhlová rýchlosť nákladu pri jeho otáčaní okolo osi 00₁ bude mať tvar:

$$\omega_{\max} = \frac{\alpha \cdot l \cdot \cos \theta_1}{t \cdot \rho_0} \quad (7)$$

ρ_0 – polomer otáčania zaveseného konca kmeňa

$$\rho_0 = l_T \cos(\gamma + \theta) + 0,5b$$

Pri n-tom nájazde na vyvýšeninu sa môže náhodne ukázať rezonančné kmitanie nákladu. Kinetická energia nákladu v spodnej polohe bude

$$E_{\max} = \frac{I_N \omega^2 \max}{2} \quad (8)$$

kde I_N – hmotný moment zotrvačnosti nákladu k osi 00₁.

Z praktického hľadiska je malá pravdepodobnosť, že dôjde k rozkmitaniu kmeňov.

Maximálnemu odklonu kmeňov o uhol φ_{\max} (obr. 1) málokedy dochádza, ak v tom prípade zodpovedá transformácia kinetickej energie zdvihnutého nákladu potenciálnej energii nákladu:

$$\frac{1}{2} I \omega_{\max}^2 = G_d \cdot \rho_s (l_1 - \cos \varphi_{\max}) \cdot \cos \theta \quad (9)$$

Lesné ťahače prostredníctvom štítu zamedzujú voľnému pohybu kmeňov. Preto stabilita lesného ťahača s nákladom pri prekonávaní prekážky (vyvýšeniny) treba vyšetrovať ako jednu sústavu.

Pritom kinetická energia ťahača s nákladom je:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} J_A \omega^2$$

kde $J_A = J_T + J_{NA}$

J_T – hmotný moment zotrvačnosti traktora [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$],

J_{NA} – hmotný moment zotrvačnosti nákladu,

ω – uhlová rýchlosť [s^{-1}].

Maximálne premiestnenie polohy ťažiska je o Δh . Pri zmene kinetickej energie na potenciálnu $E_{pot} = m \cdot g \cdot \Delta h$.

Pomer E_{kin} / E_{pot} musí byť menší ako 1. Z toho vyplýva pre bočnú dynamickú stabilitu s nákladom:

$$U_{dyn} = 1 - \frac{E_{kin}}{E_{pot}} > 0$$

4 ZÁVER

Z uvedeného môžeme urobiť nasledovné závery

1. Pri $\alpha > \alpha_{KR}$, kmitanie kmeňov môže zhoršiť priečnu – bočnú stabilitu lesného traktora a preto sa musí zaviesť do rovnice rovnováhy momentov, ktoré pôsobia na traktor klopový moment od kmitajúcich kmeňov.
2. Uhol α_{KR} závisí od uhla svahu β to znamená aj medzná výška prekážok je funkciou tohto uhla.
3. Metodika určenia bezpečných hodnôt výšky nerovnosti mikroprofilu dovoľuje stanoviť kedy dôjde k medzným situáciám. K strate stability lesného traktora dochádza len pri nepriaznivom spojení rozmerov, tvaru a polohy nerovností (mikroprofil terénu), funkčných parametrov traktora a taktiež rozkmitaní kmeňov (nákladu) pri nájazde na rezonančné mikronerovnosti.

LITERATÚRA

- BROUSIL, J.; SLAVÍK, J.; ZEMAN, V. 1989. Dynamika, SNTL/ALFA, Praha, 328 s.
- GREČENKO, A. 1983. Dynamická stabilita ako súčasť svahovej dostupnosti strojů. Zemědělská technika 29 (11): 643–658.
- GREČENKO, A. 1984. Pohyb zemědělských vozidel na příkrych travnatých svazích. Zemědělská technika, 30 (6): 321–333.

- GREČENKO, A. 1986. Metóda určovaní svahové dostupnosti zemědělských vozidel. *Zemědělská technika*, 32(10): 577–698.
- HUNTER, A. G. 1981. Critical direct descent and ascent slopes for an agricultural tractor with forage harvester and trailer. In: *J. of Vehicle Design* 2(3):289–298.
- KONONENKO, M. P.; MITEREV, J. J. 1970. Issledovanije poperečnoj ustojčivosti kolesnogo trelevočnogo traktora pri jeho dviženiji po nerovnomu mikroreljefu, *Trudy CNIIME*, No 103, Chimki: 158–168.
- MIKLEŠ, M.; HOLÍK, J.; MIKLEŠ, J. 2010. Projektovanie a výpočet lesných strojov. *Technická univerzita Zvolen*, 200s., ISBN 978-80-228-2096-7.
- MIKLEŠ, M.; HELEXA, M. 2012. Výskum odvaľovania elastického kolesa po poddajnej podložke, In: 38. MVK kateder dopravných, manipulačných, stavebných a zemědělských strojů. Plzeň, s. 129–134, ISBN 978-80-261-0141-3.
- MIKLEŠ, J. 2011. Traction properties of special forest wheeled tractors in forest terrain. In: *Utilization of Agricultural and Forest Machinery*, Krakow, 2011: 187–197, ISSN 1733-5183.
- SCHWANGHART, H. 1978. Kipp – und Umsturzverhalten eines schleppers, *Landtechnik*, 11:488–492.
- SPENCER, H. B.; OWEN, G. M. 1981. A Device for Assessing the Safe Descent Slope of Agricultural Vehicles. *J. agric. Enging Res.* 1981, 26, 277–286.
- ŠESTÁK, J.; SKLENKA, P.; ŠKULAVÍK, L. 1993. Matematické modely terénnych vozidiel určené na popis ich správania pri práci na svahu. *Universitatis Agriculturae Slovakia*, Nitra, XXXIII, 1993, 91 s., ISBN 80-7137-095-9.
- ZÁHOREC, O.; CABAN, S. 2002. *Dynamika*. OLYMP Košice, 499s. ISBN 80-7099-825-3.

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

VÝSKUM SKLONU LAMIEL LAMELOVÉHO ODLUČOVAČA PRE ZVÝŠENIE SEPARAČNEJ ÚČINNOSTI

RESEARCH OF THE LAMELLA SEPARATOR PLATE ANGLE FOR INCREASING THE SEPARATIVE EFFICIENCY

Sláva PARNIČANOVÁ – Rastislav IGAZ

ABSTRACT: Submitted paper deals with an optimization of the lamella angle setting in lamella separator for waste water with the aim of improving the separative efficiency. The experimental model has been proposed and specially designed for the needs of this research. This model allows you to change the angle inclination in a large-scale. The basic monitored parameter has been the efficiency of separating process in connection with the lamella angle. Experimental results allow optimal setting of the lamella angle in lamella separator and optimization of the flow speed.

Key words: lamella separator, waste water, separating technology, separation efficiency

ABSTRAKT: Predkladaná práca sa zaoberá optimalizáciou nastavenia uhla sklonu lamiel v lamelovom odlučovači pre odpadové vody za účelom zvýšenia separačnej účinnosti zariadenia. Pre potreby výskumu bol navrhnutý a skonštruovaný experimentálny model, ktorý umožňoval zmenu uhla sklonu lamiel lamelového odlučovača v dostatočne širokom rozsahu. Základným sledovaným parametrom bola efektívnosť odlučovania v závislosti od uhla sklonu lamiel. Výsledky získané z experimentov umožňujú dosiahnuť optimálne nastavenie uhla sklonu lamiel v lamelovom odlučovači a optimalizáciu rýchlosti prúdenia suspenzie.

Kľúčové slová: lamelový odlučovač, odpadová voda, odlučovacia technika, efektívnosť odlučovania

1 ÚVOD

Najbežnejšia kvapalina, ktorá sa na Zemi nachádza, je voda. Je nevyhnutná pre všetky formy života, podmieňuje náš život vo všetkých smeroch. Závisí od nej počasie, produkcia potravy, životné prostredie a životné podmienky. V súvislosti s prudkým rastom množstva obyvateľstva dochádza aj k vyššej spotrebe vody [1]. Popri tom dochádza k neúmernému znečisťovaniu vodných zdrojov, čo môže viesť k ohrozeniu jej existencie, ako aj existencie

všetkého živého na našej planéte. Vypúšťanie odpadových vôd z priemyslu, splaškovej odpadovej vody, znečistenej dažďovej vody a vody z komunálnej sféry do recipientov a vodných tokov spôsobuje neustále zhoršovanie kvality vôd [2]. Na odstraňovaní problémov s vypúšťaním odpadových vôd do vodných tokov sa v nemalej miere podieľajú čistiarne odpadových vôd. V súčasnosti využívané zariadenia a technológie ponúkajú široké možnosti čistenia odpadových vôd, napriek tomu sú neustále v centre záujmu výskumu, ktorý smeruje k zvyšovaniu ich efektívnosti [3,4]. Pre najlepšie využitie obmedzených vodných zdrojov a zabezpečenie ich ochrany pred znečistením sú potrebné nové progresívne technológie, vrátane zlepšenia tradičných technológií.

2 VŠEOBECNÉ POZNATKY

Voľba jednotlivých čistiarenských zariadení v čistiarnach odpadových vôd sa riadi podľa fyzikálnych, chemických a iných vlastností znečisťujúcich látok privádzaných odpadovou vodou. Hrubé nečistoty a plávajúce látky sa zachytávajú na hrabliciach, piesok a drobný štrk v lapači piesku alebo štrku, tuky a oleje v lapači olejov, a zostávajúce hrubšie i jemnejšie suspenzie v usadzovacích nádržiach (lamelové odlučovače, pieskové filtre, poprípade koaguláciou, chemickými spôsobmi). Rozpustené a koloidné látky obsiahnuté v odpadových vodách (prevažne v organických znečisteninách) sa odstraňujú najlepšie biologickými čistiacimi postupmi [5].

V mechanickej časti čistiarne odpadových vôd sa z privádzaných odpadových vôd odstraňujú len také nečistoty, ktoré sa vplyvom väčšej mernej hmotnosti, ako má odpadová voda, usadzujú na dne alebo pri menšej mernej hmotnosti môžu vyplávať na hladinu. Sedimentáciou sa odstraňujú len častice, ktorých doba usadzovania je ekonomicky vyhovujúca (asi do 2 hodín). Jemnejšie častice sa dostávajú až do biologického stupňa a odstraňujú sa až v dosadzovacích nádržiach [6]. V týchto zariadeniach sa selektujú látky pri menších prietokových rýchlostiach klesaním alebo flotáciou [7].

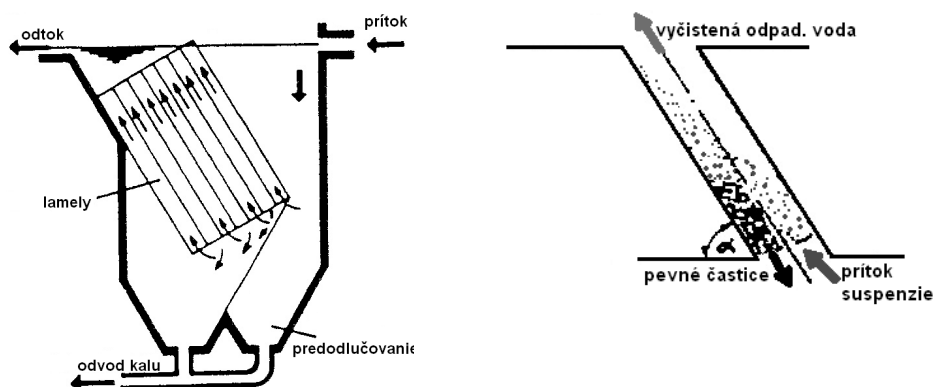
Konštrukcia lamelových odlučovačov sa vyznačuje rozdelením vlastného usadzovacieho priestoru usadzovacej nádrže na niekoľko paralelných šikmých mikropriestorov, vytvorených rovinnými alebo profilovanými doskami [8].

Doposiaľ sa využívali štyri systémy lamelových odlučovačov pre čistenie odpadových vôd, a to na princípe [9]:

- súprúdeho pohybu kvapaliny,
- protiprúdeho pohybu kvapaliny,
- šikmého pohybu kvapaliny,
- krížového pohybu kvapaliny.

2.1 Spôsob činnosti protiprúdeho systému lamelového odlučovača

Pri protiprúdnom systéme (obr. 1) je suspenzia privádzaná na zväzok lamiel zdola. Odtok vyčistenej vody je orientovaný oproti vtoku suspenzie, na opačnej strane zariadenia. Procesy čistenia kalu sú obmedzované prietokovým otvorom. V tomto systéme sú možné väčšie kolísania záťaže bez toho, že by sa vyskytlo zanesenie.

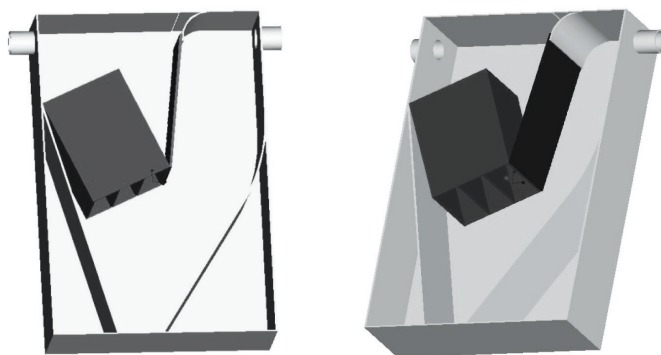


Obrázok 1 Protiprúdny systém lamelového odlučovača [10]

3 EXPERIMENTÁLNE ZARIADENIE A METODIKA MERANIA

Experimentálny model bol navrhnutý a vytvorený na podklade priemyselne vyrábaných a využívaných odlučovacích systémov. Konštrukcia modelu bola navrhnutá ako výsledok štúdia dostupných firemných materiálov popredných výrobcov daných zariadení a rešerše vedeckej literatúry s podobným zameraním, napr. [4].

Model experimentálneho zariadenia je vyrobený z plexiskla hrúbky 5 mm. Prívod vodnej suspenzie do nátokového priestoru modelu je zabezpečený prírodným potrubím s vnútorným priemerom 40 mm. Nátokový priestor a priestor na odlučovanie je oddelený posuvnou zarážkou hrúbky 3 mm a nastaviteľnej dĺžky, ktorá zabezpečuje, aby celý objem pretekajúceho kalu pretekal priestorom medzi lamelami odlučovača. Lamelová konštrukcia je upevnená na otočnom kĺbe. Konštrukcia lamiel je zhotovená z plexiskla hrúbky 3 mm a dĺžky 170 mm. Efektívna plocha odlučovacích lamiel má plošný obsah 47,94 cm². Vzďialenosť medzi jednotlivými lamelami je 39 mm. Odlučovaný kal padá do kalového priestoru, z ktorého je odvádzaný odpadovým potrubím. Vyčistená voda je odvádzaná odtokovým potrubím [11].



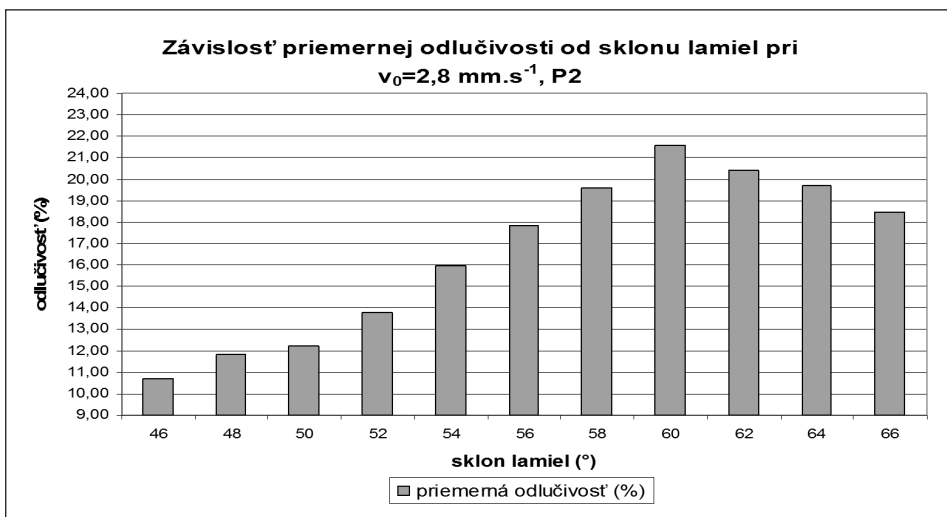
Obrázok 2 Model lamelového odlučovača použitého pri experimentoch

Experimentálne merania sa uskutočnili pri konštantnej priemernej rýchlosti prúdenia kalu v priestore medzi lamelami $v_0 = 2,8 \text{ mm.s}^{-1}$ pri objemovom prietoku $Q_0 = 1,85 \text{ l.min}^{-1}$. Nastavenie súboru lamiel sa menilo v rozmedzí uhla sklonu voči zvislej rovine $\alpha = (46^\circ - 66^\circ)$ v dvojstupňových intervaloch.

Experiment bol uskutočnený s použitím suspenzie s veľkosťou častíc do $0,3 \text{ mm}$, namiešanej v pomere P2: 120 g kriedového prášku na 1 l vody. Počas experimentu bolo zabezpečované nepretržité miešanie suspenzie v kalovej nádrži, aby nedochádzalo k jej usadzovaniu. Pri jednotlivých sklonoch lamiel prúdila suspenzia cez systém lamiel stálou rýchlosťou, a zachytávala sa do kalibrovaných odmerných nádob. Pri každom nastavení uhla lamiel bolo odobraných 10 vzoriek kalu. V nádobách došlo k usadeniu neodseparovanej suspenzie po dobu 24 hodín. Po uplynutí časového intervalu sa odčítala hladina usadenej suspenzie. Koncové namerané hodnoty usadeného kalu sa pomerovo prepočítali s koncovou hodnotou usadenej referenčnej vzorky, ktorá bola získaná z prvej suspenzie pred vstupom do odlučovacieho systému, t.j. referenčná vzorka predstavovala 100% podiel neodlúčenej suspenzie.

4 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Zo získaných experimentálnych výsledkov vyplýva, že odlučivosť sa s meniacim uhlom sklonu lamiel mení, pričom najväčšiu hodnotu dosahuje pri uhle sklonu lamiel $\alpha = 60^\circ$ (viď. obr. 3). Pri danej priemernej rýchlosti pohybu kalu medzi lamelami $v_0 = 2,8 \text{ mm.s}^{-1}$, pomere P2 a uhle sklonu lamiel $\alpha = 60^\circ$ dosahuje priemerná odlučivosť zariadenia účinnosť $\bar{x} = 21,6 \%$.



