



## VPLYV TECHNICKÝCH FAKTOROV NA ZRÝCHLENIE MECHANICKÉHO KMITANIA PRI OBRÁBANÍ CNC FRÉZKOU

Štefan Barcík – Ján Šustek – Petra Sedileková – Monika Kvietková

### Abstract

*The aim of this article is assigning of influence of technical factor on acceleration of mechanical vibration under machined on CNC machine. This paper is intended to a field of machine vibration measuring, types of sensor from point of view their present construction solution. The secondary aim of this article is assigning of utilization of laser Doppler interferometer during monitoring of mechanical vibrations of CNC routing machines.*

**Keywords:** shank cutters, CNC routing machines, mechanical vibrations, laser vibrometer

### ÚVOD

#### Charakteristika kmitov v technologickej sústave

Pri obrábaní dreva vznikajú zložité procesy kmitania v sústave stroj-obrobok-nástroj. Kmitanie, ktoré vzniká v sústave stroj-obrobok-nástroj, je niekedy také malé, že nemá nijaký nepriaznivý účinok. Sú však aj také prípady, keď je kmitanie pri obrábaní dreva veľmi intenzívne. Z hľadiska fyzikálnej podstaty môžu sa v technologickej sústave vyskytovať tieto druhy kmitov (Buda et al., 1988, Teoret 2003):

- a) vlastné kmity
- b) vynútené kmity
- c) samobudené kmity

**Vlastné kmity** v sústave stroj-obrobok-nástroj, prípadne v niektorých uzloch tejto sústavy sú vyvolané nárazom (napr. pri zapnutí zubovej spojky, pri zábere nástroja a pod.).

**Vynútené kmity** – Charakteristickým znakom vynútených kmitov je, že ich frekvencia sa zhoduje s frekvenciou budiacej sily. Vynútené kmity zvyčajne vždy sprevádzajú vlastné kmity, pretože v telese, ktoré sa odkláňa od rovnovážnej polohy, vznikajú pružné sily, ktoré sa usilujú dostať teleso do rovnovážnej polohy (Tlustý, 1955). Ak bolo teleso v pokoji a začne kmitať v dôsledku pôsobenia vynucujúcej sily, amplitúda vynútených kmitov bude vzrastať, kým sa neustáli na určitej hodnote. Amplitúda vynútených kmitov je úmerná amplitúde budiacej sily. Ak sa mení frekvencia budiacej sily pri konštantnej frekvencii vlastných kmitov  $\omega_0$ , bude sa meniť aj amplitúda vynútených kmitov, ktorá je charakte-rizovaná maximálnou hodnotou amplitúdy vynútených kmitov. Maximálna hodnota amplitúdy vynútených kmitov pri rezonančnej frekvencii budiacej sily je  $\omega_r$ . Matematicky možno dokázať, že ak nie je odpor prostredia, dostaneme pri rezonancii maximum amplitúdy, keď  $\omega_r = \omega_0$  ( $\omega_0$  je frekvencia vlastných kmitov). Amplitúda je v tomto

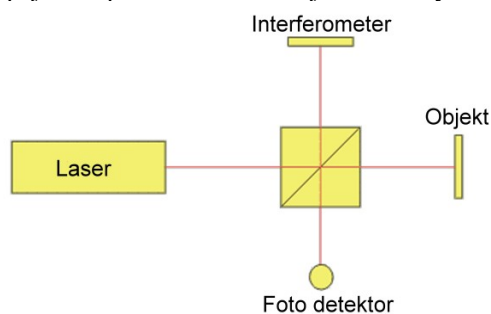
prípade nekonečne veľká. V praxi má odpor prostredia väčšie hodnoty ako nulové, a preto amplitúda nedosiahne nikdy nekonečnú hodnotu. Maximálna hodnota amplitúdy je teda vždy pri menších hodnotách  $\omega_r$  ako  $\omega_0$  (Buda, et al., 1988). Rezonancia je škodlivý jav, ktorý okrem iného môže zapríčiniť poškodenie niektorých častí stroja. Pri rýchlobežných strojoch môže spôsobiť uvoľnenie a vymrštenie obrobku.

Budiaca sila nemusí mať sínusový alebo kosínusový priebeh. Aby vyvolala kmitanie stačí, aby mala periodický charakter. Zmysel budiacej sily sa nemusí meniť, no priebeh závislosti sily od výchylky musí tvoriť uzavretú krivku (Teoret, 2003).

