

**A
F
T**

**ACTA
FACULTATIS
TECHNICAЕ**



TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE

1

ROČNÍK: XIII

ZVOLEN 2009

OBSAH

VEDECKÉ ČLÁNKY

VPLYV KONŠTRUKCIE REZNEJ PLATNIČKY NA REZNÚ SILU INFLUENCE OF EXCHANGE PLATE DESIGN DUE CUTTING FORCE Ľubomír Javorek – Dušan Paulíny– Jozef Hric	7
AUTOMATIZOVANÝ MERACÍ SYSTÉM MERANIA TEPELNÉHO ODPORU CHLADIČOV COMPUTERIZED MEASURING SYSTEM FOR MEASURING OF THERMAL RESISTANCE OF HEATSINKS Vladimír Kocúr – Jozef Šuriansky – Jozef Puskajler	17
POUŽITIE SYNCHRÓNNEHO GENERÁTORA V MIKROZDROJOCH ELEKTRICKEJ ENERGIE USE OF SYNCHRONOUS GENERATOR IN MICROSOURCES OF ELECTRIC ENERGY Jozef Puskajler – Jozef Šuriansky	25
APLIKÁCIA INTELIGENTNÝCH SENZOROV V DREVOSPRACUJÚCICH TECHNOLÓGIACH APPLICATION SMART SENSORS IN WOOD-WORKING TECHNOLOGY Pavel Spodniak – Jozef Šuriansky	37
MERANIE ROZMERU FRAKČNÝCH ČASTÍČ SNÍMANÝCH POMOCOU LINEÁRNEJ CCD KAMERY MEASUREMENT OF THE DIMENSION OF SCANING FRACTION PARTICLES BY LINEAR CCD CAMERA Ľubomír Naščák – Pavel Keľov	47
FREKVENČNÝ PRENOS RAMENA NEKONVENČNÉHO NAVIJAKA A FREQUENCY RESPONSE OF THE BRACKET OF THE UNCONVENTIONAL WINCH Branislav DANKO – Juraj Tuhársky – Martin Remper	57
PRÍSPEVOK K ANALÝZE STAVU NAPÄTOSTI A DEFORMÁCIE NEKOVOVEJ KABÍNY MOBILNÉHO STAVEBNÉHO STROJA A CONTRIBUTION TO THE ANALYSIS OF STATE OF STRESSES AND DEFORMATIONS STATE OF NON-METAL CAB A MOBILE BUILDING MACHINE Ján Šeďo – Pavel Beňo	67
ŠTÚDIUM PRENOSU TEPLA V ÚZKYCH MEDZERÁCH PRI NÍZKYCH HODNOTÁCH REYNOLDSOVÝCH ČÍSEL THE STUDY OF HEAT TRANSFER IN NARROW GAPS AT LOW REYNOLD'S NUMBER VALUES Jozef Černecký – Ján Koniar	75

ZÁVISLOSŤ HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU OD POVRCHOVEJ PROFILÁCIE VERTIKÁLNE ORIENTOVANÉHO PROFILU THE HEAT FLOW DEPENDENCE ON SURFACE PROFILATION OF VERTICAL ORIENTED PROFILE Rastislav Igaz – Jozef Černecký	83
---	----

POUŽITIE MODIFIKOVANÉHO UMELEHO IMUNITNÉHO SYSTÉMU V NÁVRHU PARAMETROV REGULÁTORA AN APPLICATION MODIFIED ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEM IN DESIGN CONTROL DEVICE PARAMETERS Ľudovít Šipoš – Ľubomír Naščák	93
---	----

SILOVÁ ANALÝZA UPÍNACIEHO MECHANIZMU KMEŇOV DELIACEHO UZLA MANIPULAČNEJ LINKY THE FORCE ANALYSIS OF THE CHUCKING DEVICE LOGS OF CUTTING MECHANISM CROSS-CUTTING LINE Juraj Mikleš	101
---	-----

REFERÁTY

KALIBRÁCIA MERADIEL AKO NÁSTROJ ZABEZPEČOVANIA KVALITY CALIBRATION OF MEASURING TOOLS AS A MEANS OF QUALITY CONTROL Miroslava Ťavodová	113
--	-----

MIKROVLNNÝ SYSTÉM S VYŽAROVANÍM DO VOĽNÉHO PRIESTORU PRE PREDOHREV DREVOCEMENTOVÉHO KOBERCA MICROWAVE SYSTEM WITH MICROWAVE RADIATION TO FREE SPACE FOR PREHEATING OF WOODCEMENT MATT Ivan Makovíny – Pavel Danko	125
---	-----

RIADIACI SYSTÉM PRE KONTINUÁLNE LISOVANIE DREVOCEMENTOVÝCH KOMPOZITOV CONTROL SYSTEM FOR CONTINUOUS PRESSING OF WOODCEMENT COMPOSITES Pavel Danko	133
---	-----

NÁVRH APARATÚRY NA MERANIE SMEROVEJ EMISIVITY MATERIÁLOV DESIGN OF EQUIPMENT TO MEASURING OF DIRECTIONAL EMISSIVITY OF MATERIALS Ivan Christov – Milada Gajtanska – Rastislav Igaz	139
---	-----

VEDECKÉ ČLÁNKY

VPLYV KONŠTRUKCIE REZNEJ PLATNIČKY NA REZNÚ SILU

INFLUENCE OF EXCHANGE PLATE DESIGN DUE CUTTING FORCE

Ľubomír JAVOREK – Dušan PAULÍNY – Jozef HRIC

ABSTRACT: Machining of wood-based materials such as chip boards, MDF or some other types used in furniture industry in nova days more and more. New materials of cutting edge are searched. Also the new designs of cutting edges are developed. The main goal is reducing of the costs for manufacturing. This article presents changing of cutting force upon the design of cutting edge of the insert on router bit.

Key words: wood-based composites, routing, forces, design of cutting edge on inserts

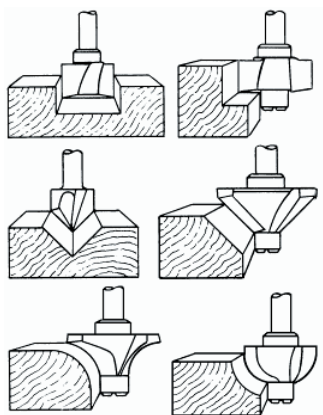
ABSTRAKT: Obrábanie aglomerovaných materiálov na báze dreva - drevotrieskové dosky, drevo-vláknité dosky, alebo iné materiály na tejto báze sú používané v nábytkárskom priemysle čoraz viac. Hľadajú sa nové materiály reznej hrany rovnako ako aj jej nové tvarové konštrukcie. Cieľom je predovšetkým zníženie nákladov na obrábanie. V tomto príspevku je uvedený vplyv konštrukcie vymeniteľnej reznej doštičky stopkovej frézy na celkovú silu a jej zložky pri obrábaní.

Kľúčové slová: aglomerované materiály, frézovanie, sily, konštrukcia vymeniteľnej reznej platničky

ÚVOD

Frézovanie je jedným z najviac používaných spôsobov odoberania materiálu, pričom používanie stopkových nástrojov sa neustále rozširuje, predovšetkým pri výrobe nábytku, resp. jeho častí, prípadne technologických prvkov ako drážok, profilov či protiprofilov, alebo pri výrobe ozdobných prvkov akými sú rôzne reliéfy a pod. Tieto nástroje sa používajú predovšetkým na zvislých frézovačkách a na frézovacích automatoch, CNC strojoch, kde môže byť použitý automatický systém monitorovania pracovného cyklu, pretože sa vyznačujú dobrým pomerom cena/výkon. Pre svoje malé rozmery a nízku hmotnosť sú výhodné na používanie v moderných CNC strojoch, kde je možné dosiahnuť často krát oveľa vyššiu produktivitu a kvalitu opracovania ako pri kotúčovom nástroji obdobného tvaru použitom napríklad na spodnej vertikálnej frézovačke. Pri obrábaní sa zvyčajne volia také technologické podmienky, aby rezná sila alebo deformácia nástroja neprekročila

povolenú hodnotu. Pravdaže, aj hrúbka odoberaného materiálu je významný faktor na reznú silu. V tomto kontexte sa javí ako významné tak stanovenie matematického modelu tvorby povrchu frézovaním ako aj modelovanie energetických parametrov (t.j. výkon, krútiaci moment alebo sila) a overovanie týchto modelov experimentálnymi metódami (Holopírek, J., Rousek, M.; Ispas, M. et al.; Javorek, L., Oswald, J., Hric, J.).



Obr. 1 Niektoré spôsoby obrábania dreva stopkovými nástrojmi

1. SILOVÉ A VÝKONOVÉ PARAMETRE

Modelovanie vzniku a veľkosti rezných síl pri frézovaní stopkovými nástrojmi je proces veľmi rozšírený a pomerne dlho trvajúci – práce Lee, T. S., Lin, Y. J.; Medič, M., Hlebanja, J. obsahujú niektoré výsledky avšak len pre silu považovanú za konštantnú v priebehu obrábania; tým sa však vedome vnáša chyba, pretože frézovanie je proces dynamický s premenlivou veľkosťou tejto sily. Napríklad Tlustý, J.; MacNeil, P. vytvorili model nazvaný model priemernej reznej sily, v ktorom je priemerná rezná sila v súlade s priemerným rezným výkonom. Tento model je, aj podľa samotných autorov, dosť nepresný, pretože nezahŕňa podrobnejšie vplyv geometrie rezného klina a vplyv technologických podmienok.

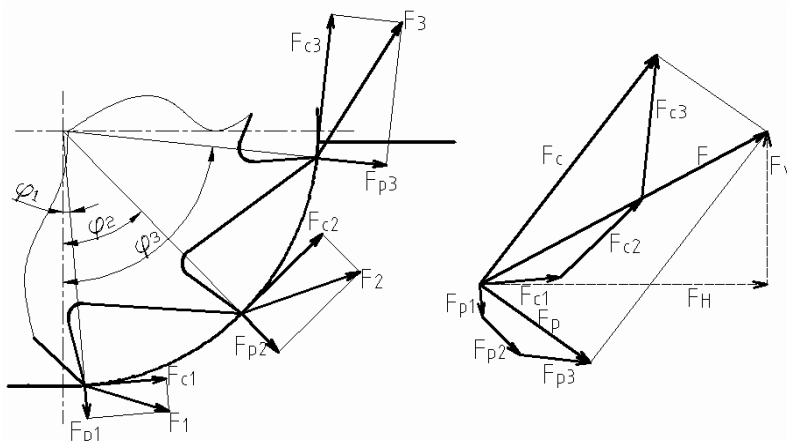
V prípade, ak ide o taký spôsob frézovania, pri ktorom sa vytvára poldrážka, celkovú silu, ktorá pôsobí na zub frézy možno rozložiť na reznú (tangenciálnu) zložku F_c a na pasívnu zložku F_p , alebo na horizontálnu zložku F_H a na vertikálnu zložku F_V , resp. na zložku v smere posuvu a na zložku kolmú na smer posuvu (pozri obr. 2).

V prípade, ak ide o frézovanie v drážke, celková sila, ktorá je vektorovým súčtom svojich zložiek, mení v priebehu jednej otáčky nástroja svoju veľkosť a orientáciu. Súbežne s tým sa mení hrúbka triesky od nulovej, cez maximálnu opäť po nulovú.

Tangenciálna (rezná) zložka celkovej sily F_c vykonáva prácu na odrežanie triesky. Závisí od nej potrebný rezný výkon P_c a počítajú sa uzly mechanizmu na uskutočnenie hlavného pohybu. Radiálna (pasívna) zložka F_p pôsobí na ložiská zvislého hriadeľa frézovačky, namáha ho ohybovým momentom a priečnou silou.

Horizontálna zložka F_H zaťažuje mechanizmus posuvu obrobku frézovačky. Podľa jej veľkosti sa dimenzujú uzly posuvného mechanizmu, prvky upínania obrobku a prípravkov.

Vertikálna zložka namáha mechanizmus upevnenia vodiaceho pravítka frézovačky.



Obr. 2 Zložky celkovej sily pri valcovom frézovaní

Výslednú zložku v smere posuvu F_H a v smere kolmom na smer posuvu F_V možno určiť zo vzťahov:

$$F_H = \sum_{i=1}^{z'} F_c \cdot \cos \varphi_i \mp \sum_{i=1}^{z'} F_p \cdot \sin \varphi_i \quad (1.1)$$

$$F_V = \sum_{i=1}^{z'} F_p \cdot \cos \varphi_i \pm \sum_{i=1}^{z'} F_c \cdot \sin \varphi_i \quad (1.2)$$

kde:

F_H ... horizontálna sila (N),

F_H ... vertikálna sila (N),

F_c ... rezná sila (N),

F_p ... pasívna sila (N),

φ_i ... uhol medzi zvislicou a nositeľkou pasívnej sily ($^\circ$).

V uvedených vzťahoch horné znamienka platia pre súbežné a dolné pre protibežné frézovanie.

Veľkosť okamžitej reznej (tangenciálnej) zložky pripadajúcej na jeden zub (náš prípad) je premenlivá a závisí od polohy zuba podľa vzťahu:

$$F_{c,\varphi} = k_c \cdot A_{D,\varphi} = k_c \cdot b_D \cdot f_z \cdot \sin \varphi \quad (1.3)$$

kde:

- $F_{c,\varphi}$... okamžitá rezná sila, v závislosti od uhla φ (N),
- $A_{D,\varphi}$... okamžitý priečný prierez triesky, v závislosti od uhla φ (mm²),
- k_c ... sila pripadajúca na jednotku plochy (N mm⁻²),
- b_D ... šírka triesky (mm),
- f_z ... posuv na zub (mm),
- φ ... uhol medzi zvislicou a nositeľkou pasívnej sily (°).

Maximálnu reznú silu F_c možno približne určiť podľa vzťahu:

$$F_{c,\max} = k_c \cdot A_{D,\max} = k_c \cdot b_D \cdot f_z \cdot z \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot a_p}{R_n}} \cdot \frac{\varphi_{\max}}{360^\circ} \quad (1.4)$$

kde:

- $F_{c,\max}$... maximálna rezná sila (N),
- $A_{D,\max}$... maximálny priečný prierez triesky, (mm²),
- k_c ... sila pripadajúca na jednotku plochy (N mm⁻²),
- b_D ... šírka triesky (mm),
- f_z ... posuv na zub (mm),
- z ... počet zubov (–),
- $\varphi_{\max}$... maximálny uhol medzi zvislicou a nositeľkou pasívnej sily (°),
- a_p ... hĺbka rezu,
- R_n ... polomer reznej kružnice (mm).

2. METODIKA A EXPERIMENTY

Cieľom experimentu bolo porovnať vplyv konštrukcie vymeniteľnej reznej platničky na veľkosti zložiek celkovej sily v smere posuvu, v smere kolmom na smer posuvu a v smere osi nástroja. Merania sa uskutočnili v laboratóriu Ústavu strojárnskej technológie Fakulty strojního inžinýrství Vysokého učení technického v Brne na nasledujúcom zariadení:

Stroj: frézovačka MCV 1210 (niektoré z technických parametrov sú uvedené nižšie)

- max. pracovný posuv: 20 m min⁻¹,
- maximálne otáčky: 18 000 min⁻¹,
- upínací kužel: HSK-A63 ISO 40 HSK-A63,
- polohovanie: elektrické,
- menovité otáčky: 4 390 min⁻¹,
- výkon: 30/32 kW,
- krútiaci moment: 79,6/89,6 Nm.

Nástroj: stopková fréza s dvoma vymeniteľnými reznými platničkami (t.j. s dvoma reznými hranami).

Podmienky experimentu

Konštantné hodnoty

- materiál obrobku: drevotriesková doska (bez podrobnejšieho určenia)
- vlhkosť obrobku: $w = \text{cca } 9\%$,
- technologické podmienky:
 - hĺbka rezu a_p : 15 mm
 - šírka rezu a_e : 16 mm
- frekvencia otáčania nástroja: $n = 18\,000 \text{ min}^{-1}$,
- rýchlosť posuvu: $v_f = 7\,200 \text{ mm min}^{-1}$, ($f_z = 0,2 \text{ mm}$)
- priemer nástroja: $D = 16 \text{ mm}$
- frekvencia zaznamenávania údajov (vzorkovanie): $0,000166389 \text{ s}$.

Variabilné hodnoty

- vymeniteľné rezné platničky s reznou hranou rôznej konštrukcie:
- priama, hladká (ozn. A),
- priama, prerušovaná, s rozstupom deličov $T = 2 \text{ mm}$ (ozn. B),
- priama, prerušovaná, s rozstupom deličov $T = 5 \text{ mm}$ (ozn. C).



Obr. 3 Použitý nástroj a vymeniteľné rezné platničky



A



B



C

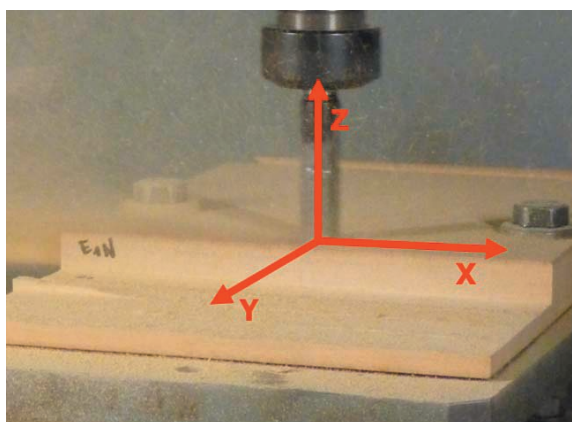
Merací reťazec zobrazený na obr. 4 pozostáva z frézovačky (MCV 1210), dynamometra (Kistler 9257B), viackanálového zosilňovača (Kistler 5070A11000), A/D prevodníka a PC. Namerané hodnoty priebehu veľkosti zložiek sily boli uložené v PC pomocou softvéru DynoWare, určeným na spracovanie údajov z dynamometrov firmy Kistler.



Obr. 4 Merací reťazec

3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Meranie veľkosti zložiek sily, ktoré sú potrebné aj na odobratie materiálu obrobku, je pomerne častá experimentálna činnosť. Ich veľkosť je ukazovateľom tak kvality nástroja a jeho schopnosti odoberať triesku ako aj vhodnosti technologických parametrov obrábania zvolených technológom. Hodnota celkovej sily, prípadne niektorej jej zložky v určitom definovanom rozmedzí sa často používa na monitorovanie nástroja, t.j. kolízií, opotrebovania, rezov naprázdno, v niektorých prípadoch aj na monitorovanie stavu obrobeného povrchu. Poznanie veľkosti zložiek sily je podkladom pre konštruktéra nástroja pri jeho dimenzovaní ako aj pri dimenzovaní jednotlivých častí stroja.

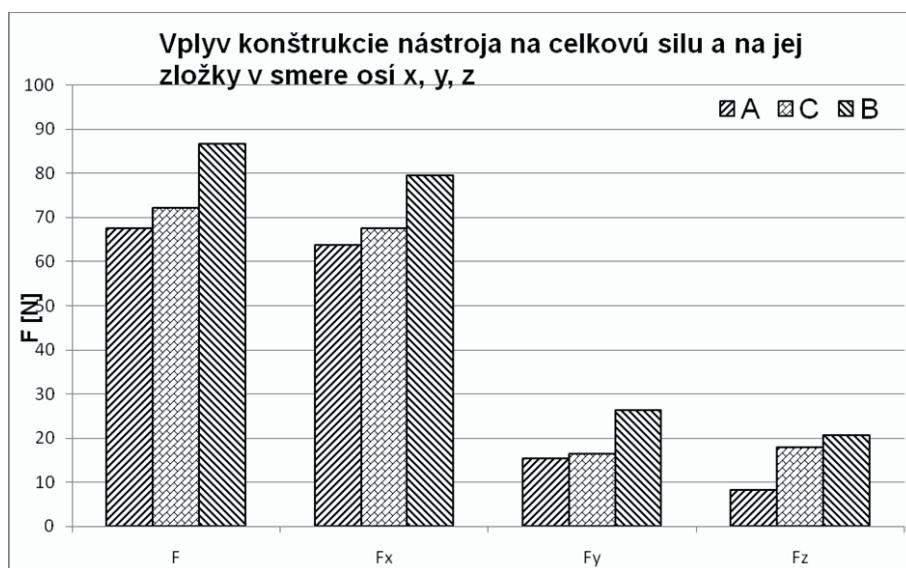


Obr. 5 Schéma obrábania a orientácia zložiek sily smere osi X,Y a Z

Po analýze a spracovaní získaných údajov možno urobiť nasledujúce závery: vplyv jednotlivých druhov konštrukčných úprav reznej hrany sa pri prvom pohľade z hľadiska

priemerných zložiek celkovej sily prejavil úplne opačným smerom ako sa pôvodne predpokladalo. Najmenšie zložky sily boli zaznamenané pri použití nástroja s priamou neprerušovanou reznou hranou. S narastajúcim počtom deličov triesok rástla tak hodnota celkovej sily ako aj jej zložiek. Delič triesky však priaznivo vplýval na veľkosť hodnoty sily v smere posuvu. Táto skutočnosť ma zásadný vplyv na vyštiepavanie materiálu pri vychádzaní nástroja z rezu a požiadavku zachovania čo najlepšieho stavu takto obrobeneho výrobku. Rovnako so stúpajúcim počtom deličov triesky narastala zložka sily v smere osi nástroja. Táto skutočnosť sa dala predpokladať vzhľadom na to že delič triesky má geometriu pod uhlom voči osi nástroja a teda samotnou svojou konštrukciou bude túto silu vyvolávať.

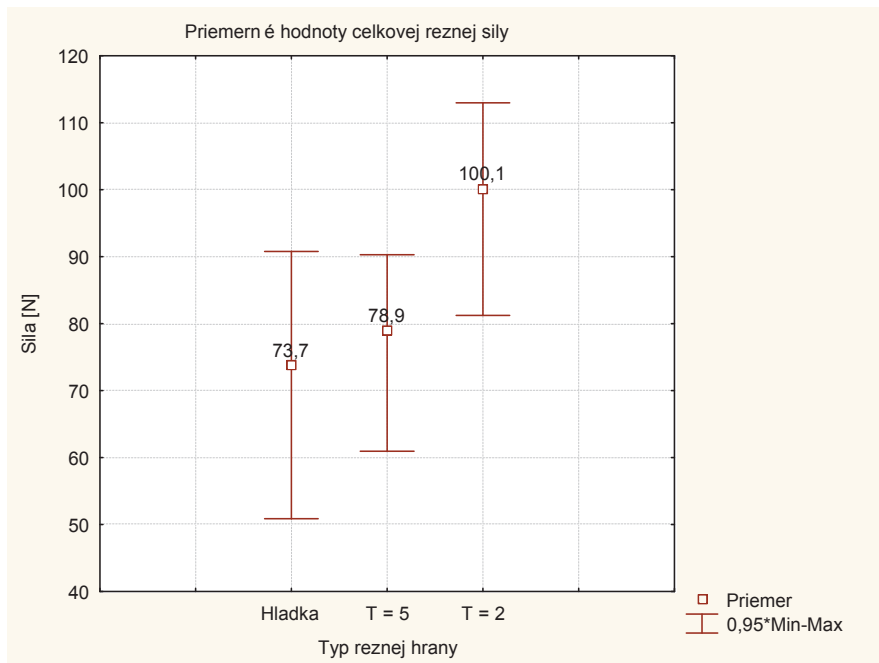
Priemerné hodnoty celkovej sily a jej zložiek sú uvedené v grafe na obr. 6.



Obr. 6 Hodnoty celkovej sily a jej zložiek v smere osí X, Y a Z

Graficky znázornené priemerné hodnoty celkovej sily a jej rozptyl je zobrazený v grafe na obr. 7. Z grafu je zrejmé, že štatisticky významnejšie sa líši iba rezná dosťička s rozstupom deličov $T = 2\text{ mm}$, ktorej priemerná hodnota celkovej sily je nad horným intervalom maximálnych celkových síl ostatných dvoch druhov. Za zmienku stoja šírky intervalov medzi minimálnou a maximálnou hodnotou jednotlivých celkových síl. Najmenší rozptyl celkovej sily ($\sim 31\text{ N}$) mala dosťička s rozstupom deličov $T = 5\text{ mm}$, následne ($\sim 33\text{ N}$) s rozstupom deličov $T = 2\text{ mm}$, a najhoršie z tohto pohľadu vychádzala rezná dosťička s priamou reznou hranou ($\sim 42\text{ N}$). Ak vezmeme v úvahu že drevotriesková je relatívne homogénnym materiálom, vychádza z týchto skutočností fakt, že deliče triesky priaznivým spôsobom ovplyvňujú plynulosť rezania a veľkosti zložiek síl počas neho vznikajúcich.

Tento fakt má pri obrábaní nástrojmi s ručným posuvom oveľa zásadnejší význam ako maximálna rezná sila, napríklad pre možnosť eliminácie spätného vymrštenia, komfort obsluhy a pod.



Obr. 7 Priemerné hodnoty celkovej sily a ich rozptyl

Záverom možno skonštatovať, na základe uskutočnených experimentov, priaznivý prínos deliča triesky na rezný proces a jeho rovnomernosť.

Výsledky zároveň podnecujú otázky ohľadom vhodnej konštrukcie takéhoto nástroja, t.j. napríklad počet deličov triesky a ich usporiadanie, ďalej ich tvar a geometria a pod.

LITERATÚRA

- HOLOPÍREK, J.; ROUSEK, M. (2004): Comparison of the theoretical calculation of resistance in cutting particleboards with an experiment. In.: Zborník prednášok „Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva 04“, Starý Smokovec, 99÷105
- ISPAS, M. et al (2006): Experimental researches on the workability of some woo-based compisites by routing with diamonted tools. ProLigno Vol. 2. No 4., 27÷34
- JAVOREK, Ľ.; OSWALD, J. (2001): Feed force during milling. In: Drevársky výskum, roč. 46: 29÷36
- JAVOREK, Ľ.; HRIC, J. (2005): Konštrukcia nástroja a výkon potrebný na rezanie. In. Acta Facultatis Technicae. Technická univerzita vo Zvolene. Roč. VIII., (1). 107÷116. ISBN 80-228-1517-9

- LEE, T. S.; LIN, Y. J. (2000): A 3D Predictive Cutting-Force Model for End Milling of Parts. Having Sculptured Surfaces. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 16: 773 ÷ 783. Springer-Verlag London Limited
- MEDIČ, M.; HLEBANJA, J. (1995): Kinematik des Hobelns mit einer schrägstehenden Hobelmesserwellr. Holz als Roh-und Werkstoff 53: 289 ÷ 301
- TLUSTY, J.; MACNEIL, P. (1975): Dynamics of cutting forces in end milling, CIRP Annals, 24, 21 ÷ 25

Tento príspevok vznikol počas riešenia vedeckého grantového projektu VEGA 1/0751/08 ako výsledok vedeckej aktivity autorov s výraznou finančnou podporou Vedeckej grantovej agentúry Slovenskej republiky.

Kontaktná adresa:

doc. Ing. Ľubomír Javorek, CSc.

Katedra drevárskych strojov a zariadení
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24, SK – 960 53 Zvolen
e-mail: lubomir.javorek@vsld.tuzvo.s

Ing. Dušan Paulíny

Katedra drevárskych strojov a zariadení
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24, SK – 960 53 Zvolen
e-mail: pauliny@vsld.tuzvo.sk

Ing. Jozef Hric

SK – 956 08 Horné Obdokovce
e-mail: jozohric@gmail.sk

AUTOMATIZOVANÝ MERACÍ SYSTÉM MERANIA TEPELNÉHO ODPORU CHLADIČOV

COMPUTERIZED MEASURING SYSTEM FOR MEASURING OF THERMAL RESISTANCE OF HEATSINKS

Vladimír KOCÚR – Jozef ŠURIANSKY – Jozef PUSKAJLER

ABSTRACT: This paper describes the computerized measuring system for finding a value of thermal resistance of heatsinks declared the condition of cooler device and that are necessary need of power elements, used in electronic. The experimental measure on particular heatsink is a component part too.

Keys words: cooler, cooling of semiconductor components, heat transfer, thermal resistance, R_{th} .

ABSTRAKT: V článku je popísaný automatizovaný merací systém pre zisťovanie hodnoty tepelného odporu chladičov udávajúcej kvalitu chladiacich zariadení, ktoré sú nevyhnutnou potrebou výkonových prvkov používaných v elektronike. Súčasťou je aj experimentálne meranie na konkrétnom chladiči.

Kľúčové slová: chladič, chladenie polovodičových súčiastok, prenos tepla, tepelný odpor, R_{th} .

1. ÚVOD

Pri prevádzke elektronických súčiastok, či modulov vzniká prebytočné teplo, ktoré je nutné odvádzať. Ak by tomu tak nebolo, mohlo by dôjsť k nárastu teploty až nad kritickú hodnotu a tým k zničeniu samotnej súčiastky. Okrem toho, životnosť ako aj poruchovosť celého zariadenia sú závislé od prevádzkovej teploty. Vzniknuté teplo môžeme odvádzať prostredníctvom chladičov. Ich schopnosť chladenia je tým väčšia, čím je väčší odvod tepla medzi samotným chladeným prvkom a okolitým prostredím. Pri určitej teplote tepelného zdroja dochádza k ustáleniu rovnováhy medzi dodávaným a odovzdávaným teplom. Chladiace zariadenie má teda za úlohu zabezpečiť dosiahnutie takého stupňa chladenia, aby vzniknutá teplota neprekročila maximálnu povolenú teplotu súčiastky ([http://sk.wikipedia.org/wiki/Chladi%C4%8D_\(elektronika\)\)](http://sk.wikipedia.org/wiki/Chladi%C4%8D_(elektronika)))).

Pre zabezpečenie spoľahlivej tepelnej vodivosti chladičov sa chladiče vyrábajú zo zliatin hliníka. Okrem toho je potom možné chladiče vyrábať v rôznych zložitejších tvaroch

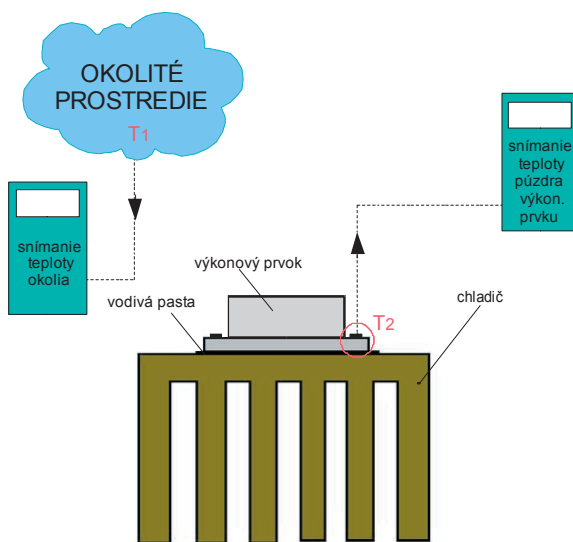
profilov pre zväčšenie ich plochy. Pre lepší odvod tepla môže byť povrch chladičov čiernený. Potom hovoríme o eloxácii chladičov. Zvyšuje to však jeho náklady (Sangwine, 1994).

Prenos tepla je charakterizovaný tepelným odporom, prípadne prevrátenou hodnotou tepelného odporu /tepelnou vodivosťou/ ([http://sk.wikipedia.org/wiki/Chladi%C4%8D_\(elektronika\)](http://sk.wikipedia.org/wiki/Chladi%C4%8D_(elektronika))). Preto pre účely chladenia je dôležité poznať hodnotu tohto koeficientu.

2. PRINCÍP MERANIA TEPELNÉHO ODPORU CHLADIČOV

Na chladič, ktorého hodnotu *tepelného odporu* R_{th} chceme merať, pripevníme výkonový prvok. Výkonový prvok je charakterizovaný fyzikálnou veličinou, stratovým výkonom. Je to taký výkon, ktorý sa prechodom prúdu mení na teplo, vplyvom čoho sa výkonový prvok ohrieva. Tento nárast teploty ovplyvňujú rôzne parametre, ako dodávaný výkon, hmotnosť, či špecifické teplo materiálu (<http://www.souch.cz/dok/e/chlazení.pdf>). Privedené teplo je pomocou chladiča odovzdávané bezprostrednému okoliu. Ako už bolo v úvode spomínané, počas chladenia súčiastky sa pri určitej teplote telesa odvádzaný výkon rovná výkonu privádzanému a aj samotný nárast teploty sa zastaví a dosiahne sa ustálený stav. Preto, ak sa zabezpečí postupná redukcia výkonu, dosiahne sa bod, kedy sa zastaví tepelný prúd medzi chladičom a okolím. Potom hovoríme o rovnovážnom stave, kedy sa už ďalej teplota povrchu výkonového prvku pri konštantnej teplote okolia viac nemení. o odčítaní hodnôt *stratového výkonu* P a rozdielu teplôt (*teploty púzdra výkonového prvku* T_2 a *teploty okolia* T_1) a ich následnom dosadení do vzťahu (1) je možné definovať hodnotu *tepelného odporu* R_{th} (Fisher, 2008/2009). Bloková schéma tohto princípu merania sa nachádza na obrázku 1.

$$R_{th} = \frac{(T_2 - T_1)}{P} \quad [^{\circ}\text{C}/\text{W}^{-1}] \text{ (Fisher, 2008/2009)} \quad (1)$$



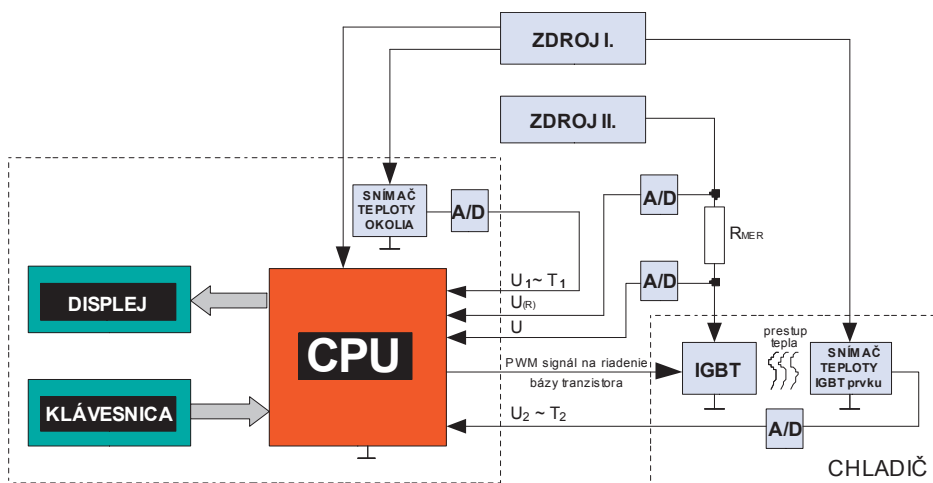
Obrázok 1 Bloková schéma princípu merania tepelného odporu chladičov

Na základe popísaného princípu bol navrhnutý automatizovaný systém merania tepelného odporu chladičov.

3. NÁVRH AUTOMATIZOVANÉHO SYSTÉMU MERANIA

Celý automatizovaný systém merania R_{th} pozostáva zo senzorov teploty (okolia a IGBT tranzistora), A/D prevodníkov, mikroprocesora, zdrojov (jeden pre IGBT, druhý pre mikroprocesor a senzory teploty), klávesnice a displeja (obrázok 2).

Ako výkonový prvok pre meranie je možné použiť výkonový IGBT tranzistor napr. z rady IRG4BC. Pre snímanie teploty púzdra výkonového prvku sa môže využiť snímač teploty LM35, čím sa docieli pevné uchytenie snímacieho prvku na povrch tranzistora. Jeho výhodou je, že nevyžaduje externú kalibráciu, pretože je kalibrovaný v $^{\circ}\text{C}$ a má teplotný rozsah do $+150^{\circ}\text{C}$. Presnosť merania je $\pm 1^{\circ}\text{C}$ (National, 2000). Najdôležitejšou časťou celého systému je mikroprocesor zabezpečujúci jednak redukciu výkonu, ako aj zaznamenanie potrebných hodnôt a ich dosadenie do vzťahu (1). Redukcia potrebná pre dosiahnutie rovnovážneho stavu sa vykoná pomocou pulznej šírkovej modulácie PWM, ovládajúc hradlo IGBT tranzistora. Hodnotu výkonu je možné vypočítať podľa vzťahu $P=U \cdot I$, pričom hodnota napätia U je *nameraná hodnota napätia medzi kolektorom a emitorom* a prúd I sa vypočíta podľa Ohmovho zákona z nameranej hodnoty napätia $U_{(R)}$ na rezistore R_{MER} a hodnoty odporu tohto rezistora. Ako mikroprocesor je možné použiť mikroprocesor ATmega8. Vyhodnotenie koeficientu tepelného odporu bližšie popisuje vývojový diagram (obrázok 3), na základe porovnávania zaznamenaných hodnôt teploty výkonového prvku. Pre zabezpečenie digitálnych hodnôt z analógových výstupov slúžia A/D prevodníky. Zobrazenie vypočítanej hodnoty zabezpečuje displej.



Obrázok 2 Bloková schéma automatizovaného merania tepelného odporu chladičov

Aby sa dosiahla správna funkcia teplomera, musí sa zabezpečiť intenzívny prestup tepla z meraného prostredia do senzora teploty a zamedzenie tepelných strát zo senzora. Pre meranie sa s výhodou používajú teplomery, pevne fixované na meranom povrchu (Chudý, 1999).

Povrch chladiča však nie je ani pri vynikajúcom opracovaní dokonale hladký. Takže pripevnením súčiastky na chladič sa medzi dotýkajúcimi plochami vytvára vzduchová medzivrstva, ktorá definuje tzv. stykový odpor. Stykový tepelný odpor je fyzikálna veličina charakterizujúca prenos tepla z telesa s vyššou teplotou na teleso s nižšou teplotou pri bezprostrednom dotyku povrchov oboch telies. Pre zlepšenie presnosti merania je dôležité minimalizovať hodnotu stykového tepelného odporu a tým zmenšiť vplyv vzduchovej medzivrstvy. Preto sa styková plocha môže vyplniť takým prostredím, ktorého tepelná vodivosť je blízka vodivosti kovov (Aksenov, 1975). Na tento účel sa využívajú tepelne vodivé pasty nanesené na styčnú plochu chladiča.

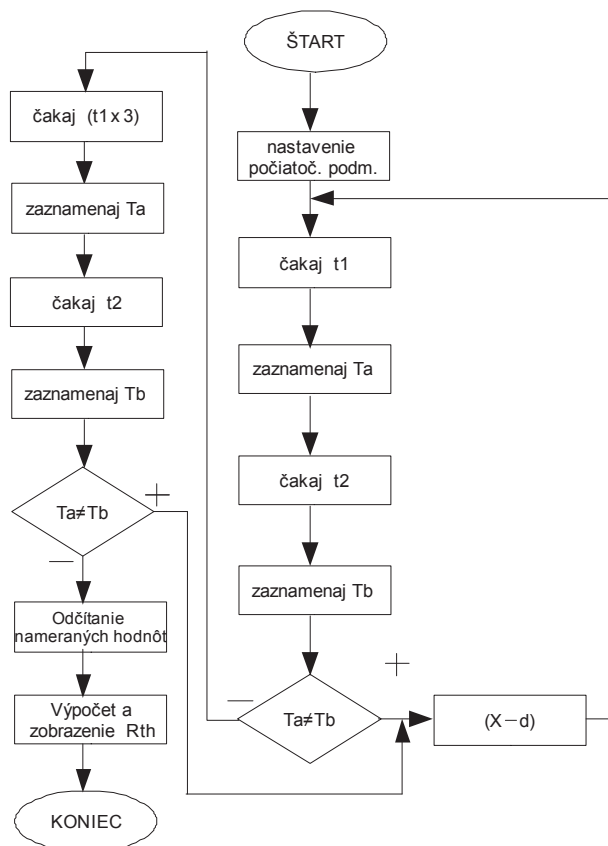
3.1 Vývojový diagram

Jednu z možných variant vytvorenia algoritmu programu pre meranie R_{th} metódou redukcie výkonu popisuje vývojový diagram na obrázku 3. Na začiatku programu sa vyžaduje nastavenie počiatočných podmienok:

```
X → 5.5 // hodnota bázevého napätia tranzistora [V]
d → 0.01 // veľkosť kroku pre dekrementáciu hodnoty X [V]
t1 → 10; // časová konštanta [min]
t2 → 1; // časová konštanta [min]
U → 16.5; // Uce [V]
R → 3.9; // hodnota odporu  $R_{MER}$ , pre určenie hodnoty prúdu [ $\Omega$ ]
T1 → 0; // hodnota snímača teploty okolia [ $^{\circ}C$ ]
T2 → 0; // hodnota snímača teploty povrchu IGBT [ $^{\circ}C$ ]
Ta → 0; // premenná, pre uloženie T2, určená na porovnanie s hodnotou Tb [ $^{\circ}C$ ]
Tb → 0; // premenná, pre uloženie T2, určená na porovnanie s hodnotou Ta [ $^{\circ}C$ ]
P → 0; // vypočítaná hodnota výkonu IGBT [W]
I → 0; // prúd vypočítaný z Ohmovho zákona
Rth → 0; // hodnota tepelného odporu chladiča [ $^{\circ}C/W$ ]
```

Hodnota premennej X sa určí na základe *kolektorového prúdu* I_c z charakteristiky IGBT tranzistora vypočítaného z prednastavených hodnôt *napätia* U_{ce} a *odporu* R . Hodnoty U_{ce} a R sa určia na základe požiadavky potrebného *stratového výkonu* P (konkrétnym hodnotám $U_{ce} = 16.5V$ a $R = 3.9 \Omega$ uvedeným v počiatočných podmienkach zodpovedá výkon IGBT prvku $P = 69 W$). Veľkosť kroku pre dekrementáciu hodnoty premennej X je jedným z parametrov, ktorý vplýva na presnosť merania. Jeho hodnota by mala byť čo najmenšia. Ďalším parametrom, ktorý vplýva na presnosť merania je čas. Hodnoty časov $t1 = 10 min$, $t2 = 1 min$ sú vhodne nastavené na základe experimentov ($t1$ – čas potrebný na ustálenie podmienok, $t2$ – čas potrebný na porovnanie hodnôt T_a a T_b). Všeobecne platí, že čím je hodnota bližšia k hodnote, pri ktorej nastane ustálený stav, tým by čas $t1$ mal

byť väčší. Zároveň platí, že čím je chladič väčší, tak aj stabilita tepelného režimu je vyššia a je nutné merať vo väčších časových intervaloch.

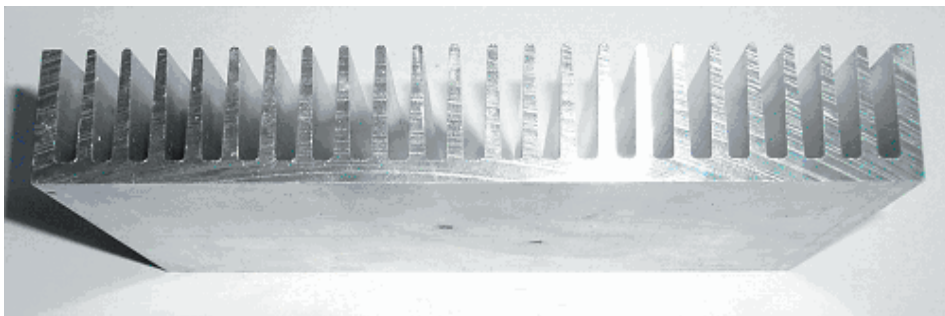


Obrázok 3 Vývojový diagram automatizovaného merania R_{th}

Merací systém pracuje na základe nasledovného algoritmu. Snímač IGBT prvku sa ohrieva na teplotu T_2 po dobu t_1 . Po uplynutí tohto času sa zaznamená hodnota teploty púzdra súčiastky do premennej T_a . To isté sa opakuje, ale s časom t_2 a premennou T_b . Nasleduje porovnanie týchto dvoch premenných. Pokiaľ sa nerovnajú, znamená to, že teplota sa ešte neustálila, tak sa zníži hodnota napätia privádzaného na hradlo IGBT o konštantu d . Celý cyklus sa ďalej opakuje, pokiaľ sa nárast teploty nezastaví. Ak sa nárast teploty zastaví, cyklus sa preruší a pokračuje sa ďalej v programe, kedy sa zmení hodnota času t_1 na 3-násobok (pre zlepšenie presnosti merania). Akonáhle aj posledná podmienka bude „false“, zaznamenajú sa namerané hodnoty a dosadia do vzorca pre výpočet tepelného odporu (1). Výsledok je zobrazený na displeji. Popisovaný algoritmus je však možné upraviť pre zobrazovanie priebežne dosahovaných výsledkov.