Obrázok 3 Zobrazenie grafickej závislosti percentuálnej odlučivosti od uhla sklonu lamiel v lamelovom odlučovači

Tabuľka 1 Hodnoty usadeného kalu a percentuálnej odľučivosti pri rýchlosti $v_0 = 2,8 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ a uhle sklonu ($46^\circ - 66^\circ$) a pomere P2

sklon lamiel	46°	48°	50°	52°	54°	56°	58°	60°	62°	64°	66°
usadený kal [ml]	353,6	349,2	347,6	341,5	332,8	325,3	318,5	310,6	315,2	318,1	322,8
smerodajná odch. s_n	2,41	2,81	2,96	2,80	2,65	2,44	2,92	2,91	2,87	2,52	2,64
rozptyl r	6,19	8,17	9,07	8,12	7,29	6,16	8,81	8,73	8,53	6,55	7,20
odľučivosť (%)	10,7	11,8	12,2	13,8	15,9	17,9	19,6	21,6	20,4	19,7	18,5

5 ZÁVER

Experimentálne výsledky dokazujú, že zmenou nastavenia sklonu lamiel v lamelovom odľučovači je možné významne meniť separačnú účinnosť lamelového odľučovacieho zariadenia. Z grafického zobrazenia priebehu výsledkov je zrejмый nárast separačnej účinnosti so zväčšovaním uhla sklonu lamiel až po hodnotu 60° . Pri ďalšom zväčšovaní uhla dochádza k poklesu efektívnosti odľučovania. Platnosť získaných výsledkov je však obmedzená okrajovými podmienkami experimentu (objemový prietok, rýchlosť kalu v priestore lamely, zloženie kalu, veľkosť a koncentrácia tuhých častíc v kale).

Najväčšia hodnota odľučivosti pri daných okrajových podmienkach prúdenia a zložení kalu bola experimentálne zistená pri uhle sklonu lamiel 60° . Pri tomto uhle dochádza k najefektívnejšiemu odľučovaniu pevných častíc rozptýlených v kale. Pre získanie všeobecnejších záverov je potrebné uskutočniť ďalšie experimenty, pri iných okrajových podmienkach príp. s použitím inej zmesi simulujúcej kal.

Získané výsledky môžu poslúžiť ako podklady pre zlepšenie konštrukčných riešení lamelových odľučovačov, ktoré budú v porovnaní so súčasnými zariadeniami poskytovať vyššie hodnoty odľučivosti, a teda zabezpečiť vyššiu efektívnosť čistenia odpadových vôd, úsporu finančných prostriedkov a znížiť časovú náročnosť procesu odľučovania. Okrem toho je možné na základe výsledkov výskumu stanoviť algoritmy pre nastavenie podmienok odľučovania na základe podielu, veľkosti a koncentrácie znečisťujúcich pevných častíc v kale, a tým dosiahnuť efektívnejší proces čistenia odpadových vôd.

LITERATÚRA

- [1] SOJKA, J.: 2004, *Malé čistírny odpadných vod*. ERA group, 2004. Brno. 98 s. 8086517802
- [2] KOVÁČ, M.: 2010, Plán integrovaného manažmentu vodných zdrojov a pôdneho fondu obce. ZMOS 2010, 145 s., ISBN 978-80-970-5590-5
- [3] SCHAFFNER, J.; PFEFFERMANN, A. L.; ECKHARDT, H.; et al.: 2011, *Inflow based investigations on the efficiency of a lamella particle separator for the treatment of stormwater runoffs*, In: WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY Vol. 64 Issue 1, Pages: 271–278, DOI: 10.2166/wst.2011.166, Published: 2011
- [4] OKOT, G., CENTIKAYA, S., BRUEGGEMANN, J., THÔMING, J.: 2008, *On hydrodynamic optimisation of multi-channel counter-flow lamella settlers and separation efficiency of cohesive*

- particles*, In: CHEMICAL ENGINEERING AND PROCESSING, Vol. 47 Issue 1, Pages: 90–100, DOI: 10.1016/j.cep.2007.08.003, Published: JAN 2008, ISSN: 0255-2701
- [5] HUISMAN, L.: 1973, *Sedimentation and flotation*. Mechanical filtration. Delft, Technological university, 1973
- [6] ŠTÍCHA, V., BULÍČEK, J., HÁLA, Z. a kol.: 1970, *Odvádění a čistění odpadních vod ze sídlišť*. SNTL, n. p. Praha 1970. 04-721-70
- [7] RIEGER, F., NOVÁK, V., JIROUT, T.: 2005, *Hydromechanické procesy I.*, ČVUT Praha-Fakulta strojná, 2005. – 209 s., ilustr. – ISBN 80-01-03286-8
- [8] PARNIČANOVÁ, S.: 2006, *Lamelové odlučovače ako súčasť environmentálneho zariadenia pre čistenie odpadových vôd*. CD zborník z 1. medzinárodnej vedeckej konferencie „Earth in a Trap?, Analysis of Environmental Components“, 26.–28. 4. 2006, Krpáčovo, TU Zvolen, str. 540–546, ISBN 80-228-1553-5
- [9] Wasseraufbereitung und noch mehr (cit. 2. 3. 2005) Dostupné na int. <<http://www.leiblein.de/web/deutsch/deutsch.htm?/web/deutsch/ref/2172.htm>>
- [10] PARNIČANOVÁ, S., ČERNECKÝ, J.: 2007, *Model lamelového odlučovača ako prostriedok na zvýšenie efektívnosti odlučovania*. Medzinárodný vedecký seminár „Technika odpadového hospodárstva“, 18.–19. 9. 2007, Zvolen, str. 76–81. ISBN 978-80-228-1782-0
- [11] PARNIČANOVÁ, S.: 2008, *Experimentálny model lamelového odlučovača pre zvýšenie separačnej účinnosti*. Medzinárodný vedecký seminár. 2008, str. 111–115. ISBN 978-80-228-1855-1

Kontaktná adresa:

Ing. Sláva Parničanová

Obvodný úrad životného prostredia, Odbor ochrany prírody, vybraných zložiek životného prostredia a odvolacích konaní kraja, Nám. L. Štúra 1, 974 05 Banská Bystrica, parnicanova@bb.ouzp.sk

Ing. Rastislav Igaz, PhD.

Katedra fyziky, elektrotechniky a aplikovanej mechaniky,

Technická Univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, igaz@tuzvo.sk

RIADENIE RIZIKA PROCESU OBRÁBANIA VÝROBKU

RISK MANAGEMENT OF PRODUCT MACHINING PROCESS

**Tomáš PAULIČEK – Martin KOTUS – Tomáš HOLOTA
– Martin BLAŠKO**

ABSTRACT: This article addresses the risk analysis process to detect possible manufacturing defects that could manufacture parts for “the Tip” come along by applying the method of FMEA-analysis methods and the consequences of failures. Applying the method to define the disorder and introducing corrective measures to minimize risk of failure rates. This issue has great importance in terms of production quality and quantity of non-conforming products. In the article we can conclude that the production of parts by means of remedial measures to reduce the level of risk.

Key words: risk, manufacturing process, FMEA, product

ABSTRAKT: V tomto článku sa rieši analýza rizika procesu výroby odhaľovaním možných porúch, ktoré by sa mohli počas výroby súčiastky „hrotu“ vyskytnúť aplikovaním metódy FMEA-analýza spôsobov a dôsledkov porúch. Aplikáciou metódy sa poruchy definujú a zavádzajú sa nápravné opatrenia na minimalizovanie miery rizika poruchy. Daná problematika má veľký význam z pohľadu kvality výroby a množstva nezhodných výrobkov. V článku môžeme konštatovať, že pre výrobu súčiastky sa pomocou nápravných opatrení znížila miera rizika.

Kľúčové slová: riziko, výrobný proces, FMEA, výrobok

ÚVOD

Posudzovanie rizík je neustále založené na odhade a intuícii. Riadenie rizika vhodnou metódou znižuje mieru neistoty tohto odhadu. V praxi existujú rôzne metódy posúdenia rizika vzhľadom na výrobný proces alebo výrobok. (Burda et al., 2010; Kotus, 2012)

Jedna z metód, ktoré sa používajú pre potreby štúdia porúch v systémoch je FMEA. Je aplikovateľná na rôzne systémy (elektrické, hydraulické, mechanické,...) vrátane kombinovaných, popisuje príčinu a dôsledok poruchy. Analýza vplyvov porúch a ich následkov (FMEA) hodnotí možné poruchy zariadenia a ich vplyvy na technologický proces, ku ktorým môže dôjsť na rôznych úrovniach – v systéme, subsystéme alebo v jeho komponentoch. Používa sa na identifikáciu možností druhu porúch jednotlivých zariadení a systémov. Svedčia o tom aj poznatky z viacerých výskumov. Môže byť rozšírená o početnosť

výskytu porúch alebo o ich pravdepodobnosť. V tom prípade sa realizuje Failure Modes, Effects and Criticality Analysis – FMECA.

Riadenie rizika je proces, ktorého podstatou je zistenie skutočného rizika pri pracovnej aktivite a jeho minimalizovanie, alebo odstránenie. Východiskom riadenia rizika je jeho posúdenie, ktorého cieľom je prostredníctvom systematického preskúmania identifikovať všetky aktuálne i potenciálne negatívne faktory práce. (Kotus, 2012; Sujová, 2010)

Cieľom práce je aplikovať metódu FMEA na proces výroby „hrotu“ a tým znížiť riziko vzniku chyby počas daného procesu. Daný proces sa vykonáva na sústruhu typového označenia HAAS 30 v spoločnosti Metaltrade Nitra spol. s r.o. so sídlom v Nitre.

1. MATERIÁL A METÓDY

Bezpečnosť strojov je jedným zo základných faktorov vplyvujúcich na zaistenie bezpečnosti pri práci. Legislatíva v oblasti bezpečnosti strojov je mimoriadne rýchlo rozvíjajúcou sa oblasťou, čo je ovplyvnené zvyšujúcimi sa požiadavkami a nárokmi na bezpečnosť pri práci a ochranu zdravia zamestnancov, ktoré sú v súčasnosti postavené na tzv. holistickom (celostnom) prístupe. (Sujová, 2010)

1.1 Charakteristika metódy merania

Ako nástroj na hodnotenie rizika procesu výroby „hrotu“ sme použili metódu FMEA. Uvádzame stručný postup aplikácie:

- určenie potenciálnych chýb a vypracovanie dôsledkov určených chýb,
- hľadanie a zisťovanie príčin vzniku chyby, resp. ako zabrániť chybe,
- určenie významu, výskytu a odhaleniu chýb, vyčíslenie rizikového čísla – RPN,

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

kde: *S* – význam chyby

O – pravdepodobnosť výskytu potenciálnej chyby

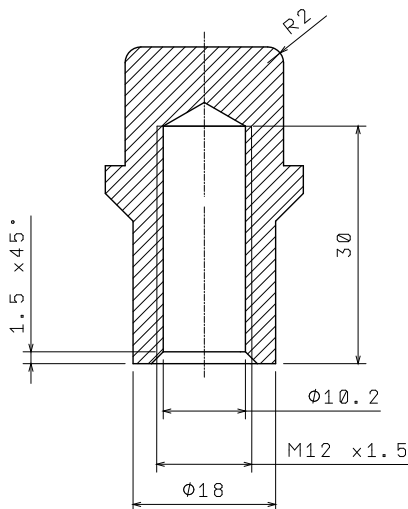
D – pravdepodobnosť odhalenia chyby

- určenie poradia chýb podľa RPN,
- navrhnutie nutných opatrení.

Metóda sa dá popísať ako systematický súbor činností uskutočňovaných s cieľom identifikovať a vyhodnotiť možnú poruchu výrobku/procesu a dôsledky týchto porúch, určiť opatrenia, ktoré by mohli pravdepodobnosť výskytu novej poruchy obmedziť a celý proces dokumentovať. Doplňuje proces definovania toho, čo musí návrh alebo proces pre uspokojovanie zákazníka spĺňať.

1.1 Charakteristika výrobku

Objektom sledovania bola súčiastka nazvaná „hrot“, ktorá bola obrábaná na sústruhu HAAS 30 v uvedenej výrobnjej organizácii. Obrobok je ďalej určený výrobným výkresom (graficky) a Control planom.



Obrázok 1 Výrobok „hrot“ z výrobného výkresu

Daný výrobok špecifikoval zákazník na základe svojich požiadaviek uvedených vo výrobnom výkrese. Medzi základné požiadavky stanovil typ materiálu, rozmery a počet vyrobených kusov. Výrobok sa v prevádzke používa ako súčasť výrobnjej linky pri montáži lodných motorov.

V tabuľke č. 1 je uvedený zjednodušený Control plan výrobku, kde sú presne zadefinované jednotlivé operácie výroby.

Tabuľka 1 Control plan výrobku

Č. op.	Názov operácie	Pracovisko (stroj)	Nástroje/ náradie	Riadené znaky
1	Vstupná kontrola	Ručné pracovisko		zadané rozmery výkovku
2	Korózna kontrola	Ručné pracovisko		povrch výkovku
3	Sústruženie	HAAS 30	Uberací nôž	
	Kontrola			Priemer ø18 mm
4	Vrtanie/rezanie závitů	HAAS 30	T16-vrták d10,2 VBD × c. púzdro 0,1 T17-zrážáč hrán Stellram T18-zrážáč hrán spodný T19-zavitník-M12 × 1,5	
	Kontrola			závit – M12 × 1,5 na dĺžku 30 mm

Tabuľka 1 Pokračovanie

Č. op.	Názov operácie	Pracovisko (stroj)	Nástroje/ náradie	Riadené znaky
5	Gravírovanie	Multi 4	Oceľový hrot	značenie výkovku, označ. gravírovania, čistota povrchu
	Kontrola			
6	Balenie	Ručné pracovisko	Hroty odihliť a očistiť od triesok, príp. iných nečistôt. EP+2 ks ohrádky antikoročný vak plast. sieťov. podlož. Do palety s 2 ks ohrádkami vložiť antikoročný vak. Každú vrstvu preložiť plastovou sieťovanou podložkou. Uložiť 4 vrstvy hrotov.	čistota povrchu, (korózia)
	Kontrola			

2. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Aplikovaná bola metóda FMEA, obsahujúca zadané potenciálne chyby, dôsledky chýb, príčiny vzniku chýb, námety ako chybám zabrániť, ich kvantitatívne zhodnotenie výskytu (významu) odhalenia, určené poradové číslo na základe vyčíslenia rizikového čísla, navrhnuté nutné opatrenia.

Tabuľka 2 Aplikácia metódy FMEA na proces výroby

Č. op.	Potenciálna chyba	Dôsledok chyby	Príčina chyby	Ako chybe zabrániť	Výskyt	Význam	Odhalenie	Rizikové č.	Poradové č.	Nutné opatrenia
1	Nedodržený rozmer R2	Chybný výkovok	Chybné kutie	Náprava pri ďalšom kovaní	1	6	1	6	18	Upozornenie dodávateľa
	Mechanické poškodenie povrchu		Neprimeraná preprava	Zmena prepravcu	2	6	1	12	14	Upozornenie prepravcu
			Nedostatočné balenie	Zmeny v balení	2	6	1	12	15	Upozornenie dodávateľa
2	Korózia	Nutné ošetrenie povrchu	Nedostatočné balenie	Zmeny v balení	3	5	1	15	13	Upozornenie dodávateľa

Tabuľka 2 Pokračovanie

Č. op.	Potenciálna chyba	Dôsledok chyby	Príčina chyby	Ako chybe zabrániť	Výskyt	Význam	Odhalenie	Rizikové č.	Poradové č.	Nutné opatrenia
3	Nedodržaný rozmer – ø18 mm menší	Nezhodný obrobok	Nesprávna korekcia	Školenie obsluhy	2	10	2	40	2	Zaškolenie obsluhy
			Chyba obsluhy		3	10	2	60	1	
	Nedodržaný rozmer – ø18 mm väčší	Chybný obrobok	Nesprávna korekcia		2	4	2	16	10	
			Chyba obsluhy		3	4	2	24	5	
4	Nedodržaný rozmer – ø10,2 mm menší	Chybný obrobok	Opotrebenie nástroja	Kontrola nástroja	3	4	2	24	6	Zaškolenie obsluhy Výber iného nástroja
	Nedodržaný rozmer – ø10,2 mm väčší	Nezhodný obrobok	Chybný nástroj	Zmena nástroja	1	10	2	20	8	Výber iného nástroja
	Chybný závit	Poškodený nábeh	Opotrebenie nástroja	Kontrola nástroja	2	5	2	20	9	Zaškolenie obsluhy
		Nezhodné stúpanie			1	8	2	16	11	Výber iného nástroja
	Nedodržaný rozmer – dĺžka 30 mm menšia	Chybný obrobok	Opotrebenie nástroja		2	4	2	16	12	Zaškolenie obsluhy
Nedodržaný rozmer – dĺžka 30 mm väčšia	Nezhodný obrobok	Nesprávna korekcia	Kontrola		2	10	2	40	3	
5	Čitateľnosť značenia	Nečitateľný nápis	Poškodenie hrotu		Kontrola	3	4	1	12	16
		Nesprávne umiestnenie nápisu	Nesprávne upnutie obrobku	Kontrola polohy upnutia	1	9	1	9	17	Zaškolenie obsluhy
6	Nedostatočné nakonzervovanie obrobkov	Korózia	Nedodržanie baliaceho predpisu	Kontrola	3	8	1	24	7	Zaškolenie obsluhy Prehodnotenie baliaceho predpisu
	Mechanické poškodenie pri balení	Poškodenie povrchu obrobkov	Nevhodná manipulácia	Poučenie obsluhy	3	10	1	30	4	Zaškolenie obsluhy

Chybný výrobok spôsobuje zhoršenie spoľahlivosti celého zariadenia pri zachovaní funkčných vlastností, avšak s kratšou životnosťou. Takéto prvky (časti strojov) riadeného

alebo riadiaceho systému vyžadujú v prevádzke nákladnú údržbu, časté opravy, a nakoniec predčasné vyradenie z činnosti pre nerentabilitu, prípadne nízku bezpečnosť prevádzky. Naopak, úspechy pri riešení problematiky spoľahlivosti systémov sa odrážajú v dobrých hospodárskych výsledkoch prevádzkovateľov, z čoho vyplýva, že pri širokej ponuke mnohých firiem riadiacich systémov s podobnými funkčnými vlastnosťami je ich spoľahlivosť jedným z podstatných parametrov kvality. (Sujová – Ťavodová, 2010)

Každá výrobná organizácia je vystavená rizikám rôznych kategórií. Tie je potrebné identifikovať, definovať ohrozenia, aby nedochádzalo k vzniku negatívnych javov, pracovných úrazov zamestnancov a iné. Riziká môžeme posudzovať z hľadiska poruchovosti a životnosti strojov, humánneho aspektu (zranenia človeka), kvality výrobku a environmentu. (Bujna et al., 2010)

Dve najrizikovejšie potenciálne chyby obsahuje operácia 3-sústruženie na CNC sústruhu HAAS 30, kde sa sústruží priemer $\varnothing 18$ mm pri dodržaní predpísanej drsnosti povrchu. Za najrizikovejší dôsledok považujeme vysústružený menší priemer $\varnothing 18$ mm zapríčinený pochybením obsluhy, kde sa rizikové číslo dostalo na hodnotu 60.