**Samobudené kmity** vznikajú vo všeobecnosti v sústavách bez vonkajšieho periodického vplyvu. Periodicky sa meniacia sila, ktorá toto kmitanie udržuje, vzniká iba v dôsledku kmitavého pohybu. Len čo kmitavý pohyb prestane, zmizne aj menlivá sila (Tlustý, 1955). Podľa Teoret (2003) je charakter samobudených kmitov určený výhradne štruktúrou kmitajúcej sústavy. Zdroj energie je neoddeliteľnou súčasťou sústavy. Samobudené kmity pri obrábaní môžu byť **skoroharmonické** alebo **relaxačné**.

### Laserové vibrometre

V modernej dobe existuje množstvo prístrojov pracujúcich na rôznych princípoch s cieľom detekovať a zmerať vibráciu určitého objektu. Najmodernejšie prístroje, tzv. optické laserové vibrometre vo všeobecnosti pracujú na báze vysielania dvoch laserových lúčov, z ktorých jeden je zameraný priamo na interferometer, zatiaľ čo druhý sa najprv odráža od pozorovaného objektu a až potom ho zachytáva interferometer (Christov, Gajtanska 2002). Dochádza tu k tzv. Dopplerovmu efektu, keď následkom vibrácie objektu sa mení frekvencia druhého laserového lúča. Interferometer vyhodnocuje rozdiel oboch frekvencií (konštantnej aj menenej) a na základe tohto rozdielu detekuje a meria vibráciu. Namerané hodnoty sú potom spracované v špeciálnej riadiacej a vyhodnocovacej jednotke vibrometra, alebo v pripojenom počítači. Na obr. 1 je zobrazený základ funkcie laser..

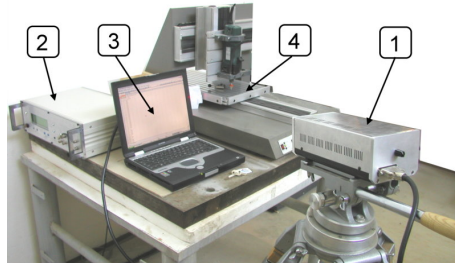


Obr. 1 Principiálna schéma laserového vibrometra podľa Christova a Gajtanskej (2002)

## 1. METODIKA A MATERIÁL

Pre sledovanie frekvenčnej analýzy kmitania bola použitá zostava laserového vibrometra LV-01 (obr. 2). Vibrometer LV-01 pracuje na princípe dvojfrekvenčného laserového systému. Zostava laserového vibrometra pozostáva z hlavy vibrometra umiestnenej na polohovateľnom stative, vyhodnocovacej jednotky a záznamového zariadenia v tomto prípade prenosného PC. Účelom vyhodnocovacej jednotky je v teréne nahradiť internú A/D kartu zabudovanú v počítači a umožniť tak transformáciu analógového signálu na digitálny. Mobilná vyhodnocovacia jednotka umožňuje taktiež vykonať základné frekvenčné analýzy

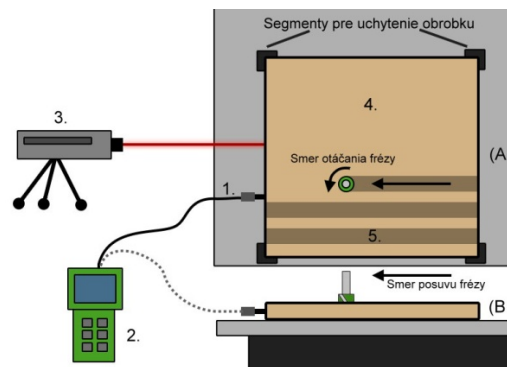
sledovaného signálu. Takou je napríklad aj rýchla fourierova transformácia (FFT), ktorá umožňuje určenie početnosti harmonických frekvencií v sledovanom signále. Vyhodnotený signál je potom možné prakticky okamžite sledovať na prenosnom počítači pomocou softwaru „Scope“. Program Scope obsahuje množstvo funkcií potrebných pre správne vyhodnotenie, záznam meraní a ich neskoršiu analýzu. Program taktiež umožňuje prepínanie medzi režimom sledovania frekvencie v čase (realtime) a režimom FFT analýzy.