4. EXPERIMENTÁLNE MERANIE

Experimentálne meranie bolo vykonané na chladiči typu SK119 výrobcu Fisher elektronik. Bola použitá metóda s postupnou redukciou výkonu opisovanou v predchádzajúcej časti. Meranie bolo uskutočnené v orientácii chladiča na výšku.

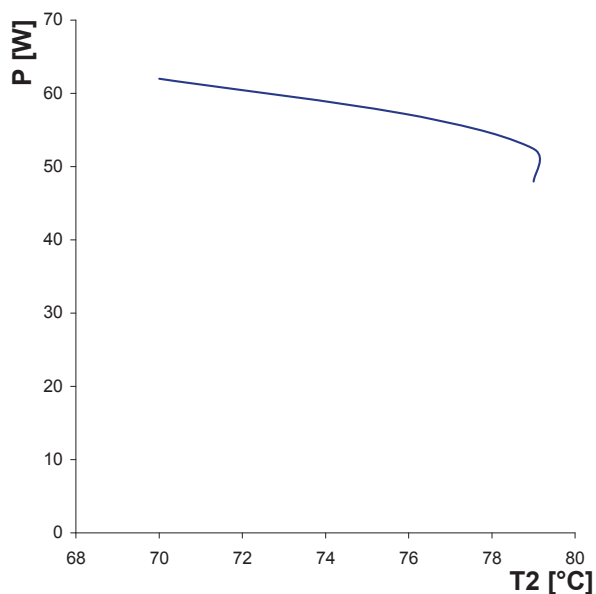


Obrázok 4 Chladič SK 119

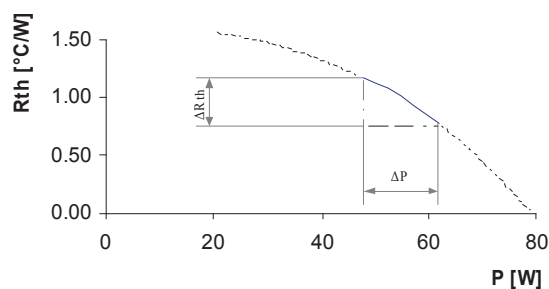
Tabuľka 1 Tabuľka údajov chladiča SK119 získaných experimentálnym meraním

P [W]	T ₂ [°C]	T ₁ [°C]	R _{th} [°C/W]	Rozdiel teplôt [°C]	Rozdiel narastania T ₂ [°C]
62	70	22,3	0,7693548	47,7	6
57,12	76	22,3	0,9401261	53,7	3
52,44	79	22,3	1,0812357	56,7	0
47,96	79	22,3	1,1822352	56,7	0

Ako je možné vidieť v tabuľke 1, postupne sa znižoval výkon až na hodnotu, kedy sa narastanie teploty zastavilo, čiže rozdiel narastania teploty bol nulový. Po následnom odčítaní teplôt a výkonu a ich dosadení do rovnice (1), sa získala hodnota tepelného odporu chladiča $R_{th} = 1,08\text{ }^{\circ}\text{C/W}$ ($\Delta x = 0,08\text{ }^{\circ}\text{C/W}$). Tepelný odpor eloxovaného chladiča udávaný v katalógu je $R_{th} = 1\text{ }^{\circ}\text{C/W}$. Na grafoch 1,2 sú zobrazené vzájomné závislosti nameraných hodnôt parametrov.



Graf 1 Vzájomná závislosť výkonovej straty a teploty súčiastky



Graf 2 Závislosť zmeny R_{th} od výkonu súčiastky

5. ZÁVER

Medzinárodne neexistuje žiadna platná norma, ktorá by záväzne stanovovala meracie metódy na zisťovanie hodnôt tepelných odporov chladičov pre potreby elektroniky. Je však možné získať potrebné hodnoty tepelného odporu chladičov blízke praktickým zisteniam (Fisher, 2008/2009). Článok preto popisuje metódu, ktorá je známa a overená. Spôsob automatizácie, poloha chladiča, farba jeho povrchu, či teplota a prúdenie okolitého vzduchu môžu nepriaznivo ovplyvniť výsledok nameranej hodnoty. Minimalizácia chýb

vzniknutých nepresnosťou merania sa zabezpečí vytvorením automatizovaného pracoviska, obsahujúceho integrovaný senzor teploty, regulačnú a vyhodnocovaciu techniku.

LITERATÚRA

- [1] AKSENOV A. I., GLUŠKOVÁ D. N., IVANOV V. I.: 1975. *Chlazení polovodičových součástek*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1975, 156 s.
- [2] CHUDÝ V., PALENČÁR R., KUREKOVÁ E., HALAJ, M.: 1999. *Meranie technických veličín*. Bratislava: STU, 1999. ISBN 80-227-1275-2
- [3] Fisher elektronik, katalóg chladičov, 2008/2009
- [4] National Semiconductor: 2000. *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*, datasheet, 2000, 13 s., <http://www.ece.osu.edu/~passino/LM35.pdf>, náhľad stránky marec 2009
- [5] SANGWINE S. J.: 1994. *Electronic Components and Technology*. CRC Press, 1994, 195 s. ISBN 0748740767, 9780748740765
- [6] *Teória chladičov*, [http://sk.wikipedia.org/wiki/Chladi%C4%8D_\(elektronika\)](http://sk.wikipedia.org/wiki/Chladi%C4%8D_(elektronika)), náhľad stránky marec 2009
- [7] *Výpočty chlazení elektronických součástí s řešenými příklady*, <http://www.souch.cz/dok/e/chlazení.pdf>, náhľad stránky marec 2009

Kontaktná adresa:

Ing. Vladimír Kocúr

Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,
Katedra informatiky a automatizačnej techniky, Študentská 26, 960 53 Zvolen
e-mail: xkocurv@is.tuzvo.sk

prof. Ing. Jozef Šuriansky, CSc.

Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,
Katedra informatiky a automatizačnej techniky, Študentská 26, 960 53 Zvolen
e-mail: surian@vsld.tuzvo.sk

Ing. Jozef Puskajler

Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,
Katedra informatiky a automatizačnej techniky, Študentská 26, 960 53 Zvolen
e-mail: [puskajler\[at\]vsld.tuzvo.sk](mailto:puskajler[at]vsld.tuzvo.sk)

POUŽITIE SYNCHRÓNNEHO GENERÁTORA V MIKROZDROJOCH ELEKTRICKEJ ENERGIE

USE OF SYNCHRONOUS GENERATOR IN MICROSOURCES OF ELECTRIC ENERGY

Jozef PUSKAJLER – Jozef ŠURIANSKY

ABSTRACT: In the article the regulation abilities of output parameters of the synchronous generator with artificial haul are described. The first part talks about control and haul characteristics of switching units. In second part, the model of synchronous generator powered by water turbine is described. Also the control unit for 6 kW power control is described.

Key words: synchronous generator, micro-sources of electrically energy, regulation

ABSTRAKT: V článku sú popísané možnosti regulácie výstupných parametrov synchronného generátora s využitím umelej záťaže. Prvá časť sa venuje riadiacim a záťažovým charakteristikám spínacích jednotiek. V druhej časti je navrhnutý model synchronného generátora s pohonom vodnou turbínou. Popísaná je tiež riadiaca jednotka pre riadenie výkonu do 6 kW.

Kľúčové slová: synchronný generátor, mikrozdroje elektrickej energie, regulácia

1. ÚVOD

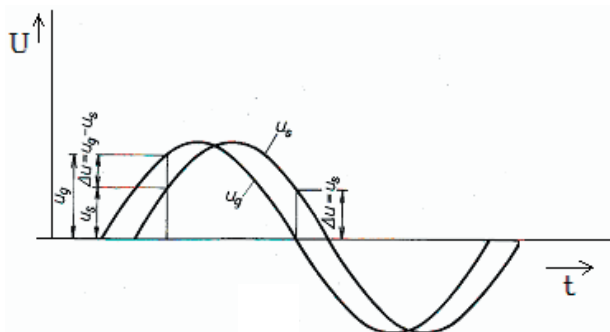
Synchronné generátory malých vodných elektrární a mikrozdrojov môžu byť pripojené k elektrickej rozvodnej sieti a pracovať v režime dodávky elektrickej energie, ale rovnako môžu pracovať do separátnej siete v tzv. ostrovnej prevádzke.

Hlavnou výhodou synchronných generátorov je jednoduchá a plynulá regulácia výstupného napätia pomocou regulácie budiaceho prúdu. Pre splnenie podmienky synchronizácie je menovitá frekvencia výstupného napätia 50 Hz. V energetickej sústave je požadovaná frekvencia napätia $50 \text{ Hz} \pm 0,02 \text{ Hz}$. Požadovanú frekvenciu je možné zabezpečiť, ak bude výroba elektrickej energie v rovnováhe so spotrebou.

Pri pripájaní synchronného generátora k rozvodnej sieti je potrebné zabezpečiť:

- rovnaký sled fáz napätia stroja a siete
- rovnaké efektívne hodnoty napätia stroja a siete
- rovnakú frekvenciu napätia stroja a siete
- rovnaké okamžité hodnoty napätia stroja a siete

Posledná podmienka je veľmi dôležitá, pretože pri zhodných napätiach a frekvenciách generátora a rozvodnej siete ešte nemusia byť zhodné okamžité hodnoty napätí, ako je to znázornené na obrázku č. 1.



Obrázok 1 Fázové posunutie medzi napätím generátora U_g a napätím siete U_s

Fázový posun medzi napätím generátora a napätím rozvodnej siete by v okamihu pripojenia generátora k sieti spôsobil prúdový náraz. Pri prífázovaní generátora k rozvodnej sieti je potrebné dodržať uvedené podmienky a generátor pripájať k rozvodnej sieti v okamihu zhody okamžitých hodnôt napätí generátora a siete. Rovnosť okamžitých hodnôt napätia synchronného generátora a rozvodnej siete je možné v najjednoduchšom prípade zistiť žiarovkovým synchronoskopom, ktorým sa fázuje na tmú, alebo v zmiešanom zapojení. (Hrabovcová, 2004).

Pre reguláciu výstupných parametrov synchronného generátora je potrebné analyzovať jeho činnosť v jednotlivých pracovných režimoch. Po dosiahnutí synchronných otáčok nezaťaženého generátora nameriame na statorových svorkách tri napätia sínusového priebehu vzájomne posunuté o 120° . Statorom neprechádza žiadny prúd a generátor pracuje naprázdno. Ak pripojíme na svorky generátora záťaž (rovnakú pre jednotlivé fázy), začne prechádzať statorom trojfázový prúd, ktorý vyvolá točivé magnetické pole. Toto nazývame reakciou vinutia statora. Obecné platí, že pri indukčnom zaťažení sa musí generátor viac pribúdiť ako pri zaťažení činným odporom. Pri kapacitnom zaťažení je nutné generátor odbúdiť, aby svorkové napätie na výstupe malo stálu hodnotu.

Riadiaci systém synchronného generátora sa dá rozdeliť na dva základné podsystémy:

- regulácia výstupného napätia (označovaná ako riadenie budenia)
- regulácia otáčok (označovaná ako riadenie pohonu).

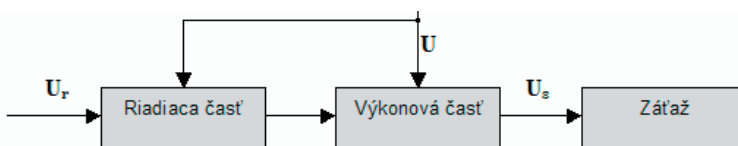
Úlohou riadenia budenia synchronného generátora je udržiavať výstupné svorkové napätie generátora na požadovanej hodnote a kompenzovať rôzne poruchy v sieti spôsobené výkyvmi napätia (napríklad zmenou záťaže). Úlohou riadenia pohonu je udržiavanie požadovanej frekvencie 50 Hz výstupného svorkového napätia a regulácia dodávaného výkonu do elektrickej siete.

2. MATERIÁL A METÓDY

Jednou z možností riadenia výstupných parametrov synchronného generátora je aj riadenie pomocou umelej záťaže. Používa sa pri malých výkonoch v mikrozdvoch a pri činnosti generátora v ostrovej prevádzke. Skoková zmena zaťaženia, v takejto prevádzke vyžaduje doregulovanie výstupných parametrov generátora v čase rádo stoviek ms. Doba preregulácie akčných členov používaných na ovládanie regulačných orgánov turbín je rádo desiatky sekúnd. (<http://paragonalliance.co.uk/index.php/fuseaction/shop.category>). /categoryid/106). V takomto prípade by bolo veľmi obtiažne udržiavať frekvenciu výstupného napätia v požadovaných hodnotách pomocou regulácie otáčok turbíny. Princíp riadenia pomocou umelej záťaže spočíva v nastavení výkonu generátora na predpokladanú maximálnu hodnotu odberu a v doregulovaní výstupných parametrov na požadované hodnoty. V prípade odľahčenia generátora je rozdielový výkon pomocou riadiacej jednotky presmerovaný do umelej záťaže.

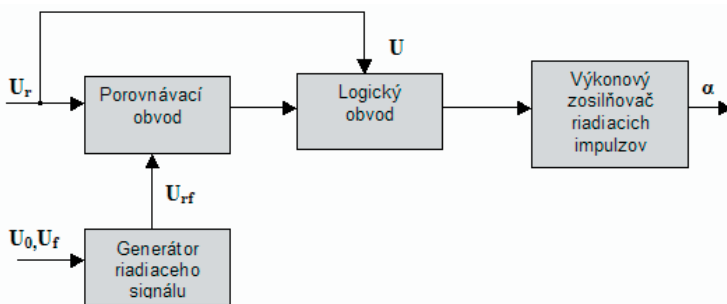
Pre spínanie umelej záťaže je možné použiť tyristorový alebo triakový riadený akčný člen. Taktiež je možné použiť tranzistory IGBT. Analýza spínacích režimov je podrobne popísaná v nasledujúcej časti. Konkrétny spínací režim sa volí podľa charakteru spínanej záťaže. (Easytherm – firemná literatúra, 2007).

Spínacie jednotky s tyristormi obsahujú riadiacu a výkonovú časť. Nachádzajú široké uplatnenie v riadení generátorov a motorov. Principiálna schéma blokového usporiadania tyristorovej spínacej jednotky je na obrázku č. 2.



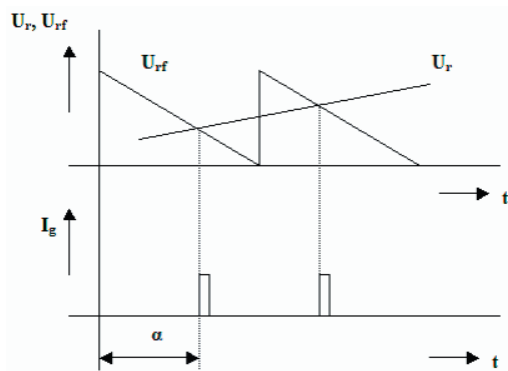
Obrázok 2 Bloková schéma tyristorovej spínacej jednotky

Algoritmus činnosti riadiacej časti je daný typom spínacej jednotky a vlastnosťami záťaže, do ktorej pracuje. V súčasnosti sa najviac používa zapojenie so synchronnými systémami a synchronizácia sa dosahuje synchronizáciou referenčného napätia u_{rf} so sieťovým napätím. Bloková schéma je na obrázku č. 3.



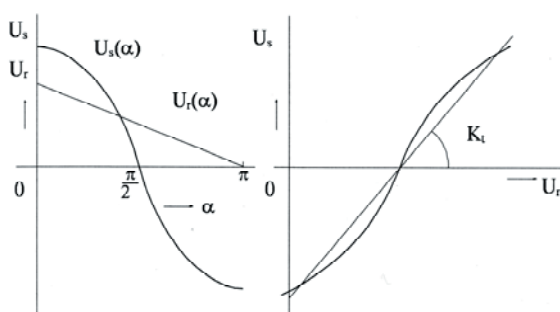
Obrázok 3 Bloková schéma riadiacej časti tyristorovej spínacej jednotky

Referenčné napätie určuje fázový posun zapalovacích signálov. Tento musí byť úmerný veľkosti riadiaceho signálu. Vhodným tvarom referenčného napätia je kosínusový, alebo lineárne klesajúci priebeh. Tento priebeh bezprostredne ovplyvňuje statické charakteristiky spínacej jednotky. Časový priebeh signálov pre lineárne klesajúci referenčný signál je na obrázku č. 4.



Obrázok 4 Priebehy vnútorných veličín generátora zapalovacích impulzov

Riadiaca charakteristika vyjadruje závislosť strednej hodnoty výstupného napätia U_s od riadiaceho napätia U_r alebo od uhla zapalovania, ako je uvedené na obrázku č. 5.



Obrázok 5 Riadiaca charakteristika spínacej jednotky

Strednú hodnotu napätia pre oblasť neprerušovaných prúdov predstavuje vzťah:

$$U_s = U_{so} - R_N I_s - \Delta U_T \quad (1)$$

$$U_{so} = U_{som} \cos \alpha \quad (2)$$

$$U_{som} = U_m \frac{m}{\pi} \sin \frac{\pi}{m} \quad (3)$$

kde: m – počet impulzov spínacej jednotky

U _m – amplitúda napätia	pre uzlové schémy	U _m = 311 V, (U _f = 220V)
	pre mostíkové schémy	U _m = 537V, (U _f = 380V)

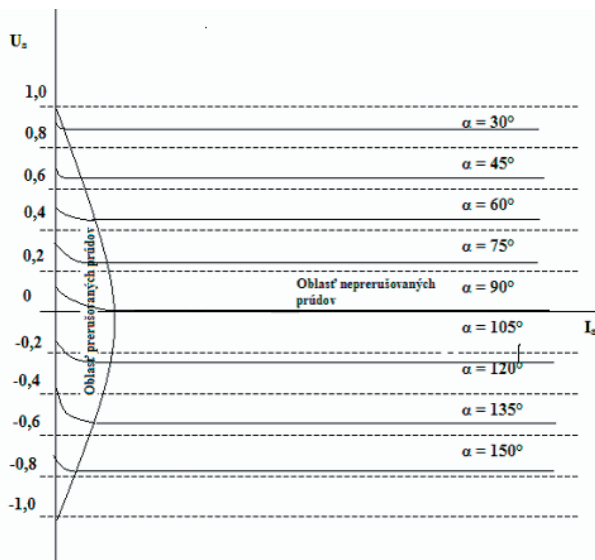
α – uhol otvorenia tyristorov

R_N – náhradný odpor spínacej jednotky

 ΔU_T – úbytok napätia na polovodičoch vo vodivom stave.

Vlastnosti tyristorových spínacích jednotiek pracujúcich do záťaže vyjadruje záťažová charakteristika. Táto má v oblasti neprerušovaných prúdov nelineárny charakter. Záťažová charakteristika je znázornená na obrázku č. 6.

Od strednej hodnoty prúdu I_s závisí náhradný odpor spínacej jednotky R_N . Pre oblasť neprerušovaných prúdov sú záťažové charakteristiky lineárne. Uhol riadenia je pre tyristorové spínacie jednotky so sieťovou komutáciou obmedzený na hodnotu približne $\alpha_{\max} = 150^\circ$.



Obrázok 6 Zát'azová charakteristika tyristorovej spínacej jednotky

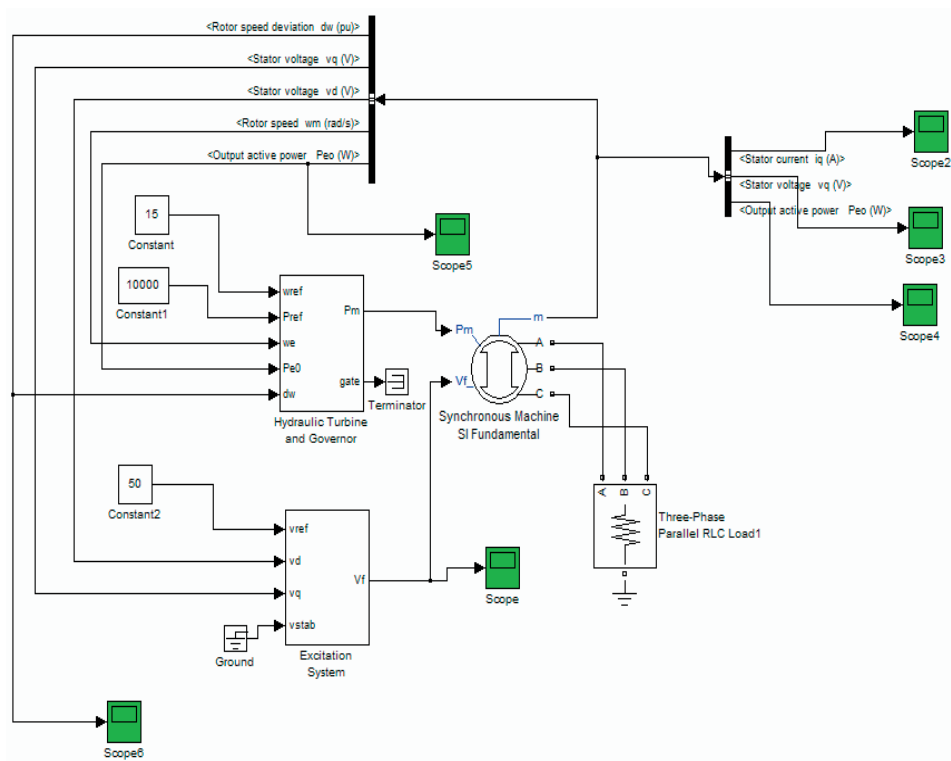
2.1 Model synchrónneho generátora s pohonom vodnou turbínou

Pre analýzu vlastností synchrónneho generátora poháňaného vodnou turbínou bol v programovom prostredí Matlab – Simulink zostavený simulačný model znázornený na obrázku č. 7. Zmenou vstupných parametrov vodnej turbíny, zmenou parametrov budiacej sústavy synchrónneho generátora a zmenou charakteru záťaže je možné nasimulovať a vizualizovať pomocou blokov typu „osciloskop“ výstupné parametre synchrónneho generátora.

Pri simulácii boli nastavené hodnoty synchrónneho generátora

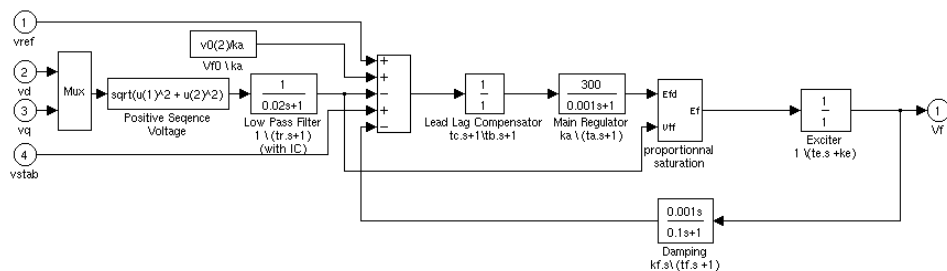
- výkon 4 kW
- napätie 400 V

- frekvencia 50 Hz
- počet otáčok 1500/min
- $\cos\varphi = 0,8$
- budiace napätie pri plnom zaťažení 12 V



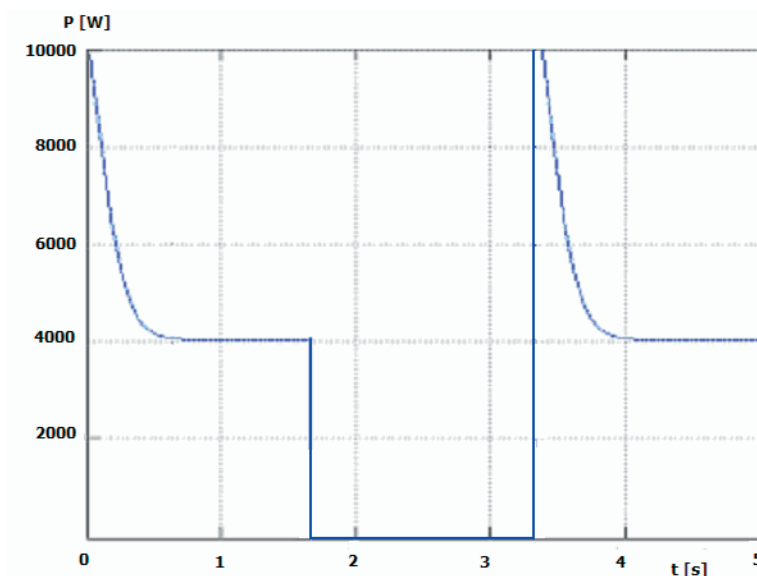
Obrázok 7 Simulačný model synchronného generátora s pohonom vodnou turbínou

Model budiaceho systému synchronného generátora je znázornený na obrázku č. 8.



Obrázok 8 Simulačný model budiaceho systému synchronného generátora

Grafické znázornenie simulácie ustálenia výkonu pri opätovnom zapnutí záťaže 4000 W je na obrázku č. 9.



Obrázok 9 Simulácia ustálenia výkonu pri zmene záťaže o 4000 W

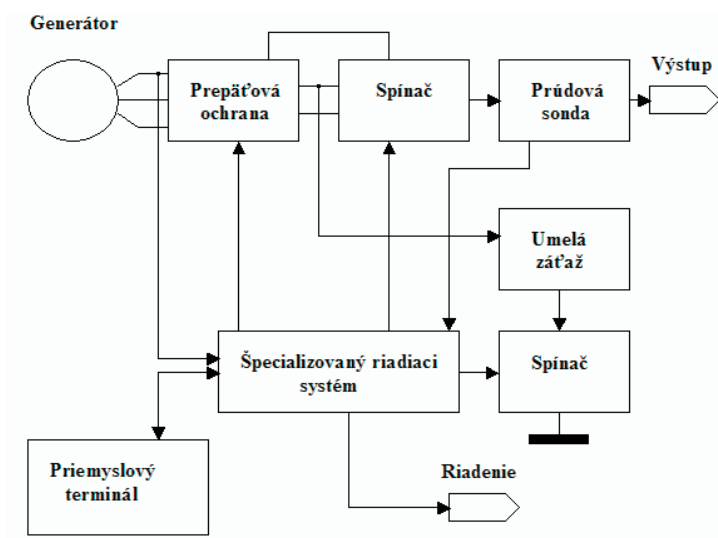
Pri simulácii skokovej zmeny záťaže o 4000 W k ustáleniu výstupných parametrov synchronného generátora na hodnote 4000 W došlo v čase 0,8 sekundy.

2.2 Riadiaca jednotka synchronného generátora s reguláciou pomocou umelej záťaže

Pre synchronný generátor s reguláciou výkonu s použitím umelej záťaže bola navrhnutá bloková schéma riadiacej jednotky znázornená na obrázku č. 10. Elektrické napätie z generátora je privedené na prepäťovú ochranu a cez výkonový spínač a prúdovú sondu je privedené na výstupné svorky riadiacej jednotky. Napätie z výstupu prepäťovej ochrany je zároveň privedené aj na trojfázovú umelú záťaž. Umelá záťaž je aktivovaná pomocou spínacej jednotky ovládanej špecializovaným riadiacim blokom s mikropočítačom. Úpravu výstupného napätia generátora zabezpečujú výkonové spínače pre umelú záťaž a výstup regulátora. Zariadenie obsahuje meraciu sústavu tvorenú prúdovou sondou a vstupmi pre meranie napätia, teploty a otáčok. Bezpečnosť prevádzky je riešená detektorom prepätia a tavnými poistkami. Komunikáciu s riadiacou jednotkou a zadávanie parametrov zabezpečuje pôvodný priemyslový terminál s displejom a bezkontaktnou klávesnicou s krytím IP67. Komunikácia je realizovaná cez priemyslovú zbernicu RS485.

Ovládanie riadiacej jednotky s použitím umelej záťaže spočíva vo voľbe prevádzkového režimu a v nastavení požadovaného výstupného výkonu na displeji priemyslového

terminálu. Tento výkon je udržiavaný na nastavenej hodnote a v prípade zníženia odberu sa rozdielový výkon dodáva do umelej zátáže.



Obrázok 10 Bloková schéma riadiacej jednotky synchronného generátora

Pre spoluprácu s riadiacim systémom bol navrhnutý a realizovaný funkčný vzor priemyslového terminálu s bezkontaktnou klávesnicou s krytím IP67 znázornený na obrázku č. 11.



Obrázok 11 Funkčný model pôvodného priemyslového terminálu

Uvedená koncepcia riadiacej jednotky s priemyslovým terminálom umožňuje riadiť optimálne otáčkové parametre ako aj možnosti voľby režimu elektrárne. Uvedené režimy vychádzajú z použitia elektrickej energie pre napájanie spotrebičov, ktoré prevažne pracujú s menovitými hodnotami napätia. Nastavenie menovitých parametrov je zabezpečené definovaním konštánt regulátora. Realizuje sa programovo a neutralizuje prípadné napäťové zmeny spôsobené zmenami otáčok generátora.

3. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Pre zistenie reálnych hodnôt času odozvy synchronného generátora na zmeny záťaže boli prevedené merania na reálnom vodnom toku s Francisovou turbínou s pripojeným synchronným generátorom s optimalizovaným prevodom. K synchronnému generátoru bola pripojená odporová záťaž, ktorej hodnota sa menila v rozmedzí 1 kW až 4 kW. V tabuľke č. 1 sú uvedené zmeny otáčok turbíny a doba ustálenia pri skokovej zmene záťaže synchronného generátora. Pri nezaťaženom generátore po ustálení výstupných parametrov generátora boli otáčky Francisovej turbíny – 625 otáčok za minútu. Pri experimente boli prevádzané skokové zmeny záťaže o 1 kW a o 2 kW.

V prvej časti experimentu bola meraná doba ustálenia výstupného napätia synchronného generátora na nominálnej hodnote 220 V pri skokovom odľahčení generátora o 2 kW a zaťaženie generátora z nulovej záťaže na záťaž 2 kW. Experiment bol opakovaný s odľahčením a následným zaťažením generátora o 1 kW, z východzej hodnoty 2 kW. Nasledoval experiment so zaťažením na hodnotu 3 kW a odľahčením o 1 kW. Posledný experiment bol prevedený so skokovým zaťažením a odľahčením o 2 kW.

Zmena frekvencie výstupného napätia pri zmenách záťaže bola zaznamenaná v rozsahu 37,44 Hz–66,24 Hz.

V ďalšej časti experimentu bola meraná doba ustálenia frekvencie výstupného napätia synchronného generátora. V tabuľke č. 2 sú výsledky meraní v ustálenom stave výstupných parametrov generátora a času regulácie. Zaznamenaná je aj zmena otáčok turbíny pri zmene zaťaženia synchronného generátora. Každá zmena záťaže bola prevedená až po ustálení frekvencie výstupného napätia synchronného generátora na nominálnej hodnote 50 Hz.

Tabuľka 1 Zmena otáčok turbíny pri skokovej zmene záťaže

Otáčky [1/min]	Frekvencia [Hz]	Výkon záťaže [KW]	Čas [s]
633	50,64	2000	6,83
828	66,24	0	0
635	50,80	2000	15,3
738	59,04	2000	6,51
633	50,64	1000	0
633	50,64	2000	11,05
633	50,64	2000	7,13
510	40,80	3000	0
628	50,24	2000	12,34
633	50,64	2000	5,54
468	37,44	4000	0
622	49,71	2000	11,41

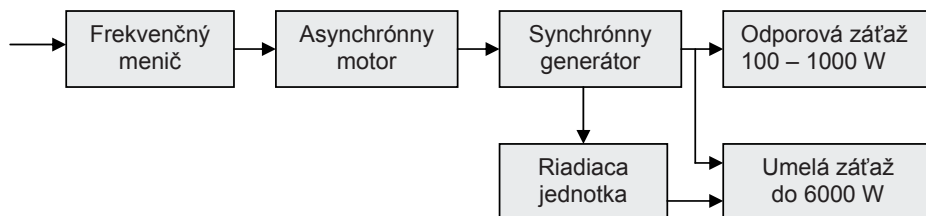
Tabuľka 2 Doba regulácie pri ustálení frekvencie

Otáčky [1/min]	Frekvencia [Hz]	Výkon [W]	Čas [s]
625	50,00	0	0
472	37,76	1000	0
625	50,00	0	15
625	50,00	0	0
494	39,52	2000	0
625	50,00	0	19
625	50,00	0	0
502	40,16	3000	0
625	50,00	0	21
625	50,00	0	0
505	40,40	4000	0
625	50,00	0	28
625	50,00	0	0
510	40,80	4000	14
813	65,04	2000	13

Pri experimentoch bola zmeraná aj prestavná doba akčných členov turbíny Francis a turbíny Gross flow 300. Pre Francisovu turbínu bola zmeraná prestavná doba akčného člena 29,4 sekundy pri priamom chode a 27,8 sekundy pri spätnom chode. Tieto parametre sú dané vlastnosťami použitého akčného člena – serva MP100.

Pre turbínu Gross flow 300 bola prestavná doba v priamom chode 28,4 sekundy a pri spätnom chode 28,4 sekundy.

Experimentálne overenie navrhnutej a zrealizovanej riadiacej jednotky synchronného generátora s použitím umelej záťaže bolo prevedené v laboratórnych podmienkach. Blokovaná schéma meracieho pracoviska je znázornená na obrázku č. 12.



Obrázok 12 Blokovaná schéma laboratórneho experimentu

Pri experimente bol použitý synchronný generátor s výkonom 1 kW. Uvedený výkon generátora bol zvolený z dôvodov možnosti napájania pohonnej jednotky v laboratórnych

podmienkach a tiež z nutnosti použitia frekvenčného meniča. Ako pohon bol použitý asynchrónny motor s príkonom 2,2 kW, ktorý bol napájaný z frekvenčného meniča VQFREM 400E firmy Vonsch, aby bolo možné dosiahnuť synchronné otáčky generátora. Zátťaž generátora tvorila sústava osvetľovacích telies s maximálnym príkonom 1000 W, s možnosťou skokovej zmeny zátťaž po 100 W. Ako umelá zátťaž bola použitá trojfázová odporová zátťaž s maximálnym príkonom 6000 W.

Navrhnutá riadiaca jednotka synchronného generátora udržiavala nastavené výstupné parametre v požadovanom rozsahu pri skokových zmenách zátťaž od 100 W do 1000 W.

Výsledky meraní sú uvedené v tabuľke č. 3.

Tabuľka 3 Doba regulácie a doba signálu PWM pri skokovej zmene zátťaž

Zátťaž [W]	Doba regulácie [ms]	PWM [ms]
100 W	150	0,20
200 W	250	0,29
300 W	296	0,32
400 W	322	0,50
500 W	363	0,90
60 W	386	1,50
700 W	409	1,80
800 W	440	2,50
900 W	453	2,80
1000 W	496	2,99

4. ZÁVER

Cieľom práce bola analýza možností regulácie výstupných parametrov synchronných generátorov bez použitia hydraulických systémov riadenia výkonu turbíny. Vytvorený simulačný model synchronného generátora s pohonom pomocou vodnej turbíny umožňuje získať priebehy výstupných parametrov synchronného generátora pri nastavení vstupných parametrov turbíny a parametrov budiacej sústavy. Pre možnosť použitia regulácie s umelou zátťažou bol vytvorený simulačný model umožňujúci získať priebehy ustálenia výstupných parametrov synchronného generátora pri skokovej zmene zátťaž. Následne bola navrhnutá riadiaca jednotka s mikroprocesorom ATmega32. Výkonová spínacia časť bola realizovaná s akčnými členmi triak BT 139-800, s galvanickým oddelením pomocou driverov MOC3063. Umelá zátťaž je realizovaná ako trojfázová s odporovými špirálami s celkovým príkonom 6000 W, s núteným ochladzovaním pomocou dvoch ventilátorov typu MEZAXIAL. Výsledky získané simuláciami a znázornené na obrázkoch č. 9 až č. 10 sú v dobrej zhode s výsledkami nameranými pri laboratórnom overení riadiacej jednotky synchronného generátora s použitím umelej zátťaž, ktoré sú uvedené v tabuľke č. 3. Naznačené riešenie plne vyhovuje pre optimalizáciu regulácie výstupných parametrov synchronných generátorov s využitím umelej zátťaž pre mikrozdroje elektrickej

energie do výkonu 6000 W. Pre vyššie výkony je potrebné použiť umelú záťaž s vyšším výkonom a tiež riešiť výkonovú časť spínacej jednotky.

Výkon dodávaný do umelej záťaže je možné použiť na ohrev teplej úžitkovej vody, alebo na vykurovanie priestorov, podľa veľkosti použitej umelej záťaže a požadovaného odberu elektrickej energie.

LITERATÚRA

- [1] HRABOVCOVÁ, V., RAFAJDUS, P., FRANKO, M., HUDÁK, P.: Meranie a modelovanie elektrických strojov, Žilina: EDIS – Žilinská univerzita v Žiline, 2004.
- [2] <http://www.paragonalliance.co.uk/index.php/fuseaction/shop.category/categoryid/106>.
- [3] Easytherm – Tyristorové spínací jednotky – firemní literatura 2007.
- [4] <http://marcomplet.cz/zbozi/produkt-3651/belimo-belimo-lrc24a-sr-5nm-0-10v-35-s.html>.
- [5] IEEE Working Group on Prime Mover and Energy Supply Models for System Dynamic Performance Studies, “Hydraulic Turbine and Turbine Control Models for Dynamic Studies“, IEEE Transactions on Power Systems, vol.7, no.1, february 1992, pp. 167–179.
- [6] „Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies“, IEEE Standard 421.5-1992, August, 1992.
- [7] ŽALMAN, M.: Akčné členy, Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2003.

Kontaktná adresa:

Ing. Jozef Puskajler, Katedra informatiky a automatizačnej techniky,
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita Zvolen,
T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen

prof. Ing. Jozef Šuriansky, CSc., Katedra informatiky a automatizačnej techniky,
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita Zvolen,
T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen

APLIKÁCIA INTELIGENTNÝCH SENZOROV V DREVOSPRACUJÚCICH TECHNOLOGIACH

APPLICATION SMART SENSORS IN WOOD-WORKING TECHNOLOGY

Pavel SPODNIAK – Jozef ŠURIANSKY

ABSTRACT: In the work is analysed our newly suggested humidity sensor. This sensor is based on the dependence of the resonance circuit parameters upon the humidity of the measured wood. On the basis of our results and analysis there has been suggested, modeled and realized the humidity sensor. The results and analysis of the calibrations process had confirmed the appropriate performances of the sensor especially as the exactness and the possibility to measure the humidity of implicit unknown material for which the humidity is measured. These results are new and unpublished up to now. The industrial measuring instrument of the humidity of wood realized on the basis of the results of the present work will be contribution for the wood processing industry practice.

Key words: humidity sensor, resonance circuit, electric circuits modeling

ABSTRAKT: V príspevku je analyzovaný pôvodný senzor vlhkosti. Tento senzor využíva závislosť parametrov rezonančného obvodu na vlhkosti meraného dreva. Na báze výsledkov analýzy bol navrhnutý, simulovaný a experimentálne overený senzor vlhkosti. Výsledky kalibračných meraní a ich analýzy ukázali dobré vlastnosti senzora ako presnosť a možnosť merať vlhkosť bez implicitne zadaného druhu drevného materiálu, ktorého vlhkosť je meraná. Tieto výsledky sú nové a dosiaľ nepublikované. Priemyselný merací systém na meranie vlhkosti dreva konštruovaný na báze výsledkov tejto práce môže byť prínosom pre drevársku prax.

Kľúčové slová: senzor vlhkosti, rezonančný obvod, modelovanie elektrických obvodov

ÚVOD

Drevo predstavuje pružný, pevný a pritom ľahký materiál, ktorý má dobré tepelnoizolačné vlastnosti, je schopný znášať veľké zaťaženie, tlmiť vibrácie, ľahko sa opracúva reznými nástrojmi. Výrobky získané z dreva len mechanickou cestou majú i nedostatky, ako je zmena vlastností v širšom časovom úseku, nerovnorodá štruktúra – anizotropia, prítomnosť chýb, zoschýňanie a napúčanie, šúverenie a praskanie, zahŕňanie a vysoká horľavosť drevného materiálu. Tieto nedostatky sa do značnej miery dajú eliminovať cestou chemicko-mechanického a chemického spracovania dreva na doskové materiály: papier,

lepenku, drevovláknité dosky (DVD), drevotrieskové dosky (DTD), dyhy, ap. Úprava dreva antiseptikami, antipyrénmi, živicami, ako aj jeho lisovanie a plastifikácia umožňujú modifikovať vlastnosti prírodného dreva a získať materiály odolné proti ohňu a biologickým škodcom (huby, hmyz), ktoré majú vyššiu pevnosť, nižšiu hygroskopicitu a mnohé ďalšie cenné technologické a priemyselne využiteľné vlastnosti.

Napriek tomu, že automatizácia v drevospracujúcom priemysle sleduje všeobecné trendy vývoja v elektrotechnike, tempo jej nasadzovania do technologickej praxe nespĺňa kritéria obvyklé v iných odvetviach priemyslu. Z tohto dôvodu je potrebné hľadať nové cesty a možnosti aplikácie inteligentných senzorov ako základných prvkov automatizácie do drevárskej praxe. Východiská, metodika riešenia aj niektoré dosiahnuté výsledky sú obsahom tohto príspevku.

Princíp merania vlhkosti rezonančnou metódou

V praxi je častou požiadavka merať vlhkostné parametre dreveného materiálu pretože práve vlhkosť podstatným spôsobom vplýva na jeho úžitkové vlastnosti. V rámci prác na tomto projekte bol navrhnutý nový spôsob merania vlhkosti v dreve.

Keďže molekula vody je polárna a v elektrickom poli sa polarizuje, ovplyvňuje dielektrickú konštantu materiálu, v ktorom sa nachádza. Ak je materiál s obsahom vody, (vlhké drevo) v elektrickom poli meracieho kondenzátora, ovplyvňuje jeho kapacitu. Sú známe kapacitné vlhkomery, ktoré vyhodnocujú zmenu fáze medzi medzi fázormi jednotlivých zložiek odmeraných elektrických veličín a sú v korelačnom vzťahu s vlhkosťou materiálu. Nový spôsob merania je nový v tom, že frekvencia signálu, ktorý napája senzor sa mení tak, aby obvod senzora bol v rezonancii pri každej meranej vlhkosti.

Rezonančná metóda merania vlhkosti vo vzorke dreva využíva základné vlastnosti rezonančného obvodu, ktorý je realizovaný na meracej sonde. Sondu tvorí indukčnosť známej hodnoty L a kondenzátor C , ktorý vzniká medzi dvoma kovovými doštičkami známej veľkosti. Tieto doštičky po priložení na meranú drevnú vzorku vytvárajú kondenzátor C , ktorého kapacitu určíme z rezonančnej frekvencie ω_0 (Tirpák, 2004).

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{G^2}{C^2}} \quad (1)$$

kde: G – je stratová vodivosť rezonančného obvodu.

ε – je dielektrická konštanta vlhkého dreveného materiálu

$$C = \frac{1}{\omega_0^2 L} \quad (2)$$

Cieľom je určiť vlhkosť dreva aplikáciou sekvencie riešenia:

$$\omega_0 \Rightarrow G \Rightarrow C \Rightarrow \varepsilon \Rightarrow \text{abs.vlhkosť}$$

Hodnotu stratovej vodivosti G vo vzorci (1) je možné určiť:

- z tvaru rezonančnej krivky,
- pomocou meracieho odporu.

Vzhľadom k tomu, že vlhkomer navrhnutý v tejto práci bol riešený s procesorom, bola zvolená metóda pomocou meracieho odporu R_m . Meraním úbytku napätia na odpore R_m je odmeraný prúd do sondy vtedy, keď je táto v rezonancii. Uvedeným spôsobom je možné vypočítať stratový odpor R resp. stratovú vodivosť rezonančného obvodu G .

Zo vzťahu (1) vidieť, že v reálnom rezonančnom obvode stratovou vodivosťou G sa posúva rezonančná frekvencia ω_0 . Pre zložitosť priameho výpočtu kapacity C zo vzťahu (1) sme zvolili iteračnú metódu s využitím vzťahov (1) a (2). Po vypočítaní hodnoty kapacity C zistíme zo známeho vzťahu pre výpočet kapacity kondenzátora, hodnotu relatívnej permitivity drevnej vzorky ε_r .

$$\varepsilon_r = \frac{Cd}{\varepsilon_0 S} \quad (3)$$

kde: S – je aktívna plocha meracieho kondenzátora,

d – hrúbka drevnej vzorky,

ε_0 – permitivita vákua.