Druhým najrizikovejším dôsledkom je taktiež vysústružený menší priemer $\varnothing 18$ mm, ale zapríčinený nesprávne nastavenou korekciou, kde sa hodnota rizika rovná 40. Tretím najrizikovejším dôsledkom je vyvrtaný väčší otvor na dĺžke 30 mm pri operácii 4 na CNC sústruhu HAAS 30, ktorého príčinou je nesprávna korekcia a rizikové číslo je rovné 40.

Podľa interných smerníc vo výrobnej organizácii sa za neakceptovateľnú chybu považuje chyba s hodnotou RPN vyššou ako 50. Aj napriek tomu, sme definovali nutné opatrenia pre všetky výrobné operácie. Zvyšovanie kvality výrobkov je možné dosiahnuť nielen školením zamestnancov, ale aj ich samotným pozitívnym prístupom k pracovnej činnosti a výrobnému procesu.

ZÁVER

Proces výroby je úloha systému manažérstva, ktorá spočíva v určení optimálnych, najviac hospodárnych alebo produktívnych podmienok realizácie konkrétnej výrobných operácie. Systém manažérstva má zabezpečiť to, že výrobný proces vyhovuje svojmu zamýšľanému použitiu bez nežiaducich porúch alebo rizík. (Vysočanská et al., 2009)

Riziko je miera možnosti ohrozenia života alebo zdravia, spôsobenia materiálnej škody a ohrozenia životného prostredia. Vyjadruje sa v zásade ako kombinácia početnosti alebo pravdepodobnosti výskytu špecifikovanej nebezpečnej udalosti a očakávaných následkov tejto udalosti. Preto pre posúdenie miery ohrozenia, tzn. posúdenie rizika je potrebné určiť pravdepodobnosť (početnosť) vzniku ohrozenia a posúdiť rozsah možných následkov. (Kotus et al., 2012)

Po zhodnotení jednotlivých operácií sa stanovili návrhy na nutné opatrenia, ktoré povedú k odstraňovaniu najrizikovejších potenciálnych chýb v jednotlivých operáciách výroby. Proces výroby „hrotu“ sa bude sledovať a vyhodnocovať z hľadiska možného rizika, bezpečnosti pri práci a spoľahlivosti daného výrobku.

LITERATÚRA

- BUJNA, M. – KREDATUSOVÁ, M. – BURDA, M. 2010. Identifikácia a analýza ohrozenia pre výrobný proces ložiska. In *Kvalita a spoľahlivosť technických systémov 2010*. Nitra : SPU, 2010. s. 95–99. ISBN 978-80-8069-890-4.
- BUJNA, M. – KOTUS, M. – ČIČO, P. 2013. Manažérstvo rizika. Nitra : SPU, 2013. 146 s. ISBN 978-80-552-0982-1.
- BURDA, M. – ČIČO, P. – BUJNA, M. 2010. Posúdenie rizika, pracovného miesta komplexnou metódou. In *Kvalita a spoľahlivosť technických systémov 2010*. Nitra : SPU, 2010. s. 61–65. ISBN 97880-552-0390-4.
- KOTUS, M. – BUJNA, M. – ČIČO, P. 2012. Základy bezpečnosti práce. Nitra : SPU, 2012. 215 s. ISBN 978-80-552-0780-3.
- MATEIDES, A. et al. 2006. *Manažérstvo kvality : história, koncepty, metódy*. Bratislava : Ing. Miroslav Mračko, 2006. 751 s. ISBN 80-8057-656-4.
- Obrábacie centrum MC 100 VA. Návod na používanie. Príručka obsluhy – sústruženie.
- SINAY, J. – ORAVEC, M. – PAČAIOVÁ, H. 2001. *Metódy posudzovania rizik*. Košice: TU, 20 s.
- SUJOVÁ, E. 2010. Súčasný trendy legislatívy SR v oblasti bezpečnosti a spoľahlivosti strojov. In *Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva 2010*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2010. s. 169–174. ISBN 978-80-228-2143-8.
- SUJOVÁ, E. 2008. Princípy manažérskeho rozhodovania v podmienkach rizika. In *Aktuálne manažérske trendy v teórii a praxi = Actual manager's trends in theory and praxis*. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, 2008. s. 163–168. ISBN 978-80-8070-966-2.
- SUJOVÁ, E. – ŤAVODOVÁ, M. 2010. Zvyšovanie spoľahlivosti zariadení cestou zlepšovania bezpečnosti a kvality v údržbe. In *Využitie technológií neuronových sietí pre diagnostiku a spoľahlivosť technických systémov zariadení tepelnej techniky*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2010, s. 62–69. ISBN 978-80-228-2184-1.
- VYSOČANSKÁ, M. – SKLENÁR, M. – PETRÍK, M. – KOTUS, M. 2009. Hodnotenie spôsobilosti meracieho zariadenia. In *Najnovšie trendy v poľnohospodárstve, v strojárstve a v odpadovom hospodárstve*. Nitra : SPU, 2009. s. 327–332. ISBN 978-80-552-0208-2.

Kontaktná adresa:

Ing. Tomáš Pauliček, Ing. Martin Kotus, PhD., Ing. Tomáš Holota, Ing. Martin Blaško.
Katedra kvality a strojárskych technológií, Technická fakulta, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra. E-mail: t.paulicek@gmail.com

BEZKONTAKTNÉ POLOHOVANIE MAGNETICKÉHO OBJEKTU S VYUŽITÍM LEVITÁCIE

CONTACTLESS POSITIONING OF A MAGNETIC OBJECT BASED ON LEVITATION

Rudolf PETRÁŠ – Jozef ŠURIANSKY

ABSTRACT: : The paper deals with controlled motion of the micro-robot that obtains energy of the magnetic field. The algorithm was proposed for controlled switching of coils for targeted movement of the micro-robot. Motion sensors consist of a camera. The object is detected in the image by the computer program that sends instructions to the ARM microprocessor. The micro-robot can achieve tasks using magnetic field and programmed movement, in the production process, in areas that are inaccessible for humans and unhealthy.

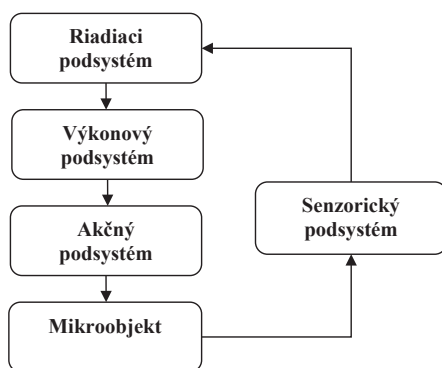
Key words: micro-robot, magnetic field, control movement, micro-manipulation

ABSTRAKT: Článok sa zaoberá riadeným pohybom mikrorobota, ktorý získava energiu magnetickým poľom. Navrhol sa algoritmus riadenia zapínania cievok na cielený pohyb mikrorobota. Senzory pohybu sú zabezpečené pomocou kamery. Objekt v obraze je rozpoznávaný v počítačovom programe, ktorý posiela inštrukcie do mikroprocesora ARM. Mikrorobot môže plniť ciele pomocou magnetického poľa a naprogramovaného pohybu vo výrobnom procese, v priestoroch, ktoré sú pre človeka priestorovo neprístupné a zdravotne nebezpečné.

Kľúčové slová: mikrorobot, magnetické pole, riadenie pohybu, mikropoložovanie

1 ÚVOD

Pri polohovaní mikroobjektov sa prejavujú vysoké trecie sily spôsobené gravitáciou a kvalitou trecích plôch. V danom prípade pre pohyb magnetického objektu sú potrebné veľké silové účinky, ktoré je potrebné zabezpečiť riadiacimi cievkami. Okrem toho nerovnomernosť trenia spôsobuje rôznu odozvu na akčný zásah riadiaceho systému. Jedna z možností potlačenia sily trenia, ako aj zvýšenia kvality riadenia je použitie tzv. levitačnej cievky. Uvedená cievka proporcionálne kompenzuje gravitačnú silu, ktorá pôsobí na mikrorobota a tým sa znižuje sila trenia. Riadenie polohy mikrorobota je potom zabezpečené pri nižších hodnotách magnetickej indukcie vytváranej riadiacimi cievkami.



Obrázok 1 Bloková štruktúra mikromanipulátora

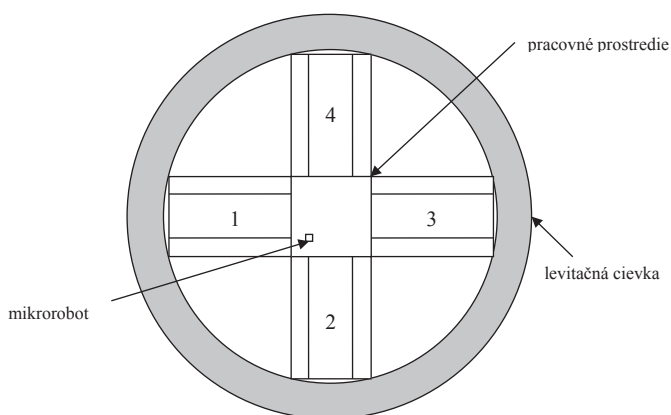
Na obrázku 1 sú zobrazené podsystemy mikromanipulátora. Riadiaci podsystem predstavuje mikroprocesor ARM a personálny počítač. Počítač posiela inštrukcie pomocou sériového prenosu do mikroprocesora, ktorý ich vyhodnotí. Podľa vyhodnotených údajov nastavuje logické úrovne výstupných signálov, DA prevodníky a PWM moduláciu.

Výkonový podsystem je tvorený zosilňovačmi a prepínacími obvodmi. Zosilňovače výkonovo zosilňujú PWM moduláciu a úrovne DA prevodníkov. Prepínacie obvody majú za úlohu komutovať jednotlivé prvky v akčnom podsysteme.

Akčný podsystem vytvára riadené magnetické pole, ktoré umožní cielene pohybovať s mikrorobotom. Veľkosť prúdu v levitačnej cievke je riadený pomocou PWM signálu a v riadiacich cievkach s DA prevodníkmi.

Mikroobjekt je magnetický materiál zapuzdrený do plastu, ktorý je polohovaný magnetickým poľom.

Senzorický podsystem tvorí kamera, ktorá zabezpečuje vizualizáciu obrazovej scény s mikrorobotom a predstavuje spätnú väzbu medzi mikroobjektom a riadiacim podsystemom.



Obrázok 2 Akčný podsystem pozostávajúci zo štyroch riadiacich cievok (1, 2, 3, 4), levitačnej cievky, pracovného prostredia a mikrorobota

Spojenie všetkých podsystémov do funkčného celku je zložitý problém. Pri malých zmenách v pracovnom prostredí alebo v konštrukcii robota je potrebné zmeniť vstupné parametre výkonovému podsystému. Mikromanipulátor je možné modifikovať zmenou algoritmu riadenia.

2 MATERIÁL A METÓDY

Overoval sa navrhnutý spôsob riadenia mikrorobota, ktorý je polohovaný bezkontaktné. Využili sa poznatky o riadení robotov, o jednotlivých podsystémoch mikromanipulátora a o knižniciach pre rozpoznanie objektu v obraze.



Obrázok 3 Experimentálny model mikromanipulátora

2.1 Mikrorobot

Mikrorobot tvorí permanentný magnet a tvrdý plast. Permanentný magnet sa skladá zo zliučiny neodým-železo-bór, ktorá má v súčasnosti implementovanú najvyššiu energiu. Plast je vyrobený v tvare veľkého tlačeneho písmena „A“, do ktorého je zasunutý magnet v tvare kocky s hranou 1,6 mm. Polarita magnetu je priamočiara s polaritou cievok.



Obrázok 4 Mikrorobot s rozmermi $4 \times 4 \times 1$ mm

2.2 Komunikácia

Počítač a mikroprocesor ARM komunikujú pomocou sériového prenosu. Počítač vysiela rámce údajov s pevnou dĺžkou do mikroprocesora, ktorý tieto údaje spracuje a následne riadi výkonový podsystem. Komunikácia medzi počítačom a mikroprocesorom je simplexná. Počítač vysiela dátové rámce pričom ARM na nich neodpovedá.

bit:	0	1	1	3	4-7	8-11	12-15	16-18	19
	S	NC	EN	CD	PWM	AD1	AD2	PSC	E

Obrázok 5 Komunikačný rámec s dĺžkou 20 bitov

S – začiatok rámca (S)

NC – číslo cievky (1-4)

EN – povolenie cievky (0-1)

CD – smer prúdu (0-1)

PWM – šírka PWM impulzu (0-8000)

AD1 – amplitúda AD1 prevodníka (0-4096)

AD2 – amplitúda AD2 prevodníka (0-4096)

PSC – hodnota deličky frekvencie PWM signálu (0-1000)

E – koniec rámca (E)

2.3 Rozpoznanie mikrorobota v priestore

Rozpoznávanie mikrorobota v obraze sa vykonáva v počítači. Využili sa knižnice OpenCV, ktoré ponúkajú metódy na rozpoznanie objektu v obraze. Program na riadenie pohybu bol vytvorený v jazyku C#. Knižnice OpenCV sú vytvorené pre jazyk C++, z tohto dôvodu sa musela použiť knižnica Emgu. Táto knižnica umožňuje využiť metódy na rozpoznanie objektu v obraze z OpenCV v jazyku C#.

Na rozpoznanie robota v obraze sa využila metóda „MatchTemplate“, ktorá má dva vstupné parametre. Prvý je hľadaný obraz a druhý porovnávacia metóda hľadaného obrazu v skutočnom obraze. Využila sa metóda „CV_TM_CCOEFF“, ktorá porovnáva obrazové body vzorcom [2]:

$$R(x, y) = \sum_{x', y'} (T'(x', y') \cdot I(x + x', y + y')) \quad (1)$$

kde

$$T'(x', y') = T(x', y') - 1 / (w \cdot h) \cdot \sum_{x'', y''} T(x'', y'') \quad (2)$$

$$I'(x + x', y + y') = I(x + x', y + y') - 1 / (w \cdot h) \cdot \sum_{x'', y''} I(x + x'', y + y'') \quad (3)$$

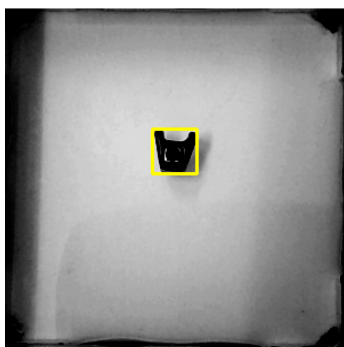
I – skutočný obraz

T – hľadaný obraz

R – výsledná matica

w – šírka obrazu

h – výška obrazu

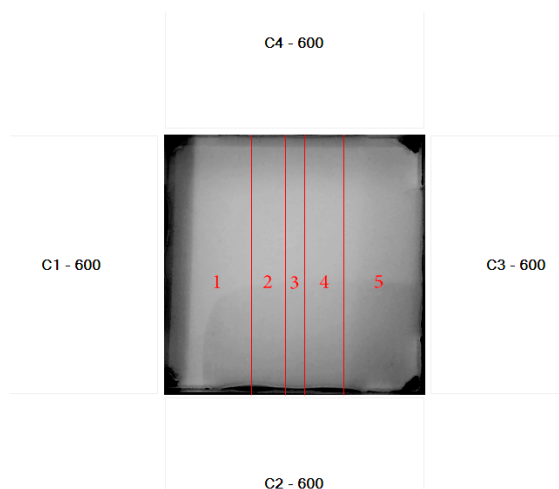


Obrázok 6 Mikrorobot rozpoznávaný v obraze

Výsledok funkcie MatchTemplate s metódou na rozpoznávanie CV_TM_CCOEFF je vidieť na obrázku 6. Rozpoznaný objekt je orámovaný štvorcom.

2.4 Algoritmus riadenia pohybu

Algoritmus na riadený pohyb mikrorobota musí spínať príslušné riadiace cievky, tak aby mikrorobot dosiahol požadovaný cieľ. Realizuje sa vysielaním dátových rámcov do mikroprocesora. Trajektória dráhy je vypočítavaná na základe okamžitej polohy a cieľovej polohy mikrorobota. Vypočítajú sa rozdiely týchto dvoch pozícií na x-ovej a y-novej osi a vyhodnotí sa ich veľkosť. Ak je rozdiel y-novej osi väčší, zopne sa horná alebo dolná cievka podľa toho či je cieľový bod vyššie alebo nižšie ako aktuálna pozícia. Pre x-ovú os je to podobné, len sa zapína ľavá alebo pravá cievka a vyhodnocuje sa či aktuálna pozícia od cieľovej je v pravo alebo vľavo.



Obrázok 7 Vertikálnymi úsečkami sú zobrazené zóny pre nastavovanie DA prevodníka. Zóny platia pre zapnutú cievku 1. V zóne jedna je nastavená najmenšia hodnota prevodníka

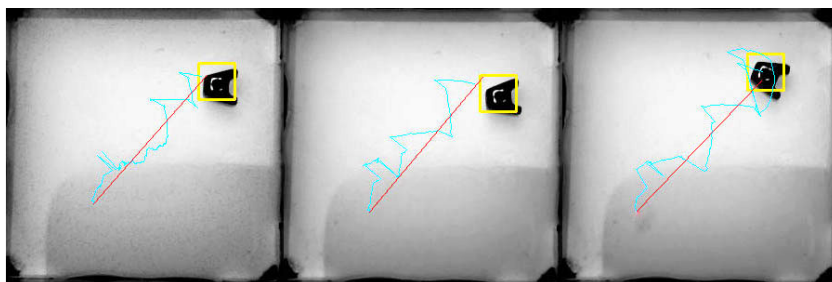
Algoritmus musí ešte nastavovať magnetickú indukciu cievky, ktorá pôsobí na mikro-robot. Na tento účel slúži metóda getDAvalue. Metóda vyhodnocuje pozíciu robota podľa toho, ktorá cievka je zapnutá. Pracovné prostredie je rozdelené do piatich zón a ku každej zóne prislúcha hodnota DA prevodníka.