Pre známu hodnotu ε_r priradíme pomocou vzťažnej kalibračnej tabuľky zodpovedajúcu hodnotu vlhkosti. Táto hodnota je konečným údajom vlhkomera. Uvedená metóda je pôvodná. Legislatívny proces ochrany pôvodnosti návrhu je v štádiu riešenia.

Táto metóda je nová v tom, že:

- meria parametre R , L , C sondy na vzorke dreva v rezonancii,
- súčasne vyhodnocuje všetky R , L , C parametre sondy.

Jedným z hlavných úloh pri návrhu senzora je jeho čo najpresnejší popis s cieľom optimálneho využitia v praxi. Preto je potrebné matematickým aparátom popísať základnú charakteristiku senzora – jeho prevodovú charakteristiku. Meranie na reálnom senzore ukazuje, že výsledky merania sú zaťažené chybami. Nepoznáme však vždy všetky príčiny nepresností tak, aby sme ich vedeli jednoznačne popísať matematickými funkciami.

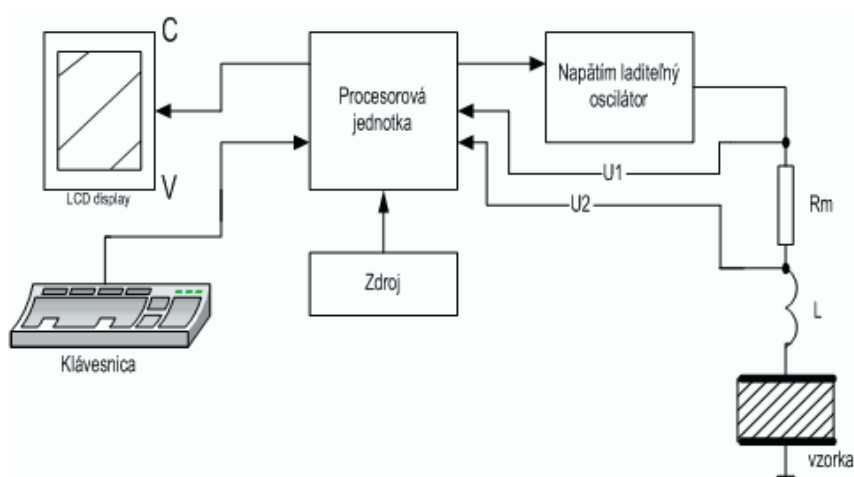
Preto pre prax je vhodnejšie problém riešiť takýmto algoritmom:

- na množine vzoriek drevných materiálov urobiť kalibračné merania funkčných závislostí elektrických parametrov – f_{rez} a R_p resp. R_s na hodnote absolútnej vlhkosti dreva:

kde: f_{rez} – je rezonančná frekvencia senzora,
 R_p – je paralelný stratový odpor senzora,
 R_s – je sériový stratový odpor senzora,

- uplatnením štatistických metód nájsť vhodný model interpolačnej funkcie,
- porovnaním výsledkov funkcií pre rôzne modely vybrať optimálnu funkčnú závislosť,
- implementovať do vyhodnocovacej procesorovej jednotky vybratú funkčnú závislosť vo forme prevodovej tabuľky v zmysle metódy linearizácie číslícovým spracovaním signálu aplikovanej v inteligentných senzoch,
- použitím uvedenej metódy s použitím prevodovej tabuľky určiť hľadanú vlhkosť dreva v meracom systéme pre meranie vlhkosti.

Na uvedených princípoch sme navrhli a zrealizovali merací systém na meranie vlhkosti. Jadrom systému je procesorová jednotka s 2 kanálovým A/D prevodníkom (Obr. 1).



Obr. 1 Bloková schéma systému pre meranie vlhkosti

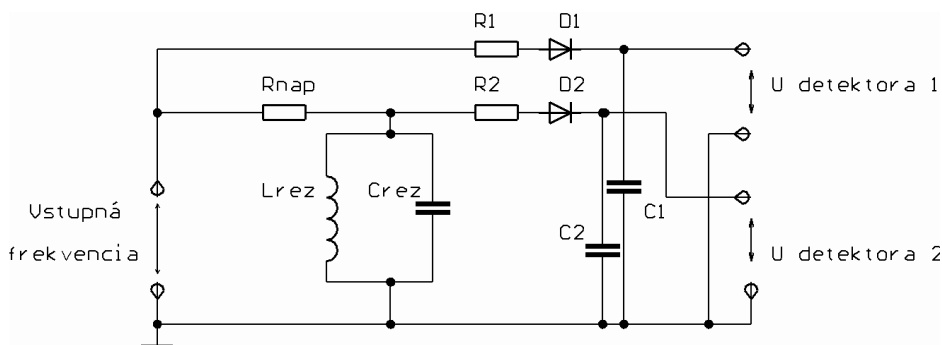
Procesor ovláda napätím laditeľný oscilátor a súčasne vyhodnocuje napätia U_1 a U_2 z meracieho odporu R_m . Preladovaním v pásme sa hľadá rezonančná frekvencia a určia sa charakteristické veličiny rezonančného obvodu. Sonda bola realizovaná ako paralelný rezonančný obvod. Tento spôsob optimalizuje merací obvod pretože parazitné parametre R , L , C prívodného kábla výrazným spôsobom neovplyvňujú metrologické parametre citlivej časti senzora (Obr. 2).

Napätím riadený oscilátor je rozmiestaný v rozsahu 3 až 10 MHz. Uvedené kmitočty boli zvolené pre výber vhodných typov polarizácií drevného materiálu (Požgaj a kol, 1997).

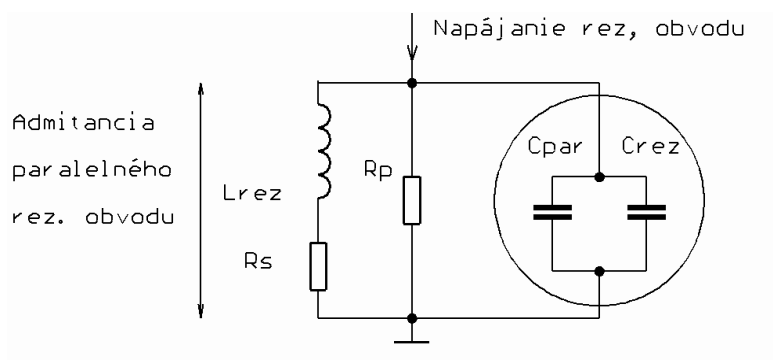
Je známe, že:

- ϵ_r voľnej vody je 80.1,
- ϵ_r viazanej vody je 4.5 až 5.8,
- ϵ_r vody v monomolekulárnej vrstve je 2.5.

Z toho vyplýva, že drevo pod bodom nasýtenia vlákien vodou má nízku hodnotu permitivity, čo spôsobuje nároky na jej meranie. Zvýšením meracej frekvencie nad 1 MHz sme vylúčili najmä migračnú polarizáciu, ktorá síce výrazne vplýva na hodnotu permitivity v dreve, ale prednostne nereprezentuje obsah vody v drevnom materiáli, ale určuje obsah iných chemických látok. Pri návrhu senzora vlhkosti bol navrhnutý nový spôsob merania vlhkosti v dreve. Spomenutý spôsob merania vlhkosti využíva zmenu parametrov odporu a kapacity meracieho rezonančného obvodu vplyvom prítomnosti vody v meranej vzorke dreva. Navrhnutý senzor vlhkosti je koncipovaný ako citlivá časť snímača v rámci návrhu inteligentného senzora. V laboratórnych podmienkach boli vykonané merania na vzorkách dreva, smrek a dub. Sledoval sa vplyv vlhkosti v dreve na zmenu rezonančnej frekvencie a vplyv vlhkosti na veľkosť stratového odporu v meracom paralelnom rezonančnom obvode. Vlhkosť vzorky bola určená váhovou metódou.



Obr. 2 Principiálna elektrická schéma rezonančného senzora vlhkosti



Obr. 3 Schéma rezonančného obvodu so stratovými odpormi cievky a kondenzátora

Pre rezonančný obvod použitý v senzore (Obr. 3) je kapacita zložená a rezonančná frekvencia sa rovná

$$\omega^2 = \frac{1}{L(C_{rez} + C_{par})} \quad (4)$$

kde: C_{par} – je konštanta určená konštrukciou kondenzátora

$$C_{rez} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d} = \varepsilon_r K_0 \quad \text{sa mení vplyvom vlhkosti materiálu,} \quad (5)$$

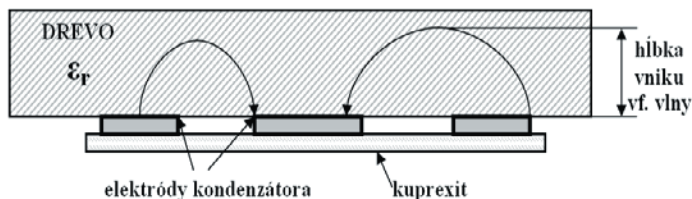
$$K_0 = \varepsilon_0 \frac{S}{d} \quad \text{– je konštrukčná konštanta pre doskový kondenzátor} \quad (6)$$

potom pre permitivitu dielektrika kondenzátora platí:

$$\varepsilon_r = \frac{1 - \omega^2 L C_{par}}{\omega^2 L K_0} \quad (7)$$

Uvádzaný vzťah umožňuje určovať typ meraného materiálu odmeraním jeho permittivity.

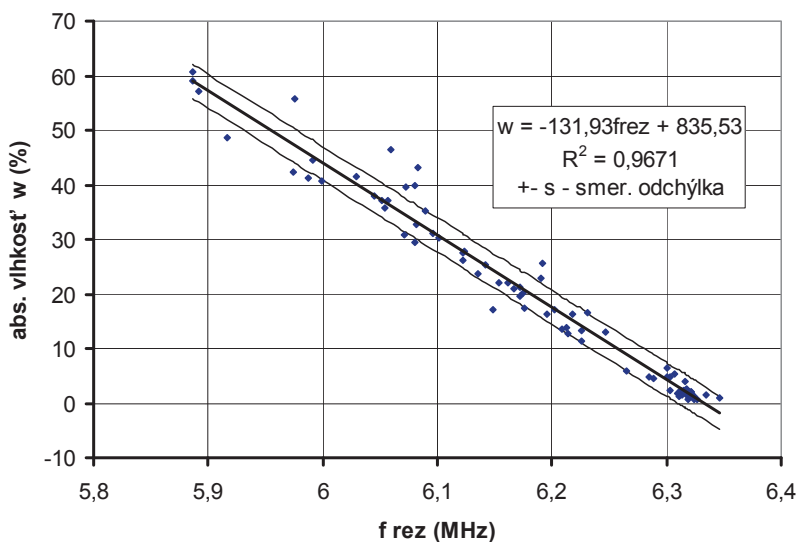
Pre aplikáciu v senzore vlhkosti druhého typu bol použitý merací kondenzátor s otvoreným elektrickým poľom. Elektrody kondenzátora tvoria sústredné kružnice vodivých kovových polepov na kuprexitovej doske plošných spojov (Obr. 4). Radiálna vzdialenosť kružníc, (polepov kondenzátora) určuje hĺbku vniku vysokofrekvenčnej vlny do meraného materiálu.



Obr. 4 Kondenzátor senzora s otvoreným elektrickým poľom

Kalibračné meranie na drevine smrek a dub

Pre vyhodnotenie kalibračných meraní boli použité štandardné štatistické metódy a programy Excel a Štatistika a Matlab. Boli hľadané vhodné modely pre aproximačnú funkciu. Pre závislosť f_{rez} na absolútnej vlhkosti vzorky bol použitý model lineárnej funkcie.



Obr. 5 Smrek – vlhkosť w/f_{rez}

Tab. 1 Presnosť použitej metódy merania pri kalibrácii senzora

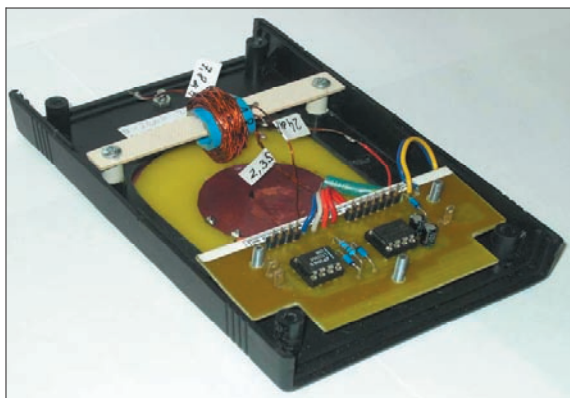
Meracia metóda	Presnosť v (%) pre merací rozsah 10–60 % w	Štandardná neistota
Smrek – f rez	1,43	0,35
Dub. – f rez	1,21	0,22
Smrek – Rp, model č. 2	12,32	0,67
Dub. – Rp, model č. 3	4,23	0,32
Spolu smrek, dub – f rez (0 – BNV)	2,93	0,52

Závery pre realizáciu v spoločenskej praxi a pre ďalší rozvoj vednej disciplíny

Kalibračné merania boli realizované na drevine buk a dub. Orientačne boli odmerané aj kompozitné drevné materiály. Pre vyhodnotenie nameraných súborov štatistickou metódou bolo použitých niekoľko interpolačných modelov.

Zistilo sa, že pre funkčnú závislosť rezonančnej frekvencie na vlhkosti a tiež závislosť stratového odporu rezonančného obvodu na vlhkosti nie je vhodné aproximovať metódou splajnov, pretože splajny sú vhodné pre nemonotónne a obecné nelineárne funkcie, čo namerané závislosti nie sú.

Odmerané kalibračné závislosti rezonančnej frekvencie na danej vlhkosti materiálu ukázali, že spôsob merania rezonančnou metódou je presný s presnosťou niekoľkých percent. Jeho presnosť je porovnateľná s presnosťou komerčne vyrábaných vlhkomerov. Nutným predpokladom je splnenie požiadavky, aby v danom meracom systéme bol dostatočne presný zdroj žiadanej frekvencie. Ak sa zohľadňuje typ dreviny (meraného materiálu), potom sa zvyšuje presnosť merania na 1 až 1,5 %. Zistené presnosti meraní na kalibračných súboroch dávajú nádej, že tieto nové možnosti sa v praxi ukážu ako relevantné. Je potrebné pokračovať v overovacích meraniach. Ak by tento fakt bol reálne dokázaný pri veľkom súbore meraní na rôznych materiáloch, bol by to vynikajúci prínos pre meranie vlhkosti drevných materiálov.



Obr. 8 Celkový pohľad na citlivú časť rezonančného senzora vlhkosti

V ďalšej časti boli vyhodnocované kalibračné súbory stratového odporu rezonančného obvodu R_p na vlhkosti vzoriek. Pre parameter stratový odpor R_p na absolútnej vlhkosti vzorky boli použité tri modely funkcií:

- polynomická
- exponenciálna
- mocninová

Výsledky neukázali výrazný rozdiel vo vlastnostiach modelov. Obecne tvarom funkčnej závislosti pripomínajú závislosť odporu dreva v obvode jednosmerného prúdu. Závislosť strát na vlhkosti je výrazne nelineárna, menej presná ako závislosť rezonančnej frekvencie na vlhkosti. Je možné tvrdiť, že pre aplikáciu v praxi je vhodnejšie použiť závislosť rezonančnej frekvencie na vlhkosti, lebo táto závislosť je lineárna a presnejšia ako závislosť stratového odporu na vlhkosti dreva, ktorý zaostáva za lineárnym frekvenčným modelom merania.

Merací systém konštruovaný na uvedených princípoch je vhodný na rýchle a presné meranie vlhkosti dreva priamo v prevádzke. Sonda nevyžaduje dokonalý kontakt s drevom. Metóda je nedeštruktívna. Tento typ meracieho systému na meranie vlhkosti môže byť použitý na zisťovanie vlhkosti dreva nielen priamo v stolárskej výrobe, ale aj v sušiarňach reziva. Podľa typu sondy je možné merať aj vlhkosť reziva na páse. Skúšobne sme merali nielen vlhkosť v objeme dreva, ale aj na povrchu, čo vyžadovalo zmenu typu sondy. Pri meraní vlhkosti sypkých materiálov (štiepka, drevovláknó) sa vyžaduje konštantné stlačenie materiálu.

Výsledky práce je možné ich použiť pri návrhoch algoritmov merania klimatických parametrov v drevospracujúcom priemysle.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- Aproximačné a interpolačné čiary: www.km.sjf.stuba.sk/Geometria/prednaska4.htm
- BAHÝL, V.: Tomography of the internal structure of wood. in Wood Structure and Properties, eds. Kuriatko, S. – Kúdela, J. Arbora Publishers, Zvolen 1998, s. 55–58
- BAHÝL, V.: Tomograf pre skúmanie vnútorných štruktúr dreva a plastov. In zborník Defektoskopia 2003, 23.–25. 4. 2003, Tatranská Štrba, 7–14
- BAHÝL, V.: Počítačový tomograf ako učebná pomôcka. In zborník 13. konferencia slovenských fyzikov, Smolenice 25.–28. 8. 2003, 119–121
- BIOLEK, D.: Řešíme elektronické obvody, BEN Praha 2004, ISBN 80-7300-125-X
- ČERMÁK, J.: Kurs polovodičové techniky, SNTL, Praha 1976.
- Diplomová práce : http://lubovo.misto.cz/_MAIL_/curves/obsah.html
- ĎAĎO, S. KREIDL, M.: Senzory a měřicí obvody. ČVUT, Praha 1996
- CHUDÝ, V. PALENČÁR, R. KUREKOVÁ, E. HALAJ, M.: Meranie technických veličín, STU Bratislava 1999, ISBN 80-227-1275-2
- IŽDINSKÝ, J. ŠTEFKA, V.: Priebeh teploty v trieskovom koberci počas lisovania pri teplotách 190, 200 a 210 °C s chladením v lise. In Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva 2008 : VI. Medzinárodná vedecká konferencia, 11.–13. September 2008 Hotel Thermal, Štúrovo. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene. 2008. s. 341–346. ISBN 978-80-228-1913-8
- KLEMENTIEV, I. KYŠKA, R.: Elektrické meranie mechanických veličín. Alfa, Bratislava 1990
- Krivky v počítačové grafice: <http://mdg.vsb.cz/jdolezal/Pgrafika/Prednaska/Krivky.html>

- KÜHNE, G. BELIMOV, V.: Ein Beitrag zur Analyse des Heißpressvorgangs dreischichtiger Möbelspanplatten II. Holzindustrie 1978, 42, s. 50–52
- LÁNÍČEK, R.: Elektronika, BEN Praha 2000, ISBN 80-86056-25-2
- LÁNÍČEK, R.: Elektronika, BEN, Praha 1998
- MAKOVÍNÝ, I.: Metódy merania vlhkosti dreva, Zborník prednášok „Meranie vlhkosti dreva“, Zvolen 1999
- MAREK, M. SCHREIBER, I.: Chaotic Behaviour of Deterministic Dissipative Systems, Academia, Praha 1991
- NAŠČÁK, L. ŠTEFKA, V. SPODNIÁK, P.: Meranie fyzikálnych veličín v trieskovom koberci počas lisovania trieskových dosák. Drevo 53, 1998, 7-8, s. 162–164
- Polynómy ako aproximujúce funkcie: <http://math.chytrak.cz/math/polynomy/uvod.html>
- PALENČÁR, R. RUIZ, J. M. JANIGA, I. HORNÍKOVÁ, A.: Štatistické metódy v metrologických a skúšobných laboratóriách, Grafické štúdio Ing. Peter Juriga, Bratislava 2001, ISBN 80-968449-3-8
- POŽGAJ, A. CHOVANEC, D. KURJATKO, S. BABIAK, M.: Štruktúra a vlastnosti dreva, Príroda, Bratislava 1997, ISBN 80-07-00960-4
- SIAU, J. F.: Transport processes in wood. 2. Ed. Berlin; Heidelberg; New York; Tokio: Springer – Verlag, 1984, 245 s.
- SKÁKALA, J.: Všeobecná metrológia, SVŠT Bratislava, Bratislava 1990
- SMÍTALOVÁ, K. ŠUJAN, Š.: Dynamické modely biologických spoločenstiev, VEDA, Bratislava 1989, ISBN 80-224-0033-5
- Splajny a NURBS: www.fi.muni.cz/~sochor/PB009
- SPLINE Interpolation and Approximation of Data:
www.csit.fsu.edu/~burkhardt/m_src/spline/spline.html
- SPODNIÁK, P. ŠURIANSKÝ, J. ŠTEFKA, V. NAŠČÁK, L. SPODNIÁK, P.: Aplikácia inteligentných senzorov v hydrotermických procesoch dreva. Zborník prednášok z konferencie „Nové smery v spracovaní signálov“ VI. Vojenská akadémia Liptovský Mikuláš, 24.–26. 4. 2002, s. 83–86, ISBN 80-8040-180-2.
- SPODNIÁK, P. PANČÍK, J. SPODNIÁK, P.: Aproximácia prevodovej charakteristiky senzora vlhkosti splajnovou funkciou, http://dsp.vscht.cz/konference_matlab/matlab05/prispevky/spodniak/spodniak.pdf
- ŠTEFKA, V. KÜHNE, G. MIKULA, M.: Modifikovaný proces lisovania trieskových dosák pri vyššej vlhkosti povrchových triesok. Zborník prednášok z Medzinárodnej vedeckej konferencie: technológie spracovania dreva. TU Zvolen, 10.–11. september 2002, s. 209–217. ISBN 80-228-1158-0
- ŠTEFKA, V. SPODNIÁK, P. MIKULA, M.: Meranie teploty a vlhkosti v trieskovom koberci počas lisovania. Zborník prednášok z IV. Medzinárodného sympózia: Vybrané procesy pri spracovaní dreva, Bystrá, 4.–6. september 2002, s. 47, ISBN 80-228-1166-1
- ŠTEFKA, V. SPODNIÁK, P. MIKULA, M.: Hydrotermické pomery v trieskovom koberci počas lisovania a ich skúmanie. Zborník prednášok z III. Medzinárodnej vedeckej konferencie: Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva. Starý Smokovec, 17.–19. október 2002, s. 339–346, ISBN 80-228-1190-4
- TIRPÁK, A.: Elektromagnetizmus, Bratislava 2004, ISBN 80-88780-26-8

Kontaktná adresa:

Ing. Pavel Spodniak

Katedra informatiky a automatizačnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 96053 Zvolen

prof. Ing. Jozef Šuriansky, CSc.

Katedra informatiky a automatizačnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,
Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 96053 Zvolen

MERANIE ROZMERU FRAKČNÝCH ČASTÍC SNÍMANÝCH POMOCOU LINEÁRNEJ CCD KAMERY

MEASUREMENT OF THE DIMENSION OF SCANING FRACTION PARTICLES BY LINEAR CCD CAMERA

Ľubomír NAŠČÁK – Pavel KEĽOV

ABSTRACT: The topic of the article is a brief description of the linear CCD camera, a description of the measuring system for measuring of the particles formed during chip woodworking. The next section describes the algorithm for the analysis in development environment of NI Vision Builder from National Instruments, the conclusion describes calibration of the measuring system

Key words: image analysis, CCD camera, Fraction particles

ABSTRAKT: Témou článku je stručný popis lineárnej CCD kamery, popis meracieho systému pre meranie frakčných častíc vznikajúcich pri trieskovom obrábaní dreva. V ďalšej časti je uvedený algoritmus analýzy vo vývojovom prostredí NI Vision Builder od firmy National Instruments, v závere je uvedená kalibrácia meracieho systému.

Kľúčové slová: Frakčné častice, analýza obrazu, CCD kamera

1. ÚVOD

V súčasnej dobe sa v priemysle používa elektronika, ktorá umožňuje zvýšenie produkcie, ale aj skvalitnenie pracovných podmienok. Rastúci výkon priemyselných počítačov otvára aj nové možnosti nasadenia automatizovaných systémov tam, kde to predtým nebolo mysliteľné. Počítače a senzory postupne nahrádzajú vo výrobných procesoch ľudské zmysly a umožňujú tak dosiahnuť vyššiu presnosť a spoľahlivosť. V posledných rokoch sa dostáva do popredia integrácia kamerových systémov do automatických systémov kontroly výrobkov, ich počítanie, meranie rozmerov, uhlov, orientácia, detekcia hrán, detekcia prítomnosti a neprítomnosti objektov, a mnoho ďalších úkonov, ktoré predtým musel robiť človek spoliehajúci sa na svoj zrak. Avšak tento hardvér by bol nepoužiteľný bez vhodného softvéru. Na trhu existuje množstvo softvérových produktov umožňujúce analýzu a meranie častíc. Ako najvýhodnejšie riešenie sa ponúka použitie profesionálnych programov s možnosťou vlastnej tvorby aplikačného programu pomocou hotových programových knižníc, čím vlastne máme zaručené, že základné metódy spracovania

obrazu, ktoré produkt poskytuje, budú spoľahlivo pracovať a na druhej strane nie sme nijak obmedzení vo vytváraní našich vlastných algoritmov podľa potreby projektu, na ktorom pracujeme. Cieľom tejto práce je overiť možnosti využitia lineárnej kamery v procese merania častíc, ktoré vznikajú pri trieskovom obrábaní dreva.

2. MATERIÁLY A METODOLÓGIA

2.1 Lineárna CCD kamera

Kamera Spyder3 GigE je prvou kamerou firmy DALSA s GigE rozhraním, ktoré umožňuje kameru pripojiť do siete ethernet a ovládať ju aj na veľké vzdialenosti v reálnom čase. S rozhraním GigE nie je potrebné používať pre spracovanie toku dát z kamery prídavnú PC kartu – frame grabber (zachytávač snímku), pretože tento je už súčasťou tejto kamery a obrazové dáta sú posielané prostredníctvom tohto rozhrania. Vďaka tomu, že kamera v sebe obsahuje frame grabber sa výrazne znížili náklady na systém. Kamera Spyder3 GigE je prvou dvojriadkovou lineárnou snímacou kamerou, ktorá môže pracovať v jednom z troch snímacích režimov. Pri prevádzke kamery v režime s vysokým rozlíšením má kamera Spyder3 trojnásobne väčšiu citlivosť ako jej predchodkyňa lineárna kamera Spyder2.

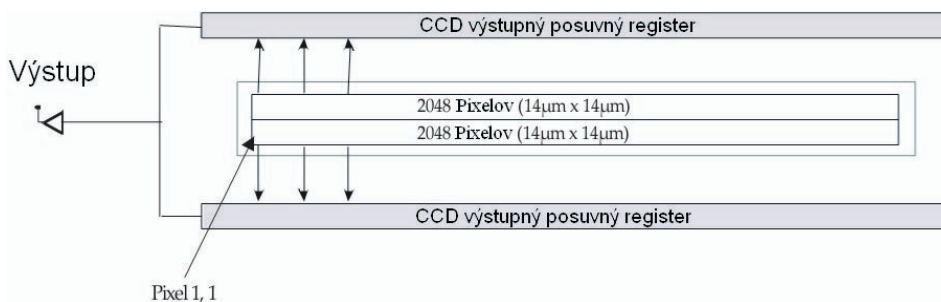
Prostredníctvom jednoduchého grafického užívateľského prostredia QuickCam je možné nastavovať:

- rýchlosť sériového rozhrania (9600, 19200, 57600, 115200 baud),
- analógové a digitálne zosilnenie, offset, dobu expozície a frekvenciu snímania riadku, možnosť riadenia na diaľku, testovací vzorový výstup a diagnostiku kamery,
- režim citlivosti snímania:
 - režim veľkého obrazového bodu,
 - režim vysokej citlivosti,
 - režim nízkej citlivosti,
- korekciu poľa – minimalizáciu vinetácie šošoviek, nehomogénnosti osvetlenia a možnosť automatického nastavenia filtrov FPN (Fixed Pattern Noise) a PRNU (Photo-Response Non-Uniformity).

Kamera Spyder3 GigE je vybavená troma druhmi konektorov, prostredníctvom, ktorých je napájaná a komunikuje s PC:

- konektor RJ-45 pre sériovú komunikáciu,
- konektor Hirose HR10A-7P-6S pre napájanie jednosmerným napätím $+12\pm 15$ V,
- konektor d-SUB Canon 15 je všeobecný vstupno/výstupný GPIO konektor.

Kamera DALSA využíva dvojriadkový lineárny skenovací CCD senzor. Kamera môže pracovať v jednom z troch režimov citlivosti a to v režime vysokej citlivosti, režime nízkej citlivosti, alebo v režime veľkého bodu. Pre všetky tri spomínané režimy je možné nastaviť režim pohybu objektov pred objektívom kamery dopredu alebo dozadu.

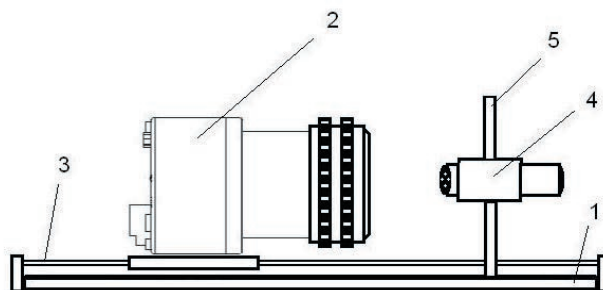


Obr. 1 Princíp výstupu dvojriadkového CCD senzoru

Kamera Spyder3 GigE pracuje výlučne so sieťovými adaptérmí postavenými na sieťových čipoch Intel 82546, 82541 a 82540. Taktiež funguje aj na sieťových kartách osadených čipom Intel 82544, ale tieto sa nedoporučujú kvôli častým stratám kontrolných balíkov, posielajúcich počas prúdenia toku dát. Ethernetový prepojovalč (switch) je možné použiť v prípade, že sa zapája viac ako jedna kamera na jednu sieť, alebo vzdialenosť počítača od kamery je viac ako 100 metrov. Kamera Spyder3 komunikuje v sieti pomocou internetových protokolov a pracuje zo všetkými štandardnými prepojovalčmi.

2.2 Merací systém s lineárnou CCD kamerou

Merací systém pozostáva z dvoch zdrojov svetla, ktorými sú lineárne lasery a zo samotnej kamery Spyder3 GigE model SG 10-02K40 (obr. 2).



Obr. 2 Realizácia meracieho systému

Návrh snímacieho zariadenia je riešený spôsobom, ktorý umožňuje pohyb lineárnej kamery Spyder3 GigE 2 smerom k snímanému objektu, alebo od snímaného objektu. Tento pohyb umožňuje suport pohybujúci sa po vodiacich tyčkách 3, ktoré sú pripevnené k základnej doske 1 a na, ktorý je pripevnená lineárna kamera Spyder3. Na základnej doske sú uchytané statívy 5 pre laserové zdroje svetla 4, ktoré slúžia na osvetľovanie snímaných častíc alebo predmetov.

Samotné meranie je realizované tak, že merané častice padajú pomocou vibračného dopravníka popred objektív kamery (nie je zobrazený na obrázku). Tieto častice sú

osvetľované lineárnymi lasermi, ktoré sú umiestnené za kamerou. Keďže lasery sú umiestnené vo výške osi objektívu k osvetľeniu meranej častice dochádza práve keď sa nachádza v tomto mieste (snímaný je vlastne odraz svetla od častice).

Pre naše potreby sme sa rozhodli pre programové riešenie National Instruments NI Vision Builder a viaceré výhody ktoré toto prostredie ponúka

- Je to softvérové riešenie strednej kategórie, čiže máme k dispozícii niekoľko vstupných filtrov a metód, ktoré sú vyladené a spoľahlivé, ale nie sme obmedzovaní pri tvorbe vlastného algoritmu pomocou dostupných modulov.
- Jednotlivé moduly sú plne parametrizované a nastaviteľné podľa potreby, čím môžeme dosiahnuť niekoľko násobného rozvetvenia analýzy v hociktorej časti algoritmu.
- V reálnom prostredí je niekedy ťažko zabezpečiť ideálne podmienky potrebné pre analýzu obrazu (nedostatočné osvetlenie a pod.). NI Vision Builder je softvérovo schopný spracovať a upraviť vstupný obraz do potrebnej kvality pred každou analýzou, čiže algoritmus, ktorý vytvoríme, je adaptabilný na pracovné podmienky, v ktorých bude analýza prebiehať.
- Keďže NI Vision builder je vývojové prostredie písané v programovacom jazyku C++, môžeme podľa potreby preprogramovať existujúce moduly, poprípade ich doplniť o nové časti.
- NI Vision Builder nie je určený len na meranie a analýzu frakčných častíc, ale aj na iné problematiky súvisiace s potrebou analyzovať a spracovať obraz, ako napr. detekcia objektov v obraze podľa farby, tvaru, veľkosti atď.

2.3 Algoritmus analýzy frakčných častíc

Častice, ktoré sme získali s procesu obrábania dreva (jedná so o piliny, ktoré vznikajú pri pílení dreva na kotúčovej pile) sme nijako neselektovali, preto je potrebné pred samotnou analýzou častíc vykonať elimináciu týchto nežiaducich častíc ako napr. prach. Na to sme vytvorili algoritmus predspracovania snímku, ktorý odstraňuje tieto nežiaduce javy.

Algoritmus predspracovania snímku pred analýzou, ktorý nám umožní takéto filtrovanie uskutočniť. Samotný algoritmus je zložený z niekoľkých po sebe idúcich krokov.

1. Extrahovanie červenej zložky svetla (vybratie červenej zložky svetelného spektra kvôli ďalšiemu spracovaniu vznikne 8 bitový obrázok)
2. Úprava jasu (zosvetlenie jednotlivých častíc na danej snímke)
3. Prahovanie (thresholding)
4. Filtrácia nežiaducich častíc v obraze (odstránenie častíc ktoré nepotrebujeme analyzovať ako napr. prach a pod.)
5. Binarizácia (prevedenie 8 bitovej snímky na binárnu)

Jednotlivé moduly priamo vplyvajú na tvorbu algoritmu predspracovania snímku pred analýzou. Výstup každého modulu je zároveň vstupom nasledujúceho, čím je zabezpečená postupnosť operácií.



Obr. 3 Algoritmus predspracovania

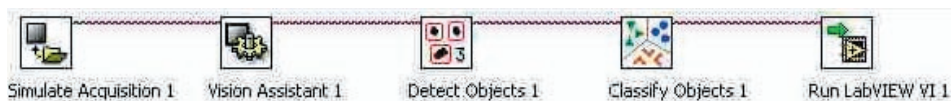
Na vstupe máme snímku (obr. 4a), ktorú chceme spracovať. Keďže kamera ukladá čiernobiele obrázky vo formáte RGB preto je potrebné extrahovať jednu z týchto zložiek. My sme vybrali červenú a to preto, lebo kamera DALSA má podľa charakteristiky snímacieho CCD prvku najväčšiu citlivosť práve na červený zložku svetla. Po extrahácii červenej zložky dochádza k úprave jasu potom k prahovaniu a k odstráneniu nežiaducich častíc. Ako posledná operácia predspracovania je zaradená binarizácia. (obr. 4b).



Obr. 4 vstupný a výstupný obrázok predspracovania

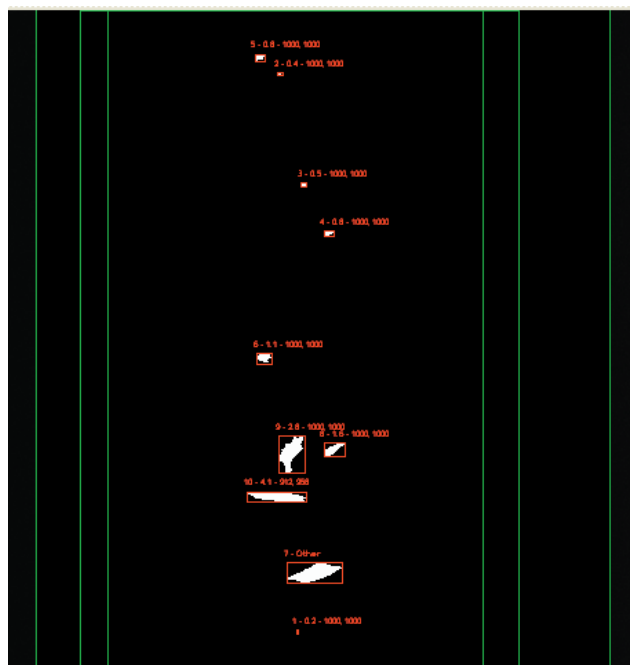
Druhým algoritmom, ktorý nasleduje, je algoritmus detekcie frakčných častíc. Tento algoritmus sa priamo podieľa na analýze frakčných častíc. Je zložený s piatich za sebou nasledujúcich krokov (modulov) (Obr. 5).

1. Načítanie obrázku
2. Predspracovanie obrázku (vykonajú sa kroky popísané vyššie vid' obr. 3)
3. Detekcia častíc (detekcia častíc na základe jasu)
4. Klasifikácia častíc (určenie rozmeru danej častice na základe porovnania vzoriek uložených v pamäti personálneho počítača)
5. Zobrazenie histogramu

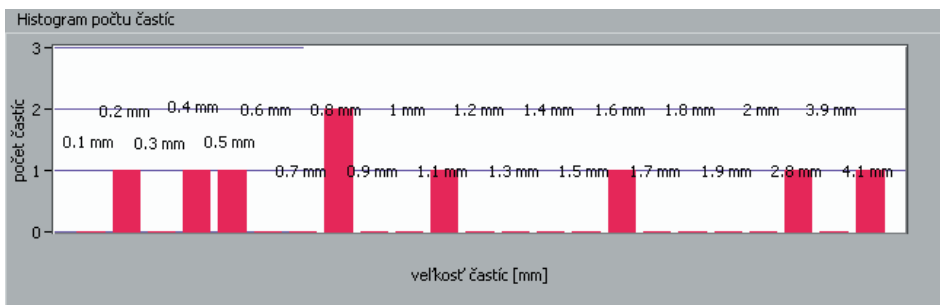


Obr. 5 Algoritmus vyhodnotenia

Po načítaní príslušnej snímky nasleduje už spomenutá operácia predspracovania. po tejto operácii nasleduje ďalší modul, ktorý nám detekuje samotné častice detekcia častice sa prejaví jej ohraničením. Po detekcii nasleduje modul klasifikácie častíc. Veľkosť častice sa určí tak, že sa porovnáva detekovaná častica so súborom častíc, ktoré boli predtým uložené do pamäti počítača a na základe toho porovnania sa priradí príslušná veľkosť detegovanej častice. Výsledná snímka je zobrazená na Obr.6. Posledný modul nám zobrazí samotný histogram zastúpenia jednotlivých veľkosti frakcií. Aplikácia histogramu, ktorá zobrazuje počet a veľkosť jednotlivých častíc je vytvorená v prostredí LabView a je len spustená v programe Vision Builder Obr. 7.



Obr. 6 Výstupný obrázok po detekcii a klasifikácii častíc



Obr. 7 Histogram počtu častíc

3. VYHODNOTENIE SKUTOČNEJ VEĽKOSTI ČASTICE

Vzhľadom k tomu, že sa jedná o lineárnu kameru meranie rozmerov je možné len v jednom smere. Druhý rozmer závisí od rýchlosti padania častice popred objektív a rýchlosti snímania. Rýchlosť padania častice je možné vypočítať pomocou vzťahu pre pádovú rýchlosť častice v gravitačnom poli.

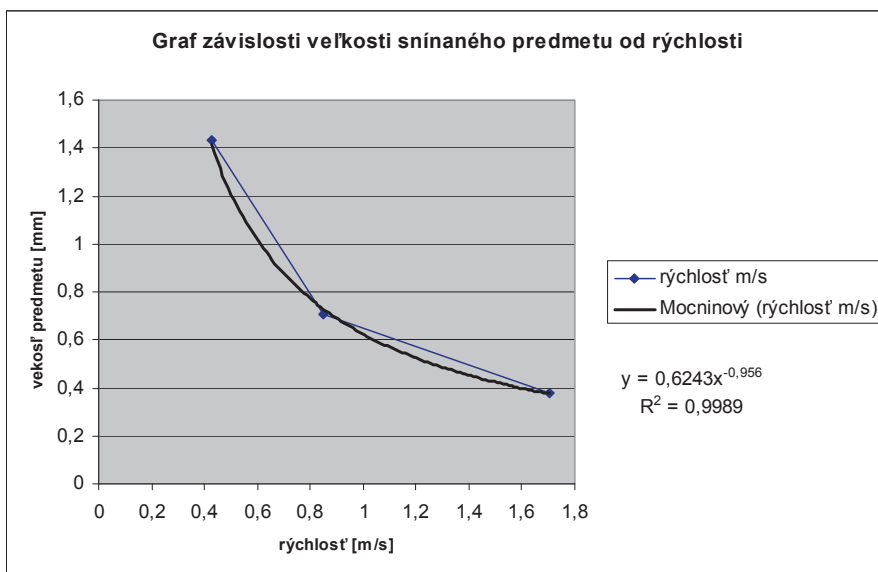
$$u_p = \frac{4a(\rho_m - \rho) \cdot g}{3C_x \rho} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1)$$

kde a – je rozmer častice
 ρ_m – hustota častíc
 ρ – hustota prostredia
 g – gravitačné zrýchlenie
 C_x – súčiniteľ odporu

Druhý rozmer meranej častice sme získali experimentálne a to pomocou rotujúceho valca na ktorom bol pripevnený odrazový prvok definovaného rozmeru. Valec bol pripevnený na hriadeli jednosmerného motora, ktorý má PWM reguláciu otáčok. Týmto spôsobom sme zistili aká veľkosť obrazu odpovedá skutočnej veľkosti predmetu. Výsledky, ktoré sme získali pri zisťovaní skutočnej veľkosti sme zapísali do tabuľky č. 1. Jedná sa o snímání prvku o rozmere 1 mm pri rôznych otáčkach a pri snímacej frekvencii 100 μs . Závislosť veľkosti častice od rýchlosti pohybu pred objektívom kamery je zobrazená v grafe č. 1.

Tabuľka č. 1 nameraných hodnôt

čas 100μs			
veľkosť [mm]	1,43	0,71	0,38
veľkosť v pixeloch	30	15	8
otáčky [1/min]	85,5	171	342
rýchlosť [m/s]	0,4257	0,8515	1,703
absolútna chyba [mm]	1,4123	0,728	0,3753
max. relatívna chyba [%]	1,4265		



Graf č. 1

Ako je zrejmé z grafu pri tomto nastavení kamery a rýchlosti pohybu je zobrazovaná častica menšia ako v skutočnosti. Z grafu č. 1 sme zistili rovnicu regresie pomocou, ktorej sme vypočítali skutočnú veľkosť nameraných častíc. Tieto hodnoty sú zapísané v tabuľke č. 2.

Tabuľka č. 2

nameraná veľkosť [mm]	0,2	0,4	0,5	0,8	1,1	1,6	2	4,1
skutočná veľkosť [mm]	0,49	0,69	0,79	1,09	1,39	1,89	2,29	4,39

4. ZÁVER

Spôsob detekcie a analyzovanie častíc, ktoré je sme uviedli dokazuje možnosti využitia softvérových produktov pri tvorbe vhodného algoritmu pri predspracovaní a analýze obrazu. Vytvorený algoritmus je možné prekonfigurovať podľa požiadaviek konkrétnej analýzy. Po zahrnutí závislosti veľkosti zobrazovanej častice na rýchlosti do algoritmu by bolo možné priame vyhodnotenie skutočnej veľkosti.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] NAŠČÁK Ľ, KEĽOV P, 2008, Metódy a spracovanie údajov z lineárnej CCD-kamery Dalsa, Nové smery v spracovaní signálov IX medzinárodná vedecká konferencia, Tatranské Zruby, 28.–30. 5. 2008, ISBN 978-808040-344-7

- [2] DZURENDA L, 2007 Sypká drewná hmota, vzduchotechnická doprava a odlučovanie, Technická univerzita vo Zvolene, 2007. – 181 s., ISBN 978-80-228-1765-3
- [3] Manuál, NI Vision Builder www.visionbuilder.no
- [4] elektronický manuál k softvéru LabView

Kontaktná adresa:

doc. Ing. Ľubomír Naščák, CSc., Ing. Pavel Keřov

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

FREKVENČNÝ PRENOS RAMENA NEKONVENČNÉHO NAVIJAKA

A FREQUENCY RESPONSE OF THE BRACKET OF THE UNCONVENTIONAL WINCH

Branislav DANKO – Juraj TUHÁRSKY – Martin REMPER

ABSTRACT: The goal of the paper presents the MSS technology of virtual prototyping with computer support in the frequency area. With the view MSS and CAD technologies were simulated the frequency analysis of the bracket of the unconventional winch. The bracket has been loading of the maximum forces in space by a technological operation – skidding of the wood mass, within the range from 0 to 25 kN. The paper includes the dynamic model of the unconventional winch, created joints, inputs and outputs channels, the rigid and flexible structure of the object, etc. The target this paper is analyse with the view a module “Vibration” on the change a material structure and the bracket support. The results of simulate frequency analyse are presented out in the transparent graphs with the module PostProcessor by software MSC.ADAMS.

Key words: the frequency response, the vibration, the unconventional winch, the virtual simulation

ABSTRAKT: Príspevok prezentuje uplatnenie MSS technológie (anglicky: Multibody System Simulation) virtuálneho prototypu s počítačovou podporou simulácie vo frekvenčnej oblasti. Pomocou CAD a MSS technológií boli simulované frekvenčné analýzy, resp. odozvy ramena nekonvenčného navijaka. Rameno bolo zaťažované maximálnymi vonkajšími silami od technologickej činnosti – približovania kmeňa, v rozsahu od 0 do 25 kN. Súčasťou príspevku je dynamický model ramena navijaka, vytvorenie vstupných a výstupných kanálov, nedeformovateľného a poddajného objektu, simulačného skriptu, grafických a tabuľkových výstupov pre hodnotenie, atď. Cieľom práce sú frekvenčné odozvy a analýzy na zmenu materiálu a uloženie ramena pomocou modulu „Vibration“. Výsledky sú prezentované tabuľkovou formou a grafickými charakteristikami v module „PostProcessor“ softvéru MSC.ADAMS.

Kľúčové slová: frekvenčná odozva, kmitanie, nekonvenčný navijak, virtuálna simulácia

1. ÚVOD

Koncepčné riešenie pohonu nekonvenčného navijaka vychádza z priameho pohonu hlavných navijacích bubnov kolesami hnacej nápravy traktora, ktoré sú pri práci lanovky zdvihnuté nad terénom tak, aby sa mohli voľne otáčať. Hlavnou prednosťou tohto riešenia

pred existujúcimi konvenčnými riešeniami je fakt, že medzi pohonom traktora a navijacími bubnami sa využijú prevody základného stroja. Princíp tohto zariadenia je chránený patentom číslo 280350. Čiastkové riešenia a napäťovo deformačnej analýzy boli už ostatne vykonané aj v rámci riešenia grantovej úlohy VEGA MŠSR č. 1/0221/08 „Výskum nových pracovných princípov lesníckych lanoviek“.

Únavové poškodenie súčiastok strojov spôsobuje premenlivé dynamické zaťaženie súvisiace s kmitaním. Aj malá teplotná zmena vyvoláva zmeny napätia v zdanlivo nehybnej konštrukcii. Z dlhých časových priebehov náhodného kmitania je náročné zistenie charakteristických vlastností s posúdením vplyvu na viazané telesá. Preto kmitanie od budenia – zaťaženia štatisticky spracovávame a pretransformujeme do časovej frekvenčnej oblasti.

Z dôvodu dynamickej životnosti a pevnosti, resp. únavy jednotlivých uzlov, napríklad hnací hriadeľ pohonu, uloženia hriadeľov, jednotlivé konštrukčné uzly je potrebné sledovať a analyzovať frekvenčné prenosy, resp. odozvy. Teda frekvenčnou analýzou vytvoriť vstupné dáta pre konečné zhodnotenie z pohľadu únavovej pevnosti a životnosti daného konštrukčného uzla alebo stroja.

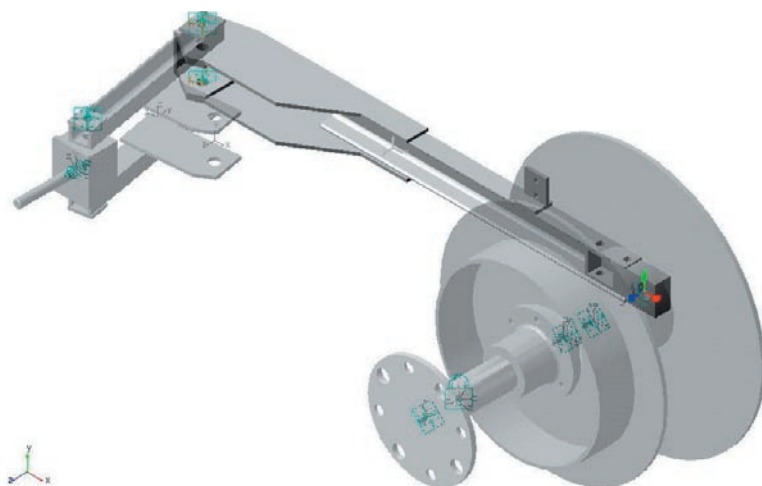
Cieľom príspevku sú simulované frekvenčné analýzy – odozvy rámu skúmaného konštrukčného uzla nekonvenčného navijaka v porovnaní tuhých a poddajných telies, pri zmene materiálu a pri zmene uloženia – väzieb. Súčasťou sú výsledky v grafickej a tabuľkovej podobe a celkové zhodnotenie. Taktiež cieľom je poukázať na využiteľnosť počítačovej podpory a kompatibility technológií: CAD a MSS pri simulovaných frekvenčných analýzach konštrukcie rámu navijaka.

2. MATERIÁL A METODIKA

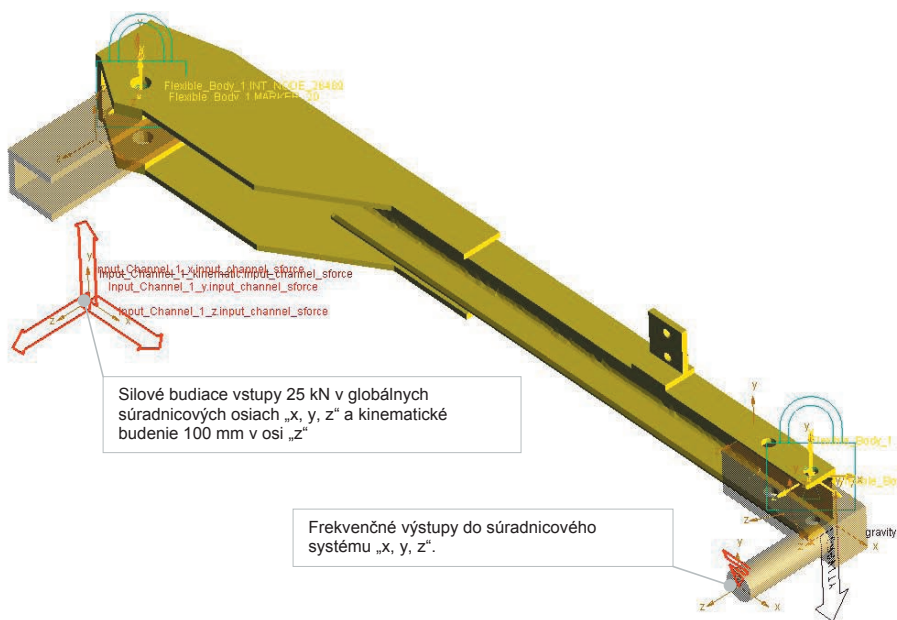
Model ramena nekonvenčného navijaka pre traktorový lanový systém vidíme na obrázku 1.

Pre analýzu simulovanej frekvenčnej odozvy bola zvolená pracovná poloha rámu, pri ktorej dochádza k maximálnemu zaťaženiu technologickými operáciami – ťahanie, približovanie kmeňov. Vstupné a výstupné miesto skúmaných analýz vidíme na obrázku 2.

Virtuálny prototyp ramena navijaka (pozri obrázok 1) bol parametricky namodelovaný v grafickom softvéri ProEngineer a importovaný vo formáte „parasolid“ do prostredia MSS technológie – softvéru MSC.ADAMS. Pri vykonaných výpočtoch, simuláciách a analýzach boli použité moduly: A/View, A/AutoFlex, A/Vibration, z ktorých boli vykonané grafické výstupy v module A/PostProcessor, resp. a výstupy v tabuľkovej forme. Výpočty prebehli pomocou algoritmov a riešičov v module A/Solver s využitím programovacích jazykov Fortran a C++.



Obrázok 1



Obrázok 2

2.1 Určenie vlastnej frekvencie ramena

Vlastné frekvencie poddajného telesa viazaného na rám boli vykonané v module ADAMS/Linear na verifikáciu korektnosti importu poddajného telesa z prostredia FEA

a stanovenie relevantných vlastných tvarov pre ADAMS/View. Úspešnosť dynamickej simulácie poddajného telesa závisí aj od správneho nastavenia jeho modálneho tlmenia, ktoré je štandardne 1 % pre všetky vlastné tvary s frekvenciou nižšou ako 100 Hz, 10 % v rozsahu od 100 do 1 000 Hz a 100 % ako kritické tlmenie pre vlastné tvary s frekvenciou nad 1 000 Hz. Získané výsledky o vplyve poddajnosti telesa sú cenné pre analýzu skutočného správania sa sústavy, určenie skutočného priebehu dynamického zaťaženia pre napäťovú analýzu v prostredí FEA a predpovedanie životnosti.

Algoritmy vypočítali vlastné tvary a frekvencie v akomkoľvek operačnom stave linearizovanej sústavy, pracujú s obidvomi stranami stavovej rovnice $F = ma$. V operačnom bode linearizujú stavové rovnice do tvaru:

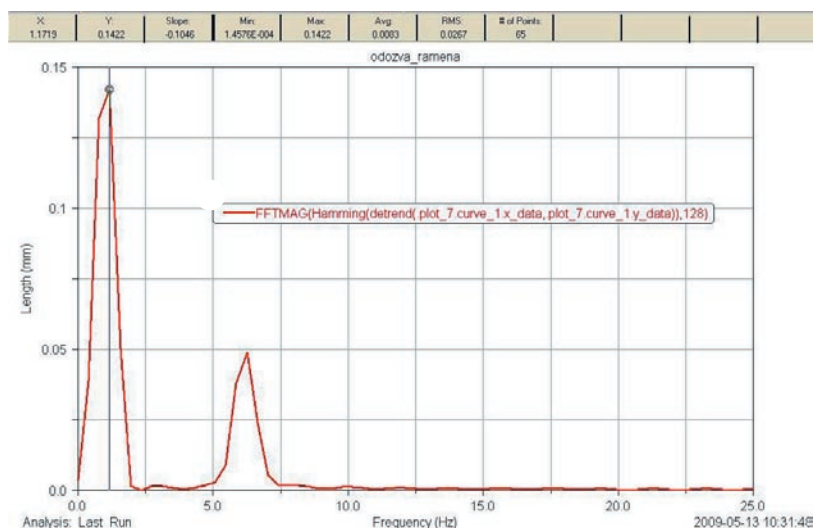
$$\begin{aligned} [M]\ddot{\vec{u}} + [B]\dot{\vec{u}} + [K]\vec{q} &= 0, \\ \vec{u} - \vec{q} &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

kde: $[M], [B], [K]$ sú matice hmotnosti, tlmenia a tuhostí,

$\vec{u}$ je modálny vektor rýchlostí deformácií,

$\vec{q}$ je algebrický vektor zovšeobecnených súradníc, resp. rýchlostí.

Grafický priebeh vlastnej frekvencie s využitím algoritmu FFT analýzy s odpovedajúcim frekvenčným spektrom a časovým oknom, na amplitúdu výchylky meracieho zariadenia je na obrázku 3. Dynamická simulácia prebehla v čase 2 sekundy, s 300 krokmi a deaktivovanou gravitáciou. Hodnota prvej vlastnej frekvencie ramena dosahovala špičku v oblasti 1,17 Hz čo je 7,34 rad.s⁻¹. Hodnota druhej vlastnej frekvencie dosahovala špičku v oblasti 6,25 Hz čo je 39,3 rad.s⁻¹:



Obrázok 3

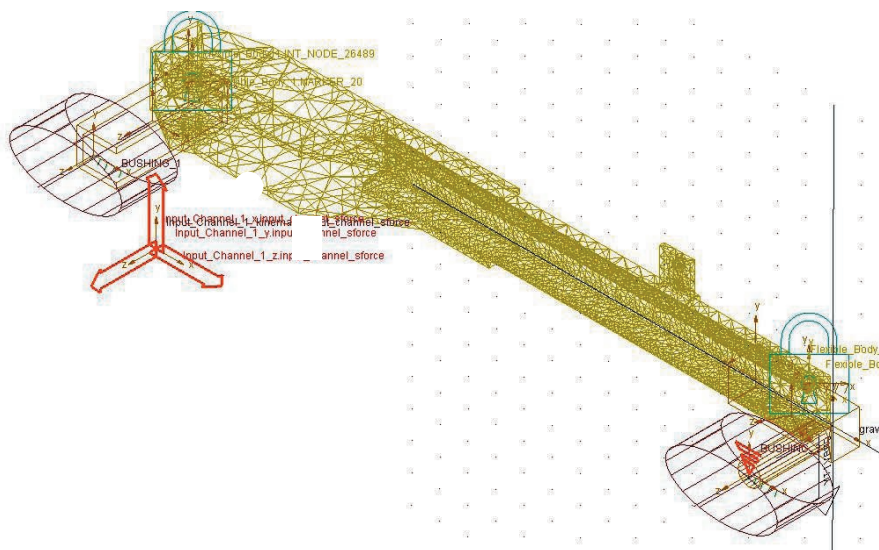
2.2 Vytvorenie poddajného telesa

Rameno ako poddajné teleso bolo vymodelované využitím modulu A/AutoFlex z „tuhého“ – nepoddajného objemového tvaru parasolid, ktorý nám aplikáciou metódy modálnej reprezentácie poddajných vlastností telesa umožnil vygenerovať MNF (Modal Neutral File) súbor priamo v pracovnom prostredí. Výsledná deformácia poddajného telesa je potom lineárnou superpozíciou vlastných tvarov v každom časovom kroku s možnou redukciou o tie, ktoré majú malý vplyv, alebo sú neaktívne. Ak sú tvary telesa zložitejšie, utvoríme sieť v prostredí FEM a potom ho môžeme zakomponovať do sústavy pomocou modulu ADAMS/Flex importovaním MNF súboru. Nakoľko FEA analýza poddajného prvku neposkytuje potrebné údaje o vplyve vonkajších prípojných väzieb, na určenie minimálneho počtu vlastných tvarov slúži modifikovaná Craig-Bamptonova metóda (Component Mode Synthesis, CMS).

Nelineárne deformácie telesa boli namodelované vo forme viazanej sústavy viacerých poddajných telies. Poddajné teleso zaťažené modálnou silou a prostredníctvom prípojných uzlov sme získali interakciu poddajného telesa s ostatnými prvkami modelu.

Na modelovanie poddajnosti členov prostredníctvom tuhosti a tlmenia s lineárnou aj nelineárnou charakteristikou boli využité silové prvky a poddajné spojenia typu „bushing“, ktorých deformácie nepresiahnu 10 % ich hlavného rozmeru. Presnejší model poddajného telesa je superelement s diskretizáciou poddajného telesa do viazanej sústavy diskretných hmôt, kde sú hmotné body prepojené silovou interakciou „NFORCE“. Limitujúcim prvkom presnosti Guyanovej metódy zahusťovania riedkych matic hmotnosti a tuhosti pri modelovaní poddajných vlastností telies je však to, že nezachováva ich vlastné frekvencie.

Poddajné teleso ramena navijaka s 26 884 nódmi – uzlami a 13 312 elementmi, s poddajnými väzbami a vytvorenými vstupnými a výstupnými kanálmi vidíme na obrázku 4.



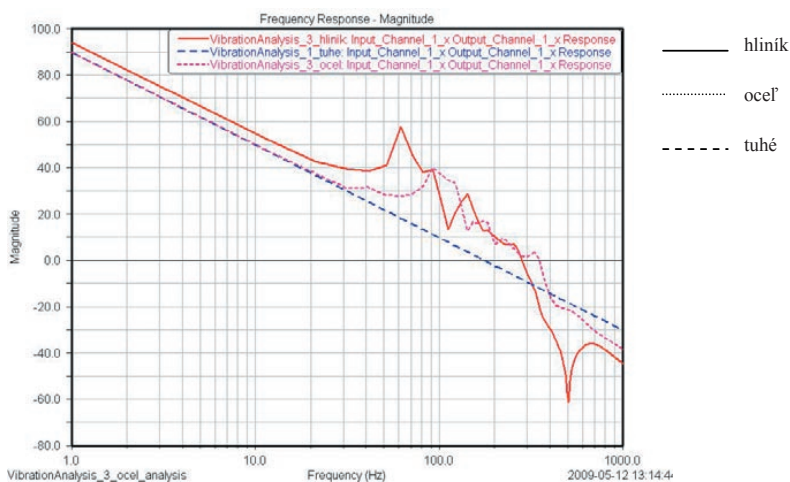
Obrázok 4

Grafické priebehy frekvenčných odoziev a tabuľkové výsledky modálnych hodnôt sú v časti VÝSLEDKY tohto príspevku.

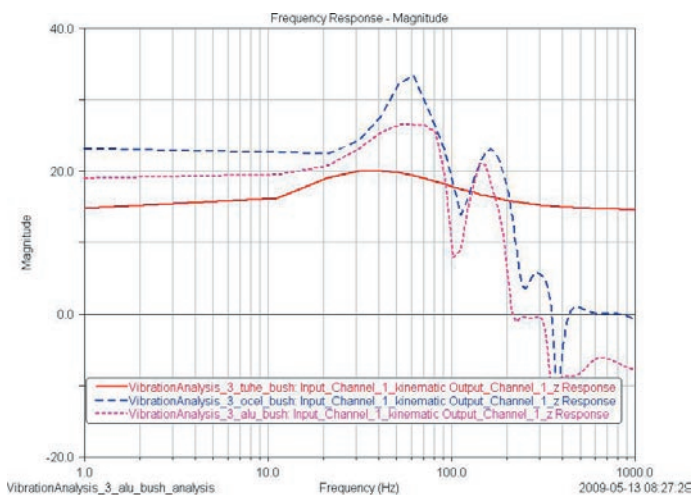
3. VÝSLEDKY

3.1 Frekvenčné odozvy ramena bez poddajného pripojenia

Grafické priebehy simulovaných frekvenčných odoziev ramena navijaka do osi „x“, od silového budenia (pozri obrázok 5), do osi „z“ od kinematického budenia v porovnaní tuhého, poddajné – oceľ alebo hliník, bez poddajných pripojení je na obrázku 6.



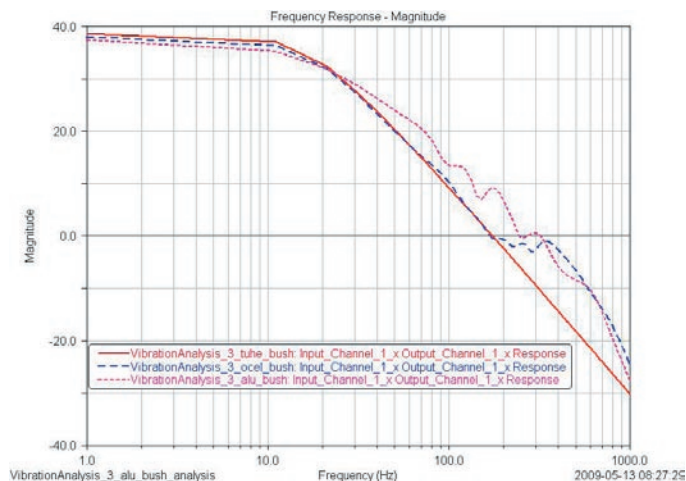
Obrázok 5



Obrázok 6

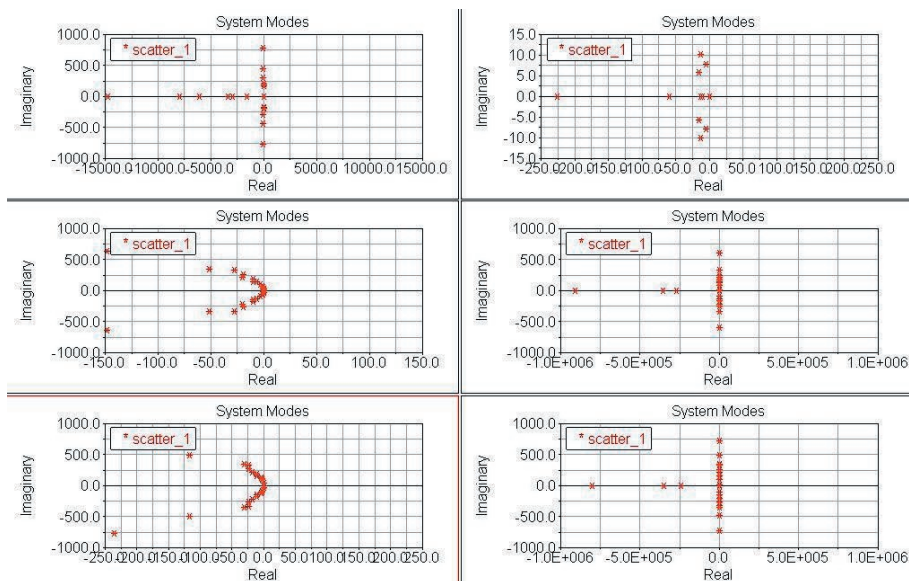
3.2 Frekvenčné odozvy ramena s poddajným pripojením

Grafické priebehy simulovaných frekvenčných odoziev ramena navijaka do osi „x“, od silového budenia, v porovnaní tuhé, poddajné – oceľ alebo hliník, s poddajný pripojením typu „bushing“ s odpovedajúcimi hodnotami tuhostí a tlmenia pneumatiky stroja na jednej strane a zeminy na druhej vidíme na obrázku 7. Taktiež vidíme vlastné číslo a tvar pri frekvencii ramena 1 Hz.



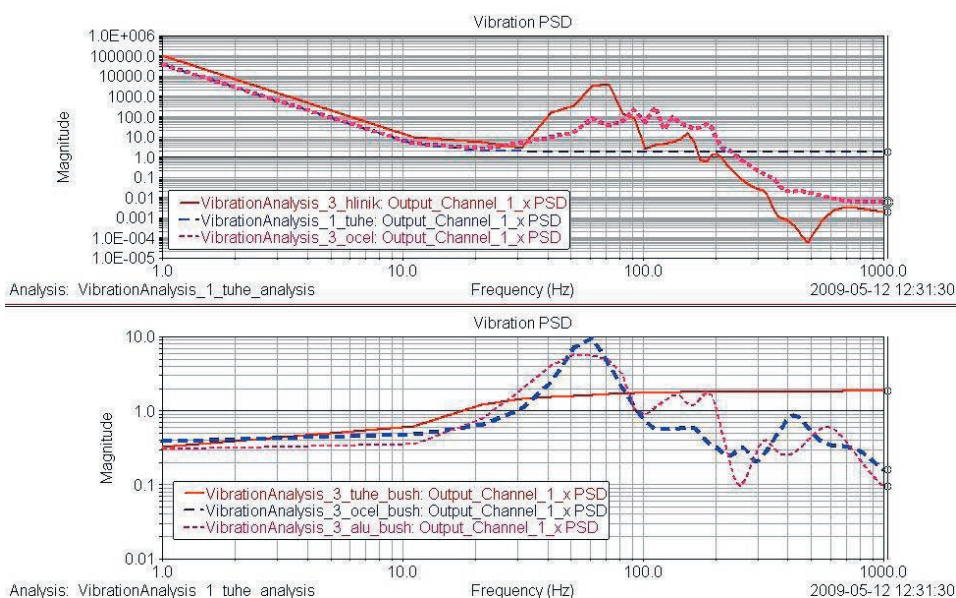
Obrázok 7

3.3 Vlastné tvary a vlastné čísla frekvenčnej analýzy ramena



Obrázok 8

3.4 Frekvenčné charakteristiky ramena



Obrázok 9

4. DISKUSIA A ZÁVER

Vlastná frekvencia skúmaného uzla – ramena, ktoré tvorí v spojení s ostatnými časťami mechanického systému navijaka, resp. lanového systému ako celku, viazanú sústavu telies, musí mať reálnu časť vlastnej frekvencie zápornú. V praxi to znamená, že v danej linearizovanej mechanickej sústave sa budiaci impulz utlmí za krátky čas (pozri obrázok 8). Imaginárna časť vlastných hodnôt reprezentuje vlastné tvary systému. Pri skúmaní odozvy na budenie sa často využívajú odpovedajúce štatistické charakteristiky, nie však časové priebehy budenia.

Z grafického priebehu frekvenčnej charakteristiky – PSD (anglicky Power Spectral Density) vidíme veľké rozdiely magnitúdy prislúchajúcej frekvencii (pozri obrázok 9). Poddajné oceľové rameno bez pripojenia poddajným elementom dosahovalo maximálnu amplitúdu 91 pri frekvencii 223 Hz, v porovnaní s pripojením poddajného elementu typu „bushing“ oceľové rameno dosahovalo max. amplitúdu 9,6 pri frekvencii 61 Hz. Odozvy ramena z hliníku boli pri tej istej frekvencii menšie, čo znamená, že pri spojení poddaného elementu ramena časťami navijaka lanového systému by rameno nebolo napäťovo zaťažované tak ako bez poddajného pripojenia. Dosiahli by sme menšie hmotnosti a optimálnejšie frekvenčné odozvy s vyššou únavovou životnosťou celého mechanického systému – lanového systému. Poddajné spojenia viazanej sústavy telies s nízkou tuhosťou a tlmením môžu účinne izolovať vysokofrekvenčné budenia s malou amplitúdou s budiacou frekvenciou 20 Hz, ktorá môže vyvolať v interiéri stroja rezonancie v akustickom pásme. Zároveň

vysokou tuhosťou a tlmením zabrániť rozkmitaniu systému, resp. iných častí – konštrukčných uzlov, pohonu, pri nízkofrekvenčnom buzení pod 1 Hz s veľkou amplitúdou od technologického režimu stroja. Kompromisom pre uvedené požiadavky nelineárna vlastnosť hydrouloženia s možnosťou optimalizácie priebehu tuhosti a tlmenia.

LITERATÚRA

- BEŇO, P. – DANKO, B. – TUHÁRSKY, J.: *Integrácia CAE a MSS technológií v pevnostnej analýze nekonvenčného približovacieho štítu*. Acta Facultatis Technicae Zvolen, roč. XII., Zvolen, 2008, – Fevt TU vo Zvolene, ISBN 1336-4472. – s. 163–172.
- PALČÁK, F.: Možnosti využitia virtuálnych prototypov pre potreby strojárskoho priemyslu. In.: *Konštrukčná kancelária*, Zborník príspevkov z II. konferencie, Nitra, 1998, s. 27.
- DANKO, B.: 2006. Príspevok k zisťovaniu odoziev zaťaženi nosnej konštrukcie zemného stroja s využitím MSS technológie. In. *Opotřebení, spolehlivost, diagnostika, Vědecká konference*, 29.–31. októbra 2006, Brno: ES Brno, 2006, s. 31–36. ISBN 80-7231-165-4.
- MSC.SOFTWARE, MSC.ADAMS VIEW: 2003. *User's Guide*

Príspevok bol spracovaný v rámci riešenia grantovej úlohy VEGA MŠ SR č. 1/0221/08 „Výskum nových pracovných princípov lesníckych lanoviek“.

Kontaktná adresa:

doc. Ing. Branislav Danko, Ph.D.

Katedra mechaniky a strojnictva, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,
Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 960 53 Zvolen, e-mail: danko@vsld.tuzvo.sk

doc. Ing. Juraj Tuhársky, CSc., Ing. Martin Remper

Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky
Katedra lesnej a mobilnej techniky, Masarykova 24, 960 53 Zvolen, e-mail: tuharsky@vsld.tuzvo.sk

PRÍSPEVOK K ANALÝZE STAVU NAPÄTOSTI A DEFORMÁCIE NEKOVOVEJ KABÍNY MOBILNÉHO STAVEBNÉHO STROJA

A CONTRIBUTION TO THE ANALYSIS OF STATE OF STRESSES AND DEFORMATIONS STATE OF NON-METAL CAB A MOBILE BUILDING MACHINE

Ján ŠEĎO – Pavel BEŇO

ABSTRACT: The paper is focused on practical usage of composite materials for protective structures of mobile building machines cabs construction. It focus on strength and stiffness of these materials, what it is important at these protective structures. On this paper we target to the ROPS composite cab of wheel loader. This paper contents the analysis of state of stress and deformations state composite cab by FEM and comparison calculated values from values measured in the experimental test.

Key words: cab, FEM, ROPS, force, deformation

ABSTRAKT: Príspevok je zameraný na praktické využitie kompozitných materiálov pre stavbu ochranných prvkov kabín mobilných pracovných strojov. Zameriava sa na pevnosť a tuhosť týchto materiálov, čo je dôležité pri týchto ochranných prvkoch. V tomto článku sme sa zamerali na ROPS kompozitnej kabíny kolesového nakladača. Tento článok obsahuje analýzu stavu napätosti a deformácie kompozitnej kabíny pre tento nakladač prostredníctvom MKP a porovnanie vypočítaných hodnôt s výsledkami experimentálnej skúšky.

Kľúčové slová: kabína, MKP, ROPS, sila, deformácia

1 ÚVOD A SÚČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

Kabína ako stavebný modul mobilného pracovného stroja má preň značný význam. Stará sa o pohodlie operátora, jeho ochranu pred poveternostnými podmienkami, padajúcimi predmetmi, či prevrátením stroja. Kabína má vo svojom vnútri nespočetné množstvo rôznych ovládacích prvkov určených pre komfort obsluhy, ale aj pre operácie nevyhnutné pre prácu stroja. Obsah vnútra kabíny môže byť rôzny od spomínaných pracovných ovládacích prvkov až po ovládanie nastavenia sedadla operátora, či klimatizácie a pod. Medzi

pracovné prvky možno radiť prvky, ktoré ovládajú stroj, ako riadenie, radenie, svietenie, brzda, plyn, ovládanie pracovného zariadenia a pod.

Konštrukcia kabíny pozostáva zo základnej konštrukcie, vnútornej výplne a vybavenia. Základná konštrukcia kabíny je dôležitá pre ochranu operátora pred padajúcimi predmetmi (FOPS) a účinkami od prevrátenia stroja (ROPS).

Dnešné ochranné prvky kabín sú zhotovené z oceľových plechov či profilov. Ale materiály ako oceľ sú citlivé na poveternostné vplyvy, predovšetkým na vlhkosť, jednoducho korodujú. Preto ich treba udržiavať rôznymi ochrannými nátermi, ktoré ale po čase starnú a treba ich obnovovať a to nie je jednoduchá ani lacná záležitosť. Taktiež ochranné nátery sú citlivé na abrazívne poškodenie, ku ktorému pri práci mobilného stavebného stroja dochádza pomerne často. Nemenej dôležitým parametrom je aj nepriaznivý vývoj cien oceľových profilov a technologická zložitosť ich presného ustavenia pri zváraní. Z uvedených dôvodov je súčasným trendom v konštrukcii kabín využívanie bez údržbových materiálov ako sú plasty a ich kompozity. Príspevok je zameraný na využitie nekovových kompozitných materiálov pri stavbe ochranných prvkov kabíny a analýzu stavu napätosti a deformácie takejto kabíny.

Použitie nekovových materiálov pri stavbe nekovovej kabíny vyplýva z mechanických vlastností kompozitných materiálov. Trhlina v kompozitnom materiáli sa šíri značne menšou rýchlosťou ako v klasickom materiáli. Je to spôsobené obsahom vysokopevných vlákien. Ak sa poruší jedno vlákno, zaťaženie sa rozloží na ostatné vlákna. Kompozity nie sú také citlivé na vrubové účinky či iné koncentratory ako tradičné materiály, teda sa v nich nevyskytuje taká koncentrácia napätí.

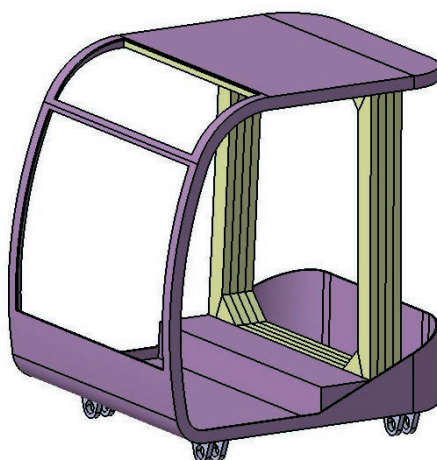
Kompozit dosahuje lepších mechanických vlastností, ako je priemer vlastností jednotlivých zložiek. Ide o synergizmus, čo znamená spolupôsobenie jednotlivých zložiek za účelom zosilnenia zložiek. Krehké kompozity majú dobrú lomovú húževnatosť a nie sú vrubovo citlivé. Ak sa krehká matrica poruší, trhlina sa šíri prednostne pozdĺž vlákna.

Porucha kompozitu nastáva väčšinou tak, že sa poruší vlákno, a následne matrica. Pri porušení jedného či niekoľko vlákien je ich zaťaženie rozložené ešte na zvyšok vlákien.

Pri porušení polymérneho kompozitu silou kolmou na rovinu vrstiev dochádza k oddeľovaniu vrstiev – delaminácia, lebo jednotlivé vrstvy drží spolu len polymér. Preto je možné predísť tomu buď trojrozmernou tkanou výstužou alebo pridaním krátkych vlákien naprieč.

Skúšobná vzorka nekovovej kabíny bola vyrobená z materiálu, kde ako nekovový materiál na základe bol ceny zvolený sklený laminát s vláknom E-sklo a polyesterovou matricou. Výhodou tohto materiálu bude predovšetkým jednoduchá takmer žiadna údržba a dobrá odolnosť voči vonkajším vplyvom. Kabína je riešená ako škrupina so vsadeným uzavretým rámom, ktorého súčasťou sú bočné stĺpiky a priečny strešný nosník.

Nevýhodou tohto laminátu je nízka tuhosť, kde potom treba uvažovať s výstužou a výplňou stĺpikov. Ako výstuž sú použité laminátové pozdĺžniky a priečky a ako výplň polyesterová pena. Škrupina kabíny je laminovaná z multiaxiálne tkaných prepegov a plášte stĺpikov a nosníkov sú z prepegov s jednosmerne orientovanými vláknami v smere osí stĺpikov a nosníkov.



Obrázok 1 Konštrukčný návrh laminátovej kabíny v CAD

2 MATERIÁL A METÓDY RIEŠENIA

2.1 Skúška ROPS kabín mobilných stavebných strojov

Základné princípy a požiadavky pre skúšku ROPS (Roll – Over Protective Structure) stanovujú normy STN ISO 3449 a 3471. Podľa uvedenej normy vzorka kabíny sa vyrába buď priamo výrobcom stroja alebo nezávislou firmou. Musí byť skúšaná len pre ten typ stroja, pre ktorý bude používaná. Kryty, okná, dvere, alebo iné prvky pre povernostnú ochranu operátora majú vplyv na zvýšenie tuhosti a pevnosti kabíny, preto na skúšku musia byť odstránené alebo zafixované v otvorenej polohe. Takisto treba pred skúškou odstrániť všetky krehké súčasti a prvky, ktoré síce nemajú vplyv na pevnosť či tuhosť kabíny, ale môžu spôsobiť škody pri teste. Počas skúšky sa nesmú vykonávať žiadne úpravy ani opravy danej kabíny. Normou STN ISO 3471 je taktiež definované pôsobisko, smer a hodnota zaťažujúcich síl pre danú hmotnosť stroja (tabuľka 1).

Tabuľka 1 Veľkosti zaťažujúcich síl a energia pre skúšku ROPS

Hmotnosť stroja m (kg)	Bočná sila F (N)	Bočná energia E (J)	Zvislá sila F (N)	Pozdĺžna sila F (N)
$700 < m \leq 1000$	6.m			4,8.m
$10\,000 < m \leq 128\,600$	$60000 \cdot \left(\frac{m}{10000}\right)^{1,2}$	$12500 \cdot \left(\frac{m}{10000}\right)^{1,25}$	19,61.m	$56000 \cdot \left(\frac{m}{10000}\right)^{1,1}$
$m > 128\,600$	10.m	2,09.m		8.m

Pre stanovenie bočnej deformačnej energie vychádzame zo základných princípov mechaniky. Pri narastajúcej sile narastá aj deformácia. Pri tom teleso akumuluje energiu.

Je to v podstate vyjadrené plochou pod deformačnou krivkou. Po uvoľnení telesa sa časť akumulovanej energie vráti v oblasti pružnej deformácie. Druhá časť je spotrebovaná na plastické pretvorenie, ktorá sa premení na teplo.

V elementárnom prírastku práce dU môžeme uvažovať s linearitou s pomerným predĺžením ε a deformačnú prácu môžeme vyjadriť takto:

$$dU = \frac{1}{2} \sigma \cdot dy \cdot dz \cdot \Delta dx = \frac{1}{2} \sigma \cdot \varepsilon \cdot dx \cdot dy \cdot dz = \frac{1}{2} \sigma \cdot \varepsilon \cdot dV \quad (1)$$

Pre deformáciu ROPS môžeme aplikovať priestorovú napätosť, lebo tu sú zastúpené všetky druhy zaťaženia (normálové aj tangenciálne). Pre hustotu deformačnej energie platí:

$$\lambda = \frac{1}{2E} [\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - 2\mu(\sigma_x \sigma_y + \sigma_x \sigma_z + \sigma_y \sigma_z)] + \frac{1}{2G} (\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2) \quad (2)$$

Deformačnú energiu potom môžeme vyrátať zo vzťahu:

$$U = \int_V \lambda dV \quad (3)$$

teda integráciou po celom objeme.

V praxi sa pri meraniach používa aproximácia a to tak, že sa vždy prirába jej prírastok ΔU z prírastku zaťažujúcej sily F na prírastok posunutia s ku predošlej hodnote, kde sa v danom prírastku ráta s linearitou. Matematicky to potom môžeme vyjadriť takto:

$$\Delta U = \frac{1}{2} (F_i s_i + F_{i+1} s_{i+1}) \cdot \Delta U = \frac{1}{2} (F_{i+1} s_{i+1} - F_i s_i) \quad (4)$$

Presnosť priebehu závisí od toho, ako husto sa robí tento prepočet za celkové max. posunutie.

V praxi pri ROPS meraniach väčšinou nejde ani tak o priebeh energie ako skôr o maximálnu hodnotu. Tá sa predovšetkým pri bočnom zaťažení berie do úvahy a pokiaľ nedosiahne predpísanú hodnotu už pri normou danom zaťažení, tak sa ďalej zaťaženie zvyšuje, kým deformačná energia nenadobudne danú hodnotu.

2.2 Zhodnotenie skúšky ROPS:

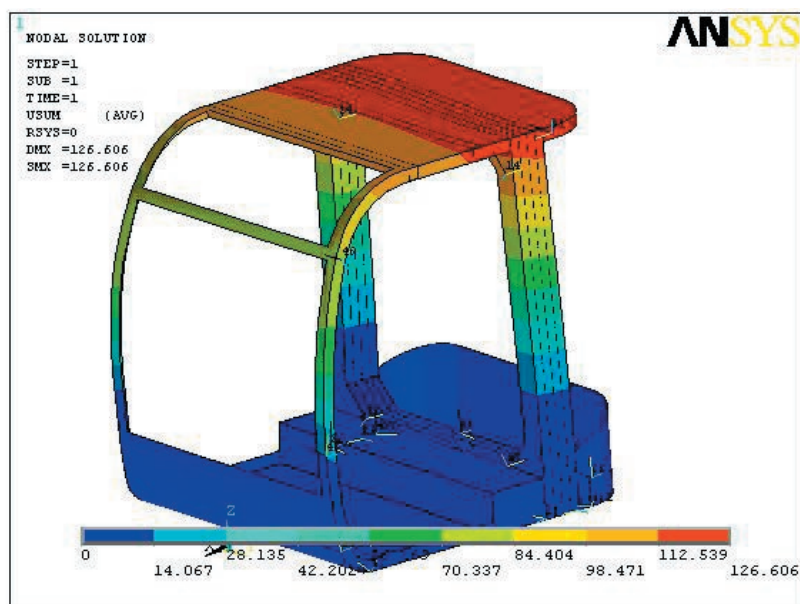
žiadna časť ochrannej konštrukcie ani vertikálna simulovaná rovina VSGP Vertical a Simulated Ground Plane) nesmie preniknúť do DLV – (Deflection Limiting Volume) priestor limitujúci deformáciu – priestor vzťahujúci sa na vodiča stroja, ktorý slúži na stanovenie medzných hodnôt a prípustných deformácií pri vykonávaní laboratórneho hodnotenia ochranných konštrukcií.

3 VÝSLEDKY

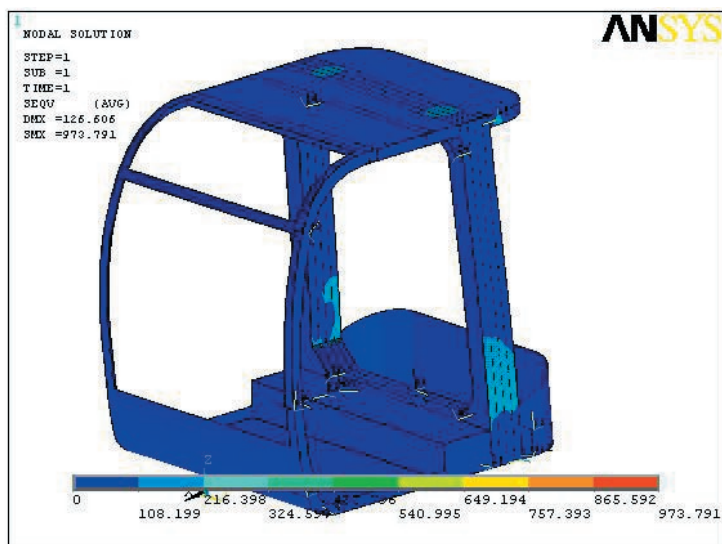
3.1 Pevnostná analýza nekovovej kabíny pomocou MKP

Skúšky kabín sú drahé na to aby viackrát kabíny nevyhoveli. To je jeden z hlavných dôvodov na to aby sa vytvoril výpočtový model kabíny ROPS v počítači, kde bude možné simulovať deformácie pri náraze od padajúceho predmetu alebo od pôsobenia síl vznikajúcich pri prevrátení stroja.

Pri tomto spôsobe vývoja je najvhodnejšie využiť modelovanie a simuláciu deformácií prostredníctvom CAE (Computer Aided Engineering) technológie a MKP (Metóda Konečných Prvkov). Statická analýza stavu napätosti a deformácií nekovovej kabíny bola vykonaná s využitím CAE technológie v programe ANSYS. Uvedený software patrí od počiatku existencie inžinierskych systémov k špičkovým software tejto kategórie ako priekopník multifyzikálnych analýz. CAE systém ANSYS dáva možnosť optimalizácie tvaru či materiálu kabíny pomocou nasimulovaných namáhání a deformácií. Nevýhodou je, že tieto výsledky nie sú reálne, sú získané na základe výpočtových hypotéz (Von Mises a pod.). Okrem toho pre zjednodušenie modelu sa hlavne pri ortotropných materiáloch musia zanedbať zaoblenia, preto sa v tých hranách ukazujú veľmi vysoké lokálne napätia, ktoré však v praxi zväčša bývajú potlačené zaobleniami. Nemenej dôležitým je aj čas výpočtu, ktorý sa pri pevnostných výpočtoch takéhoto typu značne predlži.



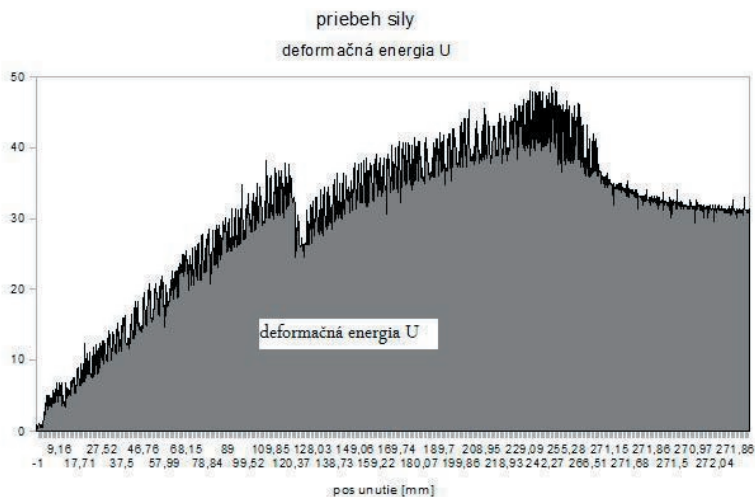
Obrázok 2 Deformácie nekovovej kabíny pri bočnom zaťažení



Obrázok 3 Napätia nekovovej kabíny pri bočnom zaťažení

3.2 Experimentálna skúška laminátovej kabíny

Experimentálne skúšky boli vykonané v zmysle platnosti noriem STN ISO 3449 a 3471. Na ich základe je možné skonštatovať, že kabína veľmi dobre vie absorbovať energiu od nárazu pri prevrátení stroja, dokonca lepšie ako jej oceľový ekvivalent. Pribeh deformačnej sily v závislosti od posunutia je znázornený na obrázku 4. Samotná skúšobná zostava pri bočnom zaťažení nekovovej kabíny je zobrazená na obrázku 5.