3 VÝSLEDKY

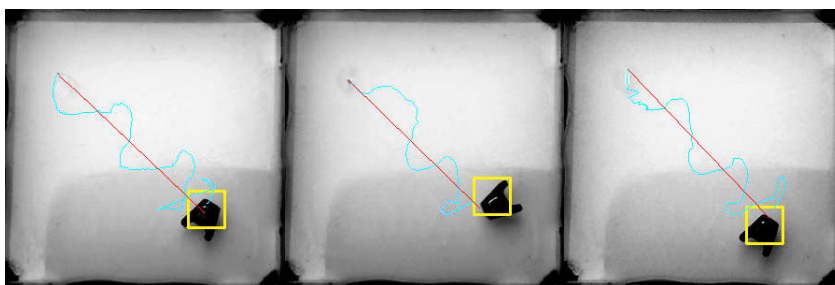
V experimente sa vyhodnocovali dva parametre, čas a dráha. Tieto sa merali pokiaľ robot prešiel z aktuálnej do požadovanej pozícií. Pri meraní sa vybrali dve trasy z ľavého dolného do pravého horného rohu (LDPH) a z ľavého horného do pravého dolného rohu (LHPD) pracovného prostredia mikrorobota. Pre každú trasu sa meranie zopakovalo desať krát.

3.1 Výsledky experimentu

Pri každom meraní sa zaznamenali čas v milisekundách a dĺžka dráhy v milimetroch. Na obrázku 8 je zobrazená jedna dráha s tromi meraniami. Úsečka spája aktuálnu pozíciu s požadovanou, pričom vľavo dole je začiatok dráhy. Krivka zobrazuje prejdenu trasu robota. Štvorec ohraničuje nájdený objekt v obraze v našom prípade robota. Pre obrázok 9 platí to isté, len dráha robota začína v hornej časti pracovného priestoru. Pri experimente došlo aj k zlému rozpoznaniu objektu, z tohto dôvodu bola meraná trať väčšia ako v skutočnosti mikrorobot prešiel. Túto chybu môžeme vidieť v ľavej časti obrázku 8. Kvôli tejto chybovosti sme štatisticky vyhodnocovali iba čas prejdenia dráhy.



Obrázok 8 Ukážky prejdenej dráhy LDPH



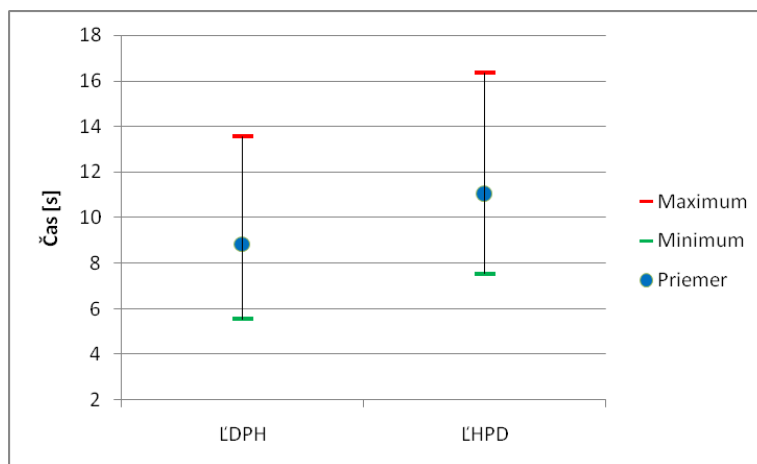
Obrázok 9 Ukážky prejdenej dráhy LHPD

Tabuľka 1 a) Namerané hodnoty dráhy ĽHPD,
 b) Namerané hodnoty dráhy ĽDPH
 (t – čas prechodu, d – prejdenná vzdialenosť).

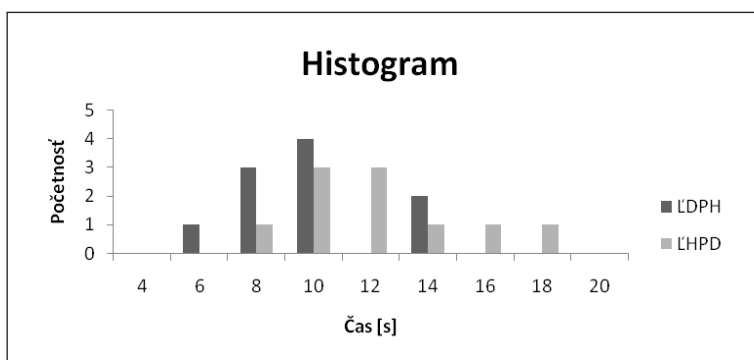
a)		b)	
t [s]	d [mm]	t [s]	d [mm]
9.42	53	5.56	43
8.43	33	13.56	47
16.34	57	8.25	44
9.84	51	8.63	38
13.77	50	7.18	40
10.64	79	9.87	59
7.54	37	6.46	34
10.23	46	8.98	34
14.06	57	12.94	64
10.02	49	7.02	32

Tabuľka 2 Základné štatistické parametre časového intervalu prejdenej dráhy ĽHPD a ĽDPH

	Počet nameraných hodnôt	Minimum	Maximum	Medián	Aritmetický priemer	Smerodajná odchýlka
ĽHPD t [s]	10	7.54	16.34	10.12	11.03	2.78
ĽDPH t [s]	10	5.56	13.56	8.44	8.84	2.65



Obrázok 10 Porovnanie časového intervalu dvoch dráh



Obrázok 11 Histogram časových intervalov pri dvoch dráhach

Pri obidvoch meraniach bola dĺžka trate rovnaká. Zo štatistických parametrov vyplýva, že pri trati LDPH bol čas lepší, kratší s menšou smerodajnou odchýlkou. Môže to byť spôsobené menšími trecími silami medzi podložkou a robotom. Ďalší vplyv môže mať levitačná cievka, ktorá kompenzuje gravitačnú silu. Magnetické pole uvedenej cievky nemusí len kompenzovať, ale aj vychýľovať. Toto môže zapríčiniť diferenciu časových intervalov.

3.2 Výhody a prínosy

Výhodou magnetických mikrorobotov je ich robustnosť vzhľadom na ich rozmery, energetická a konštrukčná nenáročnosť a bezkontaktné ovládanie. Tento typ polohovacieho zariadenia má výhodu nie len v konštrukcii mikrorobota, ale aj samotného mikro-manipulátora, ktorý sa skladá zo štyroch riadiacich a jednej levitačnej cievky. Prostredie, v ktorom náš model pracuje je vzduch. Podobné typy experimentov môžu byť prevádzkované aj v kvapalinách, ale musí byť splnená podmienka, že kvapalina nemôže mať vysokú viskozitu [1]. Z tohto dôvodu by bolo možné overiť náš experiment aj v kvapaline. To by znamenalo možnosť rozšírenia pri použití v praxi.

Tabuľka 3 Prehľad výhod a prínosov modelu mikrorobota pre prax

Ukazovatele vyplývajúce z konštrukcie pre využitie mikrorobota	Výhody	Prínosy pre prax
Pohyb	Priestor – vzduch a kvapalina	Jednoduché ovládanie
Konštrukcia	Jednoduchá zostava bez nárokov na špeciálne konštrukčné úpravy	Využitie dostupných a lacných komponentov
Energetická náročnosť	Využíva vlastnú energiu magnetického poľa	Energeticky je nenáročný
Programové vybavenie	Využíva bežné programové vybavenie v PC	Jednoduchá ovládateľnosť

4 DISKUSIA A ZÁVER

V súčasnosti sú obmedzené výsledky o využívaní takýchto mikromanipulátorov v bežnej prevádzke. V práci sme sa zamerali na vyhodnotenie navrhnutého algoritmu riadenia pohybu, pre ktorý sa vypracoval počítačový program. Úlohou tohto programu je čo najrýchlejšie sa dostať z aktuálnej do požadovanej pozície. Celý algoritmus riadenia je zahrnutý v jednej metóde, ktorá ma dva vstupné parametre, aktuálna a cieľová pozícia mikrorobota. Algoritmus vyhodnocuje aktuálnu pozíciu robota, ktorú získava z kamery a podľa toho posiela inštrukcie do mikroprocesora na nastavovanie parametrov cievok. Riadiaci algoritmus by sa mohol zlepšiť tak, aby spínal viacero cievok naraz a tým zabezpečil pohyb do viacerých strán. Predpokladáme, že sa dosiahne vyššia presnosť v požadovanom pohybe, ale aj zníženie času presunu a energetickej spotreby.

Práca ukazuje jednu z možných ciest k mikropoložovaniu mikrorobotov a ich využitia vo výrobnej technike a v sťažných podmienkach agresívneho prostredia. Môže ísť o činnosti, pri ktorých sa manipuluje s mikrometrovými súčiastkami v mikrometrovej mierke alebo napríklad aj s toxickými látkami, ktoré sú nebezpečné pre človeka. Výsledok prezentuje možnosti implementácie takýchto mikrorobotov v širokej priemyselnej praxi.

5 LITERATÚRA

1. Pawashe, C., Diller, E., Floyd, S., Sitti, M., 2011, Assembly and Disassembly of Magnetic Mobile Micro-Robots towards Deterministic 2-D Reconfigurable Micro-Systems, USA. International Journal of Robotics Research, vol 31.
2. OPENCV DEV TEAM: *OpenCV 2.4.3 documentation*. Online: <http://docs.opencv.org/>
3. EMGUCV: *Online documentation*. Online: <<http://www.emgu.com/wiki/index.php/Documentation/>>

Kontaktná adresa:

Ing. Rudolf Petráš, prof. Ing. Jozef Šuriansky, CSc.
Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta environmentálnej a výrobnej techniky,
Katedra informatiky a automatizačnej techniky, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen
e-mail: rudolf.petras@gmail.com, surian@vsld.tuzvo.sk.

KVALITA ODLIATKOV HLÁV VALCOV – HODNOTENIE CHÝB

THE QUALITY OF THE CYLINDER HEAD CASTINGS – EVALUATION OF DEFECTS

Petra SEMANOVÁ – Daniela KALINCOVÁ

ABSTRACT: The contribution analyzes the influence of factors concerning the quality of the cylinder head castings in the Nemak Slovakia Ltd. company. It describes the way of control and research in the field dealing with the investigation of defect causes. The contribution presents the most frequently occurring defects of castings, recommendations for interventions in the production process in order to eliminate defects. The catalogue of defects with the cause substantiation is to serve as a tool for operators in foundry, in order to improve the quality of castings produced.

Key words: casting, defects of casting, quality of castings and its evaluation, methods of evaluation defects, catalog of defects

ABSTRAKT: Príspevok analyzuje vplyv činiteľov na kvalitu odliatkov hláv valcov v spoločnosti Nemak Slovakia s. r. o. Opisuje spôsob kontroly a výskum v oblasti zisťovania príčin vzniku chýb. Príspevok predstavuje najčastejšie sa vyskytujúce chyby odliatkov, odporúčania pre zásahy do výrobného postupu za účelom eliminácie výskytu chýb. Katalóg chýb s odôvodnením príčin vzniku má poslúžiť ako pomôcka pre operátorov v zlievarni, s cieľom zvýšiť kvalitu vyrábaných odliatkov

Kľúčové slová: odliatok, chyby odliatkov, kvalita odliatkov a jej hodnotenie, metódy hodnotenia chýb, katalóg chýb

ÚVOD

Prísne kritériá na kvalitu odliatkov pre automobilový priemysel sú dané najmä požiadavkami na vysokú spoľahlivosť a bezpečnosť komponentov automobilu, súčasne aj vysokou úrovňou konkurencie výrobných podnikov. Dosiagnúť požadovanú kvalitu hliníkových odliatkov je veľmi dôležité, preto sú kladené vysoké nároky na výrobné operácie, čo vyžaduje splniť požiadavky odberateľov.

Exportované odliatky musia byť kvalitné z hľadiska celistvosti, homogenity štruktúry a vlastností, nesmú mať povrchové ani vnútorné chyby, ďalej musia byť zbavené zvyškov zlievarenských pieskov, náliatkov, zbavené otrepopo mechanickom obrábaní, a pod.

Zákazník požaduje komponenty, ktoré možno okamžite zabudovať do finálneho výrobku bez akýchkoľvek dodatočných operácií (Krajný, 2012).

Zabezpečenie vysokej kvality odliatkov si vyžaduje dokonalé zvládnutie metalurgie i technológie výroby. Na odliatky hláv valcov sú kladené vysoké požiadavky, kde okrem celistvosti a presnosti rozmerov sa kladie dôraz na celkovú funkčnosť odliatkov. Kvalita odliatkov okrem čistoty odlievanej taveniny tiež závisí od spôsobu liatia, od tvaru a konštrukcie kokily, rýchlosti liatia, teploty liateho kovu a od teploty kokily, spôsobu tuhnutia kovu a spôsobu ochladzovania.

Ďalším činiteľom ovplyvňujúcim kvalitu odliatku je rýchlosť prúdenia taveniny pri vyplňaní dutiny formy. Pri veľkých rýchlostiach dochádza ku vzniku povrchových turbulencií, ktoré spôsobujú strhávanie vzduchu a povrchových oxidických blán do taveniny. Uviaznutý vzduch a oxidy pôsobia potom v stuhnutom kove ako vruby a trhliny (Náprstková, a kol 2011, Michna, Náprstková, 2012). V ich okolí spôsobujú koncentráciu napätí, čo sa prejaví znížením pevnostných charakteristík, ako napríklad ťažnosti, húževnatosti, medze únavy a pevnosti (Bolibruchová, Tillová, 2005).

Výsledná štruktúra odliatkov závisí aj od tepelného spracovania (od zvolenej teploty a doby výdrže na teplote rozpúšťacieho žihania), pomocou ktorého možno dosiahnuť zvýšenie mechanických vlastností ako sú pevnosť v ťahu, medza klzu, ťažnosť, kontrakcia.

1. SÚČASNÝ STAV VÝROBY ODLIATKOV

Výroba hláv valcov je zložitý výrobný proces, ktorý sa skladá z viacerých etáp. Výsledná kvalita odliatku závisí od kvality procesov v každej etape výroby. Na obr. 1 je znázornený priebeh procesu výroby hláv valcov v spoločnosti Nematik Slovakia s. r. o.

Prvotným atribútom pre získanie kvalitného odliatku je príprava zliatiny – tekutého kovu, ktorá pozostáva z nasledujúcich krokov:

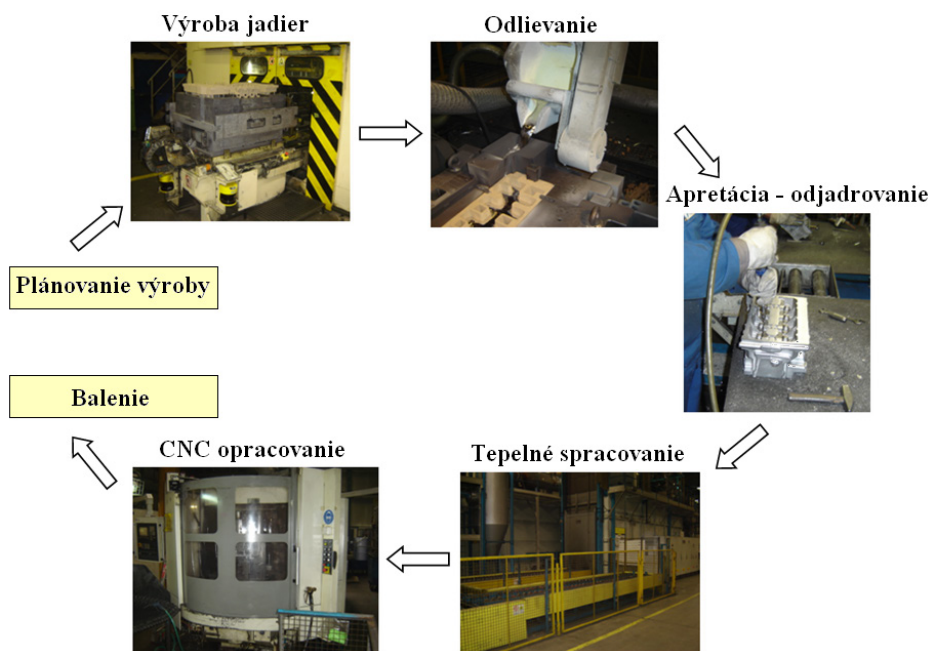
1. Rafinácia taveniny v udržiavacej peci – odplynenie taveniny inertným plynom.
2. Pridanie očkovačla na zjemnenie zrna a modifikácia na podporu rastu kryštalizačných zárodkov.

Kvalita taveniny je zabezpečená nasledovnými skúškami:

- analýza chemického zloženia,
- vákuový test, kde sa zisťuje index hustoty (index hustoty vyjadruje obsah vodíka v tavenine),
- termoanalýza – krivka chladnutia taveniny a jej vyhodnotenie,
- meranie teploty taveniny.

Ak sú splnené všetky podmienky v súlade s internými normami, kov je pripravený na odlievanie. Odliatky sa vyrábajú *technológiou gravitačného liatia do kokíl s vrchným plnením*. Funkčnosť hláv valcov zabezpečia pieskové jadrá vložené do kokily. Po stuhnutí kovu sa vyberie z formy tzv. *surový odliatok*.

Surový odliatok prechádza na *apretáciu* (finálne opracovanie), kde prebieha odjadrovanie, pílenie náliatkovej sústavy, ručné opracovanie (odstránenie neprípustných otrepov, ostrých hrán, zaliatych otvorov a začistenie deliacich rovín do predpísaného tvaru), otryskávanie a následná kontrola odliatku. Získa sa tak tzv. *hrubý odliatok*. Pre získanie požadovaných mechanických vlastností sú odliatky tepelne spracované. Opracovanie na rozmer



Obr. 1 Schéma výrobného postupu (Nemak Slovakia s. r. o.)

podľa požiadaviek zákazníka sa robí na CNC obrábacích centrách. Po očistení od rezných emulzií a triesok sú odliatky kontrované a zabalené, pripravené na export.

Podnik má obhájený certifikát kvality podľa normy ISO 9001. Kvalitu odliatkov výrobcu kontroluje priebežne vo výrobných etapách.

Analýza chýb v odliatkoch hláv valcov pomáha operatívne odstraňovať príčiny ich vzniku. V experimentálnej časti príspevku sú ukážky výskumu, ktorý bol venovaný zisťovaniu chýb a analýze príčin vzniku v jednotlivých etapách procesu výroby odliatkov, čo viedlo k vypracovaniu katalógu chýb (Milatová, 2012).