Obrázok 4 Pribeh deformačnej sily v závislosti od posunutia



Obrázok 5 Skúšobná zostava pri bočnom zat'azení laminátovej kabíny

Tabuľka 2 Výber z výsledkov experimentálnej skúšky

krok	posunutie[mm]	сила[kN]	energia[J]
0,0	-1	0,82	-0,8
.	.	.	.
12,0	2	2,88	7,9
.	.	.	.
365,5	121	32,18	2413,7
366,0	125	24,47	2496,5
.	.	.	.
709,5	237	47,34	6663,5
.	.	.	.
1011,0	272	30,89	8093,32

Podľa tabuľky 2 k prvému vážnejšiemu porušovaniu materiálu došlo v krokoch 365,5 a 366 pri posunutí 121 mm, kde sila klesla z 32,18 kN na 24,47 kN, ale ešte bol materiál schopný ďalej absorbovať zaťaženie, čo už klasický izotropný materiál spravidla nie je schopný. V kroku 709 je dosiahnutá maximálna deformačná sila $F = 47,34$ kN pri posunutí 237 mm a deformačná energia vtedy stúpa na hodnotu 6663,5J, kde došlo k značnému porušeniu materiálu a sila už iba klesala. Vznikajúce trhliny je vidieť na obrázku 5 (označené šípkou).

Z dôvodu relaxácie materiálu svoju maximálnu hodnotu dosahuje až v kroku 1011 pri posunutí 272 mm, ale už iba pri sile 30,89kN a to 8093,3J, čo už v praxi z tohto dôvodu nemožno brať do úvahy.

4. DISKUSIA A ZÁVER

Z výsledkov MKP pri laminátovej kabíne vyplýva, že časti ROPS nezasahujú do DLV – priestor operátora stroja špecifikovaný normou ISO 3164. Výsledky MKP sú teoretické, určené výpočtovým algoritmom programu, teda je možný rozdiel vo výsledkoch pri testoch vzorky. Pri laminátovej kabíne dochádza podľa výsledkov analýzy k špičkovým napätiam, ktoré sa v reálnej vzorke nevyskytnú, lebo v tých miestach budú zaoblenia, pri modeli v ANSYS-e pre ortotropný materiál ako je laminát by bol výpočet problematický a dokonca aj mimo možnosti hardwarového výkonu počítača.

Ako vidno podľa obrázkov výsledkov analýz MKP, laminátová kabína má podstatne menšiu tuhosť ako oceľová, je to až cca. 50 násobok. Preto treba pri návrhu takej kabíny s týmto rátať. Možnou alternatívou je konštrukčná úprava riešenia kabíny na základe výsledkov skúšok, prípadne konštrukčný návrh s využitím kombinácie materiálov (hybridný materiál).

LITERATÚRA

- MACÚCH, M.: Návrh kabíny nakladača z laminátov a z hybridných materiálov, diplomová práca, STU, Bratislava, 2008
- PALČÁK, F.: 1998. Možnosti využitia virtuálnych prototypov pre potreby strojárskoho priemyslu. In: *Konštrukčná kancelária, Zborník príspevkov z II. konferencie*, 21. máj 1998, Nitra: Technické centrum PM Stupava, 1998, s. 27–32
- JONES, R. M.: *Mechanics of Composite Materials* (2. vydanie), Taylor&Francis, Inc., Philadelphia, PA, USA 1998
- VEREŠ, M. – TANEVSKI, M. – ŠEĎO, J.: Kabíny mobilných pracovných strojov z nekonvenčných materiálov.; In: 49. mezinárodní konference Kateder částí a mechanismů strojů : Srní, Česká republika, 8.–10. 9. 2008. – Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2008. – ISBN 978-80-7043-718-6. – S. 277–280

Kontaktná adresa:

Ing. Ján Šeďo

Ústav dopravnej techniky a konštruovania, Strojnícka fakulta STU, Nám. Slobody 17,
812 31 Bratislava 1, e-mail: jan.sedo@stuba.sk

doc. Ing. Pavel Beňo, PhD.

Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,
Katedra mechaniky a strojnictva, Študentská 26, 960 53 Zvolen, e-mail: beno@vsld.tuzvo.sk

ŠTÚDIUM PRENOSU TEPLA V ÚZKYCH MEDZERÁCH PRI NÍZKYCH HODNOTÁCH REYNOLDSOVÝCH ČÍSEL

THE STUDY OF HEAT TRANSFER IN NARROW GAPS AT LOW REYNOLD'S NUMBER VALUES

Jozef ČERNECKÝ – Ján KONIAR

ABSTRACT: The present contribution deals with the study of heat transfer under forced convection in a narrow gap between two horizontal plates. For the research the contactless optical method – holographic interferometry was applied as it makes it possible to visualize temperature fields in the whole studied space. From the obtained holographic interferograms temperature profiles can be determined and from these heat transfer parameters can be evaluated.

Key words: interferometric method, temperature field, heat transfer, quantitative analysis

ABSTRAKT: Príspevok sa zaoberá výskumom prestupu tepla pri nútenej konvekcií v úzkej medzere medzi dvoma horizontálnymi doskami. Pri výskume bola využitá bezkontaktná optická metóda – holografická interferometria, ktorá umožňuje zviditeľniť teplotné polia v celom sledovanom priestore. Zo získaných obrazov holografických interferogramov možno určovať teplotné profily a z nich vyhodnocovať parametre prestupu tepla.

Kľúčové slová: interferometrická metóda, teplotné pole, prenos tepla, kvantitatívna analýza

1 ÚVOD

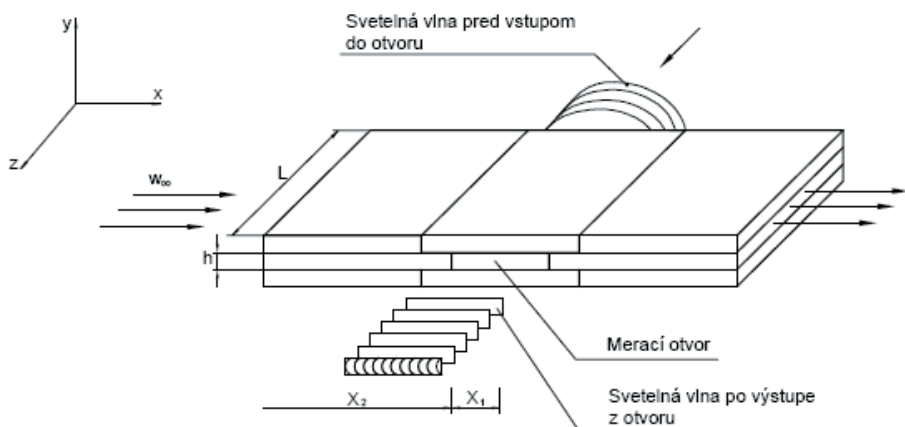
S prúdením vzduchu v úzkych medzerách sa stretávame v mnohých technických aplikáciách, napr. pri výmenníkoch tepla, chladiacich zariadeniach, vykurovacích telesách, sušiacich procesoch (Ferstl, 1995). V procese sušenia má zásadný význam prenos tepla zo sušiaceho média, tvoreného obyčajne vlhkým vzduchom, do materiálu, z ktorého sa vyparuje najmä voda. V príspevku sa zameriame na určenie koeficientu prestupu tepla z prúdiaceho teplého vzduchu do horizontálne umiestnených dosiek. Koeficient prestupu tepla α , ktorý vyjadruje intenzitu prenosu tepla medzi tekutinou a povrchom telesa (kanála) závisí od veľkého počtu faktorov; všeobecne je funkciou fyzikálnych vlastností tekutiny,

charakteru prúdenia a jeho rýchlosti, tvaru a rozmerov telesa aj iných činiteľov. Na získanie informácií, charakterizujúcich prestup tepla v úzkych medzerách, je však nevyhnutné uskutočniť množstvo experimentov, ktoré poskytnú ucelenú a komplexnú predstavu o vplyve šírky medzery, výšky medzery, rýchlosti prúdenia a veľkosti tepelného odporu pri prestupe tepla z prúdiaceho média do steny dosiek.

V dostupnej literatúre sa vyskytuje problematika, ktorá rieši vo všeobecnosti prúdenie popri rovinných a zakrivených stenách v rôznom usporiadaní. Z energetického pohľadu pri hodnotení výmenníkov tepla a rôznych technológií napr. sušenie nebýva stredobodom záujmu detailné rozloženie teplôt po povrchu. Výskum pomocou holografickej interferometrie však poskytuje predovšetkým informácie o teplotných poliach, z ktorých potom možno určiť parametre prestupu tepla (Pavelek, 2007). Najtypickejší je prenos tepla konvekciou medzi prúdiacou tekutinou a nejakým obmedzujúcim povrchom, ak majú oba rôznu teplotu. V blízkosti povrchu sa vytvorí vrstva tekutiny, v ktorej sa rýchlosť prúdenia mení od hodnoty 0 až po rýchlosť nazývanú rýchlosť voľného prúdu. Tejto vrstve sa hovorí hydrodynamická medzná vrstva. Podobne sa vytvára aj tepelná medzná vrstva (Jícha, 1986). Na základe uvedeného možno konštatovať, že zlepšenie parametrov prestupu tepla je spojené so zmenšením hrúbky medznej vrstvy a tým aj znížením tepelného odporu v medznej vrstve pri nútenej konvekcii. Z obrazov holografických interferogramov možno určiť hrúbku medznej vrstvy, veľkosti koeficientov prestupu tepla a veľkosť tepelného odporu v rôznych častiach úzkych medzier. Ďalej možno kvalitatívne a kvantitatívne posúdiť aj vzájomnú interakciu teplotných polí v medzerách.

2 MATERIÁL A METÓDY

Výber optickej schémy interferometra závisí od typu sledovanej optickej nehomogenity (plochá alebo priestorová), typu predloženej experimentálnej úlohy, rozmerov sledovanej zóny, rozmerov experimentálneho zariadenia a tiež aj od rozmiestnenia potrebných prístrojov pre určenie okrajových podmienok v meranom priestore. Zostavený holografický interferometer bol prispôbený na štúdium dvojrozmerného fázového objektu, t.j. prúdiaceho teplého vzduchu v oblasti meracieho priestoru. Vnútrotná časť experimentálneho modelu bola tvorená dvomi doskami vo vzájomnej vzdialenosti 23 mm. Tento model bol umiestnený v meracom priestore holografického variantu Mach-Zehnderovho interferometra. Smer prúdenia teplého vzduchu je kolmý na smer šírenia sa svetelnej vlny obr. 1. Rýchlosť a teplota v jadre prúdu medzi dvoma doskami sa pohybovala od 0,25 až 2,5 m.s⁻¹ pri teplotách 323 až 353 K.



Obr. 1 Orientácia súradnicového systému v experimentálnom kanáli

Konečná funkčná závislosť teploty na stavových veličinách meraného prostredia, na dĺžke modelu, na vlnovej dĺžke svetla (zahrnuté v konštante) a na počte tmavých prúžkov s' od miesta homogénneho prostredia je daná vzťahom (Černecký, 1997):

$$T = \frac{T_{\infty}}{1 - 0,805 \frac{T_{\infty}}{l \cdot p} (s' - \frac{1}{2})} = \frac{T_{\infty}}{1 + 0,805 \frac{T_{\infty}}{l \cdot p} s} \quad (1)$$

s – interferenčný rád,

l – dĺžka modelu,

p – tlak.

Z teplotného gradientu $\frac{\partial T}{\partial y}$ na povrchu steny, určeného z numerického preloženia nameraných hodnôt teplotného profilu, určíme hodnotu lokálneho koeficientu prestupu tepla:

$$\alpha = \frac{-\lambda_V}{T_w - T_{\infty}} \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)_{y=0}, \quad (2)$$

λ_V – tepelná vodivosť vzduchu,

T_{∞} – teplota jadra prúdu vzduchu,

T_w – teplota povrchu steny.

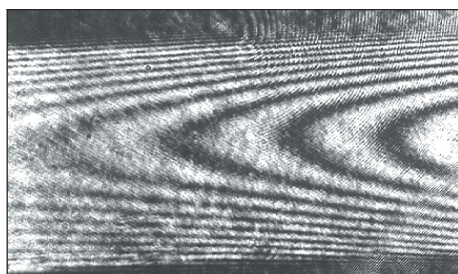
3 VÝSLEDKY

Pre určenie teplotných profilov v medzere medzi dvoma doskami treba poznať teplotu v strede potenciálneho prúdu T_{∞} , alebo teplotu na povrchu dosky T_w . Vyhodnocovanie holografických interferogramov pomocou výpočtových vzťahov býva často zaťažené

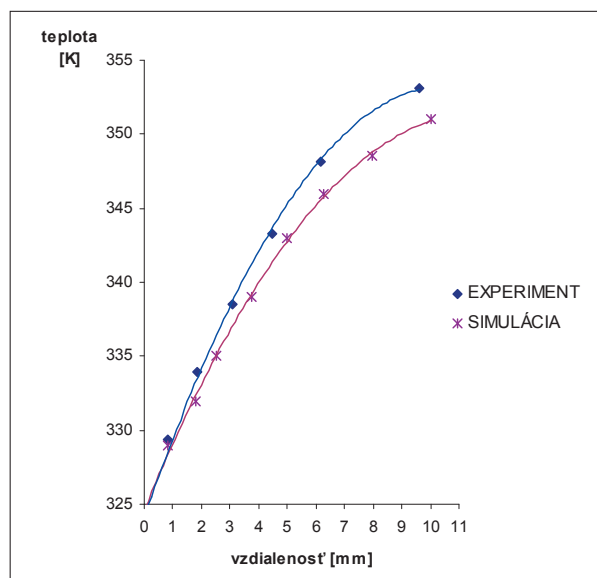
chybami. Z tohto dôvodu bolo potrebné získané výsledky korigovať, pričom sa vychádza zo vzťahov uvedených v literatúre (Hauf, 1970), kde sú tieto vzťahy podrobne rozpracované. Jedným z najzložitejších krokov pri procese počítačového spracovania interferogramov je stanovenie polôh interferenčných prúžkov a stanovenie rozloženia interferenčných rádov. Na tieto procedúry potom nadväzuje u transparentných objektov vlastné vyhodnocovanie rozloženia indexu lomu a následné rozloženie teplôt. Vyhodnotením holografického interferogramu sa získa teplotný profil pri prúdení medzi doskami, čiže priradia sa teploty jednotlivým miestam tmavých prúžkov pričom sa vychádza zo vzťahu (1), ktorý je vlastne v konkrétnom prípade funkčnou závislosťou teploty na interferenčnom ráde $T = f(s)$.

Na obr. 2 a obr. 5 sú holografické interferogramy teplotných polí pri nútenej konvekcii v horizontálnom kanáli pri rôznych rýchlostiach sušiaceho prostredia. Na začiatku týchto meraní bol holografický interferometer nastavený na konečnú šírku prúžkov. Zmeny tvarov interferenčných prúžkov sú zapríčinené zmenou vlastností fyzikálnych polí (teplota, koncentrácia), čo zapríčiňuje zmenu interferenčného rádu.

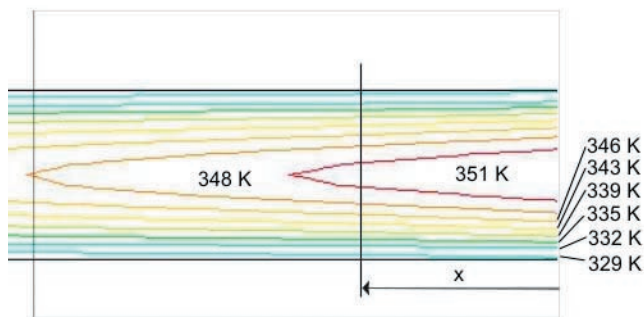
Vlastné experimentálne práce boli zamerané predovšetkým na vhodnosť aplikácií holografickej interferometrie ku sledovaniu teplotných polí a na určenie prestupových koeficientov touto metódou. Pri meraniach sa sledovali parametre ako sú: teplota v potenciálnom prúde T_∞ , teplota na povrchu T_w . Parametre, za akých boli experimenty realizované, sú prehľadne popísané pod fotografiami holografických interferogramov. V strede meracej časti experimentálneho zariadenia vo vzdialenosti $x = 0,75$ m od vstupu do kanála boli v prvej časti meraní pri skúmaní teplotných polí v kanáli medzi doskami na vstupe a na výstupe z meracieho priestoru zabudované okienka z optického skla.



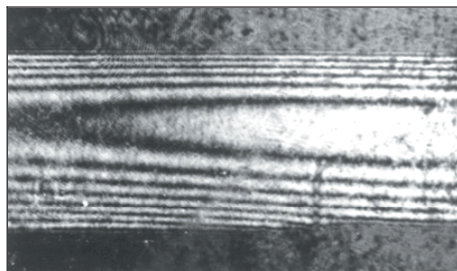
Obr. 2 Obraz holografického interferogramu teplotného poľa
(šírka dosky $l = 0,2$ m, teplota povrchu dosky $T_w = 323$ K, teplota prúdiaceho vzduchu $T_\infty = 353$ K, rýchlosť prúdenia vzduchu $w_\infty = 0,25$ m.s⁻¹, výška medzere $h = 0,023$ m)



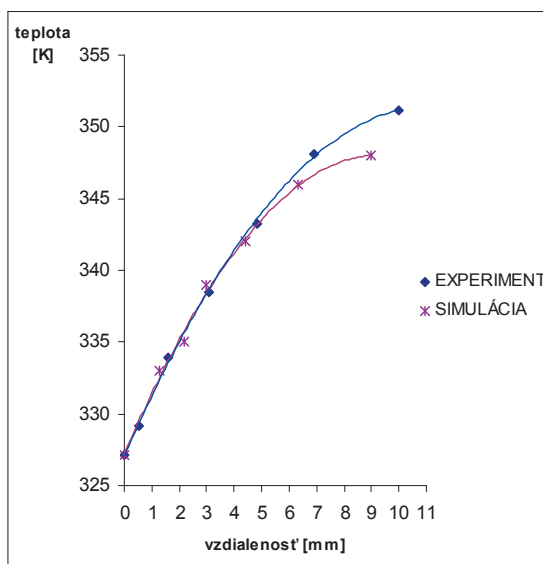
Obr. 3 Teplotné profily vo vzdialenosti x od začiatku nábehovej hrany (pre interferogram z obr. 2)



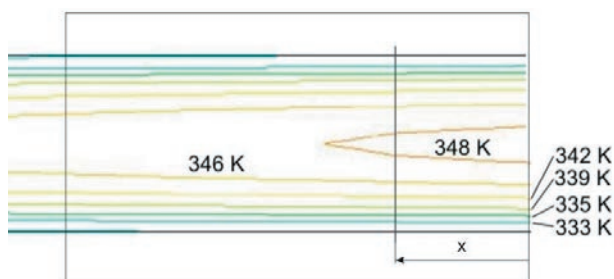
Obr. 4 CFD simulácia teplotného poľa ($T_w = 323 \text{ K}$, $T_\infty = 353 \text{ K}$, $w_\infty = 0,25 \text{ m.s}^{-1}$)



Obr. 5 Obráz holografického interferogramu teplotného poľa
(šírka dosky $l = 0,2 \text{ m}$, teplota povrchu dosky $T_w = 327 \text{ K}$, teplota prúdiaceho vzduchu $T_\infty = 353 \text{ K}$, rýchlosť prúdenia vzduchu $w_\infty = 1 \text{ m.s}^{-1}$, výška medzery $h = 0,023 \text{ m}$)



Obr. 6 Teplotné profily vo vzdialenosti x od začiatku nábehovej hrany (pre interferogram z obr. 5)



Obr. 7 CFD simulácia teplotného poľa
($T_w = 327\text{ K}$, $T_\infty = 353\text{ K}$, $w_\infty = 1\text{ m.s}^{-1}$)

4 DISKUSIA

V experimente sme vyšetrovali teplotný profil pri nútenej konvekcií. Pri navrhovaní interferometrickej optickej zostavy a vyhodnocovaní interferogramov je dôležité zaoberať sa rozborom chýb vznikajúcich pri meraní. Okrem teplotného poľa má vplyv na zmenu indexu lomu aj gradient tlaku (Urgela, 1999). Vnútri kanála experimentálneho modelu prúdi vzduch rýchlosťou $w = 0,25$ až $2,5\text{ m.s}^{-1}$. Ak je rozdiel tlakov δp na vstupe a výstupe kanála (potrebný na vytvorenie prúdenia) malý, môžeme na jeho výpočet použiť vzťah (Horák, 1961):

$$\delta p = \frac{1}{2} \rho v^2, \quad (3)$$

kde ρ je hustota plynu. Ak predpokladáme, že $\rho = 1,2 \text{ kg.m}^{-3}$, tak pre uvedené rýchlosti $\delta p \approx 10^0 \text{ Pa}$. Index lomu vzduchu $n_{t,p}$ závisí od teploty (v °C) a tlaku (v Pa) podľa vzťahu (Brož, 1980):

$$n_{t,p} - 1 = (n_{15,p_0} - 1) \cdot \frac{(1 + 15\gamma)p}{(1 + \gamma t)p_0}, \quad (4)$$

kde $\gamma = 3,67 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ je koeficient objemovej rozťažnosti vzduchu. Pre svetlo He-Ne lasera $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ pri teplote 15 °C a tlaku $101\,325 \text{ Pa}$ je $n_{15,p_0} = 1,0002768$ (Hauf, 1970). Vychádzajúc zo vzťahu (4) možno ukázať, že pri hodnotách charakteristických pre náš experiment, t. j. pri zmene tlaku o $\delta p \approx 10^0 \text{ Pa}$ vznikne až o 5 rádov menšia zmena indexu lomu vzduchu, ako pri zmene teploty o 1 K . Z tohto dôvodu možno vplyv tlaku na tvar interferenčných obrazov v našej experimentálnej zostave úplne zanedbať.

Ak je fokusacia rovina objektívu kamery zaostrená na začiatok alebo na koniec meranej časti, tak chyba fokusácie je rovná odchýlke lúča pri jeho prechode v tepelnej medznej vrstve. Chyba posunutia býva veľmi malá ($\Delta\eta \leq 1\%$) v porovnaní s hrúbkou medznej vrstvy pri fokusácii na stred meraného priestoru.

5 ZÁVER

V príspevku sme sa zaoberali výskumom parametrov prestupu tepla v úzkej medzere medzi dvoma doskami pri nízkych hodnotách Re čísel. Konkrétne sme sa zaoberali hodnotením teplotných profilov, z ktorých možno určovať hodnoty koeficientov prestupu tepla. V príspevku sú uvedené interferogramy pri dvoch hodnotách rýchlosti prúdenia vzduchu v medzere. Okrem experimentálnych meraní boli vykonané aj numerické simulácie teplotných polí. Zároveň sú uvedené aj grafické závislosti priebehu teplôt v závislosti na vzdialenosti od povrchu dosky. Rozdiely medzi experimentálnymi výsledkami a simuláciou sa prejavujú hlavne v oblasti jadra prúdu. Tieto rozdiely sú ovplyvnené aplikáciou zjednodušených podmienok pri simulácii (pri simulácii bola uvažovaná konštantná povrchová teplota). V súčasnosti ostávajú experimentálne metódy veľmi významným činiteľom pri štúdiu procesu prenosu tepla, zvlášť vtedy, keď nie je možné zvládnuť komplexnú analýzu, či už exaktnú alebo numerickú.

6 CONCLUSION

In the present contribution we dealt with the study of heat transfer parameters in a narrow gap between two plates at low Reynolds number values. We particularly dealt with evaluation of temperature profiles from which it is possible to determine the values of heat transfer coefficients. The contribution contains interferograms at two different values of the air flow in the gap. Besides experimental measurements numerical temperature field simulations were carried out. At the same time, graphical dependences of temperature in dependence on the distance from the plate surface are presented. Differences between the

experimental results and the simulations are mainly manifested in the flow core area. The differences are influenced by application of simplified conditions at the simulation (where constant surface temperature was considered). At the present, experimental methods still represent a very important factor in the study of the heat transfer process, mainly if it is impossible to carry out a complex analysis, either exact or numerical.

7 LITERATÚRA

- BROŽ, J., ROSKOVEC, V., VALOUCH, M.: 1980. *Fyzikální a matematické tabulky*. SNTL, Praha, 1980.
- ČERNECKÝ J., PIVARČIOVÁ E.: 1997. *Aplikácia holografickej interferometrie pri zviditeľňovaní teplotných polí*, Vedecká štúdiá, TU Zvolen, 1997, ISBN 80-228-0654-4.
- FERSTL, K.: 1995. *Výbrané state z prúdenia a prenosu tepla*, Bratislava: ES STU, 1995.
- HAUF, W., GRIGULL, U.: 1970. *Optical methods in Heat Transfer*. Academic press, New York, 1970.
- HORÁK, Z., KRUPKA, F., ŠINDELÁŘ, V.: 1961. *Technická fyzika*, SNTL Praha, 1961.
- JÍCHA, M.: 1986. *Přenos tepla a látky*. Brno, VUT, 1986.
- PAVELEK, M., JANOTKOVÁ, M., ŠTĚTINA, J.: 2007. *Vizualizační a optické měřicí metody*, druhé vydání, Brno, VUT, 2007.
- URGELA, S.: 1999. *Holografická interferometria pri nedeštruktívnom testovaní dosák*. Matcentrum Zvolen, 1999, 77 s.

Časť riešenej problematiky je súčasťou projektu KEGA č. 3/6431/08.

Kontaktná adresa:

doc. Ing. Jozef Černecký, CSc.

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

Ing. Ján Koniar, PhD.

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

ZÁVISLOSŤ HUSTOTY TEPELNÉHO TOKU OD POVRCHOVEJ PROFILÁCIE VERTIKÁLNE ORIENTOVANÉHO PROFILU

THE HEAT FLOW DEPENDENCE ON SURFACE PROFILATION OF VERTICAL ORIENTED PROFILE

Rastislav IGAZ – Jozef ČERNECKÝ

ABSTRACT: Heat transfer is one of basic technological process in numbers of industry operation. This process is utilized also in heating of dwelling and working areas of humanity. Requirement of effective utilization of energy have result in research of design and construction of heating and heat exchanger. Submitted paper deals with increase of heat transfer efficiency through surface profilation of heat transfer solid.

Key words: heat transfer coefficient, surface profilation, heat flow

ABSTRAKT: Proces prestupu tepla je jedným zo základných technologických procesov. Tento proces sa uplatňuje aj pri vykurovaní obytných a pracovných priestorov človeka. S potrebou šetrenia energie a jej efektívneho využívania je potrebné zdokonaľovať konštrukciu teplovýmenných plôch. Prekladaná práca sa zaoberá zvyšovaním efektívnosti prestupu tepla v dôsledku povrchovej profilácie teplovýmennej plochy.

Kľúčové slová: koeficient prestupu tepla, profilácia povrchu, tepelný tok

1. ÚVOD

Problematika prestupu tepla patrí medzi základné procesy využívané v množstve priemyselných, výskumných ale aj iných aplikácií. Proces odovzdávania tepla neodmysliteľne patrí do technologických procesov najrôznejších odvetví hospodárstva. Okrem priemyselných a technologických procesov je však tento proces využívaný napríklad aj pri vykurovaní obytných a pracovných priestorov človeka.

Oblasť efektívneho a cieleného využívania energie je v súčasnej spoločnosti riešená na všetkých úrovniach a preto sa nevyhýba ani oblasti efektívneho využívania tepla na uspokojovanie klimatických požiadaviek obytných priestorov. Súčasné trendy v oblasti získavania energie smerujú s decentralizácií výroby a k orientácii na lokálne obnoviteľné zdroje tepla. V spojení s rozvojom nízkoenergetických stavieb a pasívnych obytných

objektov je na mieste otázka zvyšovania efektívnosti prestupu tepla v oblasti vykurovania. Moderné technológie získavania tepla z obnoviteľných zdrojov tepla vyžadujú nové riešenia vykurovania objektov jednak z pohľadu nižších teplôt vykurovacích médií a jednak z pohľadu efektívneho využívania tepla.

Prekladaný príspevok prezentuje výsledky výskumu v oblasti intenzifikácie prestupu tepla z povrchu vykurovacích telies na základe povrchovej profilácie, ktorá má významný vplyv na hustotu tepelného toku z povrchu telesa.

2. TEÓRIA

Proces prestupu tepla je vo všeobecnosti každý proces, pri ktorom sú v priamom kontakte dve prostredia s rozdielnou teplotou. V technickej praxi je tento proces najčastejšie reprezentovaný pevným povrchom telesa obtekaným tekutinou. Uplatňuje sa v najrôznejších podobách pri ohreve alebo chladení pevných telies alebo naopak tekutiny v podobe výmenníkov tepla alebo chladičov.

Množstvo tepla Q odovzdané alebo prijaté pri prestupe tepla z alebo do povrchu telesa je definované Newtonovým vzťahom (1):

$$Q = \alpha \cdot S \cdot \Delta t \quad (1)$$

kde: Q – množstvo odovzdaného (prijatého) tepla (W),
 α – koeficient prestupu tepla ($Wm^{-2}K^{-1}$),
 S – plocha ktorou sa prestup uskutočňuje (m^2),
 Δt – rozdiel teplôt povrchu telesa a okolitého prostredia (zväčša kvapaliny) (K).

Z Newtonovho vzťahu vyplýva, že množstvo prestúpeného tepla závisí od troch veličín. Prestupnú plochu (S) a rozdiel teplôt povrchu a okolitého prostredia (Δt) je možné pomerne jednoducho stanoviť meraním. Poslednou veličinou vstupujúcou do výpočtu je koeficient prestupu tepla (α), ktorého hodnota je závislá na množstve rôznych faktorov a ktorého veľkosť môže v závislosti na podmienkach procesu nadobúdať hodnoty vo veľmi širokom intervale.

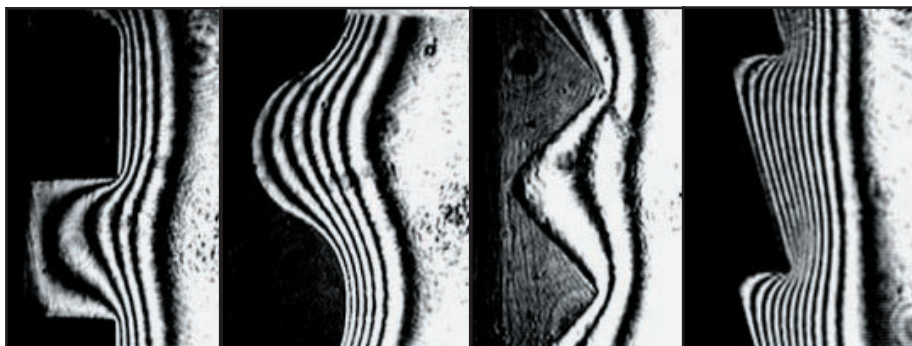
Číselná hodnota koeficienta prestupu tepla je závislá na okrajových podmienkach daného procesu prestupu tepla. Medzi základné podmienky vplývajúce na proces prestupu tepla a tým aj na hodnotu koeficientu prestupu tepla patria (FERSTL, 1995):

- vznik prúdenia – prirodzené alebo nútené prúdenie,
- druh prúdenia – laminárne, prechodné alebo turbulentné prúdenie,
- tepelno-fyzikálne vlastnosti tekutiny – koeficient tepelnej vodivosti, koeficient teplotnej vodivosti, merná tepelná kapacita, hustota, viskozita a ďalšie,
- veľkosť a tvar povrchu – geometria povrchu, smer prúdenia (pozdĺžne, šikmé, priečne), drsnosť povrchu, uhol sklonu, obtekanie zosponu alebo zvrchu, ...,
- smer prenosu energie – zo steny alebo do steny.

Všetky spomenuté podmienky charakterizujúce proces prestupu tepla majú vplyv na hodnotu koeficienta prestupu tepla, pričom vplyv jednotlivých faktorov je rôzny a je

veľmi ťažké ho matematicky popísať. Preto je základným postupom pre určovanie hodnoty koeficientu prestupu tepla experimentálny výskum, ktorého výsledky je možné za určitých okolností aplikovať aj na procesy spĺňajúce podmienky podobnosti.

Jednou z overených experimentálnych metód určovania hodnoty koeficienta prestupu tepla pre určité usporiadanie je využitie metód holografickej interferometrie. Táto optická experimentálna metóda umožňuje zviditeľňovanie procesov prestupu tepla v okolí povrchu telesa, pričom poskytuje informácie o rozložení teploty v okolí povrchu telesa (URGELA, LUPTÁK, 1992). Zo získaných záznamov interferogramov (obr. 1) môžeme získať informácie o teplotných gradientoch v kvapaline obklopujúcej teleso. Tieto informácie sa následne dajú použiť na výpočet hodnôt lokálnych koeficientov prestupu tepla.



Obrázok 1 Príklady záznamu interferogramu teplotného pola vytvoreného nad povrchom experimentálneho objektu

Zo získaných obrazových dát dokážeme zistiť rozloženie teploty v kvapaline a následne aj určiť hodnotu gradientu teploty v ľubovoľnom mieste na povrchu telesa. Následne podľa vzťahu (ČERNECKÝ, PIVARČIOVÁ, 1997):

$$\alpha = -\lambda \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right) \cdot \frac{1}{T_w - T_\infty} \quad (2)$$

kde: α – koeficient prestupu tepla ($Wm^{-2}K^{-1}$),

λ – koeficient tepelnej vodivosti kvapaliny ($Wm^{-1}K^{-1}$),

$\frac{\partial T}{\partial y}$ – gradient teploty v mieste merania (Km^{-1}),

T_w – teplota povrchu telesa (K),

T_∞ – teplota kvapaliny (K).

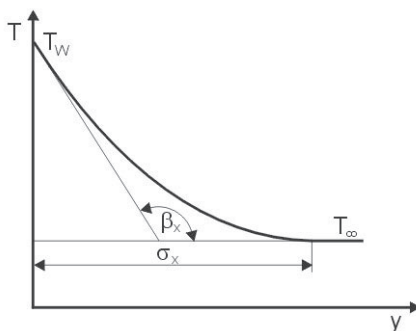
určíme lokálnu hodnotu koeficientu prestupu tepla v danom mieste povrchu telesa. Gradient teploty na povrchu v mieste merania je možné určiť ako hodnotu tangensu uhla dotyčnice k teplotnému profilu na povrchu telesa, pretože platí (PAVELEK, JANOTKOVÁ, ŠTĚTINA, 2007):

$$\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right) = \operatorname{tg} \beta \quad (3)$$

Po dosadení vzťahu (3) do vzťahu (2) získame vzťah, na základe ktorého dokážeme z experimentálne získaných dát určiť lokálnu hodnotu prestupu tepla v tvare:

$$\alpha = -\lambda \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \frac{1}{T_w - T_\infty}. \quad (4)$$

Z experimentálnych dát je možné získať rozloženie teploty v tesnej blízkosti povrchu telesa, z ktorého následne môžeme určiť krivku teplotného profilu a následne hodnotu uhla β (obrázok 2). Popísaným spôsobom dokážeme určiť hodnotu koeficienta prestupu tepla v ľubovoľnom mieste na povrchu experimentálneho telesa.

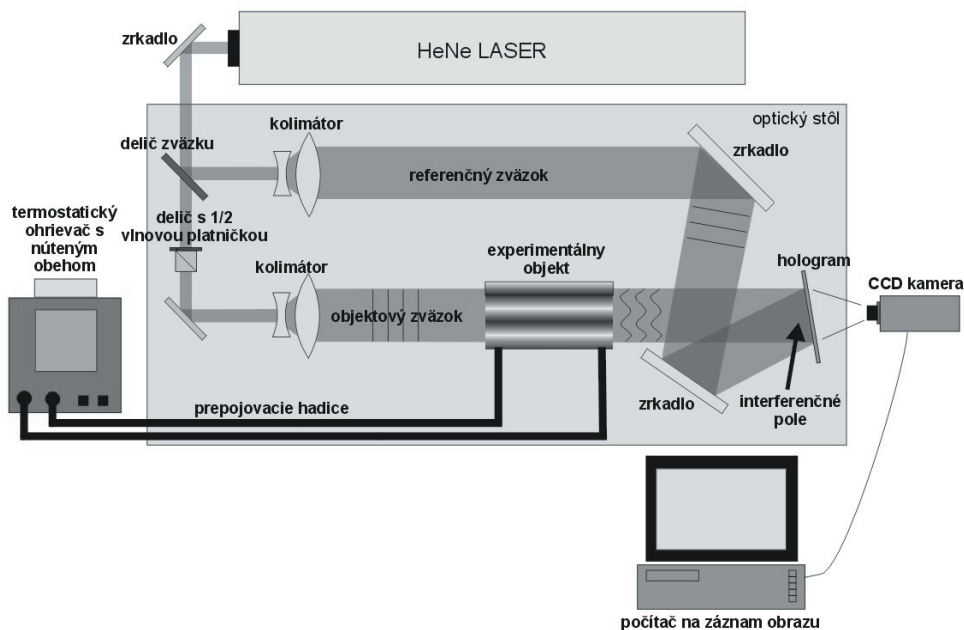


Obrázok 2 Spôsob určenia veľkosti uhla dotýčnice k teplotnému profilu, σ_x predstavuje hrúbku teplotnej medznej vrstvy a hrubá čiara reprezentuje priebeh teploty

3. EXPERIMENTÁLNE ZARIADENIE

Zostava experimentálneho zariadenia v podobe holografického interferometra bola zostavená na optickom stole umiestnenom na Katedre environmentálnej techniky FEVT podľa schémy na obrázku 3. Ako zdroj koherentného žiarenia bol použitý 50 mW HeNe laser produkujúci žiarenie s vlnovou dĺžkou 632,8 nm. Zväzok žiarenia je následne rozdelený do dvoch samostatných vetiev – referenčnej a predmetovej. Referenčná vetva je po rozkolimovaní na potrebný priemer pomocou zrkadiel vedená priamo na záznamové médium – holografickú platňu. Predmetová vetva prechádza deličom s $\frac{1}{2}$ vlnovou platničkou, ktorý slúži na korekciu intenzity žiarenia. Následne je zrkadlom vedený cez kolimátor na holografickú platňu, kde interferenciou oboch zväzkov vzniká interferenčná štruktúra. Na holografickej platni je zaznamenaná vzniknutá interferenčná štruktúra, ktorá zachytáva počiatočný (referenčný) stav interferometra. Po zázname je do dráhy predmetovej vetvy vložený experimentálny objekt, ktorý zmení vnútornú štruktúru prechádzajúceho žiarenia a vytvorí na holograme štruktúru tvorenú interferenčnými prúžkami. Táto štruktúra reprezentuje zmeny v dráhe zväzku vyvolané vplyvom pozmenených okrajových podmienok experimentu. Zo získanej štruktúry prúžkov je možné kvalitatívne aj kvantitatívne

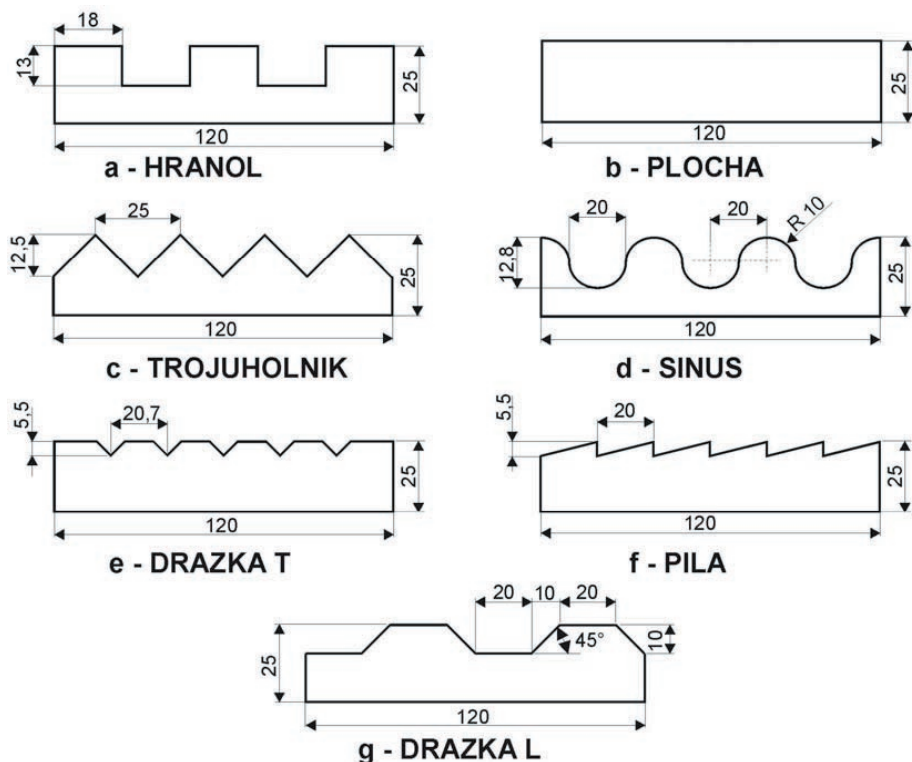
vyhodnotenie experimentu. Kvôli požiadavke následného spracovávanía získaných obrazov bola vytvorená štruktúra zaznamenávaná v podobe dátových súborov cez CCD kameru do počítača. Kompletné usporiadanie experimentálnej aparatury je znázornené na obrázku 3.



Obrázok 3 Celková schéma použitého experimentálneho zariadenia

Experimentálne merania boli uskutočnené na siedmich druhoch profilovaných povrchov, ktorých tvar a rozmery sú znázornené na obrázku 4. Modely boli vyhrievané na povrchovú teplotu v rozsahu 30–70 °C, pričom záznam obrazu bol uskutočňovaný vždy v intervaloch po 5 °C čo spolu predstavuje 9 dátových súborov pre každý profil. Pri každom zázname bolo archivovaných priemerne 10 obrazov, z ktorých boli následne získané informácie o rozložení interferenčných prúžkov. Pre výpočty boli použité priemerné hodnoty získaného súboru dát pre daný profil a teplotu povrchu.

Získané záznamy interferenčných štruktúr boli následne podrobené úpravám kvality obrazu a analýze, z ktorej boli získané priebehy jednotlivých teplotných profilov potrebných na vyhodnotenie a výpočet príslušných koeficientov prestupu tepla. Hodnoty lokálnych koeficientov boli určované podľa členitosti povrchu v 1 až 6 rôznych miestach na povrchu. Zo získaných hodnôt boli vypočítané hustoty tepelného toku z povrchu jednotlivých profilov, ktoré slúžia ako porovnávacie kritérium na vyhodnotenie efektívnosti prestupu tepla z povrchu jednotlivých profilov.



Obrázok 4 Tvar a rozmery použitých experimentálnych objektov

Stanovenie hodnoty hustoty tepelného toku pre jednotlivé profily bolo uskutočnené na základe prepočtu efektívnej povrchovej plochy (po rozvinutí) na plochu 1 m^2 vytvorenú danou profiláciou povrchu. Na prepočet hustoty tepelného toku boli použité prepočtové koeficienty získané na základe priemetu profilu do roviny a skutočnej povrchovej plochy daného profilu.

4. VÝSLEDKY A ZÁVERY

Priemerné hodnoty experimentálne stanovenej hustoty tepelného toku efektívneho (skutočného) povrchu (q_{ef}) pre jednotlivé profilácie povrchu sú uvedené v tabuľke 1. Hodnoty uvedené v tabuľke 1 predstavujú hustotu tepelného toku poskytovanú rovinou plochou 1 m^2 (po rozvinutí profilácie) pri hodnote koeficienta prestupu tepla rovnej priemernej hodnote experimentálne stanovenej lokálnych hodnôt koeficientov prestupu tepla na povrchu modelu. Priemerná hodnota koeficientu prestupu tepla pre daný profil ako celok bola stanovená ako vážený priemer lokálnych hodnôt pričom váhou jednotlivých čiastkových plôch profilu bol ich plošný obsah.

Tabuľka 1 Priemerné hodnoty hustoty tepelného toku efektívneho (skutočného) povrchu pre jednotlivé profilácie povrchu pri danej teplote povrchu ($t_w = 20\text{ °C}$)

t_w (°C)	q_{ef} (Wm ⁻²)							
	a	b	c	d	e	f	f	g
	HRANOL	PLOCHA	TROUHOLNIK	SINUS	DRAZKA T	PILA	PILA O	DRAZKA L
30	18,78	47,40	17,86	26,31	27,71	23,59	30,34	37,79
35	31,67	77,07	32,54	40,16	46,12	39,08	49,70	65,59
40	47,49	105,82	50,30	59,97	67,75	51,99	66,92	92,76
45	60,30	134,58	68,54	78,73	84,29	72,82	91,72	126,68
50	77,76	163,65	86,55	101,09	107,85	91,59	114,42	151,86
55	87,77	195,62	99,00	121,93	126,05	110,01	135,68	183,11
60	109,17	227,08	124,44	144,25	145,68	135,81	161,86	215,72
65	125,07	259,07	145,33	166,29	168,00	165,70	180,38	249,52
70	150,60	293,65	172,28	198,54	188,02	196,31	209,69	298,47

Z výsledkov vyplýva, že najvyššiu hodnotu hustoty tepelného toku efektívneho povrchu poskytuje profil 2 (PLOCHA). Zo získaných výsledkov je možné vysloviť tvrdenie, že hustota tepelného toku klesá so zvyšujúcou sa členitosťou povrchu. Najnižšie hodnoty tepelného toku poskytujú najčlenitejšie profily (profil 1 (HRANOL) a profil 3 (TROJUHOLNIK)). Naopak najvyššie hodnoty hustoty tepelného toku poskytujú povrchy s minimálnou profiláciou (profil 2 (PLOCHA) a profil 7 (DRAZKA L)). Okrem toho je zrejmý fakt, že orientácia nesúmerných profilov významne vplýva na efektívnosť prestupu tepla. Dôkazom je profil 6 (PILA), ktorý po otočení poskytuje hodnoty hustoty tepelného toku vyššie o 6,5–28 %.

Pomery priemetu profilu k jeho skutočnej efektívnej povrchovej ploche sú uvedené v tabuľke 2. Uvedené pomery predstavujú pomer efektívneho povrchu profilu po rozvinutí do roviny k priemetu profilovanej plochy do roviny pri zachovaní profilácie. Uvedené pomery umožňujú prepočet hustoty tepelného toku z efektívneho povrchu na hustotu tepelného toku, ktorú poskytuje daný profil z plochy 1 m² s danou profiláciou povrchu.

Tabuľka 2 Pomery priemetu profilu do plochy k efektívnej povrchovej ploche

profil	a	b	c	d	e	f	g
	HRANOL	PLOCHA	TROJUHOLNIK	SINUS	DRAZKA T	PILA	DRAZKA L
pomer	1,7085	1,0000	1,4200	1,2875	1,2135	1,3373	1,1407

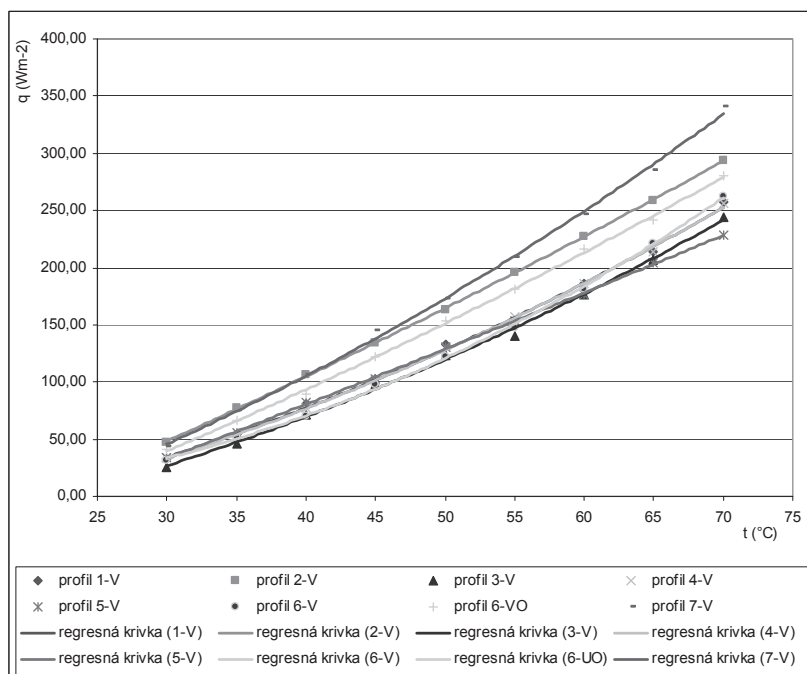
Sumár experimentálne získaných hodnôt hustoty tepelného toku (q_R) poskytovaného jednotlivými profilmi pri vertikálnej orientácii povrchu je zhrnutý v podobe tabuľky 3. Pod tabuľkou je aj grafické znázornenie hodnôt z tabuľky 3, ktoré umožňuje získať komplexnú predstavu o závislosti hustoty tepelného toku na teplote povrchu. V grafe sú vynešané aj experimentálne získané krivky regresnej závislosti pre jednotlivé profily.

Hodnoty hustoty tepelného toku uvedené v tabuľke 3 predstavujú množstvo tepla odovzdané do okolitého priestoru z povrchu s obsahom 1 m² pri danej profilácii povrchu orientovanej vo vertikálnom smere.

V nasledujúcej tabuľke (tab. 3) sú uvedené hodnoty hustoty tepelného toku pre jednotlivé profily vypočítané na základe experimentálne stanovených rovníc regresnej závislosti hustoty tepelného toku od teploty povrchu profilu. Označenie profilov korešponduje s označením v obrázku číslo 4.

Tabuľka 3 Hodnoty hustoty tepelného toku pre jednotlivé profily vypočítané z experimentálne stanovených rovníc regresnej závislosti na teplote (vertikálna orientácia)

t_w (°C)	q_R (Wm ⁻²)							
	a	b	c	d	e	f	f	g
	HRANOL	PLOCHA	TROJUHOLNIK	SINUS	DRAZKA T	PILA	PILA O	DRAZKA L
30	34,22	48,38	26,80	33,09	33,42	33,58	39,57	45,75
35	54,85	76,29	47,30	53,97	56,87	50,37	66,00	74,49
40	77,37	104,97	69,61	76,73	80,58	70,49	93,43	105,33
45	101,80	134,41	93,74	101,37	104,55	93,94	121,87	138,26
50	128,13	164,61	119,70	127,89	128,79	120,71	151,31	173,30
55	156,35	195,58	147,47	156,29	153,28	150,81	181,76	210,44
60	186,48	227,31	177,07	186,58	178,03	184,23	213,21	249,67
65	218,50	259,81	208,48	218,74	203,04	220,97	245,67	291,01
70	252,43	293,08	241,71	252,78	228,31	261,05	279,14	334,45



Obrázok 5 Grafické znázornenie závislosti hustoty tepelného toku pre jednotlivé profily od teploty pri vertikálnej orientácii povrchu

Zo získaných experimentálnych výsledkov pri vertikálnej orientácii povrchu je možné vyvodiť nasledujúce závery:

- V intervale teplôt 30–35 °C poskytuje najefektívnejší prestup tepla z povrchu profil 2 (PLOCHA). V rovnakom intervale teplôt je z pohľadu hustoty tepelného toku najmenej efektívny profil 3 (TROJUHOLNIK). Rozdiel efektívnosti pre dané profily je v rozsahu 61,3–80,5 %, pričom s rastúcou teplotou klesá.
- V rozsahu teplôt 40–70 °C poskytuje najvyššiu hodnotu hustoty tepelného toku profil 7 (DRAZKA L). Nárast efektívnosti prestupu tepla voči najmenej efektívnemu profilu predstavuje 46,5–51,3 %.
- Percentuálny rozdiel v efektívnosti medzi najefektívnejším profilom (profil 7 (DRAZKA L)) a v súčasnosti najčastejšie využívanou vertikálnou profiláciou pri výrobe komerčných vykurovacích telies (bez profilácie = profil 2 (PLOCHA)) predstavuje 2,9–14,1 %. Rozdiel v efektívnosti rastie so stúpajúcou teplotou povrchu profilu.

5. ZÁVER

Získané experimentálne výsledky potvrdzujú fakt, že povrchová profilácia teplovýmenej plochy má významný vplyv na poskytované hodnoty hustoty tepelného toku. Rozdiel v hustote tepelného toku vyplývajúci z rôznej profilácie predstavuje možnosť zvyšovania efektívnosti prestupu tepla pri vykurovaní. Implementáciou získaných výsledkov do praxe je možné bez straty teplotného komfortu dosiahnuť úspory v spotrebe tepla na vykurovanie životného a pracovného prostredia človeka.

LITERATÚRA

- ČERNECKÝ J., PIVARČIOVÁ E.: 1997, Aplikácia holografickej interferometrie pri zviditeľňovaní teplotných polí, Vedecká štúdia, TU Zvolen, 1997, ISBN 80-228-0654-4
- FERSTL, K.: 1995, Vybrané state z prúdenia a prenosu tepla, Bratislava: ES STU, 1995
- PAVELEK M., JANOTKOVÁ M., ŠTĚTINA J.: 2007, Vizualizační a optické měřicí metody, druhé vydání, Brno, VUT, 2007
- URGELA S., LUPTÁK O.: 0992, Determination of Temperature Fields above Plates with Different Geometry Heated by Moistened Air, In: Y. Tanida – H. Miyashiro (Editors), Flow Visualization VI, Springer Verlag, 1992, s. 545–549

Kontaktná adresa:

Ing. Rastislav Igaz

KFEAM DF, Masaryka 24, 960 53 Zvolen, igaz@vsld.tuzvo.sk

doc. Ing. Jozef Černecký, CSc.

KET FEVT, Študentská 26, 960 53 Zvolen, jcern@vsld.tuzvo.sk

POUŽITIE MODIFIKOVANÉHO UMELEHO IMUNITNÉHO SYSTÉMU V NÁVRHU PARAMETROV REGULÁTORA

AN APPLICATION MODIFIED ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEM IN DESIGN CONTROL DEVICE PARAMETERS

Eudovít ŠIPOŠ – Ľubomír NAŠČÁK

ABSTRACT: This paper presents the original application of Modified evolutionary optimization algorithm based on Artificial Immune System (MAIS) in design control device parameters. The implemented algorithm in C++ is able to find multiple extremes at the same time. The reducing process of design is based on affinity, so process implemented in MAIS allows leaving a local extreme too. Fig. 2 presents the used algorithm. It consists generating of population, initialization of evolution parameters ($\sigma_0, t, T, \alpha, \dots$). Evolution is realized in time $t++ < T$ without modification of parameter σ_t . Using of simplify affinity is used for reduction of population. New published method is appropriate for dynamic optimizing control device parameters.

Key words: evolution, optimizing, artificial immune system, control device

ABSTRAKT: Článok opisuje aplikáciu originálneho algoritmu, ktorý je založený na modifikovanom umelom imunitnom systéme (MAIS). Algoritmus je implementovaný v jazyku C++ a je schopný súčasne nájsť viac extrémov. Proces redukcie populácie je založený na afinitě, čo umožňuje opustenie lokálneho extrému. Obr. 2 zobrazuje použitý algoritmus. Obsahuje generovanie populácie, inicializáciu evolučných parametrov ($\sigma_0, t, T, \alpha, \dots$). Evolúcia je realizovaná v čase $t++ < T$ bez úpravy parametra σ_t . Redukcia populácie je založená na zjednodušenej afinitě. Publikovaná metóda je vhodná na dynamickú optimalizáciu parametrov regulátora.

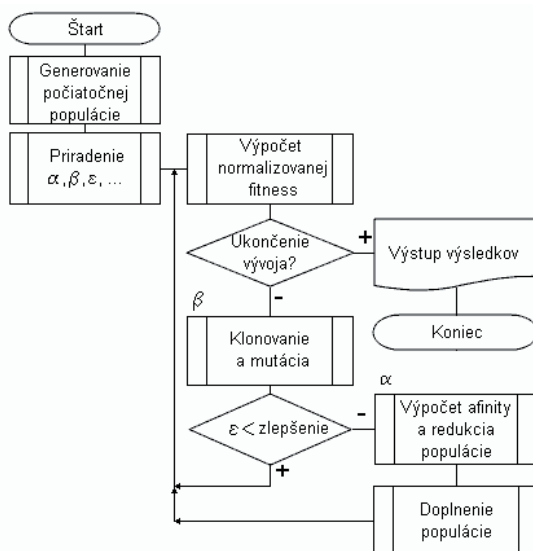
Kľúčové slová: evolúcia, optimalizácia, umelý imunitný systém, regulácia

1 ÚVOD

Moderné metódy teórie riadenia sa pri výpočte parametrov regulátorov používajú menej oproti klasickým metódam. Najčastejšie sa z moderných riadiacich algoritmov používa fuzzy logika. Jej výhoda je hlavne pri systémoch s viac vstupmi a výstupmi. Vo vývoji nových metód, ktoré používajú umelú inteligenciu majú významnú úlohu umelé

neurónové siete, ktorých štruktúry sa snažia napodobniť biologické neurónové siete a tiež imunitné systémy. V článku je popísaný jeden z možných spôsobov využitia umelého imunitného systému pre výpočet parametrov PSD regulátora. Pod návrhom regulačného obvodu je možné rozumieť určenie jeho štruktúry a zároveň parametrov štruktúry tak, aby vyhovovali požiadavkám určeným kvalitou riadenia. Riadenie sa často realizuje vo forme uzavretého riadiaceho systému. Ak je matematický popis riadenej dynamickej sústavy známy, úlohou návrhu je určenie optimálnych parametrov riadiaceho systému v závislosti na požadovanej kvalite riadenia. Medzi základné požiadavky praktického uplatnenia návrhu riadenia patria najmä stabilita, sledovanie zmeny riadiacej veličiny a potlačanie vplyvu porúch. Kvalita riadenia je definovaná minimalizáciou niektorých z integrálnych kritérií kvality regulácie ako sú napr. *absolútna regulačná plocha*, ale aj *doba regulácie*, *maximálna veľkosť preregulovania*, *minimalizácia vstupnej energie*, ako aj ich kombinácie zlúčené do spoločnej integrálnej funkcie. Je samozrejmé, že existujú približné metódy návrhu, ktoré však nie sú optimálne, a preto sa musia obvykle experimentálne doladiť. Diametrálne rozdielna je situácia pri adaptívnom riadení, kedy je vylúčené experimentálne upresňovanie parametrov riadiacich prvkov. Je samozrejmé, že v procese návrhu sa nevyhneme simulácii, prípadne identifikácii riadenej dynamickej sústavy.

Výkonnosť prostriedkov výpočtovej techniky umožňuje v súčasnej dobe obrátiť pozornosť na procesy odohrávajúce sa v prírode a spoločnosti a hľadať inšpiráciu v javoch bežne sa odohrávajúcich okolo nás. Medzi zdroje inšpirácie patrí aj imunitný systém, ktorý svojou činnosťou predstavuje robustný systém schopný reagovať na neznáme situácie, spôsobilý pamätať si prekonané situácie. Činnosť imunitného systému, ktorá je v súčasnosti dostatočne v literatúre zdokumentovaná, viedla (CASTRO 2002) k návrhu algoritmu, ktorý bol inšpirovaný klonálnou selekciou imunitného systému. Algoritmus je možné zjednodušene zobrazíť nasledovne:



Obr. 1 Zjednodušený algoritmus optimalizácie pomocou UIS

1. Náhodná inicializácia populácie N_{pop} buniek.
2. Ohodnotenie kvality populácie podľa vzťahu (1).
3. Test ukončenia vývoja.
4. Vygenerovanie N_C klonov každej bunky populácie počtom úmerne jeho úspešnosti.
5. Mutácia každého klonu nepriamo úmerne jeho úspešnosti podľa vzťahu (2).
6. Prípadná náhrada rodiča najlepšou bunkou zmutovaného klonu.
7. Opakovanie procesu od bodu 2., ak došlo k výraznému zlepšeniu priemernej kvality populácie.
8. Určenie vzájomnej podobnosti (afinity) všetkých buniek rozšírenej populácie voči najlepším bunkám.
9. Likvidácia podobných buniek.
10. Náhodný výber $\alpha \cdot N_{pop}$ buniek a doplnenie $(1 - \alpha) \cdot N_{pop}$ buniek.
11. Opakovanie procesu od bodu 2.

Pre ohodnotenie populácie buniek (normalizovaná fitness) je možné použiť pre prípad minimalizácie vzťah:

$$f_n(x) = \frac{\max f(x) - f(x)}{\max f(x) - \min f(x)} \quad (1)$$

kde $f(x)$ je funkčné ohodnotenie bunky x (optimalizovaná funkcia). Zároveň pre mutáciu je použitý vzťah:

$$x^{t+1} = x^t + \frac{N}{\beta} e^{-f_n(x^t)} \quad (2)$$

kde x^t je rodičovská bunka, x^{t+1} je bunka po mutácii a N je náhodné číslo s normálnym rozdelením $\frac{N(\mu, \sigma)}{\beta} = N\left(0, \frac{1}{\beta}\right)$ a $\beta > 0$ je konštanta prispôsobenia rozptylu mutácie (na základe obmedzení veľkosti zložiek vektora x).

Pri skúmaní vyššie uvedeného postupu, môžeme konštatovať, že algoritmus UIS predstavuje kombináciu lokálneho a globálneho prehľadávania. Je zrejme, že jeho výpočtová náročnosť voči iným evolučným algoritmom je vyššia, pretože sa realizuje viacnásobné vyhodnocovanie fitness pre každú generáciu (t), v rozširovaní veľkosti populácie (kroky 4.–7.) a vo výpočte vzájomných afínit všetkých buniek populácie. Návrh a overenie eliminácie výpočtovej náročnosti sú bližšie popísané v (ŠIPOŠ 2008) a zároveň zobrazené na Obr. 2.

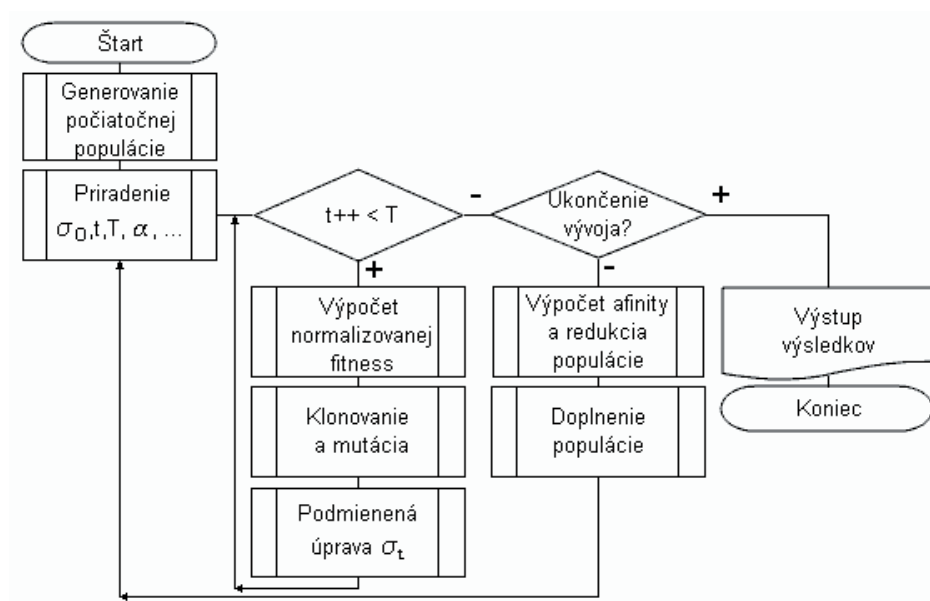
Ak budeme vo vzťahu (2) skúmať zložku $e^{-f_n(x^t)}$, zistíme, že $f_n(x^t) \in \langle 0, 1 \rangle$, čo predstavuje koeficient pre faktor mutácie $\in \langle e^{-1}, 1 \rangle$, ktorý v súčine s výrazom $\frac{N(0,1)}{\beta}$ môže pre niektoré prípady optimalizácie, vzhľadom na parameter β , predstavovať príliš veľkú hodnotu mutácie. Pre úpravu sa núka nasledovný vzťah:

$$x^{t+1} = x^t + N \cdot e^{-f_n(x^t)} \quad (3)$$

kde $N(\mu, \sigma) = N(0, \sigma_t)$ je číslo s normálnym rozdelením.

Hodnotu σ_t je možné navrhnúť na základe hodnôt obmedzení oboru parametrov riešenia optimalizačného problému. Všeobecne vzhľadom na možné rádové rozdiely zložiek vektora riešenia $\mathbf{x}$, je možné pre každú zložku vektora riešenia $\mathbf{x}$ realizovať mutáciu s iným parametrom σ . Pretože nevzniká rozšírená populácia, dochádza pri výpočte afinity k redukcii výpočtovej náročnosti.

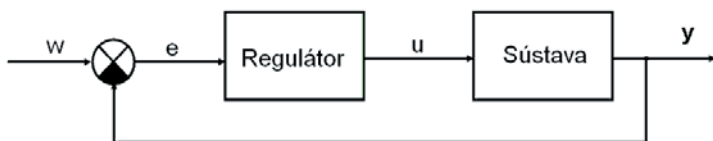
Väčšina optimalizačných postupov sa snaží riešiť svoju konvergenciu zabezpečením monotónnosti vývoja. Ten je založený na elitizme, kedy je najlepšie riešenie ponechané vždy v nasledujúcej populácii. Preto aj krok 10. algoritmu musí túto skutočnosť zohľadňovať. Potom koeficient α musí nadobúdať minimálne takú hodnotu, ktorá reprezentuje počet hľadaných globálnych extrémov. Do novej populácie sa potom prednostne zaraďia najlepšie riešenia, ktoré sa doplnia náhodným výberom zo zvyšnej populácie po náhodnom generovaní k nových riešení. Upravený algoritmus modifikovaného umelého imunitného systému (Modified Artificial Immune System – MAIS) je možné znázorniť nasledovne:



Obr. 2 Modifikovaný algoritmus MAIS podľa (ŠIPOŠ 2008)

2 RIEŠENIE NÁVRHU PARAMETROV REGULÁTORA

Optimalizácia parametrov regulátora je charakteristická tým, že zložky vektora riešenia $\mathbf{x}$ sú maximálne 3 (napr. pre PID regulátor) a môžu nadobúdať len pozitívne hodnoty. Potom účelová funkcia $f(\mathbf{x}) = f(x_1, x_2, x_3)$ predstavuje zobrazenie $f: \mathbf{x} \rightarrow R$. Aby mohla prebehnúť optimalizácia, je potrebné simulovať činnosť uzavretého regulačného obvodu.



Obr. 3 Schéma jednoduchého uzavretého regulačného obvodu

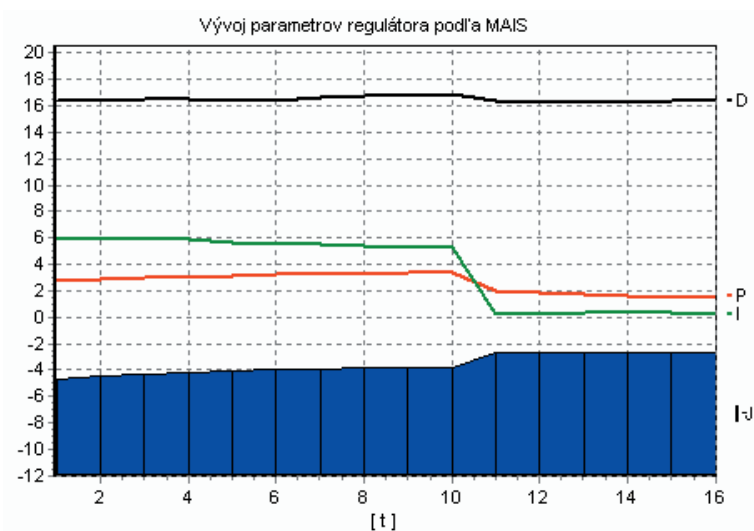
Ako kritériálnu funkciu optimalizácie parametrov regulátora je možné použiť niektorú z

$$J_{ITAE} = \int_0^T t |e(t)| dt, \quad J_{ISE} = \int_0^T e^2(t) dt, \quad J = \int_0^T (y - y_r)^2 dt, \quad J = \int_0^T [\alpha e^2(t) + (1 - \alpha) u^2(t)] dt,$$

prípadne ďalšiu funkciu.

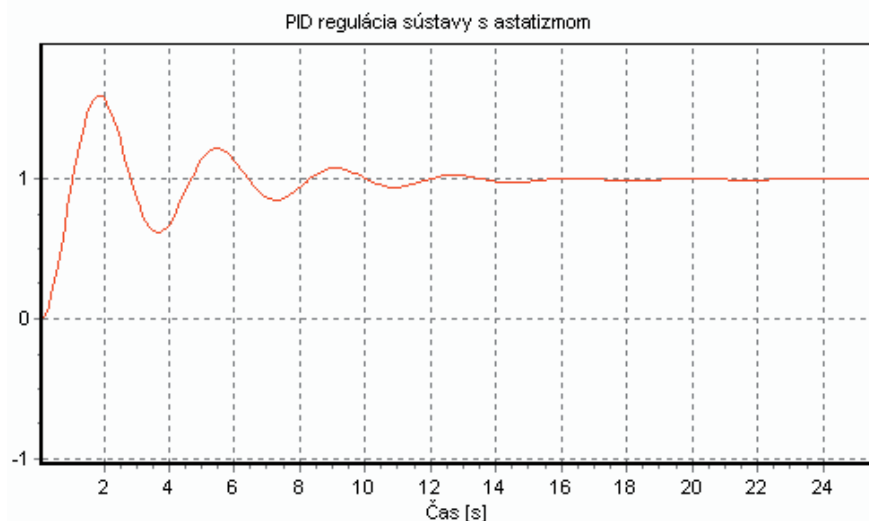
Mutácia vektora x je realizovaná podľa vzťahu (3), ktorý generuje zložky reálneho charakteru. Existujú dva spôsoby riešenia problému mutácie. Buď sa mutujú všetky zložky vektora x súčasne, alebo sa náhodne zvolia zložky, na ktoré sa aplikuje mutácia.

Afinita imunitných buniek reprezentuje ich podobnosť. Dá sa počítať rôznymi spôsobmi. Najčastejšie sa používa výpočet afinity pomocou euklidovskej vzdialenosti, čím sa neprimerane zvyšuje výpočtová náročnosť. Zníženie výpočtovej náročnosti bolo navrhnuté riešiť výpočtom náhradnej afinity pomocou absolútnej diferencie hodnôt kritériálnej funkcie so zachovaním princípov elitárstva. Tento prístup síce vylúči aj euklidovský vzdialené riešenia, ktoré sú však približne rovnako kvalitné. V programovom návrhu realizácie sa použila 10% tolerancia. Experimentálne sa preukázalo, že oba spôsoby mutácie sú rovnocenné z hľadiska rýchlosti konvergencie riešenia a rovnako aj spôsob určenia afinity je vyhovujúci. Typický priebeh vývoja koeficientov PID regulátora je zobrazený na Obr. 4.



Obr. 4 Ukážka vývoja parametrov PID regulátora

Pre overenie použiteľnosti metódy bola použitá astatická sústava $F(s) = \frac{4}{2s(1+3s)(1+4s)}$. V procese návrhu boli získané nasledovné hodnoty PID regulátora: $r_0 = 1.05777$, $r_i = 0.00126$, $r_d = 18.8875$, pre regulátor popísaný rovnicou $R(s) = r_0 + \frac{r_i}{s} + r_d \cdot s$. Priebeh regulácie jednotkovej skokovej zmeny je zobrazený na Obr. 5.



Obr. 5 Simulácia riadenia skúmanej astatickej sústavy

Umelý imunitný systém pracoval s 10 bunkami, ktoré sa v každom kroku (t) klonovali $10\times$. Z Obr. 4 je zrejmé, že na dosiahnutie parametrov PID regulátora bolo potrebných menej ako 100 iterácií, ktoré predstavovali výpočtový čas menej ako 0.5 s. Ako účelová funkcia bola použitá funkcia $J = \int_0^T (y - y_r)^2 dt$ s časovou diferenciou pre maximálne 500 krokov riešenia integrálu.

3 ZÁVER

Predložený a úspešne overený nový model optimalizácie parametrov regulátora pomocou modifikovanej metódy MAIS poskytuje účinný nástroj na riešenie optimalizácie vysoko multimodálnych úloh. Jeho výhodnosť sa prejaví najmä pri optimalizácii riadenia systémov s dynamicky sa meniacimi parametrami – v procese adaptívneho riadenia. Algoritmus MAIS je možné použiť aj pre optimalizáciu celočíselných a diskretných parametrov. V tomto prípade treba limitovať aj dolnú hranicu hodnoty parametra mutácie σ_t .

LITERATÚRA

- L. N. di CASTRO, TIMMIS, J.: 2002. *An Artificial Immune Network for Multimodal Function Optimization*, In.: Congress on Evolutionary Computation CEC 2002, IEEE press, 2002, s. 699–704
- KVASNIČKA, V., POSPÍCHAL, J., TIŇO, P.: 2000. *Evolučné algoritmy*. STU Bratislava, 2000, ISBN 80-227-1377-5
- LAMPINEN, J., ZELINKA, I.: 1999. *New ideas in Optimization – Mechanical Engineering Design Optimization by Differential Evolution*. Volume 1. London: McGraw-Hill, 1999. 20 s ISBN 007-709508-5
- RECHENBERG, I.: 1993. *Evolutionsstrategie: Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution*. Fromman - Holzboog, Stuttgart, 1973, 1993, 2. er.
- ŠIPOŠ, Ľ.: 2008. *Optimalizácia multimodálnych funkcií pomocou umelého imunitného systému s modifikáciou (MAIS)*. In.: Nové smery v spracovaní signálov IX. Tatranské Zruby, 28.–30. 5. 2008. AOS gen. M. R. Štefánika v Liptovskom Mikuláši, 2008, Zborník abstraktov: s. 29, ISBN 978-80-8084-345, CD-ROM: ISBN 978-808040-344-7
- ŠIPOŠ, Ľ.: 2008. *Modifikovaný umelý imunitný systém a optimalizácia diskretných parametrov*. In.: Acta facultatis technicae Zvolen, XII, 1/2008 (1), s. 35–43, ISSN 1336-4472
- SEKAJ, I.: 2005. *Evolučné výpočty a ich využitie v praxi*. IRIS Bratislava 2005, 157 s. ISBN 80-89018-87-4
- ZELINKA, I.: 2002. *Umělá inteligence v problémech globální optimalizace*. Praha: Nakladatelství BEN – technická literatura, 2002, 189 s. ISBN 80-7300-069-5

Kontaktná adresa:

doc. Ing. Ľudovít Šipoš, CSc.,

doc. Ing. Ľubomír Naščák, CSc.

Katedra informatiky a automatizačnej techniky FEVT

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

e-mail: sip@vsld.tuzvo.sk

e-mail: nas@vsld.tuzvo.sk

SILOVÁ ANALÝZA UPÍNACIEHO MECHANIZMU KMEŇOV DELIACEHO UZLA MANIPULAČNEJ LINKY

THE FORCE ANALYSIS OF THE CHUCKING DEVICE LOGS OF CUTTING MECHANISM CROSS-CUTTING LINE

Juraj MIKLEŠ

ABSTRACT: At article is introduced basic distribution of chucking devices. Choose is most commonly used chucking device with two jaws (levers) situated in the bottom part of cutting mechanism. For this chucking device is made the force analysis for purpose of keep split log in the equability condition in the various situations. Set are they conditions stagnancy of cutting log.

Key words: wood cross-cutting line, chucking device, force analysis

ABSTRAKT: V článku je uvedené základné rozdelenie upínacích mechanizmov. Vybraný je najčastejšie používaný upínací mechanizmus s dvoma čeľusťami (pákami) umiestenými v spodnej časti deliaceho uzla. Pre tento upínací mechanizmus je urobená silová analýza s cieľom udržania deleného kmeňa v kľudnom stave v rôznych situáciách. Stanovené sú podmienky nepohyblivosti rozpilovaného kmeňa.

Kľúčové slová: manipulačné linky dreva, upínací mechanizmus, silová analýza

ÚVOD

Deliaci uzol manipulačných liniek na skladoch dreva pozostáva z nasledovných mechanizmov:

- a) rezného mechanizmu ktorým je najčastejšie kotúčová alebo reťazová píla, výnimočne nožový skracovací mechanizmus
- b) posuvný mechanizmus, najčastejšie s hydrostatickým pohonom
- c) upínací mechanizmus, ktorý pridrží delený kmeň predovšetkým počas pílenia a zabezpečí, aby nedošlo k jeho pohybu

Manipulačné linky na výrobu sortimentov dreva sa delia do dvoch hlavných skupín, buď sú s pozdĺžnym a priečnym premiestňovaním kmeňa (sústavou dopravníkov) alebo kmeň sa nepremiestňuje a pohyblivé je skracovacie zariadenie. Vo všetkých prípadoch je nutná nepohyblivosť kmeňa pri priečnom delení.

1. VÝZNAM A ROZDELENIE UPÍNACÍCH MECHANIZMOV

V priebehu priečného pílenia výsledná rezná sila a odpor odtláčania snažia sa vyhodit' rozpiľovaný kmeň na stranu (pri posuve píly zhora dolu) alebo vyzdvihnúť o (pri posuve píly zdola nahor), a taktiež ho otáčať okolo pozdĺžnej osi. Pre udržanie kmeňa v priebehu pílenia v zafixovanom (pevnom) stave slúži upínací mechanizmus.

Pri posuve píly zhora dolu v niektorých prípadoch sa možno obísť všeobecne bez upínacieho mechanizmu. Preto prísuvný a odsuvný dopravník sa vybavujú obrubou (obr. 1a), o ktorú sa opiera svojou bočnou časťou rozpiľovaný kmeň, uložený na dopravníku excentricky. Pritom kinematický uhol posuvného pohybu θ protismerný sa mení v závislosti od priemeru pílenia d . Častejšie kmeň sa centruje na prísuvnom a odsuvnom dopravníku a skracovacie zariadenie sa vybavuje upínacím mechanizmom v podobe jednej alebo dvoch čeľustí alebo valčekov, ktoré sa pritláčajú k povrchu kmeňa za pôsobenia vlastnej tiaže alebo za pomoci hydro alebo pneu pohonu.

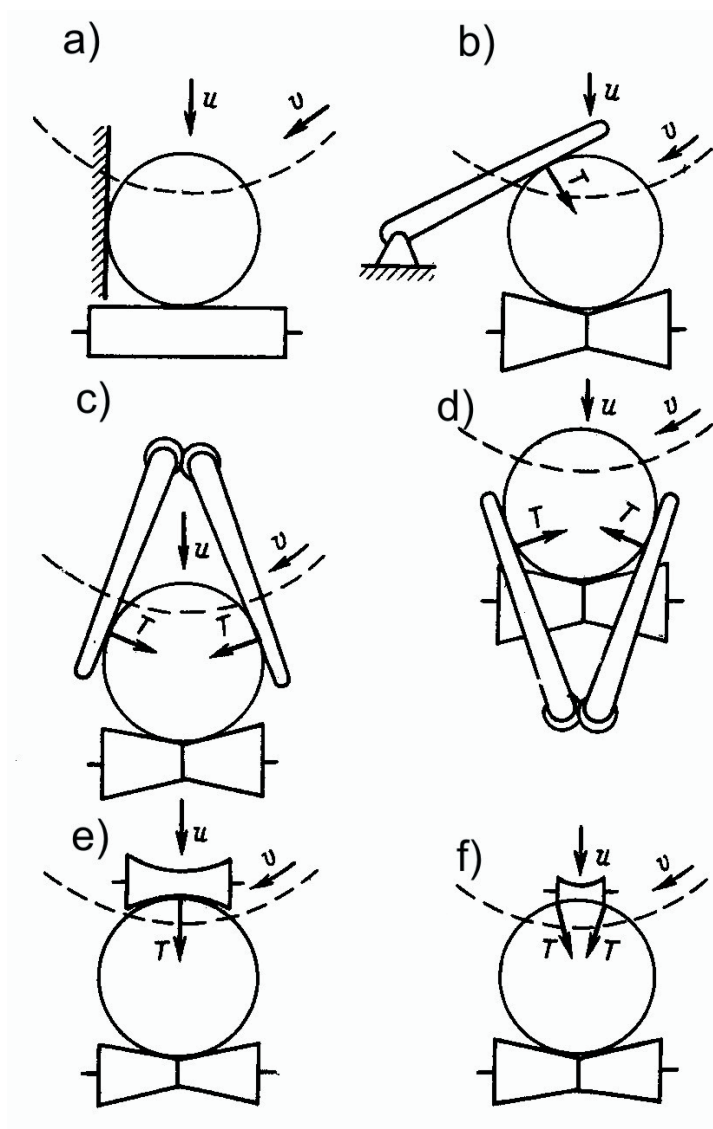
Na obr. 1 sú znázornené základné typy upínacích mechanizmov s jednou upínacou čeľusťou (obr. 1b); s dvomi čeľusťami, umiestnenými zhora (obr. 1c) alebo zdola (obr. 1d) a taktiež s upínacím valčekom, ktorý má rádius krivosti povrchu väčší ako rádius prierezu rozpiľovaného kmeňa (obr. 1e), alebo menší od tohto polomeru (obr. 1f). Mechanizmy s upínacím valčekom v podstate predstavujú rôznorodosť upnutia z horným umiestnením čeľustí. Upínací mechanizmus, znázornený na obr. 1, pracuje tak, ako zobrazený na obr. 1b pri podmienke horizontálneho umiestnenia upínacej páky. Pôsobenia upínacieho valčeka uvedeného na obr. 1e, analogicky pôsobenie dvojpákového upínacieho mechanizmu s horným umiestnením pák (obr. 1c). Najviac sú rozšírené upínacie mechanizmy, zobrazené na obr. 1b, d.

Pri posuve píly zhora, dolu sa používajú všetky druhy mechanizmov zobrazených na obr. 1; pri posuve píly zdola nahor druh uvedený na obr. 1d použitý byť nemôže, ostatné typy mechanizmov áno.

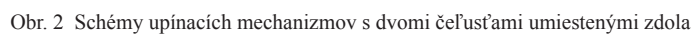
Zariadenia, určené pre priečne krátenie kmeňov sa vybavujú obyčajne dvomi úpinkami, umiestnenými pred pilou a za ňou. Tieto úpinky v priebehu pílenia udržujú ako zostávajúcu časť kmeňa tak aj odpilovanú časť. Posledné je osobitne dôležité pri výrobe a začelovaní, keď chýba upnutie, ktoré je umiestnené za pilou, kmeň sa ničím neudrží, a môže byť vyhodенý na stranu. Zariadenia, určené pre skracovanie kmeňov, zadné začelovanie obyčajne nevykonávajú, preto sa môžu vybaviť len jedným uchytením, umiestneným pred pilou ktorá udržiava v priebehu pílenia len zostávajúcu časť kmeňa.

Upínacie mechanizmy, zobrazené na obr. 1c, d vykonávajú taktiež centrovanie rozpiľovaného kmeňa na prísuvnom a odsuvnom dopravníku, a mechanizmus sa spodným umiestnením upínacích čeľustí (obr. 1d), viacej podopiera kmeň, čo vyvoláva odstránenie zovretia píly v reznej škáre.

Upínacie mechanizmy niekedy okrem svojej úlohy plnia tiež úlohu merania priemeru v mieste rezu. Výsledky týchto meraní mechanickým alebo elektrickým prenosom sa dostávajú k reguláru rýchlosti posuvu (napr. k ventilu alebo k variatoru) alebo k vybaveniu, ktoré vyberá program skracovania (delenia) v závislosti od prepilovaného priemeru.



Obr. 1 Druhy upínacích mechanizmov



2. UPÍNACIE MECHANIZMY S DVOMI ČEĽUSTAMI (PÁKAMI) UMIESTNENÝMI ZOSPODU

2.1 Silová analýza upínacieho mechanizmu

Upínací mechanizmus s dvomi čeľusťami, umiestnenými zdola, plní funkciu centrovania rozpiľovaného kmeňa do začiatku pílenia a jeho udržanie v nepohyblivom stave počas pílenia.

Určíme silu T na upínacej čeľusti, nevyhnutnú pre centrovanie rozpiľovaného kmeňa (obr. 2a). Z podmienky, že $\Sigma F_y = 0$, určíme:

$$N = G \cdot \cos \delta - T \sin(\beta_1 + \delta) - f_T T \cos(\beta_1 + \delta)$$

Podmienkou možnosti centrovania kmeňa (t. j. premiestnenia vpravo pôsobením upínacej sily T) sa udáva nasledovná nerovnosť:

$$\Sigma F_x = 0 \quad G \sin \delta - F_N + T \cos(\beta_1 + \delta) - F_T \sin(\beta_1 + \delta) > 0$$

Keď zoberieme $F_N = f_N N$ a $F_T = f_T T$, dostaneme

$$T > G \frac{f_N \cos \delta - \sin \delta}{(f_N - f_T) \sin(\beta_1 + \delta) + (1 + f_N f_T) \cos(\beta_1 + \delta)} \quad (1)$$

kde: β_1 – uhol medzi upínacou čeľusťou a vertikálnou osou.

Pri výpočte veličiny T podľa vzťahu (1) je, nutné pre centrovanie kmeňa brať najväčšiu hodnotu f_N a najmenšiu f_T .

Pri spodnej polohe upínacích čeľustí do začiatku pílenia pri pôsobení sily T je možné vytláčanie (skĺznutie) kmeňa hore alebo vykotúľanie hore po jednej z čeľustí (obr. 2b).

Reakcie N_1 a N_2 postavíme rovné nule, vtedy kmeň nie je vytláčaný hore a platí podmienka:

$$\Sigma F_y = 2T \sin \beta_1 + 2F_T \cos \beta_1 - G < 0 ;$$

keď zoberieme

$$F_T = f_T T \quad \text{a} \quad G = 0, \text{ dostaneme}$$

$$\beta_1 < \arctan f_T \quad (2)$$

keď zoberieme $f_T = 0,40$ dostaneme; $\beta_1 < 0,38 \text{ rad}$.

Podmienkou, že kmeň sa nevykotúľá hore po upínacej čeľusti je, že platí:

$$\Sigma M_0 = T k_T - T r \sin 2\beta_1 + F_T (r + r \cos 2\beta_1) + G r \cos \beta_1 > 0$$

Zoberieme $F_T = f_T T$ a $G = 0$, po určitých úpravách dostaneme

$$\beta_1 < \frac{1}{2} \arcsin \frac{\frac{k_T}{r} + f_T + f_T \sqrt{1 - 2 \frac{k_T}{r} f_T - \left(\frac{k_T}{r}\right)^2}}{1 + f_T^2}$$

Pri malom zjednodušení tento výraz nadobudne tvar

$$\beta_1 < \frac{1}{2} \arcsin \frac{2f_T + \frac{k_T}{r}}{1 + f_T^2} \quad (3)$$

Pri $k_T/r = 0,08$ a $f_T = 0,40$ určíme, že $\beta_1 < 0,44 \text{ rad}$. Keď porovnáme hodnoty β_1 , získané podľa vzťahov (2) a (3) môžeme určiť, že nepohyblivosť kmeňa do začiatku pílenia sa zabezpečuje pri podmienke, že $\beta_1 < 0,38 \text{ rad}$. Veľkosť sily T , vyvolaná upínacími čelustami, musí zabezpečovať nepohyblivosť kmeňa aj v čase jeho delenia. Pri pôsobení reznej sily P_p a odporu proti odtlačaniu P_0 rozpiľovaný kmeň môže byť vyrazený po podopieracích valčekoch (klzanie); vykotúľaný po pridržiavacích valčekoch alebo po upínacej čelusti, prípadne sa začať otáčať okolo svojej pozdĺžnej osi. Určíme veličinu T , zabezpečujúcu nepohyblivosť kmeňa počas pílenia, pre každý zo sledovaných prípadov možných premiestnení.