2. MATERIÁL A METÓDY

Materiály pre experimenty boli dlhodobejšie sledované a výsledky kontrol kvality sústredované na kontrolnom pracovisku podniku. Vybrané produkty – odliatky hláv valcov pre osobné automobily sú definované z hľadiska chemického zloženia, tepelného spracovania a mechanických vlastností. V tab. 1. sú charakterizované jednotlivé zliatiny z hľadiska chemického zloženia.

Chemické zloženie odliatkov je kontrované v etape prípravy taveniny spektrálnou analýzou a porovnané s údajmi v tabuľke. Pre výslednú kvalitu je veľmi dôležitá aj čistota odlievacieho materiálu. Nečistoty v tavenine môžu pôsobiť ako zárodky pre vznik bublín. Platí, že čím je tavenina menej čistá, tým viac sú odliatky pórovité. Štruktúra sa preto stáva významným ukazovateľom kvality hliníkových odliatkov. Stav štruktúry sa hodnotí

metalografickými metódami, ktoré sa neustále vyvíjajú a tak hodnotenie kvality odliatkov aj z hľadiska prípustných chýb v súlade s platnými normami STN EN nadobúda v praxi veľký význam (Michna, Kusmierczak, 2012).

Tab. 1: Chemické zloženie vybratých produktov (Nemak Slovakia s. r. o.)

Produkt	Chemické zloženie v %										
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Bi	Ca	Cd
Produkt 1 AlSi7Mg0,3	6,5 – 7,5	max. 0,19	max. 0,05	0,03 – 0,1	0,35 – 0,45	max. 0,03	max. 0,03	max. 0,07	max. 0,005	max. 0,002	max. 0,007
Produkt 2 AlSi9Cu1	9,0 – 10,0	max. 0,03	0,8 – 1,3	0,07 – 0,1	0,3 – 0,5	max. 0,5	max. 0,1	max. 0,1	max. 0,005	max. 0,002	max. 0,0075

Na hodnotenie kvality odliatkov hláv valcov z hľadiska celistvosti boli použité dve metódy:

- vizuálna kontrola, s použitím lupy, alebo kalibrov, pomocou ktorej boli zisťované najmä povrchové chyby odliatkov,
- prežarovacia RTG metóda – zameraná na kontrolu vnútorných chýb odliatkov.

Veľmi dôležitý ukazovateľ kvality je *funkčnosť* odliatkov, ktorú charakterizuje tesnosť a hodnotí sa *tlakovou skúškou*. Netesnosť je spôsobená prítomnosťou vnútorných chýb odliatkov, ako sú bubliny z plynu jadra alebo kovu, vmestky v štruktúre odliatku, stiahnutiny, zlomené jadrá.

Kontrola rozmerov sa robí pomocou 2D a 3D meracích zariadení, je veľmi dôležitá, pretože správne rozmery tiež zaručujú funkčnosť výrobku.

V ďalšej časti príspevku sú uvádzané len výsledky hodnotenia kvality z hľadiska prítomnosti najčastejšie sa vyskytujúcich chýb, ktoré boli predmetom spracovania katalógu chýb a analýzy príčin vzniku v jednotlivých výrobných etapách.

3. VÝSLEDKY HODNOTENIA KVALITY ODLIATKOV

Z posudzovaných produktov boli vybraté ukážky odliatkov, na ktorých sa vyskytujú najčastejšie chyby v procese výroby:

- *chyby rozmerov* (obr. 2) – vznikajú v dôsledku nedostatočného vyplnenia dutiny formy kovu, posunutím časti odliatku, resp. časti kokily oproti ostatným častiam, zatečením kovu do deliacej roviny alebo v dôsledku miestnej deformácie odliatku spôsobenej vnútornými napätiami, nekorektnou pozíciou jadier v kokile, vplyvom nekorektnej hrúbky nástreku a pod.,
- *netesnosť odliatkov* (obr. 3) – je spôsobená miestnou nehomogenitou steny odliatku, ktorej príčinou môže byť nekorektné plnenie dutiny formy, čistota taveniny, nedostatočné odvzdušnenie kokily, naplynené jadrá a pod.,

- *trhliny* (obr. 4), praskliny – vyskytnú sa v dôsledku poškodenia náliatkovej časti odliatku pri jeho vyberaní z kokily, predčasného vybratia odliatku z kokily, pri príliš dlhom chladení kokily, pri vnútorných a vonkajších napätiach odliatku a pod.,
- *zadrobenie* (obr. 5, obr. 6) – je spôsobené v dôsledku nesprávneho uloženia jadier v kokile, nedostatočne vyfúknutej kokily, zvyškového piesku na jadrách a pod.



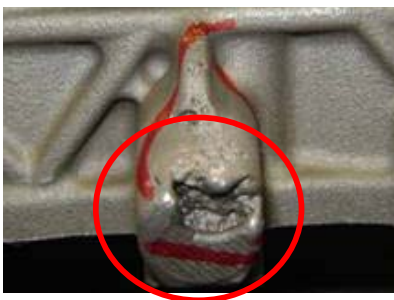
Obr. 2 Chyby rozmerov



Obr. 3 Vnútorná chyba – netesnosť



Obr. 4 Trhliny





Obr. 5 Zadrobenie



Obr. 6 Povrchová chyba

Výsledkom hodnotenia kvality vybraných odliatkov je spracovanie katalógu chýb s popisom chýb, príčinou ich vzniku a možnosťami ich eliminácie. Zisťovanie príčin vzniku chýb bolo náplňou dlhodobšieho sledovania činností v procese výroby odliatkov. Používanie katalógu má pomôcť operátorom pri identifikácii chýb a urýchliť vykonanie potrebných zásahov do výrobného procesu, v záujme zníženia zmätkovitosti odliatkov.

Katalóg chýb - najčastejšie chyby				
Chyby	Produkt	Lokalizácia	Príčina	Spôsob odstránenia
Zložené vodné jadro	Produkt 1		<ul style="list-style-type: none"> - znečistené zámky vodného jadra na základovej doske - presadené vyhadzováky v zámkach vodného jadra - nalepený kov na čelných, al. bočných ľahačoch, t.j. pri zatváraní kokily dosadajú na vodné jadro - nevyhovujúca kvalita jadier - nezačistené otrepy, krivé jadrá, stopy po vstreloch... 	<ul style="list-style-type: none"> - udržiavanie zámok vodného jadra v čistote, bez dechtov, nalepeného kovu a nadmernej vrstvy nástreku počas celej doby liatia - pravidelná kontrola nastavenia samočistiacich vyhadzovávok (vyhadzováky nesmú prevyšovať spodnú kontrolu zámok) - dôkladná vizuálna kontrola vodných jadier pred ich založením do kokily (nezačistené otrepy, krivé jadrá, stopy po vstreloch...) - vizuálna kontrola polohy a celistvosti vodného jadra pri zatváraní kokily (ak sa jadro pri zatváraní kokily hýbe, al. ho láme, pravdepodobne je znečistená deliaca rovina medzi základovou doskou a ľahačmi kokily – nalepený kov, dechty - je potrebné vybrať bok, resp. vykdopiť čelo vyčistiť a nastriekať) - pravidelná kontrola priechodnosti vodných kanálov pomocou ihly, resp. skrutkovača
Zadrobenie	Produkt 1		<ul style="list-style-type: none"> - nedostatočne vyfúknuté kokila, resp. nesprávny spôsob vyfukovania - znečistené zámky jadier (jadrá zle sedia v zámkach a pri zatváraní kokily z nich bočné, al. čelné ľahače obrusujú piesok) - neplynulý chod pohyblivých častí kokily (bočné al. čelné ľahače pri zatváraní kokily obrusujú piesok z jadier, resp. narážajú do krycieho jadra, ktoré sa môže zlomiť, al. prasknúť a zadrobiť odliatok 	<ul style="list-style-type: none"> - po vybratí každého odliatku je potrebné dôkladne vyfukovať celú kokilu (vrátane bočnic, čelných ľahačov, zámok všetkých jadier, vtokovej jamky) - pri vyfukovaní treba dávať pozor na rozstrtek dechtov zo zámok jadier - väčšie kusy piesku treba vybrať z kokily ručne - vizuálna kontrola celej kokily (čistota zámok, zbytkový piesok, nalepený dechť) a jadier pred ich založením do kokily (či nie sú príliš riedke, či sú dostrelené a či sú začištené všetky otrepy)

Obr. 7 Ukážka katalógu chýb

ZÁVER

Kontrola kvality odliatkov a s tým spojené skúšky, sú veľmi dôležitou súčasťou výrobného procesu. Kontrola musí prebiehať počas celého výrobného procesu, v jednotlivých štádiách. Chyby odliatkov sú výsledkom niekoľkých príčin a ich vzájomného pôsobenia, ktoré sa zisťujú nedeštruktívnymi a deštruktívnymi metódami.

Pre výslednú kvalitu je veľmi dôležitá čistota odlievaneho materiálu. Nečistoty v tavenine môžu pôsobiť ako zárodky pre vznik bublín. Platí, že čím je tavenina menej čistá, tým viac sú odliatky pórovité.

Kvalita odliatkov okrem čistoty odlievanej taveniny tiež závisí od spôsobu liatia, od tvaru a konštrukcie kokily, rýchlosti liatia, teploty liateho kovu a od teploty kokily, spôsobu tuhnutia kovu spôsobu ochladzovania.

Ďalším činiteľom ovplyvňujúcim kvalitu odliatku je rýchlosť prúdenia taveniny pri vyplňaní dutiny formy. Pri veľkých rýchlostiach dochádza ku vzniku povrchových turbulencií, ktoré spôsobujú strhávanie vzduchu a povrchových oxidických blán do taveniny.

Uviaznutý vzduch a oxidy pôsobia potom v stuhnutom kove ako vruby a trhliny. V ich okolí spôsobujú koncentráciu napätí, čo sa prejaví znížením pevnostných charakteristík, ako napríklad ťažnosti, húževnatosti, medze únavy a pevnosti.

Výsledná štruktúra odliatkov závisí aj od tepelného spracovania (od zvolenej teploty a doby výdrže na teplote rozpúšťacieho žihania), pomocou ktorého možno dosiahnuť zvýšenie mechanických vlastností ako sú pevnosť v ťahu, medza klzu, ťažnosť a kontrakcia.

Je možné konštatovať, že správne určenie chyby zaručuje úspech na jej rýchle odstránenie. Veľmi dôležité, pri výskyte určitej chyby, je správne stanovenie druhu chyby, od ktorého sa ďalej odvíja určenie pôvodu chyby, stanovenie príčin a možností na odstránenie jej vzniku. Netreba zabúdať, že kvalitu odliatkov vo veľkej miere ovplyvňuje aj ľudský faktor. Preto je nevyhnutné klásť dôraz na dodržiavanie pracovnej disciplíny, t. j. na dodržiavanie interných pravidiel, týkajúcich sa procesu výroby odliatkov.

LITERATÚRA

- BOLIBRUCHOVÁ, D., TILLOVÁ, E. 2005. *Zlievarenské zliatiny Al-Si*. Žilina: EDIS – vydavateľstvo ŽU, 2005. ISBN 80-8070-485-6.
- KRAJNÝ, Z. 2009. Využitie vodného lúča na čistenie odliatkov a odstraňovanie otrepov. In *Technika* [online], 2009, č. 10 [cit. 2013-17-01]. Dostupné na internete: <<http://www.techpark.sk/technika-122009/vyuzitie-vodneho-luca-na-cistenie-odliatkov-a-odstranovanie-otrepov.html>>.
- MICHNA Š., KUŠMIERCZAK, S. 2012. *Praktická metalografie*, FVTM UJEP, 2012, OPTYS, 245 s., ISBN 978-80-7414-503-2.
- MICHNA, Š., NÁPRSTKOVÁ, N. 2012. The Application of Fractography to Resolve the Issue of Castings Quality in the Automotive Industry. *Manufacturing and Industrial Engineering*, 2012/3, Vol. XI, pp. 50–53, ISSN 1338–6549.
- MILATOVÁ, P. 2012. Kvalita odliatkov hláv valcov – chyby odliatkov a ich experimentálne hodnotenie: diplomová práca. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. Fakulta environmentálnej a výrobných techník. 2012. 1 príloha.
- NÁPRSTKOVÁ, N., MICHNA, Š., LUKÁČ, I. 2011. Aplikace fraktografie při řešení problematiky kvality odlitků. *Strojírenská technologie*. FVTM UJEP Ústí nad Labem: 2011/4, ročník XVI, pp. 62–66. ISSN 1211-4162.
- Nemak Slovakia s. r. o. – interné dokumenty spoločnosti.
- TILLOVÁ, E. 2009. *Súvislosť medzi štruktúrou a vlastnosťami zliatin hliníka na odliatky*: Tézny inauguračnej prednášky pre menovacie konanie profesorom v študijnom odbore 5.2.26 Materiály. Žilina: EDIS – vydavateľstvo ŽU, 2009. ISBN 978-80-554-0093-8.

Kontaktná adresa:

Ing. Petra Semanová
Katedra lesnej a mobilnej techniky
Fakulta environmentálnej a výrobných techník, Technická univerzita vo Zvolene
Študentská 26, 960 53 Zvolen, e-mail: petra.semanova19@gmail.com

Ing. Daniela Kalincová, PhD.
Katedra výrobných technológií a materiálov
Fakulta environmentálnej a výrobných techník, Technická univerzita vo Zvolene
Študentská 26, 960 53 Zvolen, e-mail: danielak@vsld.tuzvo.sk

NÁVRH METÓDY MERANIA STUPŇA ZUHOĽNATENIA REZNEJ ŠPÁRY S VYUŽITÍM ČÍSLICOVÉHO SPRACOVANIA OBRAZU PO PROCESE REZANIA DREVA ZVÄZKOM ŽIARENIA

THE DESIGN OF CHARRING DEGREE MEASURE- MENT METHOD USING DIGITAL IMAGE PROCESSING AFTER THE PROCESS OF CUTTING WOOD BY BEAM RADIATION

Juraj SUJA – Milada GAJTANSKA – Rastislav IGAZ

ABSTRACT: Kerf is a term which describes the amount of damaged material taken in connection with the cutting process and the quality of the surface, resulting 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 charring degree of the kerf on the process of cutting wood beam radiation combined with a microscopic method using digital image processing.

Key words: kerf, measurement, charring, 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 stupňa zuhoľnatenia reznej špáry po procese rezania dreva zväzkom žiarenia mikroskopickou metódou kombinovanou s využitím číslicového spracovania obrazov.

Kľúčové slová: rezná špára, meranie, zuhoľnatenie, zväzok žiarenia, číslicové spracovanie obrazu

ÚVOD

Efektivitu a kvalitu rezania zväzkom žiarenia môžeme čiastočne zhodnotiť pomerom šírky reznej špáry na vrchnej strane rezaného obrobku k šírke reznej špáry na spodnej strane rezaného obrobku (ELTAWAHNI a kol., 2010), odmeraním hrúbky rezu a určením objemu znehodnoteného materiálu. V prípade rezania dreva zväzkom žiarenia je v záujme operátora dosiahnuť aj čo najmenší stupeň zuhoľnatenia povrchu reznej špáry ako poslednej etapy termickej degradácie dreva (OSVALD, 2009) a tým minimalizovať následný

postprocessing. Miera termickej degradácie dreva je priamo závislá od dávky žiarenia dodanej materiálu (KUBOVSKÝ a kol., 2012), preto je rýchlosť rezania pri konštantnom výkone jedným z dôležitých parametrov optimalizácie procesu delenia drevného materiálu zväzkom žiarenia.

Táto práca sa zameriava na mikroskopickú metódu merania stupňa zuhoľnatia reznej špáry kombinovanú s číslicovým spracovaním obrazu pre jej rýchlosť, jednoduchosť, dostupnosť a cenu.

Navrhovaná kombinácia mikroskopického zosnímania obrazu a jeho následného číslicového spracovania relatívne jednoduchým spôsobom umožní popísať stupeň zuhoľnatia po procese rezania dreva zväzkom žiarenia.

1. EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

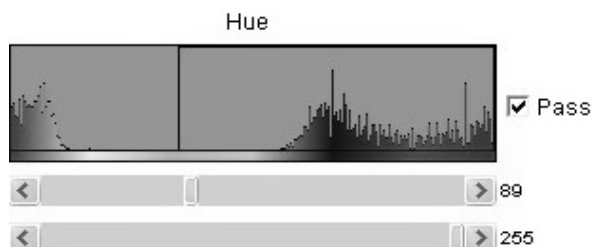
Rezná špára vznikla rezaním smrekovej dosky hrubej 8 mm s relatívnou vlhkosťou 12 %, zväzkom žiarenia s vlnovou dĺžkou 10,6 μm (CO_2 laser), výkonom 150 W, tlakom pomocného plynu – vzduchu 250 kPa a rýchlosťou rezania 3, 6, 9, 12, 15 a 18 $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Mikroskopické zosnímanie obrazu bolo uskutočnené digitálnou lupou „USB Digital Microscope“ s rozlíšením 2 Mpx, ktorá pomocou priloženého softvéru „Microcapture“ ukladá zosnímané obrazy vo formáte .jpg na disk počítača. Číslicové spracovanie obrazu sa uskutočnilo vo voľne dostupnom programe ImageJ určenom na vedecké spracovanie a analýzu obrazu.

1.1 Analýza zuhoľnatia

Návrh metódy merania stupňa zuhoľnatia spočívala v mikroskopickom zosnímaní objektu merania, t.j. reznej špáry (obr. 1) v smere kolmom na povrch reznej špáry a následnej analýze zobrazenej textúry. Z fotografie je zrejmé, že povrch reznej špáry obsahuje dve oblasti. Jedna je zuhoľnatá, na farebnej fotografii v odtieňoch modrej a čiernej farby, na čiernobielej fotografii amorfné plochy bez viditeľnej textúry. Druhá nezuhoľnatá, na farebnej fotografii v odtieňoch hnedej farby, na čiernobielej fotografii viditeľne neporušená anatomická štruktúra dreva.



Obrázok 1 Fotografia zuhoľnatia reznej špáry (zväčšenie 200 \times , rýchlosť rezania 12 $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$, 150 W, 250 kPa)



Obrázok 2 Histogram farebnej zložky H priestoru HSB fotografie zuhoľnatia reznej špáry (zväčšenie 200 ×, rýchlosť rezania 12 mm.s⁻¹, 150 W, 250 kPa)

Existenciu dvoch regiónov na ploche reznej špáry potvrdzuje aj histogram H zložky farebného priestoru HSB (obr. 2), ktorý je pre analýzu obrazu na základe farby intuitívnejší ako iné farebné priestory (GONZALES, WOODS, 2001). Z tvaru histogramu je zrejmé, že je bimodálneho typu. Maximá na ľavej strane charakterizujú nespálenú plochu reznej špáry. Maximá na pravej strane zase charakterizujú spálenú – zuhoľnatú plochu reznej špáry.