2.2 Vyhrážanie vľavo po podopierajúcom valčeku

Výpočtová schéma je uvedená na obr. 2c. Veličina reakcie N_1 sa určuje z podmienky, že $\sum F_y = 0$ (pritom smer pôsobenia sily F_T je prijaté opačne ako je zobrazené na obr. 2c):

$$N_1 = G \cdot \cos \delta - T \sin(\beta_1 + \delta) - F_T \cos(\beta_1 + \delta) + P_p \sin(\alpha + \delta) + P_0 \cos(\alpha + \delta)$$

Podmienkou toho, že rozpiľovaný kmeň nebude vyrazený vľavo po opornom valčeku je:

$$\sum x = F_N + G \sin \delta + T \cos(\beta_1 + \delta) + F_T \sin(\beta_1 + \delta) - P_p \cos(\alpha + \delta) + P_0 \sin(\alpha + \delta) > 0$$

Keď zoberieme $G = 0$; $F_T = f_T T$; $F_N = f_N N_1$; $P_0 = \alpha_0 P_p$;

dostaneme

$$T > P_p \frac{A'_1}{B'_1} = P_p \lambda_1 \quad (4)$$

kde:

$$A'_1 = \cos(\alpha + \delta)(1 - \alpha_0 f_N) - \sin(\alpha + \delta)(f_N + \alpha_0);$$

$$B'_1 = \cos(\beta + \delta)(1 - f_N f_T) + \sin(\beta_1 + \delta)(f_T - f_N)$$

2.3 Vykotúľanie vľavo po podopierajúcom valčeku

Výpočtová schéma je uvedená na obr. 2d. Veličina podpornej reakcie N_1 je taká, ako v predchádzajúcom prípade. Podmienkou toho, aby sa rozpiľovaný kmeň nevykotúľal vľavo po podpornom valčeku alebo traverze sa ukazuje:

$$\sum M_{01} = N_1 \cdot k_N + Gr \sin \delta + Tr \cos(\beta_1 + \delta) + F_T [r - r \sin(\beta_1 + \delta)] + P_0 r \sin(\alpha + \delta) - P_p [C_u + r \cos(\alpha + \delta)] > 0$$

Z danej nerovnosti určíme

$$T > P_p \frac{C_u / r + A'_2}{B'_2} = P_R \cdot \lambda \quad (5)$$

kde:

$$A'_2 = \cos(\alpha + \delta)(1 - \alpha_0 k_N / r) - \sin(\alpha + \delta)(k_N / r + \alpha_0);$$

$$B'_2 = \cos(\beta_1 + \delta)(1 - f_T k_N / r) - \sin(\beta_1 + \delta)(k_N / r + f_T) + f_T$$

2.4 Vykotúľanie vľavo po upínacej čelusti

Výpočtová schéma je uvedená na obr. 2e. Reakcia $N_1 = 0$. Podmienkou toho, že rozpiľovaný kmeň sa nebude kotúľať vľavo po upínacej čelusti je

$$\sum M_{02} = Tk_T + Gr \cos \beta_1 - Tr \sin 2\beta_1 + F_T (r + r \cos 2\beta_1) - P_p [C_u - r \sin(\alpha - \beta_1)] + P_o r \cos(\alpha - \beta_1) > 0$$

Z danej nerovnosti určíme:

$$T > P_p \frac{C_u / r - A'_3}{B'_3} = P_p \lambda_3 \quad (6)$$

kde

$$A'_3 = \sin(\alpha - \beta_1) + \alpha_o \cos(\alpha - \beta_1);$$

$$B'_3 = f_T \cos 2\beta_1 - \sin 2\beta_1 + k_T / r + f_T$$

2.5 Otáčanie kmeňa okolo svojej pozdĺžnej osi

Výpočtová schéma je uvedená na obr. 2f. Možno predpokladať, že $N_2 = 0$, keď upnutie kmeňa sa uskutočňuje v troch bodoch.

Veličinu N_1 určíme z podmienky, že $\sum F_y = 0$ (pritom smer sily F_T na pravej čelusti (páky) sa berie opačný ako je zobrazené na obr. 2f):

$$N_1 = G \cos \delta - T \sin(\beta_1 + \delta) - F_T \cos(\beta_1 + \delta) + \\ + T \sin(\delta - \beta_1) - F_T \cos(\delta - \beta_1) + P_o \cos(\alpha + \delta) + P_p \sin(\alpha + \delta)$$

Podmienkou, že rozpiľovaný kmeň sa nebude otáčať okolo svojej osi je, že platí:

$$\sum M_o = F_N \cdot r + 2F_T \cdot r - P_p c_u > 0$$

Pritom $F_N = f_N N_1$; $F_T = f_T T$; $P_o = \alpha_o P_p$; $G = 0$
potom dostaneme

$$T > P_p \frac{c_u / r - A'_4}{B'_4} = P_p \lambda_4 \quad (7)$$

kde

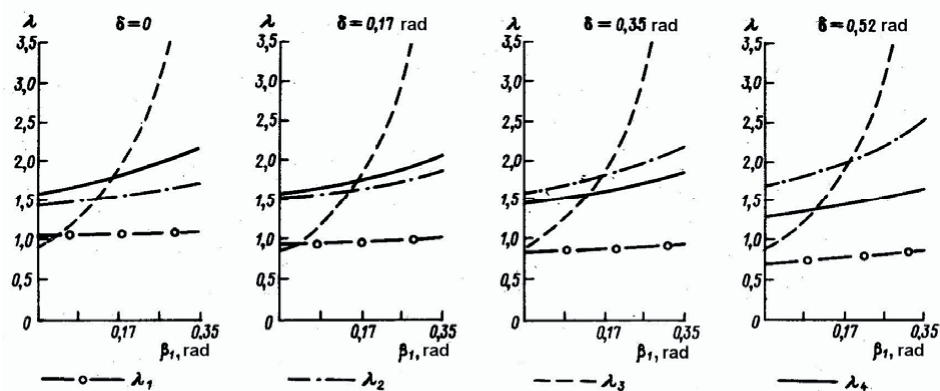
$$A'_4 = f_N [\sin(\alpha + \delta) + \alpha_o \cos(\alpha + \delta)];$$

$$B'_4 = 2f_T - f_N [\sin(\delta + \beta_1) - \sin(\delta - \beta_1)] - f_N - f_T [\cos(\delta + \beta_1) - \cos(\delta - \beta_1)]$$

3. VŠEOBECNÉ PODMIENKY NEPOHYBLIVOSTI ROZPIĽOVANÉHO KMEŇA

Pre pilové mechanizmy s $P_p = \text{const}$ analýza vzťahov (4)÷(7) ukazuje, že najväčšia hodnota nevyhnutnej upínacej sily T (z čoho vyplývajú aj koeficienty $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ a λ_4) sa realizuje pri najmenších hodnotách $f_N, f_T, k_N / r, k_N / r, \alpha_o, \alpha$ a pri najväčšej hodnote c_u / r . Keď použijeme vzťahy (4)÷(7) určíme veľkosť koeficientu $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ a λ_4 pre rozličné hodnoty δ a β_1 (v medziach prípustných z hľadiska nepohyblivosti kmeňa do začiatku pílenia). Pritom uvažujeme najťažšie podmienky práce upínacieho mechanizmu ($f_N = 0,25$; $f_T = 0,40$; $k_N / r = 0,05$; $k_N / r = 0,08$; $\alpha_o = 0,2$; $\alpha = 0 \text{ rad}$; $c_u / r = 1,0$).

Pre tieto podmienky získané výpočtové hodnoty $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ a λ_4 a taktiež $\lambda_{\max}$ sú uvedené v tab. 1a na obr. 3a.



Obr. 3: Grafy $\lambda = f(\delta, \beta_1)$ pre upínacie mechanizmy s dvomi čeľusťami, umiestenými zdola

Tab. 1: Hodnoty koeficientu λ pre skrakovacie mechanizmy s $P_p = \text{const}$

δ , rad	β , rad	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	$\lambda_{\max}$
0	0	1,46	2,35	3,29	1,47	3,29
	0,17	1,20	1,96	2,55	1,53	2,55
	0,35	1,03	1,73	2,14	1,58	2,14
	0,52	0,94	1,55	1,72	1,67	1,72
0,17	0	1,08	1,90	2,35	1,47	2,35
	0,17	0,93	1,67	1,91	1,54	1,91
	0,35	0,84	1,50	1,58	1,59	1,59
	0,52	0,79	1,40	1,36	1,68	1,68
0,35	0,70	0,77	1,34	1,18	1,80	1,80
	0	0,81	1,60	1,74	1,47	1,74
	0,17	0,73	1,43	1,44	1,52	1,52
	0,35	0,69	1,33	1,22	1,59	1,59
0,52	0,52	0,67	1,28	1,05	1,67	1,67
	0,70	0,67	1,24	0,91	1,79	1,79
	0,87	0,70	1,24	0,79	1,98	1,98
	0	0,59	1,34	1,25	1,44	1,44
0,70	0,17	0,55	1,25	1,06	1,51	1,51
	0,35	0,53	1,20	0,89	1,57	1,57
	0,52	0,53	1,17	0,76	1,65	1,65
	0,70	0,56	1,17	0,64	1,78	1,78
0,87	0,87	0,60	1,20	0,53	1,96	1,96
	1,05	0,66	1,24	0,43	2,18	2,18

Analýza týchto údajov ukazuje, že na veľkosť nevyhnutnej upínacej sily T výnimočne veľký vplyv má uhol medzi upínacou čeľusťou (pákou) a vertikálnou osou (uhol β_1).

Pri $\beta_1 > 0,17\text{rad}$ je najviac pravdepodobné vykotúľanie rozpiľovaného kmeňa po upínacej páke (čeľusti); pritom $\lambda_{\max} \approx 2,0$, ktorý dosahuje pri $\beta_1 = 0,35\text{rad}$ skoro $\lambda_{\max} = 8,0$. Pri $\beta_1 < 0,17\text{rad}$ najviac pravdepodobné je otáčanie rozpiľovaného kmeňa okolo jeho pozdĺžnej osi alebo vykotúľanie po opornom valčeku, pritom $\lambda_{\max} \approx 1,6 \div 2,0$. Uhol sklonu oporných valčekov δ má malý vplyv na veličinu $\lambda_{\max}$.

Z uvedeného možno urobiť záver, že v skrakovacích zariadeniach s dvomi spodnými upínacími čeľusťami, pracujúcimi s $P_p = \text{const}$, uhol medzi upínacou čeľusťou a vertikálnou osou (β_1) musí byť menší ako $0,17\text{rad}$, pritom sila na upínacích čeľustiach (pákach) musí prevyšovať reznú silu v rozmedzí 1,8–2,2krát. Pridržiavacie valčeky môžu byť valcové, pretože centrovanie rozpiľovaného kmeňa sa vykonáva upínacími čeľusťami. Pritom treba mať na zreteli, že veličina T , vypočítaná z podmienok nepohyblivosti rozpiľovaného kmeňa musí byť väčšia ako sila, nevyhnutná pre centrovanie, vypočítaná podľa vzťahu (1).

LITERATÚRA

1. JULIŠ, K.; Brepta, R. a kol.: Mechanika I., Statika a kinematika, Praha, SNTL, 1986, 480 s.
2. MIKLEŠ, M.: Teória a stavba lesných strojov II., Zvolen, ES TU, 1993, 274 s.
3. ULASOVEC, V.G.: Technologičeskije osnovy proizvodstva pilomaterialov, Jekaterinburg, UGLU, 2002, 510 s.

4. ZALEGALLER, B. G.; LASTOČKIN, P. V.; BOJKOV, S. P.: Technologija i oborudovanie lesnych skladov, Moskva, Lesnaja promyšlenost', 1986, 349 s.

Príspevok bol spracovaný v rámci riešenia vedeckého grantového projektu VEGA MŠ SR č. 1/0048/09.

Kontaktná adresa:

Ing. Juraj Mikleš

Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,
Katedra lesnej a mobilnej techniky, T. G. Masaryka 2117/24, 960 53, Zvolen,
tel.: +421455206553, mailto:jmikles@vsld.tuzvo.sk

REFERÁTY

KALIBRÁCIA MERADIEL AKO NÁSTROJ ZABEZPEČOVANIA KVALITY

CALIBRATION OF MEASURING TOOLS AS A MEANS OF QUALITY CONTROL

Miroslava ŤAVODOVÁ

ABSTRACT: Measuring procedures are to be considered as a special means of sustaining the high quality of a company's produce. Calibration of measuring tools plays an important role in the quality maintenance. Callipers are used in all branches and types of industry.

This article explains the method of calculation of the random error and uncertainty of a calliper, a procedure which must be performed every time a measuring tool is being calibrated. Each measurement and every measured value are influenced by various mistakes, errors and deviations. These are due to several factors – imprecision of measuring tools and methods, environment as well as the human factor. It is therefore imperative that the standard deviation accompany the measured result and thus compensate for the random error with a range of probable values.

Key words: quality, calibration, measuring tool error, standard deviation, calliper

ABSTRAKT: Meracie procesy treba pokladať za osobitné procesy, ktorých cieľom je podporiť kvalitu produktov vytváraných organizáciou. Kalibrácia meradiel je nevyhnutným nástrojom pre dosiahnutie tejto kvality. Posuvné meradlá sa používajú vo všetkých odvetviach a typoch výroby.

Článok ponúka postup výpočtu celkovej chyby posuvného meradla a stanovenie neistoty posuvného meradla, stanovovaných pri jeho kalibrácii. Každé meranie, každá nameraná hodnota je ovplyvnená rôznymi druhmi chýb a odchýlok. Tieto vznikajú vplyvom rôznych faktorov – nedokonalosťou meracích prístrojov, postupov, vplývajú naň okolie i človek. Neistota merania, ako nevyhnutný doplnok výsledku akéhokoľvek merania dopĺňa chybu merania novým, pravdepodobnostným vyjadrením rozptylu možných hodnôt nameranej veličiny.

Kľúčové slová: kvalita, kalibrácia, chyba meradla, štandardné neistoty, posuvné meradlo

ÚVOD

V každom systéme riadenia je možné vymedziť podsystém – systém manažérstva merania. Všeobecne je definovaný ako súbor vzájomne súvisiacich alebo vzájomne pôsobiacich prvkov potrebných na dosiahnutie metrologickej confirmácie vykonávaných meraní a sústavného riadenia odpovedajúcich procesov merania. Takto ho popisuje norma

STN EN ISO 10012:2003 Systémy manažérstva merania. Požiadavky na meracie procesy a meracie zariadenia.

Norma STN EN ISO 9001:2009 Systémy manažérstva kvality. Požiadavky, obsahuje požiadavku 8. *Meranie, analýza a zlepšovanie*, ktorá tak isto podporuje monitorovanie a meranie procesov. Tak isto v požiadavke 7. *Nakupovanie*, 7.6 *Riadenie zariadení na monitorovanie a meranie* sa uvádza, že „tam, kde je nevyhnutné zaistiť platnosť výsledkov, zariadenie na meranie sa musí v určených intervaloch alebo pred použitím kalibrovať, verifikovať alebo oboje, porovnaním s metrologickými etalónmi nadväzujúcimi na medzinárodné alebo národné etalóny“.

Vo výrobných procesoch vzniká produkt, ktorý musí byť spoľahlivo kontrolovaný. Pre túto kontrolu je nevyhnutné zabezpečiť kalibrované meradlá. Potreba používania kalibrovaných meradiel sa týka každej organizácie, ktorej záleží na kvalite výrobku, bez ohľadu na oblasť, v ktorej pôsobí. Nedostatočná kvalita znamená stratu dôvery zákazníka, stratu pozície na trhu, zvýšený počet vnútorných nepodarkov či nárast reklamácií.

Veda a technika sa vždy opierali o meranie. Používanie technicky vhodných a ekonomicky výhodných meradiel, meracích prístrojov a zariadení ako i metód, má významný vplyv na kvalitu procesov a produktov každej organizácie.

1. METÓDY A MATERIÁL

Pod pojmom meranie rozumieme experimentálny postup, pri ktorom sa zisťuje špecifikovaná hodnota fyzikálnej veličiny ako násobok jednotky, či vzťahu hodnoty.

Kalibrácia je súbor úkonov, ktoré dávajú za určených podmienok závislosť medzi hodnotami indikovanými prístrojmi alebo hodnotami reprezentovanými mierou a medzi príslušnými hodnotami meranej veličiny.

1.1 Stanovenie celkovej chyby posuvného meradla

Pri každom meraní sa dopúšťame chýb, ktoré sú následkom nedokonalosti našich zmyslov, nepresnosti meracích prístrojov a nemožnosti splniť presne rovnaké podmienky merania, ako napr. časová a miestna stálosť teploty, nepremennosť tlaku vzduchu, jeho vlhkosti a pod. Na výsledok merania môžu mať vplyv aj rôzne rušivé vonkajšie vplyvy, ktoré sa nedajú úplne odstrániť. I keď sa snažíme všetky nepriaznivé okolnosti čo najviac zmierniť, musíme si byť vedomí toho, že dokonale presné merania neexistujú. Nemôže to byť už z toho dôvodu, že samotným meraním do istej miery meníme meranú veličinu, takže doslovne, nameraná hodnota ani nemôže byť úplne totožná s pôvodnou hodnotou veličiny.

Chyba meradla je definovaná ako indikácia meradla mínus hodnota meranej veličiny.

Hrubé chyby sú spôsobené pozorovateľom, meradlom, meracím procesom a najčastejšie chybou na meracom prístroji, nesprávnym zápisom nemeranej hodnoty apod. Hoci je nameraná hodnota, ovplyvnená hrubou chybou nepoužiteľná, musíme jej venovať zvýšenú pozornosť. Takéto hodnoty zo súboru nameraných hodnôt vylúčime. Možné je

to v mnohých prípadoch až po učený štatistických charakteristík súboru. S toto chybou sa často ani neuvažuje ako s čiastkovou zložkou celkovej chyby.

Systematická chyba (systematic error) je zložka chyby merania, ktorá pri viacerých meraniach tej istej veličiny zostáva stála alebo sa predvídaným spôsobom mení, je konštantná čo do veľkosti aj znamienka alebo ktorá sa pri zmene podmienok mení podľa určitej závislosti. Systematické chyby a ich príčiny môžu byť známe alebo neznáme. Snažíme sa ich zistiť a odstrániť, býva to však náročné a nákladné. Preto sa to uskutočňuje len tam, kde je to nevyhnutné. Nevylúčené systematické chyby sú spolu s náhodnými chybami ďalším zdrojom neistoty merania.

Náhodná chyba (random error) je zložka chyby merania, ktorá sa pri viacerých meraniach tej istej veličiny nepredvídateľne mení. Nie je opakovateľná, nie je možné ju vylúčiť. Ich absolútna hodnota, aj znamienko sa menia podľa zákona rozdelenia pravdepodobnosti a preto sa ich charakteristiky dajú stanoviť štatisticky. Náhodné chyby ovplyvňujú a štatisticky určujú tzv. reprodukovateľnosť merania, ktorá súvisí s neistotou merania. Neistota merania je údaj, ktorý zohľadňuje náhodné i systematické vplyvy a na základe štatistického odhadu stanovuje, s vopred zvolenou pravdepodobnosťou interval spoľahlivosti skutočne nameranej hodnoty (PETRÍK, J.: 2004).

Stanovenie celkovej chyby posuvného meradla sa vykonáva koncovými mierkami zloženými na skúšanú dĺžku. Počet skúšaných bodov a skúšané hodnoty každého meracieho rozsahu pre meradlá s delením pomocnej stupnice 0,01 mm sú uvedené v tabuľke č. 1.

Tabuľka 1 Skúšané hodnoty a najväčšie dovolené chyby pre posuvné meradlá s delením pomocnej stupnice 0,01 mm

Skúšaná hodnota (mm)	Najväčšia dovolená chyba (μm)	Horná hranica meracieho rozsahu (mm)	
		150	200
0,0	± 20	X	X
23,4	± 21	X	X
64,5	± 23	X	X
124,5	± 26	X	X
141,9	± 27	X	
171,9	± 29		X

Celková dovolená chyba posuvného meradla pre delenie pomocnej stupnice 0,01 mm, kde L je dĺžka skúšaného, kalibrovaného meradla v mm:

$$\Delta = \pm (20 + 0,05L) \mu\text{m} \quad (1)$$

1.1.2 Výpočet celkovej chyby meradla

Z nameraných údajov uvedených v zázname sa vypočíta stredná hodnota kalibrovannej dĺžky posuvného meradla vo všetkých skúšaných bodoch meracieho rozsahu podľa vzťahu:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

x_i – nameraná hodnota i-teho merania

$\bar{x}$ – priemerná hodnota z n nameraných hodnôt

n – počet nezávislých meraní

Porovná sa najväčšia dovolená chyba v každom skúšanom bode posuvného meradla so súčtom zisteného rozdielu $(\bar{x} - x_K)$ a rozšírenej neistoty kalibrácie podľa vzťahu:

$$(\bar{x} - x_K) + U \leq \Delta \quad (3)$$

Δ – najväčšia dovolená chyba posuvného meradla

x_K – kalibrovaná hodnota

U – rozšírená neistota kalibrácie

Vyhodnotenie skúšok ostatných metrologických parametrov meradla sa vykonáva rovnakým postupom ako vyhodnotenie celkovej chyby posuvného meradla, pri ktorom sa porovnávajú dovolené chyby príslušného skúšaného metrologického parametra so zisteným rozdielom v súčte s rozšírenou neistotou merania (napr. neistota etalónu).

Ak zistené odchýlky každého skúšaného metrologického parametra meradla, vyhodnotené podľa predchádzajúcich vzťahov neprekračujú dovolené chyby, kalibrované meradlo sa označí značkou s dobou platnosti kalibrácie. Ak zistené odchýlky skúšaného metrologického parametra prekračujú dovolené chyby, meradlo sa označí značkou „NEVYHOVUJE“ a nesmie byť ďalej používané.

1.2 Stanovenie neistoty

Neistota (výsledku) merania (uncertainty of measurement) je definovaná ako výsledok vyhodnotenia, charakterizujúci rozsah hodnôt, v ktorom leží pravá hodnota nameranej veličiny. Je to parameter súvisiaci s výsledkom meraní, ktorý charakterizuje rozsah hodnôt okolo výsledku merania, ktoré možno odôvodnene priradiť hodnote meranej veličiny. Neistota sa môže týkať výsledku merania, ale tiež hodnôt odčítaných na použitých prístrojoch, hodnôt konštánt, korekcií a pod., od ktorých neistota merania závisí.

Základnou (kvalitatívnou) charakteristikou neistoty je *štandardná neistota* u . Je vyjadrená hodnotou smerodajnej odchýlky. Vymedzuje rozsah hodnôt $\langle -u, +u \rangle$ okolo udávanej hodnoty. Štandardné neistoty sú vo všeobecnosti tvorené viacerými zdrojmi. Neistoty z jednotlivých zdrojov môžeme vyhodnocovať dvoma základnými metódami:

- 1, štatistickými metódami z nameraných údajov – neistoty stanovené metódou A – **neistoty typu A** – u_A ;
- 2, neistoty získané iným spôsobom ako v predchádzajúcom prípade – neistoty stanovené metódou B – **neistoty typu B** – u_B . (PETRÍK, J.: 2004).

1.2.1 Stanovenie štandardnej neistoty typu A

Štandardná neistota typu A zodpovedá výberovej smerodajnej odchýlke výberového priemeru nameraných hodnôt vynásobeného korekčným faktorom t závislým na počte nezávislých meraní a určí sa podľa vzťahu:

$$u_A = t \cdot \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

n – počet nezávislých meraní pri tej istej kalibrovannej hodnote

$\bar{x}$ – priemerná hodnota z n nameraných hodnôt (2)

t – korekčný faktor, ktorého hodnoty závisia na počte nezávislých meraní (Tabuľka 2)

Tabuľka 2 Korekčný faktor

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t	7	2,3	1,7	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1

V prípade ak $u_A = 0$; neistota merania typu A potom určí zo vzťahu:

$$u_A = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

a – delenie stupnice

Charakteristickou vlastnosťou neistôt typu A je, že ich hodnoty s rastúcim počtom opakovaných meraní klesajú (PETRÍK, J.: 2004).

1.2.2 Stanovenie štandardnej neistoty typu B

Na rozdiel od neistôt vyhodnocovaných metódou A, kde sa príčiny neistôt všeobecne považujú za neznáme, neistoty vyhodnocované metódou B sa viažu na známe a kvantifikovateľné zdroje. Neistoty vyhodnocované metódou B nie sú závislé od počtu meraní. Metodika určovania štandardnej neistoty typu B je metodika určovania štandardnej neistoty viazanej na aritmetický priemer. Nie je určená výpočtom výberovej smerodajnej odchýlky (PETRÍK, J.: 2004).

Pri kalibrácii posuvných meradiel sa určujú čiastkové neistoty a štandardná neistota typu B sa potom skladá z:

- u_{BE} – neistota etalónu;
- u_{Bt} – neistota vyplývajúca z rozdielu teplôt etalónu a meradla;
- $u_B (\alpha_E - \alpha_K)$ – neistota určenia rozdielu koeficienta dĺžkovej rozťažnosti etalónu a kalibrovaného meradla;
- u_{BD} – neistota vzťahujúca sa na digitálne posuvné meradlá.

Posledná z neistôt je nerelevantná pre kovové posuvné meradlá, do celkovej neistoty sa nezapočítava.

I. Neistota etalónu u_{BE}

$$u_{BE} = (0,2 + 2,4 \cdot L) \mu m$$
$$u_{BE}^2 = (0,2 + 2,4 \cdot L)^2 \mu m^2 = (0,2 + 2,4 \cdot L)^2 \cdot 10^{-12} m^2 \quad (6)$$

L – hodnota v metroch

II. Neistota vyplývajúca z rozdielu teploty etalónu a kalibrovaného meradla u_{Bt}

Pri výpočte tejto neistoty sa uvažuje s rozdielom teplôt $\Delta \vartheta_{\max} = 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ a koeficientom teplotnej rozťažnosti ocele $\alpha = 11,5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

$$u_{Bt} = \frac{L \cdot \Delta \vartheta_{\max} \cdot \alpha}{\kappa} = 6,65 L \cdot 10^{-5} m$$
$$u_{Bt}^2 = 44,2 L^2 \cdot 10^{-11} m^2 = 0,442 L^2 \cdot 10^{-12} m^2 \quad (7)$$

$\kappa = \sqrt{3}$ – pre rovnomerné rozdelenie pravdepodobnosti odchýliek.

III. Neistota určenia rozdielu koeficienta dĺžkovej rozťažnosti etalónu a kalibrovaného meradla $u_B (\alpha_E - \alpha_K)$

$$u_{B(\alpha_E - \alpha_K)} = |20 - t| L u_{(\alpha_E - \alpha_K)} \quad (8)$$

$u_{B(\alpha_E - \alpha_K)}$ – koeficient rozdielu dĺžkovej rozťažnosti etalónu a kalibrovaného meradla.

Pri stanovení $u_{(\alpha_E - \alpha_K)}$ sa predpokladá, že α_E a α_K je stanovená s max. chybou $\pm 1 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Za predpokladu rovnomerného rozdelenia platí:

$$\alpha_E = \alpha_K = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{3}} = 0,58 \cdot 10^{-6} \quad (9)$$

potom platí:

$$u_{(\alpha_E - \alpha_K)} = \sqrt{0,58^2 + 0,58^2} \cdot 10^{-6} = 0,82 \cdot 10^{-6}$$

Po dosadení do (9):

$$u_{(\alpha_E - \alpha_K)} = 2 \cdot L \cdot 0,82 \cdot 10^{-6} = 1,64 L \cdot 10^{-6} m$$
$$u_{(\alpha_E - \alpha_K)}^2 = 2,6896 L^2 \cdot 10^{-12} m^2 \quad (10)$$

VI. Neistota s odčítania prístroja u_{BD} (pri digitálnych posuvných meradlách)

Pri digitálnych posuvných meradlách sa počíta s neistou:

$$u_{BD} = \frac{D}{2\sqrt{3}}$$
$$u_{BD} = \frac{0,01}{2\sqrt{3}} = 2,89 \cdot 10^{-3} \mu\text{m} \Rightarrow u_{BD}^2 = (2,89 \cdot 10^{-3})^2 \mu\text{m}^2 = 8,3521 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-12} \cdot \text{m}^2 \quad (11)$$

1.2.3 Stanovenie štandardnej neistoty u_B

$$u_B^2 = u_{BE}^2 + u_{Bt}^2 + u_{(\alpha E - \alpha K)}^2 + u_{BD}^2$$
$$u_B^2 = \left[(0,04 + 0,96L + 5,76L^2) + (0,442L^2) + (2,6896L^2) + 8,3521 \cdot 10^{-6} \right] \cdot 10^{-12}$$
$$u_B = \sqrt{(0,0400083 + 0,96L + 8,8916L^2)} \cdot 10^{-12} \quad (12)$$

Túto závislosť je možné aproximovať s dostatočnou presnosťou v intervale $23 \geq L \geq 172 \text{ mm}$ lineárnym vzťahom:

$$u_B = 3L + 0,2 \quad \mu\text{m} \quad (13)$$

1.2.4 Kombinovaná štandardná neistota u_C

Celková neistota merania nazvaná *kombinovaná štandardná neistota* u_C sa vypočíta zo štandardných neistôt získaných metódami hodnotenia typu A a typu B a to ako kladná hodnota odmocniny zo súčtu kvadrátov jednotlivých typov neistôt. Bude teda:

$$u_C = \sqrt{(u_A^2 + u_B^2)} \quad (14)$$

1.2.5 Rozšírená kombinovaná neistota U

Štandardná neistota charakterizuje neistotu intervalom, ktorého prekroenie má pomerne veľkú pravdepodobnosť. Pravdepodobnosť, že odchýlka skutočnej hodnoty od udávanej neprekročí hodnotu štandardnej neistoty závisí od rozdelenia tejto náhodnej veličiny. Prax uprednostňuje charakteristiku neistoty intervalom, ktorého prekroenie má malú pravdepodobnosť a nazýva sa rozšírená neistota U . Rozšírenú kombinovanú neistotu U_C vypočítame:

$$U_C = k_p \cdot u_C \quad (15)$$

u_C – kombinovaná štandardná neistota, so vzťahu (14)

k_p – koeficient rozšírenia, interval prekrytia (tabuľka 3)

Tabuľka 3 Koefficient prekrytia (PETRÍK, J.: 2004)

P(%)	k_p
95	1,96
95,45	2,0
99	2,58
99,73	3,0

2. VÝSLEDKY

2.1 Príprava meradla na kalibráciu

Etalóny, meradlá a ostatné pomôcky

- sada koncových mierok SOMET S 21 STN 25 3310.2 – sekundárne etalóny 5. radu nadviazané na sekundárne etalóny 4. radu – vybrané mierky
- vlasový hygrometer s skleneným teplomerom typ 899, výrobca ŽIARA VDI, merací rozsah 0–100 % r. v.
- čistiace prostriedky (technický benzín, utierky, štetec)
- brúsny papier 400 (brúsny kameň)

Vonkajšia obhliadka meradla – zisťuje sa kompletnosť meradla, stav mechanického poškodenia (napr. ohnutie, narazenie), stav meracích plôch (hrubé poškodenie), stav hlavnej a pomocnej stupnice (čitateľnosť). Na kalibráciu sa prijímajú len meradlá, ktoré sú funkčné, kompletne, majú čitateľnú stupnicu, a pod.

Čistenie meradla – meradlo sa pred kalibráciou očistí technickým benzínom a utrie do sucha.

Drobné opravy meradla – sa vykonajú po jeho očistení v prípade, že sú viditeľné ľahké poškodenia meracích plôch, ľahké poškodenia vodiacich plôch, miesta napadnuté miernou koróziou. Tieto poškodenia sa opravujú brúsnym papierom, popr. brúsnou pastou. Opravené plochy sa znovu očistia technickým benzínom.

Funkčné skúšky meradla – kontrola plynulosti chodu posuvnej časti – pohyb tejto časti musí byť plynulý, ale posuvná časť sa nesmie pohybovať vlastnou hmotnosťou. Pri nastavovaní posuvnej časti sa nesmie nastavená hodnota na stupnici zmeniť v ktorejkoľvek ľubovoľnej časti meracieho rozsahu meradla.

Temperovanie meradla – čisté a skontrolované meradlo sa na mieste kalibrácie nechá stáť min. 6 hodín.

Požiadavky a podmienky pri kalibrácii – referenčné podmienky – pri skúške má byť teplota v miestnosti $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, pričom rýchlosť zmeny teploty nesmie prekročiť $1^{\circ}\text{C}/\text{hod.}$ a relatívna vlhkosť vzduchu $\mu = 40\text{--}60\%$. Osvetlenie miestnosti musí byť také, aby umožňovalo kontrolu povrchu meradiel a spoľahlivé odčítavanie nameraných hodnôt.

2.2 Vlastná kalibrácia

Pri kalibrácii posuvného meradla celkového rozsahu 200 mm pri kalibrovannej hodnote $x_K = 64,5$ mm s delením pomocnej stupnice 0,01 mm boli namerané hodnoty uvedené v tabuľke 4, pričom konvenčne pravá hodnota použitých koncových mierok je 64,5017 mm.

Tabuľka 4 Namerané hodnoty v meracích bodoch posuvného meradla

i	x_i [mm]	$(x_i - x)$ [μm]	$(x_i - x)^2$ [μm^2]
1	64,5	−6	36
2	64,52	14	196
3	64,51	4	16
4	64,5	−6	36
5	64,5	−6	36
	Σ 322,53		Σ 320 μm^2

V každom skúšanom bode meracieho rozsahu sa vykoná 5 nezávislých meraní. Uskutočnia sa pomocou koncových mierok posuvného meradla – SOMET S 21 STN 25 3310.2 – sekundárne etalóny 5. radu nadviazané na sekundárne etalóny 4. radu pre delenie pomocnej stupnice 0,01 mm. Namerané hodnoty sa zapisujú do tabuľky Kalibračného záznamu meradla.

Kalibračný záznam obsahuje interpretáciu výsledkov kalibrácie meradla, ktoré jasne, jednoznačne a objektívne vykazujú výsledky skúšky – kalibrácie.

Stredná hodnota nameranej dĺžky:

$$x = \frac{\sum x_i}{i} = \frac{322,53}{5} = 64,506 \text{ mm}$$

Chyba meradla pri hodnote 64,50 mm:

$$\delta = x - x_K = 64,506 \text{ mm} - 64,50 \text{ mm} = 0,006 \text{ mm}$$

Štandardná neistota typu A:

$$u_A = t \cdot \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 1,4 \cdot \sqrt{\frac{1}{5(5-1)} 320} = 5,6 \mu\text{m}$$

$$u_A = 0,0056 \text{ mm}$$

u_B vypočítame zo vzťahu (13):

$$u_B = 3L + 0,2 = 3,0,0645 + 0,2 = 0,39 \mu\text{m}$$

$$u_B = 0,00039 \text{ mm}$$

potom pre u_C platí:

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{5,6^2 + 0,39^2} = 5,4 \mu\text{m}$$

$$u_C = 0,0054 \text{ mm}$$

Rozšírená neistota:

$$U_C = k_p \cdot u_C = 2 \cdot 5,4 = 10,8 \mu\text{m} \approx 0,011 \text{ mm}$$

V poslednom kroku sa uskutoční porovnanie chyby a neistoty s najväčšou dovolenou chybou. V uvažovanom meranom bode $x_K = 64,50 \text{ mm}$ je dovolená chyba (tabuľka 1) $23 \mu\text{m} = 0,023 \text{ mm}$, teda platí:

$$|x - x_K| + U \leq \Delta$$

$$|64,506 - 64,50| + 0,011 = 0,017 \leq 0,023 \text{ mm}$$

Posuvné meradlo kalibrácii vo vybranom bode vyhovelo. Ak sa pri skúškach vo všetkých bodoch preukáže, že nevykazuje väčšiu chybu ako je tabuľkovo dovolená, môže byť naďalej používané vo výrobnom procese.

Pri kalibrácii meradiel sa kontrolujú aj ostatné jeho parametre – kontrola rovnobežnosti meracích plôch, kontrola presnosti meracích plôch pre meranie vnútorných rozmerov pomocou etalónu – kontrolného krúžku a pod. Tieto hodnoty sa potom porovnávajú s dovolenými hodnotami a výsledky sa vyhodnotia.

ZÁVER

Základným znakom kvality merania je správnosť výsledku, charakterizovaná dôveryhodnosťou jeho hodnoty. Pre posúdenie kvality metrologických činností je možné použiť rôzne parametre. V článku je použitý základný parameter pre zisťovanie tejto kvality a to výpočet neistoty meradla. Meradlá, ktoré nie sú pravidelne kontrolované a kalibrované nám nemôžu dať záruku správneho a presného výsledku.

Výpočet chyby a neistoty meradla sú nevyhnutnými krokmi pri kalibrácii posuvného meradla. Postup kalibrácie, tak ako je popísaný zaručuje, že takto overené meradlo spĺňa požiadavky naň kladené, čo sa jeho presnosti týka. Chyba meradla pri hodnote $x_K = 64,50 \text{ mm}$ bola $\delta = 0,006 \text{ mm}$ a rozšírená neistota mala hodnotu $U_C = 0,011 \text{ mm}$. Celková chyba meradla bola teda $0,017 \text{ mm}$. Dovoľená chyba podľa tabuľky 1 má sledovanom bode hodnotu $0,023 \text{ mm}$.

Kalibrované posuvné meradlo vo vybranom meracom bode vyhovelo. Ak sa pri skúškach vo všetkých bodoch preukáže, že celková chyba a neistota neprekračuje dovolené hodnoty, môže byť posuvné meradlo používané v meracom a výrobnom procese.

LITERATÚRA

- PETRÍK, J.: 2004. *Metrológia v riadení kvality*. Košice: elfa, s.r.o. 2004, 134 s. ISBN 80-8073-259-0
- DUFINEC, I.: 2000. *Inžinierstvo kvality. Meranie, analýza a zlepšovanie...* Košice: elfa, s.r.o. 2000, 259 s. ISBN 80-88964-51-2
- STN EN ISO 10012: 2003 Systémy manažérstva merania, Požiadavky na meracie procesy a meracie zariadenia
- STN EN ISO 9001: 2009 Systémy manažérstva kvality, Požiadavky
- Kalibračný certifikát č. 08/KM/99 PPS Detva Holding a. s.
- Pracovná inštrukcia SM PI UGR 012/2000 A.N.B. a. s. Bratislava

Kontaktná adresa:

Ing. Miroslava Ťavodová, PhD.

KVTM FEVT TU vo Zvolene, Študentská 26, 960 53 Zvolen, e-mail: tavodova@vsld.tuzvo.sk,
tel. 045/5206 877

MIKROVLNNÝ SYSTÉM S VYŽAROVANÍM DO VOĽNÉHO PRIESTORU PRE PREDOHREV DREVOCEMENTOVÉHO KOBERCA

MICROWAVE SYSTEM WITH MICROWAVE RADIATION TO FREE SPACE FOR PREHEATING OF WOODCEMENT MATT

Ivan MAKOVÍNY – Pavel DANKO

ABSTRACT: This work describes microwave system with microwave radiation to free space. This system can be used for preheating of woodcement matt. There was study the technological process of woodcement composites production. Shortening of technological process time duration by using microwave preheating was experimentally verified.

Key words: microwave preheating, woodcement matt, technological proces

ABSTRAKT: V práci sa opisuje mikrovlnný systém s vyžarovaním elektromagnetických vĺn do voľného priestoru pre predohrev drevocementového koberca. Experimentálne sa potvrdila možnosť skrátenia času trvania technologického procesu výroby drevocementových kompozitov použitím mikrovlnného predohrevu.

Kľúčové slová: mikrovlnný predohrev, drevocementový koberec, technologický proces

ÚVOD

Za účelom výskumu účinkov predohrevu drevocementového koberca pre kontinuálnu výrobu drevocementových kompozitov sme navrhli a realizovali pohyblivý mikrovlnný systém s lievikovou anténou. Systém umožňuje vyžarovať mikrovlny do voľného priestoru a ohrievať stratové materiály.

Cieľom tohoto príspevku je uviesť opis realizovaného mikrovlnného systému a výsledky overovacích experimentov z predohrevu drevocementového koberca.

1. FYZIKÁLNE ZÁKLADY PREDOHREVVU A PLASTIFIKÁCIE DREVOCEMENTOVÉHO KOBERCA MIKROVLNNÝM ŽIARENÍM

Elektromagnetickým vlnením sa uskutočňuje prenos energie. Po dopade elektromagnetického vlnenia na nedokonalé dielektrikum, napr. drevnú vlnu sa časť odrazí, časť preniká do materiálu pri postupnom utlmovaní, pričom sa energia elektromagnetického poľa (EMP) mení na teplo. Budeme predpokladať, že elektromagnetické pole pôsobí tak, že vniká do materiálu – dielektrika vo forme rovinných elektromagnetických vln. Rovinná vlna je prípad elektromagnetického vlnenia, pri ktorom sú vektory charakterizujúce EMP funkciami len jednej súradnice.

Šírenie sa rovinnnej vlny pri harmonicky s časom sa meniacim EMP popisuje riešením vlnových rovníc. Vo fázorovom vyjadrení elektrickej intenzity $\tilde{E}$ rovinnnej elektromagnetickej vlny šíriacej sa v smere osi x v nekonečne rozsiahlom nedokonalom dielektriku má riešenie tvar (BENDA 1965; RAMO – WHINERY 1960)

$$\tilde{E}(x) = \tilde{E}_0 \cdot e^{-(\beta + j\alpha)x} \quad (1)$$

kde x je vzdialenosť od povrchu materiálu v smere kolmého dopadu vlny, j – imaginárna jednotka, ω – uhlová frekvencia, t – čas, $\tilde{E}_0$ – fázor intenzity elektrického poľa na povrchu dielektrika

Výraz

$$\gamma = \beta + j\alpha \quad (2)$$

sa nazýva konštanta šírenia vln.

Reálna zložka konštanty šírenia β je merný útlm vlnenia, imaginárna zložka α sa nazýva fázová konštanta vlnenia.

Pri šírení a absorpcii elektromagnetických vln majú rozhodujúci význam parametre prostredia.

Člen $e^{-\beta x}$ v rov. (1) vyjadruje utlmovanie elektromagnetickej vlny vo vzdialenosti x .

Časovo-priestorové rozloženie teploty v ožarovanom materiáli pre konkrétne začiatkové a okrajové podmienky je možné získať riešením všeobecnej rovnice vedenia tepla, (rov. 3):

$$\lambda \operatorname{grad}(\vartheta) + c\rho \frac{d\vartheta}{dt} = \omega \cdot \varepsilon \cdot E^2(x) \quad (3)$$

kde λ je koeficient tepelnej vodivosti, ϑ – teplota, ρ – hustota, t – čas, $E(x)$ – intenzita elektrického poľa vo vzdialenosti x , c – špecifická tepelná kapacita.

Merný objemový ohrievací výkon (pravá strana rovnice), závisí od intenzity elektrického poľa a od stratového čísla ohrievaného materiálu. Ak uvažujeme drevoementový koberec tak jeho dve hlavné zložky – drevná vlna a voda sú polárne látky s pomerne vysokou hodnotou stratového čísla. To znamená, že tento materiál sa bude v elektromagnetickom poli účinne ohrievať.

Cieľom predohrevu je plastifikácia drevocementového koberca. Pri hydrotermickej plastifikácii drevného materiálu dochádza k interakcii drevnej hmoty s vodou a teplom.

Obecne z hľadiska viskózoelastických vlastností amorfných polymérov je pri plastifikácii dôležitá „teplota sklovitého prechodu“, t. j. teplota pri ktorej tuhý, amorfný polymér začne výrazne mäknúť, následne čoho vznikajú prechodné zmeny jeho mechanických vlastností. Pri dreve a predpokladáme, že aj pri drevnej vlne má výrazný vplyv na hodnotu teploty sklovitého prechodu interakcia vlhkosť – teplota. Podľa celého radu autorov (napr. MELCER, 1989; KÚDELA, 2005) platí, že teplota sklovatenia vlhkého lignínu sa pohybuje od 60 do 100 (°C), hemicelulóz od 0 do 100 (°C). Pri celulóze sa na rozsahu teploty 0–100 (°C) teplota sklovitého prechodu nepozorovala.

Prechodne zvýšená plastičnosť sa po vysušení drevnej vlny stráca.

Ohrev spôsobujúci plastifikáciu drevocementového koberca urýchľuje aj zrenie cementu, použitého ako spojivo.

2. TECHNICKÉ RIEŠENIE MIKROVLNNÉHO SYSTÉMU

Pretože sa predpokladá výroba drevocementových kompozitov spojitým procesom tak sme pre laboratórne experimenty navrhli pohyblivý a bezdotykový zdroj mikrovlnného ohrevu. Navrhnutý a realizovaný mikrovlnný systém pozostáva z dvoch hlavných častí – pohyblivého zdroja mikrovln s príslušnými elektrickými obvodmi a nosného rámu s ovládajúcimi prvkami, ktorý je umiestnený na vozíku s možnosťou pohybu v ráme, obr. 1.



Obr. 1 Mikrovlnný systém a forma s drevocementovým kobercom



Obr. 2 Lievikovitá anténa s magnetrónom

Pohyb zdroja mikrovln je vyriešený tak, že je navrhnutý vozík s mikrovlnným žiaričom, ktorý je umiestnený na závese pohybovej skrutky poháňanej elektromotorom.