1.2 Určenie miery zuhoľnatia

Metóda určenia miery zuhoľnatia (obr. 3) spočívala vo fotografovaní plochy reznej špáry v smere kolmom na povrch reznej špáry a následným spracovaním fotografie v programe ImageJ.

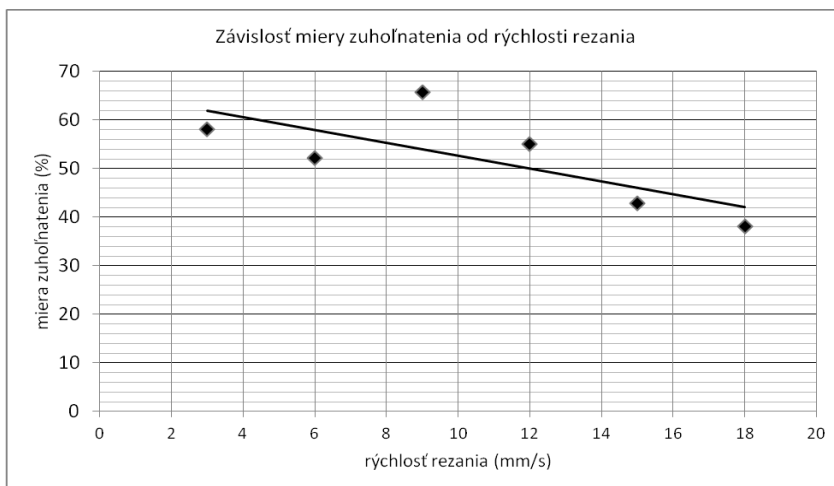


Obrázok 3 Určenie miery zuhoľnatia

Analýzou histogramu H zložky farebného priestoru HSB fotografie v kombinácii s vizuálnou metódou sa stanovila prahová hodnota na odfiltrovanie farebnej zložky z fotografie, v tomto prípade farebných odtieňov, ktoré charakterizujú spáleniny. Prahová hodnota sa stanovila v strede medzi vrcholmi bimodálneho histogramu (BERND, 2005). Objekt merania, t. j. plocha zuhoľnatia reznej špáry bola potom určená s využitím programu ImageJ odfiltrovaním nespálenej plochy na fotografii a následne výpočtom spálenej plochy. Stupeň zuhoľnatia sme napokon zapísali do tabuľky (Tab. 1) v percentuálnej miere.

Tabuľka 1 Zuhoľnatie (150 W, 250 kPa)

Rýchlosť rezania mm/s	3	6	9	12	15	18
Zuhoľnatie %	58,12	52,21	65,74	55,02	42,91	38,19



Obrázok 4 Grafická závislosť miery zuhoľnatia od rýchlosti rezania pri konštantnom výkone zväzku (150 W, 250 kPa)

ZÁVER

Experimentálne získané výsledky sú zhrnuté v tabuľke (Tab. 1) a pre lepšiu názornosť zobrazené aj v grafickej forme (Obr. 4) so zobrazením trendovej čiary, charakterizujúcej mieru zuhoľnatia v závislosti od rýchlosti rezania. Rovnica priamky vyjadrujúca závislosť miery zuhoľnatia od rýchlosti rezania je vyjadrená v tvare $y = 65,859 - 1,3169x$. Z experimentálne získaných údajov po analýze vyplýva, že s rastúcou rýchlosťou rezania zväzkom žiarenia CO₂ lasera pri konštantnom výkone a tlaku asistenčného plynu klesá stupeň zuhoľnatia drevného materiálu v reznej špáre. Zvyšovanie reznej rýchlosti je však možné len po určitú hranicu, pretože pri vysokých rýchlostiach môže dochádzať k vzniku nedorezov, kedy zväzok žiarenia neprereže celú hrúbku materiálu. Vznik nedorezov je však okrem rýchlosti rezania závislý aj od vlhkosti alebo štruktúry ročných kruhov (podiel jarného a letného dreva).

Výrobná prax kladie požiadavky na minimalizáciu zuhoľnatia drevných hmôt v reznej špáre, pretože čierne, spálené plochy sú nežiaduce pre ďalší proces kompletizácie drevárskych výrobkov. Spálené bočné hrany drevárskych dielcov pôsobia neesteticky a môžu spôsobovať problémy pri následných operáciách, ako je napr. olepovanie bočných plôch hranovacou páskou, pretože zuhoľnaté plochy sú pokryté vrstvou popola, ktorý znižuje príľnavosť lepidla. Pre optimalizáciu procesu rezania je preto potrebné hľadať súbor rezných parametrov, ktoré zabezpečia primeranú tvorbu reznej špáry s ohľadom na jej požadovanú kvalitu a zároveň sú primerane časovo a finančne náročné.

Zohľadnenie stupňa zuhoľnatia v optimalizácii parametrov rezania dreva zväzkom žiarenia zvýši efektívnosť celého procesu, zníži náklady a čas potrebný na ďalšie opracovanie a tým zvýši produktivitu celého procesu opracovania.

LITERATÚRA

- ELTAWAHNI, H. A. – OLABI, A. G. – BENYOUNIS, K. Y. 2010. *Investigating the CO₂ laser cutting parameters of MDF wood composite material*. In *Optics & Laser Technology*, ISSN 0030-3992, 2011, vol. 43, no. 3, p. 648–659.
- GONZALES, R. C.– WOODS, R. E. 2001, *Digital Image Processing, second edition*. New Jersey: Prentice Hall, 2001, 793 p., ISBN 0201180758.
- BERND, J. 2005, *Digital Image Processing, 6th revised and extended edition*. Berlin: Springer – Verlag, 2005, 607 p., ISBN 3-540-24035-7.
- KUBOVSKÝ, I. – BABIAK, M. – CIPKA, Š.: A determination of specific wood mass removal energy in machining by CO₂ laser. *Acta Facultatis Xylologiae*, ISSN 1336-3824, 54 (2): 2012, pp. 31–37.
- OSVALD, A. 2009, Drevo, požiarne spoľahlivý materiál. [online]. [cit. 2012.10.07.] Dostupné na internete: <<http://www.konstrukce.cz/clanek/drevo-poziarne-spolahlivy-material/>>.

Adresy autorov:

Ing. Juraj Suja, Podzámčok 31, 962 61, e.mail: jukas@stonline.sk
doc. RNDr. Milada Gajtanska, CSc., Ing. Rastislav Igaz, PhD., Katedra fyziky, elektrotechniky a aplikovanej mechaniky, T. G. Masaryka 24, TU Zvolen, 960 53 Zvolen
e-mail: milada.gajtanska@tuzvo.sk, igaz@tuzvo.sk

MATEMATICKÉ MODELOVANIE KONTAMINÁCIE PRACOVNÉHO OVZDUŠIA AEROSÓLMI PROCESNÝCH KVAPALÍN

MATHEMATICAL MODELING OF WORK AIR CONTAMINATION BY METAL WORKING FLUID MIST

Erika SUJOVÁ

ABSTRACT: Contamination of the working atmosphere by metal working fluid (MWFs) mist brings out main negative aspect of their utilization in metal working technological process. Aerosol is generated by liquid fluid particles finely dispersed in the environment. MWFs are converted to aerosols by splash motion or evaporation, and the mechanism of their formation can be described by equipments which respected the basic physical principles. In the article are characterized three basic mechanisms of the contaminating aerosol generation. Subsequently, there are introduced the mathematical models which are showing the quantification of the aerosol amount through these mechanisms.

Key words: metal working fluid, aerosol, human risks, inhalation exposure

ABSTRAKT: Znečistenie pracovného ovzdušia aerosólmi procesných kvapalín predstavuje hlavný negatívny aspekt ich použitia v technologickom procese obrábania kovov. Aerosól tvoria kvapalnú časticu procesnej kvapaliny jemne rozptýlenú v prostredí. Procesné kvapaliny sa na aerosóly premieňajú rozstrekom alebo vyparovaním, a mechanizmus ich vzniku je možné opísať vzťahmi rešpektujúcimi základné fyzikálne zákonitosti. V článku sú charakterizované tri základné mechanizmy vzniku aerosólov kontaminujúcich pracovné ovzdušie. Následne sú uvedené matematické modely vyjadrujúce kvantifikáciu množstva aerosólu vznikajúceho prostredníctvom uvedených mechanizmov.

Kľúčové slová: procesná kvapalina, aerosól, humánne riziká, inhalačná expozícia

ÚVOD

Procesné kvapaliny používané pri obrábaní kovov predstavujú vysoké riziko znečistenia pracovného prostredia a majú negatívny vplyv na človeka, ktorý s nimi prichádza do styku. Aerosóly procesných kvapalín predstavujú z hľadiska potenciálnych zdravotných rizík ohrozenia dvomi druhmi faktorov – chemickými a biologickými. Tlak legislatívy, ktorá je implementovaná na základe smerníc Európskej únie postupne zakazuje používanie

škodlivých procesných kvapalín. So sprísňujúcimi sa zákonmi o bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci musia používatelia pri výbere procesnej kvapaliny posúdiť nielen ich technologické a ekonomické parametre, ale tiež zhodnotiť kvapalinu z hľadiska potenciálnych humánných rizík, t.j. nepriaznivých vplyvov na obsluhu stroja (Burton et al., 2008; Fišerová, 2009).

Primárne mechanizmy, prostredníctvom ktorých sa procesná kvapalina premení na kvapalný aerosól v okolí sú odparovanie z dôvodu vysokej teploty rezania, rozstrekovanie spôsobené rotáciou nástroja alebo obrobku, tzv. rotačná atomizácia a rozstrek vyvolaný dopadom prúdu kvapaliny pod tlakom na nástroj, obrobok alebo stroj, tzv. atomizácia rozstrekom. Počas procesu obrábania, dopad reznej kvapaliny na obrobok vyvoláva vznik kvapalnej vrstvy. Počiatočné rozrušenie kvapalného filmu spôsobuje nevyvážený pomer síl. Povrchové napätie pôsobí proti rozširovaniu vrstvy a pokus o obnovu rovnováhy, kým aerodynamické alebo odstredivé sily zvyšujú odchýlku vrstvy a narušujú rovnováhu. Verifikované predikčné modely správania sa kvapalného aerosólu v pracovnom ovzduší sa môžu stať východiskom pre stanovenie možností na elimináciu inhalačnej, resp. dermálnej expozície obsluhy kovoobrábacieho stroja (Dado et al., 2009).

Na pracovisku autorky je v súčasnosti riešený vedecký grantový projekt VEGA „Predikčné modely kontaminácie pracovného ovzdušia kvapalnými aerosólmi pri obrábaní kovov“, ktorý sa zaoberá danou problematikou. Cieľom článku je prezentovanie matematického modelu, ktorý opisuje rôzne mechanizmy rozstrekú procesnej kvapaliny pri rôznych režimoch obrábania kovov.

1. MATEMATICKÉ MODELOVANIE ROZSTREKU PROCESNEJ KVAPALINY

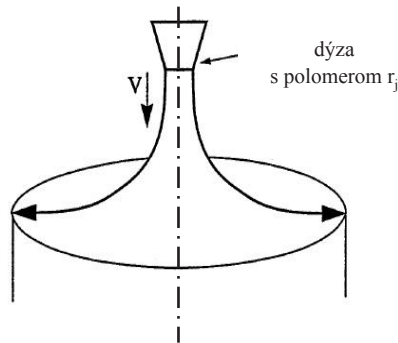
K dezintegrácii na kvapky dochádza vtedy, keď nestabilné amplitúdy vln dosiahnu kritické hodnoty. V literatúre (Yue et al., 2003) sú opísané dva modely formácie aerosólov s ich matematickými charakteristikami:

- rozstrek po dopade na statický obrobok,
- rozstrek na rotujúcom obrobku.

Uvedené charakteristiky sú v práci prezentované nasledovnými atomizačnými modelmi.

1.1 Atomizačný model rozstrekú procesnej kvapaliny po dopade na statický obrobok

Prvý typ procesu obrábania pozostáva zo stacionárneho obrobku a pohyblivého nástroja. V tejto situácii, ako je znázornené na obr. 1, je procesná kvapalina rozstrekovaná s polomerom rozstrekú r_j a rýchlosťou V , dopadá na plochu obrobku v pravom uhle a kvapalný film sa vyvíja a tečie po rovnom povrchu.



Obr. 1 Parametre rozstreku procesnej kvapaliny na stacionárny obrobok (Yue et al., 2003)

Atomizačný model vyvinutý pre tento proces využíva rovnice medznej vrstvy. Pre prípad laminárneho prúdenia je rýchlostný profil kvapalného filmu možné aproximovať pomocou polynómu tretieho rádu, ktorého výsledky následne vyjadrujú hrúbku filmu tekutiny ako funkciu radiálnej vzdialenosti od obrobku

$$\delta = r_j \left(\frac{1}{2} \left(\frac{r_j}{r} \right) + \frac{3}{8} \sqrt{\frac{280}{39}} (\text{Re}_j)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{r}{r_j} \right)^{\frac{1}{2}} \right), \quad (1)$$

kde:

$$\text{Re}_j = \frac{V_j r_j}{\nu}$$

Re_j – Reynoldsovo číslo pre laminárne prúdenie pri priemere trysky r_j a rýchlosti rozstreku V_j
 r – radiálna vzdialenosť,
 ν – kinematická viskozita (Yue et al., 2003).

Je zrejmé, že priemer kvapky je takmer proporcionálne úmerný hrúbke vrstvy t v mieste pôsobenia a môže byť vyjadrený ako $D\alpha\delta^x$ (Lefebvre, 1991), kde hodnota x je medzi 0,3 a 0,5. Pre kvapaliny s nízkou viskozitou, x je takmer rovná 0,5, zatiaľ čo pre kvapaliny s vysokou viskozitou, závislosť strednej veľkosti kvapiek na δ je o niečo vyššia. Pre prípad turbulentného prúdenia môžu počiatočné narušenia vrstvy, vznikajúce predovšetkým v dôsledku turbulentného kolísania tlaku, výrazne zosilňovať amplitúdu rozstreku pri dopade na statický obrobok. Narušenie v mieste dopadu ω je bezrozmerné (Lienhard, 1992):

$$\omega = We_d \exp \left(\frac{0,971 \cdot l}{d \sqrt{We_d}} \right), \quad (2)$$

kde We Weberovo číslo, l je vzdialenosť medzi tryskou a bodom dopadu a D je priemer prúdu kvapaliny.

Experimentálne práce Lienharda (1992) naznačujú, že k rozstrekovaniu dochádza, keď ω dosiahne hodnotu 2120 bez ohľadu na pomer l/d , a frakcia ξ z celkového množstva prichádzajúcej rozstrekovanej kvapaliny je daná vzťahom:

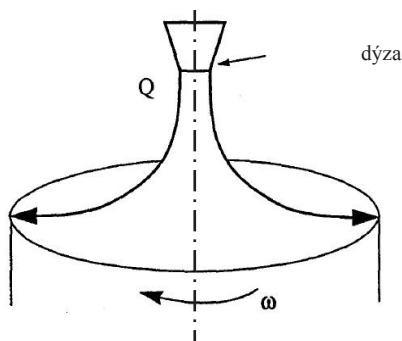
$$\xi = -0,0935 + 3,41 \cdot 10^{-5} \cdot \omega + 2,25 \cdot 10^{-9} \cdot \omega \quad \text{pre} \quad 2200 \leq \omega \leq 8500 \quad (3)$$

1.2 Atomizačný model rozstrelu procesnej kvapaliny po dopade na rotujúci obrobok

Rotačná atomizácia procesnej kvapaliny je spôsobená odstredivou silou a skladá sa z troch rôznych štádií:

- vznik povlakovej vrstvy – filmu,
- štádium tvorby ligamentov,
- štádium tvorby kvapiek.

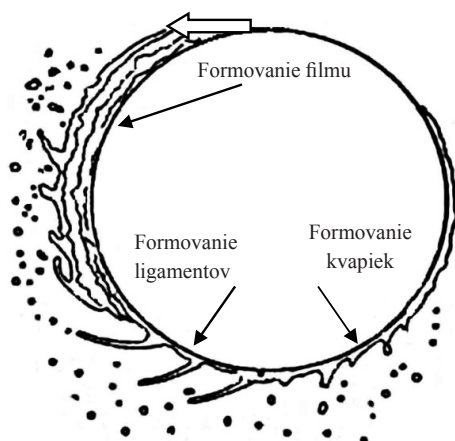
Keď procesná kvapalina zasahuje obrobok s polomerom R , rotujúci v horizontálnej rovine uhlovou rýchlosťou ω , ako je znázornené na obr. 2, sú pozorované tri rôzne modely jej rozkladu. Tieto tri modely, ktoré závisia od rýchlosti prúdenia tekutín, sú: režim tvorby súvislej vrstvy – filmu, režim formovania ligamentu a režim tvorby kvapiek. Jednotlivé režimy a ich matematické vyjadrenie sú opísané v nasledujúcom texte.



Obr. 2 Parametre rozstrelu procesnej kvapaliny na rotujúci obrobok (Yue et al., 2003)

1.2.1 Režim formovania filmu

Pri vysokých objemových prietokoch a vysokej rýchlosti otáčok obrobku, médium obklopujúce spôsobuje silné disturbancie a prvotne vytvorený kvapalný film sa priamo rozpadá do kvapiek. Dado, Hnilica, 2009, prezentujú tri odlišné režimy rozstrelu procesnej kvapaliny, ako je ilustrované na obrázku 3.



Obr. 3 Tri rozdielne režimy rozstrelu procesnej kvapaliny (Dado, Hnilica, 2009 – upravené)

1.2.2 Režim formovania ligamentov

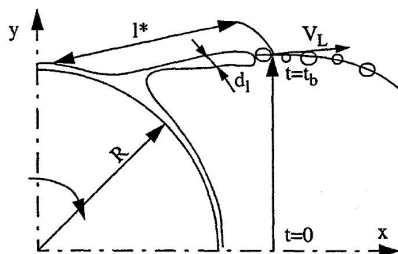
Ak sa zvýši prietok procesnej kvapaliny až na určitú limitnú hodnotu, kvapalinový film vykazuje poruchy formovania. Mnoho nestabilných kvapalinových ligamentov sa objaví na obode rotujúceho obrobku a tie sa ďalšou rotáciou rozdelia do malých kvapiek rôznych veľkostí, ako je znázornené na obrázku 4. Trajektórie ligamentov, ktoré vznikajú v medznej vrstve môžu byť opísané nasledujúcou sústavou rovníc (Bayvel, Orzechowski):

$$\begin{aligned} x &= R \cos(\omega t) + R\omega t \sin(\omega t) \\ y &= R \sin(\omega t) - R\omega t \cos(\omega t), \end{aligned} \quad (4)$$

pričom priemer ligamentu d_l môže byť vyjadrený z nasledovného empirického vzťahu:

$$d_l = c'R \left[\left(\frac{1}{N_l} \right)^{\frac{2}{7}} \left(\frac{\gamma}{\rho \cdot R^3 \cdot \omega^2} \right)^{\frac{2}{7}} \left(\frac{\omega \cdot Q^2}{R^3 \cdot \gamma} \right)^{\frac{1}{7}} \right], \quad (5)$$

kde N_l je počet ligamentov a c' je experimentálne stanovená konštanta.