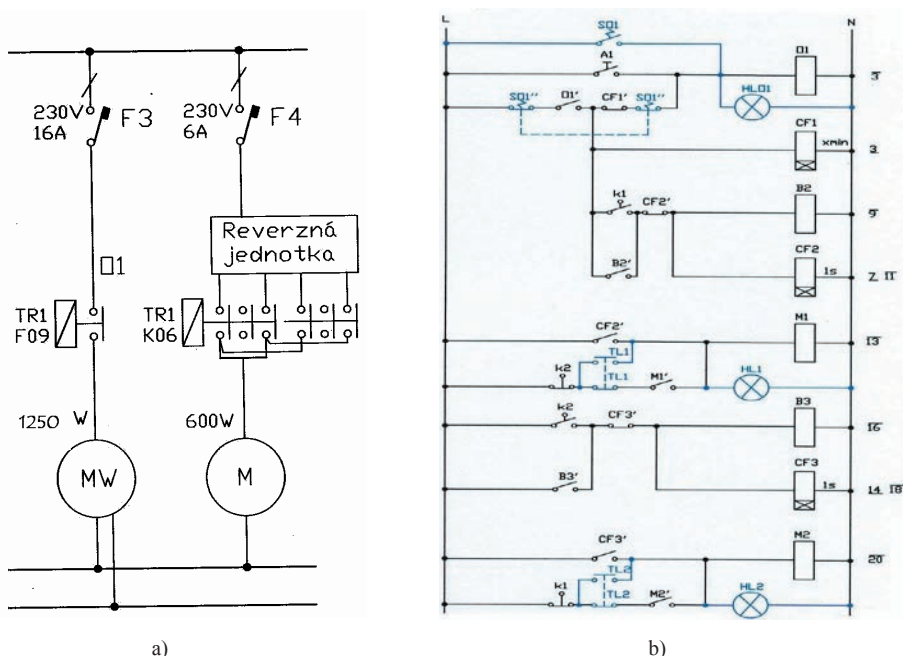
Zapojenie vlastného mikrovlnného zdroja je štandardné – magnetrón, napájací obvod (sieťové filtre, vn transformátor, zdvojovač napätia, usmerňovač), ochranné prvky (ochrany

proti tepelnému preťaženiu magnetrónov a prúdovému preťaženiu), spínacie a riadiace prvky (hlavný vypínač, spínač magnetrónu, časové relé), ventilátor s pohonom.

Anténa je lievikového tvaru. Navrhnutá bola pre frekvenciu 2,45 GHz. Optimálne geometrické rozmery lievikovitej antény sme zistili s využitím teórie podľa lit. [2, 3], obr. 2.

Navrhnutý systém je možné využiť všeobecne pre ohrev stratových dielektrických materiálov. Je ním možné robiť jednostranný ohrev dielektrických materiálov.

Funkčná schéma zapojenia systému je na obr. č. 3. Zariadenie umožňuje pracovať v dvoch režimoch. V automatickom režime, kedy sa celý proces vykoná podľa nastavených parametrov, alebo v ručnom režime, kde obsluha riadi všetky úkony ručne. Zapojenie silového a ovládacieho obvodu je na obr. 3a resp. 3b.



Obr. 3 Schéma zapojenia mikrovlnného systému: a) silový obvod, b) ovládací obvod

Silový obvod je pripojený na napäťovú sústavu jednopólovými ističmi F3 (230V/16A) a F4 (230V/6A). Ističom F3 sa istí obvod magnetrónu, cez istič F4 sa napája pohon vozíka s magnetrónom. Na zapínanie mikrovlnného ohrevu sa používa stykač 01 (TR1, F09). Pohon M sa ovláda reverznou jednotkou M1,2.

Ovládací obvod pre reléovú automatiku je napájaný sieťovým napätím. Automatická prevádzka sa spúšťa stlačením tlačidla A1, pričom zapína mikrovlnný ohrev na dobu zvolenú časovým členom CF1 a zapína aj posuv vozíka s mikrovlnným žiaričom cez pohybovú skrutku zabezpečený motorom s reverzným chodom, pričom smer chodu sa mení zopnutím koncového spínača k1 resp. k2. Na elimináciu mechanických a elektrických

rázov pri zmene smeru otáčania pohonu posuvu, je zapnutie stykača nasledujúceho smeru oneskorené o Δt , časovým členom CF2 resp. CF3 v možnom rozsahu (0,6–6) s. Po skončení času ohrevu sa vozík s mikrovlnným žiaričom vráti do východzej polohy.

Mikrovlnný ohrev je signalizovaný signálkou HLO1, smer chodu sprava doľava je signalizovaný signálkou HL1 a smer chodu zľava doprava je signalizovaný signálkou HL2.

Ručná prevádzka použitím tlačidiel TL1, TL 3 umožňuje pre potreby výskumu vykonať akúkoľvek manipuláciu

Základné parametre navrhnutého mikrovlnného systému:

Napájacie napätie:	230/50Hz
Maximálny príkon:	1250 W
Maximálny vvf výkon:	750 W
Kmitočet:	2450 MHz
Hmotnosť:	55 kg
Anténa:	lievikovitý tvar antény s profilom 320×230 mm

3. EXPERIMENTÁLNE OVERENIE ÚČINKU MIKROVLNNÉHO PREDOHREU NA LISOVANIE DREVOCEMENTOVÉHO KOBERCA

3.1 Metodika

Mikrovlnný ohrev sa realizoval tak, že pred mikrovlnný žiarič sa umiestnila forma s drevocementovým kobercom a zvolil sa čas mikrovlnného ohrevu – 4 minúty. Po ohreve mal drevocementový koberec teplotu 85 až 95 (°C). Forma s ohriatym drevocementovým kobercom sa vložila do lisu a následne sa aplikoval tlak 10 MPa. Čas jeho pôsobenia sa v jednotlivých pokusoch menil v intervale 3–1440 (min.). Po uvoľnení tlaku sa zmerala hrúbka vylišovanej vzorky. Lisovali sa vzorky s použitím a bez použitia ohrevu. Pre kvalitatívne vyjadrenie trvalej zmeny hrúbky t.j. plastickej zložky zmeny hrúbky Δh_{pl} lisovaného drevocementového koberca platí vzťah

$$\Delta h_{pl}(t) = h_0 - h(t) \quad (4)$$

kde h_0 je hrúbka drevocementového koberca pred lisovaním

$h(t)$ – hrúbka drevocementového koberca po lisovaní, za lisovací čas t

Pružná zložka zmeny hrúbky Δh_p sa zistí zo vzťahu

$$\Delta h_p = h(t) - h_s \quad (5)$$

kde h_s je hrúbka zlisovania

Ak by sa lisovaná vzorka ponechala v lise za dostatočne dlhý čas tak, jej hrúbka by zostala na úrovni hrúbky zlisovania h_s , aj po uvoľnení z lisu.

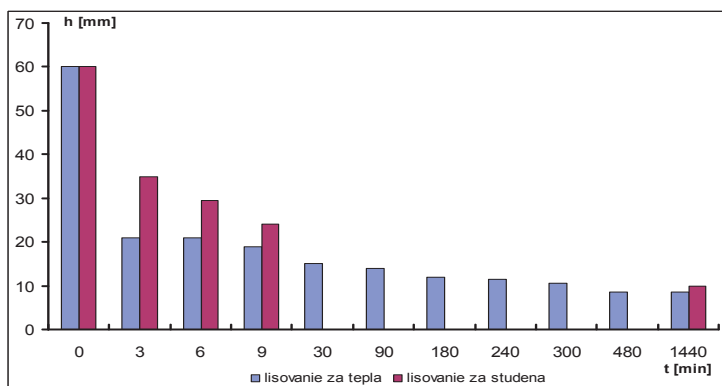
Pri lisovaní rastlého dreva sa rozlišuje v rámci pružnej deformácie pružná deformácia okamžitá a tiež pružná deformácia v čase, ktorú však sme pri lisovaní drevocementových vzoriek nepozorovali.

3.2 Výsledky a diskusia

Experimentálne výsledky z merania hrúbky $h(t)$ vylisovaných vzoriek v závislosti od času t lisovania bez ohrevu a z ohrevom sú na obr. 3. Ohrev bol zvolený na dosiahnutie teploty 90 až 100°C a trval 4 minúty. Účinok ohrevu sa vyhodnotil z reologického správania sa vylisovaných vzoriek. Hrúbka vylisovaných vzoriek sa v závislosti od času pôsobenia menila a to ako pri lisovaní bez ohrevu tak aj s použitím ohrevu. V druhom prípade vplyvom tepla však bola táto časová závislosť strmšia t.j. pružná zložka deformácie sa znížila výraznejšie. Účinok plastifikácie sa zrejme prejavil v časovo závislej pružnej zložke celkovej deformácie. Plastifikovaná drevná vlňa sa stáva poddajnejšou čo sa musí odraziť na jej lepšej deformačnej schopnosti lisovaného koberca. Rozdiel hrúbky koberca $h_0 = 60$ mm a hrúbky zlisovania $h_s = 9$ mm t.j. 51 mm predstavuje celkovú deformáciu. V takomto prípade, ktorý sa dosiahne za dostatočne dlhý čas lisovania, je pružná zložka deformácie eliminovaná t.j. $\Delta h_p = 0$.

Z obr. 4 vyplýva, že pôsobením mikrovlnného ohrevu sa dosiahlo v intervale prvých 10 minút výrazné zvýšenie plastickej deformácie a zníženie pružnej deformácie. Pri celkovom čase lisovania 24 hodín, sa lisovaním za tepla, konečná hrúbka vzorky drevo-cementového kompozitu zmenšila vzhľadom na hrúbku vzorky bez ohrevu o 20 %.

Predpokladáme, že pôsobením tepla prebiehajú v drevo-cementovom koberci dva deje: plastifikácia drevej vlne a hydratácia cementu. Hydratácia cementu má teda určitý podiel na uvedenom zvýšení plastickej deformácie ohrevom.



Obr. 4 Závislosť hrúbky h vylisovaných vzoriek drevo-cementových kompozitov od času lisovania t ; bez ohrevu a s ohrevom – po ohriatí mikrovlnami na teplotu 90 až 95 (°C)

ZÁVER

Realizovaný bol mikrovlnný systém určený na predohrev drevocementového koberca, pred jeho lisovaním. Navrhnutý mikrovlnný systém sa osvedčil. Jeho chod bol spoľahlivý.

Experimentálne sa potvrdila možnosť skrátenia technologického procesu výroby drevocementových kompozitov použitím mikrovlnného ohrevu.

LITERATÚRA

- [1] BENDA, O.: 1962. Teoretická elektrotechnika III. SVŠT SIVTL Bratislava, 1962, 224 s.
- [2] BELANIS, C. A.: 1997. Antenna theory – analysis and design. 2. vyd. 1997
- [3] HAJACH, P.: 1999. Mikrovlnná technika. STU Bratislava, 1999, 137 s.
- [4] KÚDELA, J.: 2003. Vlhkostné a tepelné namáhanie bukového dreva. TU Zvolen, 2003, s. 141.
- [5] MELCER a kol.: 1989. Chemizmus hydrotermickej úpravy listnatých drevín. Zvolen vyd. VŠLD, 1989, 76 s.
- [6] RAMO, S., WHINNERY, S.: 1960. Felder und Wellen in der modernen funtechnik Web Verlag Technik Berlin. 1960, 590 s.

Podakovanie

Príspevok vznikol za podpory Agentúry na podporu výskumu a vývoja v rámci riešenia projektu APVV-0229-06 „Aplikovaný výskum drevocementových dosiek pre tienie elektromagnetických polí a pre zvýšenie požiarnej odolnosti“.

Kontaktná adresa:

prof. Ing. Ivan Makovíny, CSc.

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

Ing. Pavol Danko, CSc.

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

RIADIACI SYSTÉM PRE KONTINUÁLNE LISOVANIE DREVOCEMENTOVÝCH KOMPOZITOV

CONTROL SYSTEM FOR CONTINUOUS PRESSING OF WOODCEMENT COMPOSITES

Pavel DANKO

ABSTRACT: The paper deals with control system for wood – cement composites pressing. The designed pressing operation in real time was proseed programmable logic controlles (PLC) S7-200, manages brequeng convertor, electrodrives and other elements of pressing device equipment components. The functionality realised control system was laboratory verified.

Key words: control system, electrodrive, frequency convertor, programmable logic controller (PLC)

ABSTRAKT: Práca sa zaoberá riešením riadiaceho systému pre lisovanie drevocementových kompozitov. Navrhlo sa riadenie lisovacieho zariadenia v reálnom čase pomocou programovacieho logického automatu (PLC) S7-200, ktorým je riadený frekvenčný menič, elektropohony a ďalšie prvky lisovacieho zariadenia. Funkcia realizovaného riadiaceho systému bola laboratórne overená.

Kľúčové slová: riadiaci systém, elektropohon, frekvenčný menič, programovateľný logický automat (PLC)

1. POŽIADAVKY NA LISOVACIE ZARIADENIE A NÁVRH RIADIACEHO SYSTÉMU

Z riešenia grantovej úlohy [4] vyplynuli požiadavky na vývoj laboratórneho automatického lisovacieho zariadenia ktoré je určené na zhutňovanie a lisovanie drevocementových kompozitov. Zariadenie má pracovať kontinuálne alebo prerušovane. Predpokladá sa stavebnicové usporiadanie lisovacieho uzla s možnosťou rozširovania o opakované uzly s čiastočne modifikovanými parametrami.

Požadované základné parametre lisovacieho zariadenia:

- lisovací tlak (regulovateľný) 0–15 (MPa),
- šírka lisovacích valcov 200 mm,
- priemer lisovacích valcov 300 mm,
- obvodová rýchlosť valcov 0 až 1 m/min.

Predpokladom správnej činnosti navrhovaného zariadenia je dôsledná koordinácia prvkov ktoré budú realizovať proces lisovania. Táto koordinácia sa bude zabezpečovať

riadiacim systémom. V projektovanom zariadení je potrebné uskutočniť činnosť jednotlivých operácií, ktoré vyplývajú z požiadaviek technológie procesu, ktorým je valcovanie drevocementového koberca určitým tlakom. Požaduje sa automatický niekoľkonásobný opakovaný pohyb toho istého materiálu striedavo v dvoch smeroch prostredníctvom valcovacieho zariadenia. Po ukončení jedného cyklu sa automaticky posunie valec a tým vytvára počas prechodu materiálu tlak. Posun valca zabezpečuje servomotor cez prevod a skrutku. Príslušný pohyb valca a teda aj lisovací tlak je potrebné programovo zabezpečiť, podľa technológie lisovania a charakteristiky príslušného materiálu.

Pri realizácii postupného valcovania je potrebné riadiť rýchlosť posunu materiálu cez valcovacie zariadenie. Na pohon valcov sa použije indukčný trojfázový elektromotor s prevodovkou. Jeho otáčky budú regulované frekvenčným meničom. Keďže sa v určitých fázach lisovania bude meniť tlak a tým aj príslušný krútiaci moment elektromotora, použije sa spätná väzba medzi elektromotorom a frekvenčným meničom, ktorý príslušnú funkciu umožňuje.

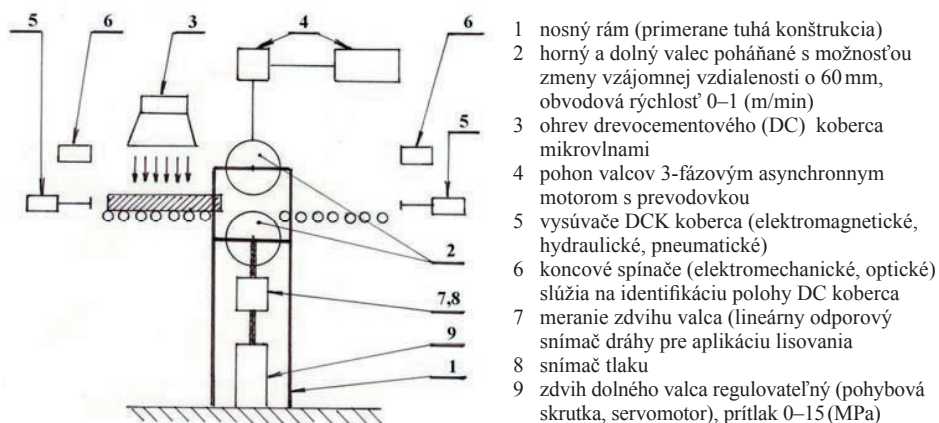
V procese kontinuálneho lisovania je potrebné kontrolovať jednotlivé parametre procesu (počet cyklov, tlak a zdvih valcov, rýchlosť posunu materiálu medzi valcami, t.j. otáčky elektromotora). Príslušné údaje sa budú indikovať na ovládacom paneli.

Keďže pri lisovaní procesu okrem tlaku valcov je potrebná aj určitá teplota (plastifikácia dreva) je navrhnutý mikrovlnný ohrev drevocementového koberca. Ohrievať sa bude pri jednotlivých cykloch. Čas ohrevu bude možné nastaviť v programe PLC.

Riadenie lisovacieho procesu sme navrhli realizovať prostredníctvom mikro-programovateľného logického automatu (PLC), ktorý je na daný účel vhodný, pretože sa dá jednoducho naprogramovať, je spoľahlivý a zároveň je možné rýchlo meniť program podľa potreby a požiadaviek na zmenu procesu.

2. KONŠTRUKČNÉ USPORIADANIE

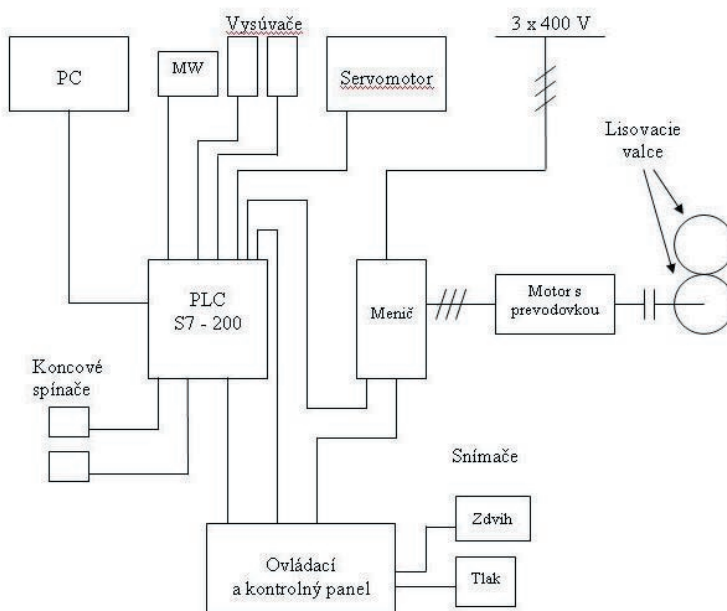
Hlavné časti lisovacieho zariadenia [obr. 1] a požiadavky na jeho činnosť sú nasledovné:



Obr. 1 Konštrukčné usporiadanie lisovacieho zariadenia

3. BLOKOVÁ SCHÉMA A OPIS ČINNOSTI RIADENIA

Navrhnutý riadiaci systém valcovania (obr. 2) pozostáva z riadiacej jednotky Simatic S7-200 ktorá je hlavným prvkom pre riadenie celého technologického procesu lisovania. Uvedený spôsob riadenia bol zvolený z dôvodu, že projektované zariadenie bude slúžiť na experimenty pri výskume drevocementových (DC) kompozitov. Z toho vyplýva, že bude potrebné meniť rôzne parametre procesu. Použitú riadiacu jednotku je možné veľmi jednoducho naprogramovať a prispôsobiť požiadavkám kladeným na lisovací proces.



Obr. 2 Bloková schéma riadenia

Na programovanie riadiacej jednotky S7-200 [5] sa použil osobný počítač PC, programové vybavenie STEP7-Micro/Win 32, verzia 3.1 a komunikačný prostriedok pre spojenie PC s CPU. Program sa realizuje LAD editorom, ktorý umožňuje vytvárať programy pripomínajúce elektrickú schému (obr. 3). Logika je rozdelená do blokov – sietí (network). Program vykonáva inštrukcie postupne a po skončení (1 cyklu) proces sa opakuje.

Regulácia rýchlosti otáčania valcov sa realizuje frekvenčným meničom MICRO-MASTER Vector [6]. Je to jednoduchá a zároveň presná regulácia otáčok asynchronných motorov umožňujúca riadenie otáčok v širšom rozsahu. Ovládať menič je možné ručne, alebo v kombinácii s PLC a programovať prostredníctvom PC. Zobrazovacia jednotka na meniči umožňuje odčítať výstupnú frekvenciu, prúd, napätie, krútiaci moment a otáčky pripojeného elektromotora. Na meniči je možnosť nastaviť viac ako 900 parametrov a rôznych charakteristík (rozbeh, brzdenie, moment, výkon).

Na pohon lisovacích valcov sa použije 3-fázový asynchronný motor s výkonom 1,5 kW a prevodovka s výstupnými otáčkami 0–10 (min.⁻¹).

Ohrev (dôležitý pre plastifikáciu) sa uskutočňuje mikrovlnným systémom zakončeným tvarovaným lievikom [3], ktorý vhodne upravuje elektromagnetické pole. Na vysúvanie lisovacieho koberca z koncových polôh sa použijú vysúvače (elektromagnetické alebo hydraulické), na snímanie polohy sú navrhnuté koncové spínače (elektromechanické alebo optické). Zdvih valca cez prevod a pohybovú skrutku zabezpečuje servomotor. Veľkosť zdvihu a tlak sa meria pomocou snímačov.

Ovládací panel slúži na kontrolu jednotlivých údajov procesu a ručné ovládanie niektorých funkcií.

4. ALGORITMUS PRE NÁVRH PROGRAMU

Algoritmus pre vytvorenie riadiaceho programu je určený technologickým postupom uvažovaného lisovacieho zariadenia. Činnosť zariadenia pozostáva z niekoľkých cyklov.

Algoritmus pre jeden cyklus:

1. zapnutie s časovým spozdením (nastaví sa v programe)
2. nastavenie otáčok pohonu valcov (meničom frekvencie)
3. vysunutie drevoementového koberca (DCK) vpravo
4. valcovanie (lisovanie) DCK
5. zopnutie spínača v pravej polohe (spína DCK)
spínač realizuje(cez program):
 - zapnutie časovača (v programe)
 - reverzáciu
 - zapnutie vysúvača (vľavo)
6. valcovanie DCK – vľavo
7. zapnutie spínača v ľavej polohe
spínač realizuje (cez program):
 - zapnutie časovača (ohrev mikrovlnami)
 - zapnutie servomotora zdvihu valca
 - reverzáciu
 - vysunutie DCK – vpravo

Pracovné cykly sa opakujú a ich počet závisí od požiadaviek na výsledný druh dosiek a spôsob lisovania.

5. VERIFIKÁCIA RIADIACEHO PROGRAMU LISOVACIEHO ZARIADENIA

V rámci realizácie uvedeného projektu bola na overenie funkcie riadenia a simuláciu procesu lisovania laboratórne zapojená elektrická časť lisovacieho zariadenia. Skladá sa z PC, PLC (Simatic S7-200), frekvenčného meniča, elektromotora, servomotora, spínačov a kontrolných prístrojov (obr. 2). Na základe experimentálneho overenia lisovacieho procesu v dielňach TU [2], bol navrhnutý riadiaci program. Nakoľko sa uvažuje používať pri ďalších experimentoch rôzne časy lisovania (valcovania), teploty, rýchlosť pohybu lisovacieho koberca, otáčky elektromotora, lisovací tlak a iné parametre technologického postupu,

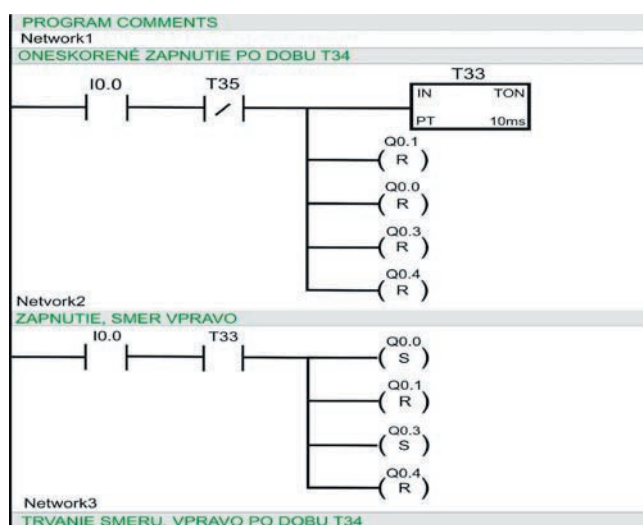
bol navrhnutý riadiaci systém ktorý umožňuje uvedené zmeny realizovať v programe (PLC). Pri klasickom ovládaní alebo riadení by boli nutné mechanické a elektrické zmeny zapojenia.

Elektrické zapojenie lisovacieho zariadenia bolo odskúšané s navrhnutým programom (obr. 3) v laboratórnych podmienkach. Bola realizovaná simulácia rôznych parametrov procesu. Technológia lisovacieho procesu sa overovala v dielňach TU. Vyrobili sa rôzne druhy DC-dosiek na ktorých sa uskutočnili mechanické a elektrické skúšky [1].

Riadiaci systém a výkonové prvky pracovali v súlade s navrhnutým programom. Boli overené nasledovné funkcie:

- zmena a reverzácia otáčok elektromotora
- rôzne časy ohrevu a lisovacie časy
- zmena zdvihu valca (lisovací tlak)
- činnosť spínacích a výkonových a kontrolných prístrojov.

Program je zložený z cyklov, ktoré sa opakujú.



Obr. 3 Ukážka z riadiaceho programu

ZÁVER

Navrhol a realizoval sa návrh riadiaceho systému lisovacieho zariadenia. Na základe požiadaviek na jeho funkciu bola navrhnutá hardvérová zostava systému a naprogramoval sa mikro-programovateľný logický automat (PLC). Laboratórnym overením elektrickej a elektronickej časti sa preukázala funkčnosť a spoľahlivosť navrhnutého riadiaceho systému. Experimentálne sa potvrdila vhodnosť zvoleného riešenia s použitím PLC a frekvenčného meniča. Navrhnutý riadiaci systém bude súčasťou lisovacieho zariadenia, ktoré sa bude využívať pri ďalšom výskume drevoceментových dosiek rôznymi postupmi výroby. Riadiaci systém umožní, že experimenty s lisovaním bude možné jednoducho preprogramovať bez mechanických a elektrických úprav.

LITERATÚRA

- [1] DANKO, P.: Útlm drevocementových kompozitov v mikrovlnnom pásme elektromagnetického poľa. ACTA FACULTATIS TECHNICAЕ. XII/2008. str. 215–219
- [2] MAKOVÍNY, I.: Charakteristika a vývoj drevocementových kompozitov. Zborník referátov – VII. Sympóziu – Drevné kompozitné materiály. Vydala Technická univerzita vo Zvolene. 2008. s. 266–274. ISBN 978-80-228-1864-3
- [3] MAKOVÍNY, I.: Termické účinky elektromagnetického poľa na drevocementové kompozity. Zborník prednášok – VI. Medzinárodnej vedeckej konferencie „Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva“. Vydala Technická univerzita vo Zvolene. 2008 s. 355–632. ISBN 978-80-228-1913-8
- [4] GRANTOVÝ PROJEKT: APVV-0229-06, Aplikovaný výskum drevocementových dosiek pre tienenie elektromagnetických polí a pre zvýšenie požiarnej odolnosti
- [5] CD Software, Simatic, Step7 – Micro/Win, V4,0 SP6, Single Licence 2007
- [6] CD Software, MICROMASTER Vector 6SE32, Operating Instructions, Single Licence 05/2000

Podakovanie

Príspevok vznikol za podpory Agentúry na podporu výskumu a vývoja v rámci riešenia projektu APVV-0229-06 „Aplikovaný výskum drevocementových dosiek pre tienenie elektromagnetických polí a pre zvýšenie požiarnej odolnosti“.

Kontaktná adresa:

Ing. Pavol Danko, CSc.

Katedra drevárskych strojov a zariadení

Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

NÁVRH APARATÚRY NA MERANIE SMEROVEJ EMISIVITY MATERIÁLOV

DESIGN OF EQUIPMENT TO MEASURING OF DIRECTIONAL EMISSIVITY OF MATERIALS

Ivan CHRISTOV – Milada GAJTANSKA – Rastislav IGAZ

ABSTRACT: Contactless measuring of temperature is one of metrology area that found application in specific conditions of temperature measurement. One of necessary condition to correct and objective measurement is knowledge of emissivity of materials and its dependence on temperature and direction of scanning. Presented design is one of particle goal of working project concentrated to research in area of thermovision temperature measurement. Presented design allows exact determination of emissivity and its dependence on direction and temperature of sensing entity.

Key words: emissivity, emissivity measurement, thermovision, contactless temperature measurement

ABSTRAKT: Bezkontaktné meranie teploty je jedným z odvetví metrológie, ktoré nachádza uplatnenie v špecifických aplikáciách vyžadujúcich meranie teploty. Pre správne a objektívne meranie je podmienkou poznať emisivitu snímaných objektov a jej závislosť na teplote a smere snímania. Návrh aparatury prezentovaný v predkladanom článku je čiastkovým riešením projektu zameraného na výskum v oblasti termovíznej techniky. Prezentovaný návrh aparatury umožňuje presné stanovenie závislosti emisivity materiálov od smeru snímania a teploty povrchu objektov.

Kľúčové slová: emisivita, meranie emisivity, termovízia, bezkontaktné meranie teploty

1. ÚVOD

Meranie, monitorovanie a riadenie teploty predstavuje neodmysliteľnú súčasť drviwej väčšiny výrobných procesov vo všetkých oblastiach hospodárstva. Množstvo technologických operácií je priamo závislých na riadení teploty v procese výroby a teplota patrí medzi veličiny, ktoré majú priamy vplyv na kvalitu a vlastnosti výsledného produktu. Okrem technologických procesov sa kontrola teploty uplatňuje aj v mnohých iných oblastiach, ako je napr. odhaľovanie a kontrola tepelných únikov v budovách. Táto a mnohé iné aplikácie kladú špeciálne požiadavky na meranie teploty.

Bezkontaktné meranie teploty je jednou z možností kontroly a monitorovania teploty, pri ktorom nie je vyžadovaný priamy kontakt meraného objektu s meracím zariadením.

Táto technológia umožňuje diaľkovú kontrolu požadovaných parametrov, pričom prebiehajúci proces nie je ovplyvňovaný prítomnosťou snímačov teploty. Bezkontaktné meranie teploty nachádza uplatnenie aj v špeciálnych podmienkach, kde nie je možné merať teplotu bežnými technológiami v dôsledku extrémne vysokých teplôt alebo kvôli prítomnosti silného elektrického alebo magnetického poľa.

Jednou zo základných požiadaviek na správne bezkontaktné meranie teploty je znalosť okrajových podmienok merania, medzi ktoré patrí aj správne určenie emisivity sledovaného objektu. Predkladaný príspevok obsahuje návrh konštrukcie meracej aparatury určenej na zisťovanie smerovej emisivity rôznych materiálov, na základe ktorej je možné potrebné nastavenie parametrov meracieho zariadenia.

2. ZÁKLADNÉ POJMY V OBLASTI BEZKONTAKTNÉHO MERANIA

Termografické zariadenie je vo všeobecnosti definované ako optoelektronický prístroj navrhnutý pre bezkontaktné pozorovanie, meranie a registráciu priestorového alebo časovo-priestorového rozloženia radiačnej teploty objektu v zornom poli prístroja formujúci časovú postupnosť termogramov a určujúci teplotu povrchu objektu na základe známych hodnôt emisivity a ďalších parametrov sledovaného objektu (teplota okolia, priepustnosť atmosféry, pozorovacia vzdialenosť, ...).

Výsledným produktom termografického zariadenia je termogram. Je to záznam snímaného objektu alebo jeho časti, pričom termogram obsahuje informácie o priestorovom rozložení teploty na povrchu. Termogram je tvorený zloženou maticou tvoriacou dvojrozmerný obraz, pričom každému elementu je priradená farba alebo farebný odtieň alebo úroveň jas, ktorý je priradený v závislosti na dohodnutej radiačnej škále. Výsledný obraz bežne obsahuje aj spomínanú radiačnú škálu, podľa ktorej je možné každému bodu na termograme priradiť presnú hodnotu teploty.

Pre správnu činnosť termografického zariadenia a opakovateľnosť vykonávaných meraní je potrebné, aby obsluha správne zadefinovala okrajové podmienky daného merania. K tomuto účelu je potrebné okrem iných veličín poznať aj presnú hodnotu emisivity snímaného povrchu.

Emisivita materiálov, označovaná ako ε (epsilon), je definovaná ako pomer energie vyžiarenej povrchom materiálu k energii vyžiarenej čiernym telesom pričom teplota oboch telies musí byť rovnaká. Je to vlastne charakteristika materiálu, ktorá definuje schopnosť materiálu absorbovať a vyžarovať energiu v podobe elektromagnetického žiarenia.

Čierne teleso je idealizovaná predstava telesa, ktoré je dokonale neodrazivé a nepriehľadné a bude pohlcovať (absorbovať) všetko infračervené žiarenie dopadajúce na jeho povrch. Takýto druh telesa je dokonalým absorberom a preto je aj dokonalým zdrojom infračerveného žiarenia a označuje sa ako čierne teleso. Teoretické čierne teleso má emisivitu $\varepsilon = 1$, ale všetky reálne telesá majú emisivitu nižšiu, $\varepsilon < 1$. Emisivita je pomerná číselná veličina a preto nemá fyzikálnu jednotku. Matematicky je emisivita definovaná nasledovným vzťahom:

$$\varepsilon = \frac{\text{žiarenie_vyžarované_telesom_pri_teplote_T}}{\text{žiarenie_vyžarované_čiernym_telesom_pri_teplote_T}}$$

Reálne objekty nie sú dokonalými žiaričmi v oblasti infračervenej časti spektra a preto je ich emisivita vždy nižšia ako emisivita čierneho telesa. Keď sa vnútorná tepelná energia reálneho objektu presúva k jeho povrchu, časť tejto energie sa vždy od vnútornej strany povrchu odrazí späť do materiálu a nikdy sa nevyžiari z telesa v podobe žiarenia. Schopnosť materiálu vyžarovať infračervené žiarenia závisí na niekoľkých faktoroch. Typ materiálu, kvalita povrchu, vlnová dĺžka a teplota sú faktory, ktoré ovplyvňujú emisivitu povrchu v rôznych smeroch. Hodnota emisivity objektu vyjadruje jeho schopnosť vyžarovať infračervené žiarenie.

Hodnota emisivity reálnych materiálov sa pohybuje v intervale 0 až 0,999. Kovové materiály s nezoxidovaným povrchom majú vo všeobecnosti nízke hodnoty emisivity. Vo všeobecnosti platí vzťah, že pre všetky nepriehľadné objekty je hodnota emisivity + odrazivosti = 1. To znamená, že povrchy s nízkou odrazivosťou (napr. asfalt) majú vysoké hodnoty emisivity a naopak vysoko odrazivé materiály (napr. valcovaný hliník) majú hodnoty emisivity nízke.

3. VPLYV EMISIVITY NA MERANIE TEPLOTY

Ak je radiačný termometer kalibrovaný na žiarenie čierneho telesa, vždy nameria nesprávnu hodnotu teploty reálneho telesa, pretože všetky reálne objekty majú hodnotu emisivity nižšiu ako čierne teleso ($\varepsilon < 1$). Emisivita termometrov sa bežne upravuje na hodnoty emisivity reálnych objektov, čím sa umožňuje meranie teploty reálnych telies, ktorých emisivita nikdy nie je rovná 1.

Pre presné a spoľahlivé meranie je vždy potrebné poznať hodnotu emisivity meraného materiálu. Tento predpoklad je relatívne jednoduché dodržať v prípade priemyselných aplikácií, ktoré sú zväčša opakovateľné a kedy emisivita meraného materiálu môže byť považovaná za konštantnú v dôsledku stabilnej kvality výroby. V bežných výrobných procesoch je tento predpoklad splnený s dostatočnou presnosťou a preto nie je problém použiť infračervené termometrické metódy. Treba však myslieť na to, že pri niektorých aplikáciách, kde dochádza k rýchlej oxidácii povrchu v priebehu výrobného procesu môže byť takéto meranie problematické, alebo nepoužiteľné.

4. IDEOVÝ NÁVRH APARATÚTY NA MERANIE EMISIVITY

V špecifických priemyselných aplikáciách je bezkontaktné meranie teploty materiálov využívané už pomerne dlhú dobu. Množstvo aplikácií si vyžaduje použitie práve tohto spôsobu merania teploty, pretože iné, konvenčné metódy, neponúkajú potrebné možnosti použitia. V súčasných podmienkach si termografia nachádza aj nové oblasti uplatnenia, pretože ponúka možnosť rýchleho, veľkoplošného (nielen bodového) a hlavne komplexného snímania teploty najrôznejších objektov. Zavedenie energetickej certifikácie budov je len jednou z nových možností uplatnenia termovíznej techniky.

Súčasný stav v oblasti doplnkových služieb pre užívateľov termovíznej techniky na Slovensku a problematika riešenia kalibrácie a overovania parametrov termovíznych zobrazovacích systémov viedla k riešeniu projektu zameraného na vyplnenie tejto medzery.

Riešenie projektu je zamerané na komplexný súbor problémov súvisiacich s problematikou termovíznej techniky. Jedným z čiastkových riešení projektu je aj riešenie problematiky objektívneho určovania emisivity materiálov. Základnými ideami pre návrh zariadenia umožňujúceho meranie emisivity bežných materiálov sú nasledujúce požiadavky:

- Zariadenie musí umožňovať meranie celkovej emisivity v rozsahu 0,01 až 0.999 tuhých materiálov v tvare valcov o priemere 50 až 80 mm a hrúbke do 5 mm, pri teplotách v rozsahu 263 K až 473 K, prípadne vyšších.
- Technické a metodické riešenie musí vyhovovať požiadavkám na neistoty merania emisivity $\pm 0,005$ čo vyjadrené v teplote predstavuje neistoty $\pm 0,3$ až $\pm 0,6$ K pre uvažovaný rozsah teplôt.
- Meranou veličinou bude smerová celková emisivita $\varepsilon(\theta)$ kde θ je uhol medzi smerom vyžarovania a normálou k povrchu plochy.

5. STANOVENIE SMEROVEJ EMISIVITY METÓDOU KOMPARÁCIE

Prezentovaný návrh experimentálnej aparatury pre určovanie smerovej emisivity materiálov je založený na porovnávaní žiarenia emitovaného experimentálnou vzorkou so žiarením modelu čierneho telesa.

Aparatúra pre meranie emisivity je založená na porovnávaní tokov žiarenia z meranej vzorky a z modelu čierneho telesa, pričom oba zdroje majú približne rovnakú teplotu a sú „pozorované“ pod rovnakým priestorovým uhlom. Obecne pre signály U_v resp. U_b zo vzorky resp. modelu čierneho telesa platí:

$$U_v = \varepsilon_v'(\theta, T_v) \cdot (T_v^4 - T_d^4) \cdot G_v$$

$$U_{bb} = \varepsilon_b' (T_{bb}^4 - T_d^4) \cdot G_b$$

kde U_v a U_{bb} sú signály detektora prislúchajúce tokom zo vzorky a čierneho telesa s teplotami T_v a T_{bb} , emisivitami ε_v a ε_b ; G_v a G_b sú konfiguračné faktory pre vzorku a model čierneho čierneho telesa vzhľadom na vstupnú apertúru detektora s teplotou T_d .

Pri striedavom (neperiodickom) meraní signálov pri usporiadaní pri ktorom $G_v = G_b$ je

$$\varepsilon_v'(\theta, T_v) = \frac{U_v}{U_{bb}} \cdot \frac{\varepsilon_b' \cdot (T_{bb}^4 - T_d^4)}{T_v^4 - T_d^4}$$

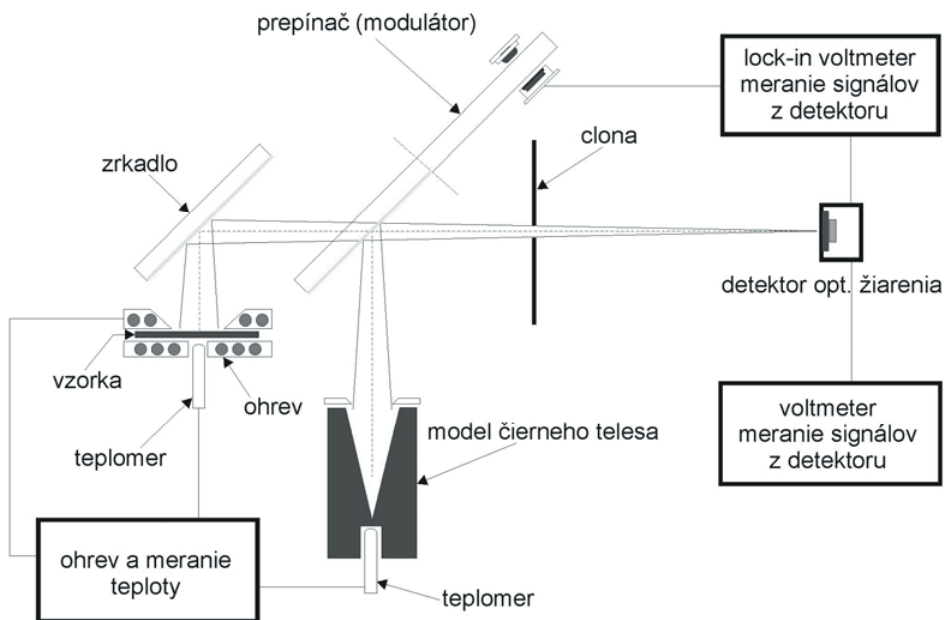
Pri periodickom snímaní signálu (miesto optického prepínača je použitý rotačný zrkadlový modulátor) je signál detektora U_d úmerný rozdielu tokov zo vzorky a modelu čierneho telesa:

$$U_d = K \cdot (U_v - U_b)$$

Detektor je používaný ako nulový detektor a pre dosiahnutie tohto signálu je používaná metóda:

- premennej teploty T_{bb} modelu čierneho telesa,

- premenného geometrického konfiguračného faktoru G_{ba} medzi apertúrou modelu čierneho telesa a apertúrou detektora v dôsledku zmeny vzdialenosti detektor – zdroj alebo/a zmenou priemeru apertúry modelu čierneho telesa,
- premennou emisivitou ε_b modelu čierneho telesa v dôsledku zmeny geometrie. Túto zmenu možno dosahovať u valcovej dutiny pohybom dna dutiny.



Obrázok 1 Schéma aparatury pre meranie smerovej emisivity metódou komparácie so žiarením modelu čierneho telesa

6. ZÁVER

Prezentovaný návrh experimentálnej aparatury na meranie smerovej emisivity materiálov je jedným z čiastkových výstupov riešenia projektu zameraného na výskum v oblasti bezkontaktného merania teploty. Je určené na presné a objektívne stanovovanie emisivity materiálov v závislosti na smere snímania a podľa požiadaviek praxe umožňuje stanoviť potrebné vlastnosti materiálov. Na základe meraní je možné nastavenie termovízných snímacích zariadení, ktoré pre správne stanovovanie teploty vyžadujú vloženie aktuálnych informácií o emisivite sledovaných materiálov.

LITERATÚRA

NEMEČEK P.: Bezkontaktné meranie teploty, Učebný text pre vzdelávací kurz „Metrológia teploty a kalibrácia príslušných meradiel“, Akreditovaný kurz MŠ SR, Bratislava, VS SMU, 2004, 30 s.

International Organization of Legal Metrology: Procedure for calibration and verification of the main characteristics of thermographic instruments, 5. 2008, 21 s.

International Electrotechnical Commission: Technical specification: Industrial process control devices – Radiation thermometers, part 1: Technical data for radiation thermometers, 04. 2008, ISBN 2-8318-9722-X

LAND: Infrared Training Notes – level 1, 1. 2008, dostupné na www.landinst.com

Príspevok je prezentovaný v rámci riešenia projektu APVV 0606-07: „Výskum kalibračných a certifikačných metód pre bezkontaktné meranie teploty, emisivity a spektrálnych charakteristík“

Kontaktná adresa:

Ing. Ivan Christov

Metrodat s.r.o., Beblavého 8, 811 01 Bratislava, metrodat@metrodat.eu

doc. RNDr. Milada Gajtanska, CSc., Ing. Rastislav Igaz

KFEAM DF, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, gajtan@vsld.tuzvo.sk, igaz@vsld.tuzvo.sk