Obr. 4 Model formovania ligamentov (Yue et al., 2003)

Podľa Weberovej teórie, je približný priemer kvapky D , ako ho vo svojej práci opisuje Kang (1995), daný vzťahom:

$$D = \left(\frac{3\pi}{\sqrt{2}} \right)^{\frac{1}{3}} d_1 \left[1 + \frac{3\mu}{(\rho \cdot \gamma \cdot d_1)^{\frac{1}{2}}} \right]^{\frac{1}{6}} \quad (6)$$

Priemer kvapky získaný substitúciou rovnice (5) do rovnice (6) porovnáva priaznivo s empirickou rovnicou pre priemer kvapky (cm) autor Yue et al (2003):

$$D = 5,75N^{-0,79} \cdot Q^{0,32} \cdot R^{-0,69} \cdot \rho^{-0,29} \cdot \gamma^{0,26} (1 + 0,23\mu)^{0,65} \quad (7)$$

kde N je počet otáčok a μ je dynamická viskozita.

1.2.3 Režim formovania kvapiek

Pri určitom objemovom prietoku reznej kvapaliny Q , pokryje povrch obrobku tenká vrstva kvapaliny. Kvapky sú oddelené z najvrchnejšej (medznej) vrstvy povrchu vtedy, keď odstredivá sila presiahne silu v dôsledku povrchového napätia γ . Rovnováha týchto síl, ako uvádza (Yue et al., 2003) je daná vzťahom:

$$\frac{\pi \cdot D^3}{6} \rho \cdot R \cdot \omega^2 = \pi \cdot D \cdot \gamma \quad (8)$$

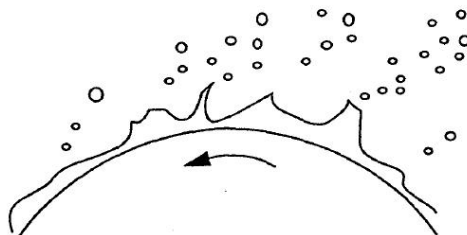
kde: ρ je hustota kvapaliny.

Zo vzťahu (8) je možné vyjadriť priemer kvapky, formujúcej sa za vyššie špecifikovaných podmienok:

$$D = \frac{c}{\omega} \left(\frac{\gamma}{\rho \cdot R} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

kde teoreticky $c = \sqrt{6}$, ako je odvodené z (8).

Vzhľadom k tomu, že v čase tvorby kvapiek môže odstredivá sila prekročiť hodnoty povrchového napätia silu, skutočnú hodnotu c nemožno neočakávať rovnú $\sqrt{6}$. Poruchy v procese vedú k rozloženiu priemerov kvapiek. V uvedenom modeli sú pozorovateľné veľké kvapky, spoločne s mnohými malými satelitnými kvapkami, ako je znázornené na obrázku 5.



Obr. 5 Režim formovania kvapiek (Yue et al., 2003)

2. DISKUSIA

Atomizácia procesnej kvapaliny rozstrekom vzniká pri dopade prúdu kvapaliny z dýzy na povrch nástroja či obrobku (obr. 3) a je ovplyvňovaná hlavne nasledujúcimi parametrami:

- vlastnosti kvapaliny – povrchové napätie, viskozita, hustota,
- rozmery a tvar dýzy,
- prietoková rýchlosť kvapaliny,
- vzdialenosť medzi dýzou a miestom dopadu kvapaliny.

Spolupôsobením uvedených faktorov sa do pracovného prostredia uvoľňuje procesná kvapalina vo forme kvapiek (ľahko sedimentovateľných aerosólov a výparov) zotrvávajúcich v ovzduší určitú dobu. Rozptyl procesnej kvapaliny do okolia spôsobuje nasledujúce efekty:

- usadzovanie masného filmu na zariadenia a podlahu,
- pôsobenie kvapiek a aerosólu na pokožku obsluhy,
- možnosť vdýchnutia respirabilnej frakcie aerosólu obsluhou.

Uvedené dôsledky rozptýlenej procesnej kvapaliny v pracovnom prostredí vytvárajú nebezpečenstvo, ktoré je z hľadiska bezpečnosti a ochrany zdravia zamestnancov potenciálnym zdrojom ohrozenia. Z tohto dôvodu je dôležité vedieť zhodnotiť potenciálne riziko ohrozenia obsluhy a celkovo kvantifikovať humánne riziká pri používaní procesných kvapalín (Fišerová, 2010). Zostavenie prezentovaného matematického modelu opisujúceho rôzne formy rozstrekovania procesnej kvapaliny do pracovného ovzdušia môže poslúžiť ako schéma pre vyslovenie predikcie o kontaminácii ovzdušia za konkrétnych technologických podmienok obrábania kovov ($D, d, l, r, r_j, V, \omega$) a pri konkrétnych vlastnostiach použitej reznej kvapaliny (μ, ν, ρ).

Cieľom riešenia vedeckého grantového projektu VEGA „Predikčné modely kontaminácie pracovného ovzdušia kvapalnými aerosólmi pri obrábaní kovov“ je vytvorenie matematického predikčného modelu, ktorý opisuje rôzne mechanizmy rozstrekovania procesnej kvapaliny pri rôznych režimoch obrábania kovov. Teoretické spracovanie modelu uvedené v predkladanom článku by malo poslúžiť ako algoritmus pre následné overenie a zostavenie vlastného modelu na základe zrealizovaných meraní na vytvorenom experimentálnom stande.

3. ZÁVER

Použitie procesných kvapalín pri obrábaní kovov predstavuje zvýšené zdravotné riziko obsluhy z hľadiska expozície chemickými a biologickými faktormi. Pre kvantifikáciu zdravotných rizík vyplývajúcich z pôsobenia aerosólov procesných kvapalín v pracovnom prostredí je žiaduce vytvoriť predikčné modely zohľadňujúce vplyv predpokladaných faktorov (vlastnosti a spôsob aplikácie procesnej kvapaliny, rezné parametre) na parametre kvapalného aerosólu (veľkostné zloženie, hmotnostná koncentrácia a i.), čo je predmetom súčasného výskumu na pracovisku autorky. V článku uvedené matematické modely definujú atomizačné modely rozstreku procesnej kvapaliny v rôznych obrábacích režimoch za konkrétnych technologických podmienok obrábania kovov ($D, d, l, r, r_j, V, \omega$) a pri konkrétnych vlastnostiach použitej procesnej kvapaliny (μ, ν, ρ). Verifikované predikčné modely správania sa kvapalného aerosólu v pracovnom ovzduší sa môžu stať východiskom pre stanovenie možností na elimináciu inhalačnej, resp. dermálnej expozície obsluhy ko-voobrábacieho stroja.

LITERATÚRA

- BAYVEL, L. – ORZECOWSKI, Z. 1990. Liquid Atomization. Combustion, An International Series, Taylor & Francis, pp. 150, 293.
- BURTON, N. C. et al. 2008. Preventing Health Hazards from Metal Working Fluids. In. *NIOSH science blog*. [online] 6/2008. Dostupné na internete: http://www.cdc.gov/niosh/blog/nsb100608_mwf.html
- DADO, M. – HNILICA, R. 2009. Control measures for minimizing exposure to metalworking fluid aerosols. *Josra* [online] = Journal of safety research and applications. – ISSN 1803-3687. – č. 3 (2009). Dostupné na internete: http://www.bozpinfo.cz/josra/josra-03-2009/dado_hnilica-aerosoly.html
- DADO, M. – HNILICA, R. – MEČIAROVÁ, J. – SCHWARTZ, M. 2009. Rezná kvapalina ako rizikový faktor pri obrábaní kovov, XXII. International Conference: New trends in safety and health: Štrbské Pleso – Vysoké Tatry, 18.–20. 11. 2009. Košice : Technická univerzita v Košiciach, 2009, pp. 164–171. ISBN 978-80-553-0220-1.
- FIŠEROVÁ, S. 2009. Biologické činitele. *Bezpečnosť a ochrana zdravia pri práci v praxi*, 2009, roč. Aktualizace IX, č. Aktualizace IX, únor 2009, s. 1–10. ISSN 1802-2235.
- FIŠEROVÁ, S. 2010. Aerosoly v pracovnom ovzduší v provozu aglomerace hutního podniku. *Integrovaná bezpečnosť 2010*. Bratislava : Slovak University of Technology in Bratislava, 2010, s. 28–36. ISBN 978-80-8096-133-6.
- LEFEBVRE, A. H. 1991. Twin-Fluid Atomization: Factors Influencing Mean Drop Size. ICLASS-91, 1991, paper D, pp. 49–63.
- LIENHARD V. J. H. – LIU, X. – GABOUR, L. A. 1992. Splattering and Heat transfer During Impingement of a Turbulent Liquid Jet. *Transactions of the ASME*, Vol. 114, May 1992, pp. 362–372.
- KANG, B.S. 1995. Holography Experiments in the Breakup Region of Liquid Sheet Formed by Two Impinging Jets. *Atomization and Spray*, 1995.

YUE, Y. – SUTHERLAND, J. W. – MICHALEK, D. J. 2003. Cutting Fluid Mist Formation in the Machining Process via Atomization. [online]. cited: 8.09.2011, available on: http://www.me.mtu.edu/~jwsuther/Publications/138_PC017.pdf, pp. 329–333.

Autorka vyjadruje poďakovanie Vedeckej grantovej agentúre MŠ SR za podporu výskumného projektu VEGA 1/0114/11 „Predikčné modely kontaminácie pracovného ovzdušia kvapalnými aerosólmi pri obrábaní kovov“, v rámci riešenia ktorého uvedený príspevok vznikol.

Kontaktná adresa:

Ing. Erika Sujová, PhD.

TU vo Zvolene, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Katedra výrobných technológií a materiálov, ul. Študentská č. 26, 960 53 Zvolen, sujovae@tuzvo.sk

REFERÁT

NÁVRH A REALIZÁCIA MERACIEHO REŤAZCA NA MERANIE ZRÝCHLENIA

DESIGN AND REALIZATION OF THE DEVICES FOR MEASURING OF ACCELERATION

Ján ANTL – Jozef RÉDL

ABSTRACT: In the process of the measurement of experimental data is very important to design the measurement chain. The measured experimental data must be sharp and timely continues. Designed measurement devices contain the microcontroller card TMS320F28335 with connected sensor of acceleration ADXL325. The basic parameters of these components are described below in the text. The experimental measurement was done on the base of measurement chain. In the experiment we measured the vibration of the cantilever beam where the sensor of acceleration was mounted on the end of beam. The obtained results were verified with designed mathematical model. In the next step we solved the self-frequencies of vibration of the beam. The material of the beam was aluminum. Described methodology and results are fully applicable in the discovering of the self-frequencies constructions and shells of agricultural aggregates.

Keywords: measuring chain, oscillation, sensor of acceleration, self frequency

ABSTRAKT: V procese získavania experimentálnych údajov je nutné zostaviť merací reťazec tak, aby merané údaje zodpovedali požiadavkám presnosti a časovej spojitosti signálu. Nami navrhnutý merací reťazec pozostával z meracej karty TMS320F28335 ku ktorému bol pripojený snímač zrýchlenia ADXL325. Základné parametre sú uvedené ďalej v texte príspevku. Podľa navrhovanej zostavy jednotlivých meracích členov sme zrealizovali meraciu sústavu s následným experimentálnym meraním. V experimente sme merali kmitanie votknutého nosníka s pripojeným snímačom zrýchlenia na jeho konci. Získané výsledky z experimentu sme verifikovali zostaveným matematickým modelom. Na záver sme stanovili vlastné frekvencie kmitania nosníka ktorý bol vyrobený z hliníka. Uvedená metodika ako aj výsledky sú plne využiteľné pri zisťovaní vlastných frekvencií nosných konštrukčných častí poľnohospodárskych agregátov.

Kľúčové Slová: merací reťazec, kmitanie, snímače zrýchlenia, vlastná frekvencia

1. ÚVOD

V príspevku sa zaoberáme návrhom a realizáciou meracieho reťazca na experimentálne získavanie priebehov zrýchlenia v reálnom čase. Následne je potrebné aplikovať reťazec na hardverovú a softvérovú časť merania. Po uskutočnení experimentálneho

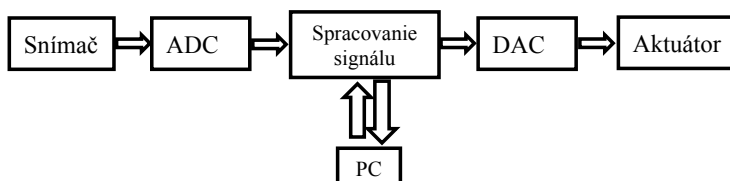
merania je potrebné overiť funkčnosť merania analytickým výpočtom. Meranie sa uskutoční na votknutom nosníku a bude sa merať zrýchlenie na voľnom konci pri vlastnom kmitaní. Na overenie funkčnosti sa využijú poznatky o kmitaní priamych nosníkov kontinua ktorým sa venoval Starek (2009). Nosník bude budený začiatočnou výchylkou voľného konca. Správnou validáciou meracieho celku bola overená funkčnosť merania aj pre aplikáciu v terénnych vozidlách lesníctva a poľnohospodárstva. Počítačovému spracovávaniu signálov sa venovali Oppenheim, Schafer (1975) a Boashash Boualem (2003). Vyhodnotenie nameraných experimentálnych výsledkov bolo uskutočnené pomocou algoritmu rýchlej Fourierovej transformácie. Tejto metóde a jej aplikáciám sa venoval Brigham (1988).

2. MATERIÁL A METÓDY

Pri realizácii merania je potrebné vopred navrhnuť spôsob získavania a záznamu fyzikálnych veličín, ktoré sú predmetom skúmania. Niektoré fyzikálne veličiny sa dajú získavať priamo, iné nepriamo. V príspevku budeme navrhovať reťazec pre získavanie a záznam technických budiacich funkcií. Reťazec bude potrebné navrhnuť z ohľadom na cieľové využitie nameraných dát.

2.1 Merací reťazec

Pri návrhu meracieho reťazca, bude využitý všeobecný reťazec (obrázok 1), ktorý prevádza fyzikálne veličiny z experimentu do záznamovej jednotky a následne ich používa na spätné zásahy respektíve na riadenie systému. Takto zostrojený reťazec sa využíva hlavne v teórii riadenia a v mechatronických aplikáciách.



Obrázok 1 Mechatronický reťazec

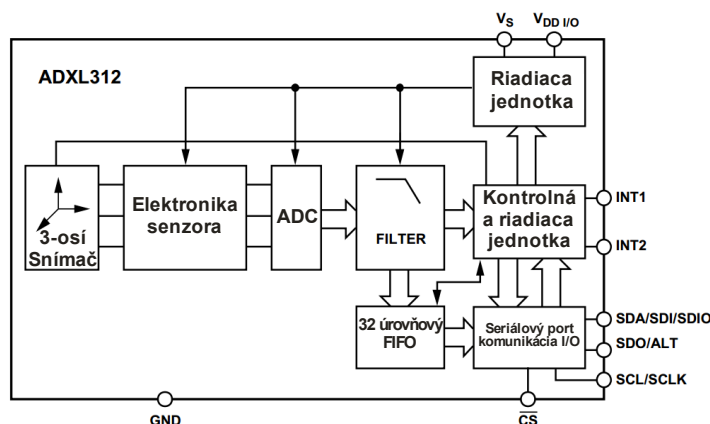
V obrázku 1 je význam skratiek nasledovný:

- ADC – analógovo-číslcový prevod,
- DAC – číslcovo analógový prevod.

Pre meranie, v konečnom dôsledku bude nutné aplikovať časti snímač, ADC, spracovanie signálu a PC. Zostávajúca časť sa vypustí vzhľadom na špecifikáciu experimentálnej časti.

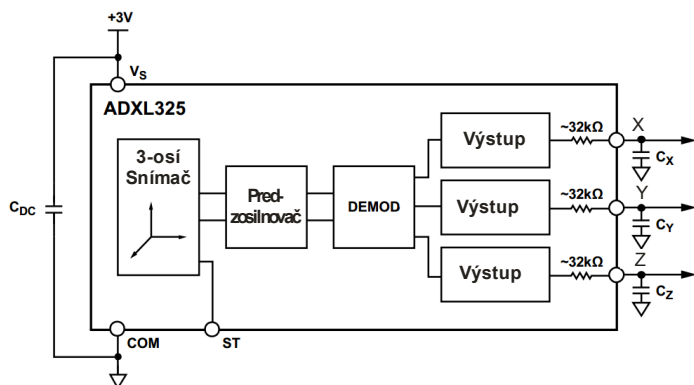
Ako už bolo spomenuté z experimentu sa bude získavať zrýchlenie budeme ho označovať $\bar{a} \left[\frac{m}{s^2} \right]$, taktiež aj pre jednoduchšie chápanie budeme zrýchlenie označovať g , ako násobok gravitačného zrýchlenia. V experimente bude mať jedno hodnotu $g = 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right]$.

Ďalšou časťou reťazca bude voľba vhodného snímača. Pri meraní v gravitačnom poli zeme je nutné, aby bol snímač dostatočne citlivý na nízke hodnoty zrýchlenia. Jedným z výberových parametrov snímačov je fyzikálny princíp merania zrýchlenia. Medzi najznámejšie patria kapacitné a piezoelektrické snímače. Posledným smerodajným parametrom je voľba typu výstupného signálu. Signály z hľadiska kontinuity delíme na analógové a digitálne podľa Davídek (2004). Analógový signál je spojitý, čiže nadobúda hodnotu v každom časovom okamihu. Digitálny alebo číslicový signál je taký, ktorý v určitých časových krokoch (vzorkovacej frekvencii) nadobúda číselnú hodnotu. Digitálne snímače v sebe už obsahujú analógovo-číslcový prevodník, základný digitálny filter a kódovaciu jednotku, ktorá konvertuje signál do požadovaného formátu pre odoslanie. Príkladom je kapacitný snímač zrýchlenia ADXL312.



Obrázok 2 Bloková schéma digitálneho snímača zrýchlenia (Analog Devices Inc, 2012)

Pri použití digitálneho snímača odpadá, respektíve splyva zo snímačom časť meracieho reťazca ADC a digitálny filter (signal processing). Pre jasné porovnanie je uvedená schéma analógového snímača na obrázku nižšie.



Obrázok 3 Bloková schéma analógového snímača zrýchlenia (Analog Devices Inc, 2012)

Zo schémy analógového snímača vyplýva, že na výstupe je analógový signál z čoho je zrejme použitie celého meracieho reťazca. Pri experimente bol použitý snímač MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) snímač ADXL325. Merací rozsah je $\pm 5g$, pri ktorom je snímač použiteľný aj na meranie v statickom gravitačnom poli. Snímač je vhodný na meranie v rozsahu 0,5 Hz – 1600 Hz pre osi X a Y, pre os Z je rozsah 0,5 Hz – 550 Hz. Pre výber šírky pásma sú na snímači použité zvlášť ku každej osi kondenzátory Cx, Cy a Cz.

Medzi základné vlastnosti snímača ADXL325 podľa (Analog Devices 2012) patria hlavne:

- 3-osový kapacitný snímač zrýchlenia,
- malé rozmery $4 \times 4 \times 1,45$ [mm],
- malá spotreba,
- operatívne napätie 1,8 V ~ 3,8V,
- zvýšená teplotná odolnosť,
- zvlášť nastaviteľné priepustné pásmo na jednotlivé osi.

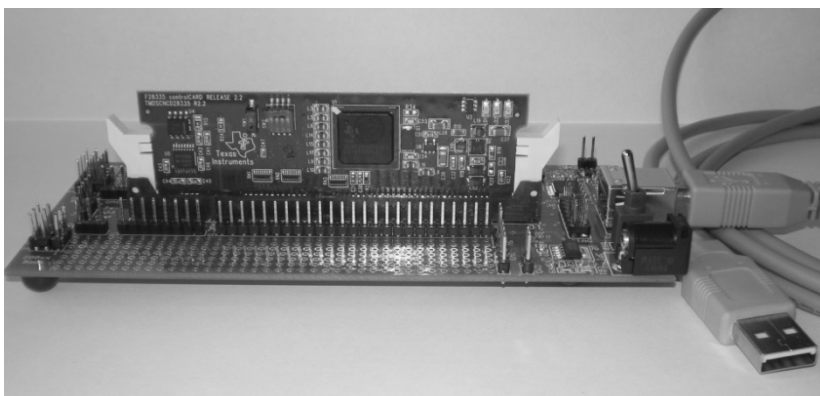
Popis ďalších častí reťazca bude zhrnutý do vyhodnocovacieho zariadenia. Takéto zariadenia sú vo všeobecnosti vyrábané firmami, ktoré sa zaoberajú meracou technikou ako sú napríklad Bruel&Kjaer, Extech, DeltaTron. Pre experimentálne meranie a spracovanie signálov bol zvolený signálový procesor z integrovaným 16 kanálovým, 12 bitovým analógovo číslicovým prevodníkom. Procesor TMS320F28335 od spoločnosti Texas Instruments Inc., ktorý má takt 150 MHz a jeden cyklus inštrukcií zvládne za 6,67 ns (Texas Instruments 2012).

Ďalšie vlastnosti sú nasledovné:

- 256k flash pamäť na čipe,
- 32-bit čip s plávajúcou desatinnou čiarkou,
- 30 MHz, vstupné časovanie,
- 6× ePWM výstup,
- On-time programovanie,
- integrovaná funkcia Watchdog časovač,
- viac kanálový seriálový port SPI,
- komunikačný port SCI,
- 88 Digitálnych programovateľných portov GIPO.

Ako každý procesor aj DSC procesor potrebuje byť osadený v adekvátnej doske. Keďže tento procesor je populárny, existuje k nemu niekoľko verzií dosiek. Pre náš experiment bol vybraný experimentálny kit TMDS DOCK 28335 od rovnomennej spoločnosti Texas Instruments. Táto doska má nasledovné parametre (Texas Instruments 2012):

- USB JTAG emulátor,
- napájanie aj cez USB,
- UART komunikáciu cez USB,
- podporuje všetky druhy bootovania ako osadený procesor.



Obrázok 4 Meracia karta

Medzi hlavné výhody takto navrhnutých mechatronických zariadení patrí možnosť využiť výpočtový výkon osadeného signálového procesora na výpočty v reálnom čase, čo sa v osobných počítačoch pri operačných systémoch Windows realizuje veľmi ťažko. Do procesora bol preto naprogramovaný digitálny filter ktorý v reálnom čase spracováva nepretržite prúdiace dáta. Filter bol navrhnutý podľa Davídek a kol.(2004).

Poslednou časťou skráteného reťazca je počítačové rozhranie ktoré musí spĺňať vizualizačné požiadavky. Je niekoľko všeobecných prístupov k programovaniu signálového procesora. V podstate sa jedná o programovanie v jazyku C/C++ a Assembler. Dodávaný softvér k zariadeniu CodeComposerStudio je však navrhnutý tak, že dokáže kompilovať kódy pre procesor, ktoré boli navrhnuté v prostredí Matlab Simulink. Tu sa dostávame k rozhraniu, ktoré je známe vo vedeckých kruhoch a je pomerne často využívané na modelovanie a numerické simulácie problémov z praxe. Pri návrhu programu bolo postupované podľa Ingle (1997).

2.2 Experiment

Pri zostavovaní meracieho reťazca je nutné sa oboznámiť z experimentom pre ktorý je reťazec určený. V experimente sa meria kmitanie kontinua votknutého priameho nosníka daných rozmerov. Nosník má profil obdĺžnikový dutý a je vyrobený z hliníku. Dĺžka je jeden meter. Nosník bol vybraný tak, aby bolo jednoznačne vizuálne rozpoznateľné kmitanie vybudené začiatočnou výchylkou. Pre približné riešenie boli analyticky vyjadrené vlastné frekvencie kmitania. Je nutné zohľadniť aj druh kmitania či sa jedná o pozdĺžne, torzné alebo priečne kmitanie. Druh kmitania sa dá pomerne jednoznačne odhadnúť z druhu budenia. Predpokladajme že nosník bude kmitať priečnym (ohybovým) voľným kmitaním. Ak vychádzame z teórie kmitania kontinua priamych tyčí dostávame sa k diferenciálnej rovnici štvrtého rádu.

$$\ddot{y}(x,t) + C_0^2 i^2 y''(x,t) = 0 \quad (1)$$

Kde C_0 je rýchlosť šírenia sa priečnej vlny v materiály a i^2 je polomer zotrvačnosti. Označenie $\ddot{y}(x, t)$ charakterizuje časovú deriváciu druhého stupňa a $y^{IV}(x, t)$ charakterizuje polohovú deriváciu štvrtého stupňa. Pri riešení problému vlastných čísel využijeme Fourierov rozklad, ktorý funkciu dvoch premenných $y(x, t)$ rozloží na dve funkcie o jednej premennej $a(x)$ a $T(t)$. Aplikovanie rozkladu na rovnicu (1) dáva vzťah (2).

$$\frac{T(\ddot{t})}{T(t)} = C_0^2 i^2 \frac{a(x)^{IV}}{a(x)} \quad (2)$$

Pravá aj ľavá strana rovnice sa rovná konštante λ z čoho následne vychádza rovnica (3).

$$a(x)^{IV} + \beta a(x) = 0 \quad (3)$$

$$\beta = \frac{\lambda}{C_0^2 i^2} \quad (4)$$

Po vyriešení a dosadení okrajových podmienok ktoré sa vzťahujú na votknutý nosník a majú nasledovný tvar.

$$\begin{aligned} y(0, t) = 0 ; \quad (0, t) = 0 \\ y(l, t) = 0 ; \quad M_0(l, t) = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Zo všeobecne zapísaných okrajových podmienok sa dostávame ku konkrétnym podmienkam pomocou Fourierovho rozkladu.

$$a(0, l) = 0 ; \quad a''(0, l) = 0 \quad (6)$$

Po variácii konštánt dostávame vzťah pre jediné možné reálne riešenie funkcie sínus, ktorá má korene rovné nule podľa vzťahu (7).

$$n\pi = \beta l \quad (7)$$

Dosadením vzťahu (4) za konštantu, dostávame vzťah pre vlastné uhlové frekvencie.

$$\Omega_n = \left(\frac{n}{\pi l} \right)^2 C_0 i \quad (8)$$

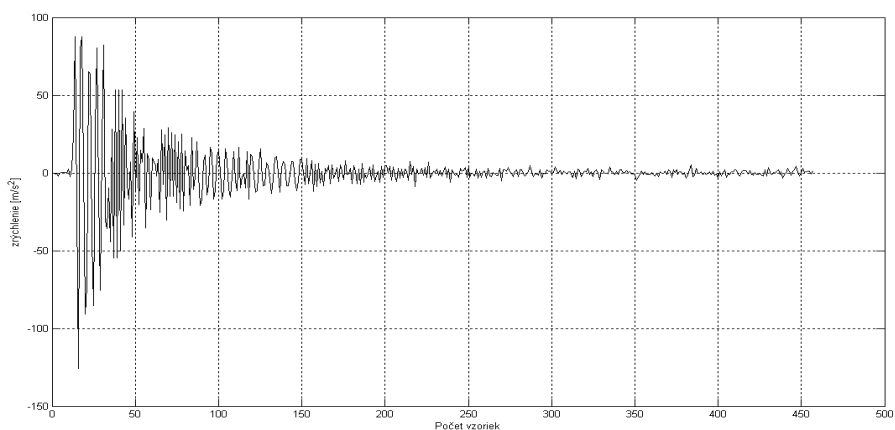
Kde n charakterizuje n -tú vlastnú uhlovú frekvenciu.

Po dosadení do rovnice (8) a vyjadrení, vychádza vlastná frekvencia nosníka 17,9 Hz. Táto vlastná frekvencia je prvá v smere v akom bol zapísaný polomer zotrvačnosti a jej výchylky v mieste extrém, na voľnom konci nosníka, sú maximálne.

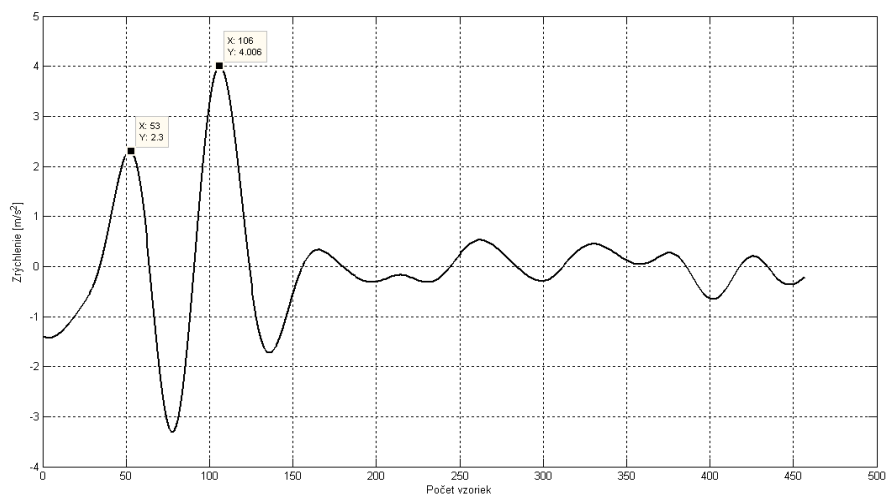
6. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Aplikovaním vzťahu (8) dostávame vlastnú frekvenciu kmitania kontinua priamej tyče, ktorá bola 17,9 Hz. Túto vypočítanú vlastnú frekvenciu porovnáme s experimentom. Meranie pozostávalo z upevnenia nosníka do predvolenej polohy. Po príprave meracej

aparátúry sa na koniec nosníka umiestnil snímač zrýchlenia. Vybudenie vlastnej frekvencie bolo zabezpečené počiatocnou výchylkou. Vzhľadom na podstatu meraného fyzikálneho javu veľkosť výchylky bola nepodstatná. Po uskutočnení merania dostávame signál funkcie zrýchlenia najprv v neupravenom stave obrázok (5) a nakoniec po prebehnutí vopred naprogramovaného algoritmu spracovávania signálu v reálnom čase. Spracovávanie signálu obsahovalo prepočet z voltov na jednotku zrýchlenia ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), filtrovanie signálu pomocou filtra ôsmeho rádu Butterworthovej aproximácie z prednastavenými parametrami $F_c = 22$ Hz a $F_s = 1000$ Hz. Kde F_c označuje medznú frekvenciu pri poklese o 3 dB a F_s označuje vzorkovaciu frekvenciu signálu. Táto aproximácia je vhodná pre experimentálne meranie v reálnom čase, vzhľadom na nízky rád filtra potrebného na uspokojivé odfiltrovanie nepodstatnej zložky signálu.



Obrázok 5 Namerané údaje zrýchlenia



Obrázok 6 Odfiltrovaný signál zrýchlenia

Odfiltrovaný signál bol prevzatý do počítača pomocou sériovej linky. Vzhľadom na to, že filtre spôsobujú oneskorenie, bol signál posunutý spätne v čase. Nakoniec boli signály posunuté tak, aby mali strednú hodnotu nulovú. Toto opatrenie zabezpečilo kompenzáciu gravitačného zrýchlenia a predpripravilo signál na Fourierovú transformáciu.

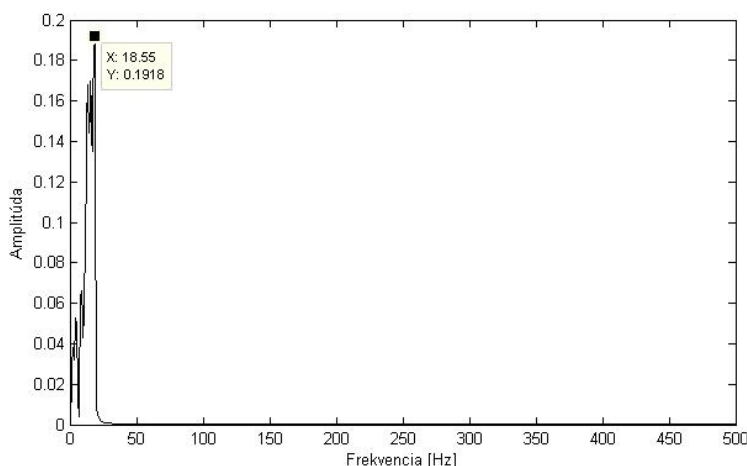
Periódou jedného kmitu sme vypočítali vzájomným odčítaním dvoch najväčších amplitúd (A_1 , A_2), ktoré sme získali z grafického priebehu na obrázku (6). Nameraná vlastná frekvencia kmitania votknutého nosníka je 18,87 Hz.

$$A_1 = 106, \quad A_2 = 53 \quad (9)$$

$$\Delta = A_1 - A_2 = 53 \quad (10)$$

$$T = \frac{\Delta}{1000} = 0,053 \text{ s} \quad (11)$$

$$\omega = T^{-1} = 18,87 \text{ Hz} \quad (12)$$



Obrázok 7 Frekvenčná charakteristika nameraného signálu

Ďalšou z možností získavania hodnoty vlastnej frekvencie je previesť priebeh zrýchlenia z časovej oblasti do oblasti frekvenčnej, pomocou Fourierovej transformácie. Pre získanie frekvenčného spektra signálu, bola aplikovaná teória rýchlej Fourierovej transformácie označovanej skratkou FFT. Z obrázku (7) je zrejmé, že určenie vlastnej frekvencie je mierne odlišné ako odčítanie vlastnej frekvencie z časového priebehu. Rozdiel je 0,32 Hz a aplikovaním tejto metódy sa zmenší odchýlka od analytického výpočtu z 5,14 % na 3,5 %. Vlastná frekvencia kmitania získaná Fourierovou transformáciou je 18,55 Hz.

3. ZÁVER

Navrhnutý merací reťazec spĺňa požiadavky pre využitie merania zrýchlení, ktoré je možné aplikovať aj v ťažších poľnohospodárskych a lesníckych terénoch, z dôvodu nízkej energetickej náročnosti a odolnosti meracej techniky voči rázom, ku ktorým dochádza v prevádzke. Rozdiel medzi analytickým riešením a experimentálnym je 3,5 %. Namerané dáta reprezentujú skutočnosť vzhľadom na analytické riešenie čo dáva dostatočné predpoklady k využitiu reťazca pre náročnejšie viac kanálové úlohy merania a následne na analýzy a optimalizácie kmitania strojov pracujúcich v terénnych podmienkach.

4. LITERATÚRA

- ANALOG DEVICES Inc. *ADXL325*. [Online] január 2012. Dostupné na: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADXL325.pdf.
- BOASHASH, B. 2003. *Time frequency signal analysis and processing a comprehensive reference* (1 ed.). Amsterdam: Elsevier. 2003. ISBN 0-08-044335-4.
- BRIGHAM, E. O. 1988. *The fast Fourier transform and its applications*. New Jersey. Prentice – Hall, Inc. 1988. ISBN 0-13-307505-2.
- DAVÍDEK, V. – LAIPERT, M. – VLČEK, M. 2004. *Analógové a číslicové filtry*. Praha, Vydavatelství ČVUT. 2004. ISBN 80-01-03026-1.
- INGLE, K. J. – PROAKIS, J. G. 1997. *DigitalProcessingUsingMatlab V.4*. Northeastern: PWS PublishingCompany, 1997. ISBN 0-534-93805-1.
- MOLER, C. B. 2004. *Numerical Computing with Matlab*. SIAM 2004. ISBN 0-89871-560-1.
- OPPENHEIM, A. V. – SCHAFFER, R. W. 1975. *DigitalSignalProcessing*. PrenticeHall 1975, ISBN 0-13-214635-5.
- STAREK, L. 2009. *Kmitanie s riadením*. Vydavateľstvo STU v Bratislave 2009. ISBN:978-80-227-3227-7.
- TEXAS INSTRUMENTS Inc.. *TMS320C28335 Digital Signal Controllers (DSCs)*. [Online] 2012, Dostupné na: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tms320f28335.pdf>.
- WEBSTER, J. G. 1999. *Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook*. CRC Press. 1999. ISBN 0-8493-2145-X.

Kontaktná adresa:

Ing. Ján Antl

Katedra konštruovania strojov, Technická fakulta, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, E-mail: xantl@is.uniag.sk, Tel.: +42137 641 5674

doc. Ing. Jozef Rédl, PhD.

Katedra konštruovania strojov, Technická fakulta, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, E-mail: redl@is.uniag.sk, Tel.: +42137 641 5669