Obr. 2 Zostava laserového vibrometra v laboratóriu KOD: 1) Hlava laserového vibrometra, 2) Vyhodnocovacia jednotka signálu, 3) Záznamová jednotka (prenosný počítač PC), 4) CNC fréžka KOSY 3 Masiv

Frézovanie skúšobných vzoriek z MDF dosky bolo uskutočnené v smere kolmom na rovinu dosky. Pri sledovaní mechanických vibrácií stroja bolo do jednej skúšobnej vzorky o rozmeroch 900 x 900 mm vyfrézovaných 14 pozdĺžnych navzájom rovnobežných žliabkov o hĺbke 5 mm (obr. 3 schéma frézovania). Sledované faktory sa menili v troch hodnotách a to: rezná rýchlosť  $v_c$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ] – 13, 16, 19, rýchlosť posuvu  $v_f$  [ $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ] – 2, 4, 6 a geometria nástroja vplyvom meniaceho sa uhla čela v hodnotách  $\gamma$  [ $^\circ$ ] – 10, 15, 20, 25.

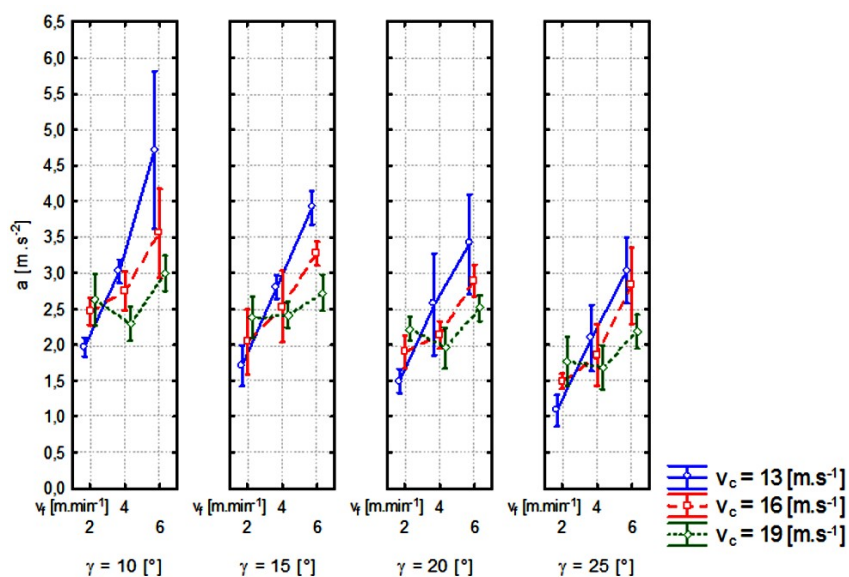
Skúšobné experimenty boli uskutočnené v prevádzke spoločnosti Trium v.o.s. Budča na vrchnej CNC fréžke SCM Record 110 NT. Skúšobné vzorky z MDF o rozmeroch 900x900x22 mm boli pomocou uchyťavacích segmentov upevnené na pracovnú dosku stola fréžky. Pred meraním bola vždy vykonaná kontrola vodorovnosti s cieľom zabezpečiť čo najpresnejšie meranie vzhľadom na hĺbku frézovanej drážky. Do riadiaceho počítača fréžky bol vložený vykonávací program. Pred začatím merania vibrácií počas procesu obrábania boli vykonané kontrolné merania pri chode na prázdno pri otáčkach vretena frézy  $n_{\min}$ ,  $n_{\text{str}}$ ,  $n_{\max}$  a rýchlosti posuvu  $v_{f\min}$ ,  $v_{f\text{str}}$ ,  $v_{f\max}$ .



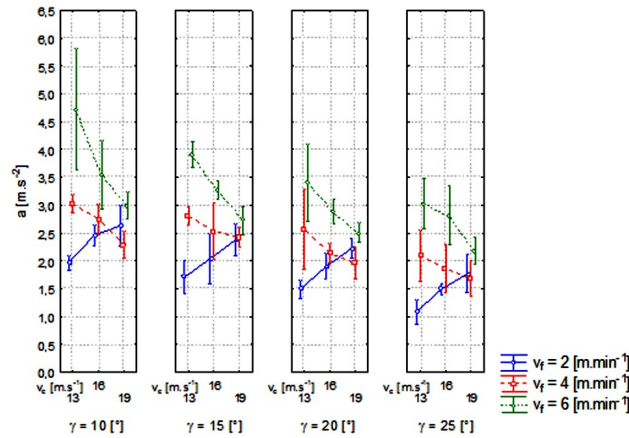
Obr. 3 Popis pracoviska pri sledovaní vibrácií: 1) kontaktná sonda zariadenia VIS, 2) zariadenie na meranie vibrácií VIS 015, 3) laserový vibrometer umiestnený na statíve, 4) obrabok MDF 900x900x22 mm, 5) odfrézovaná drážka, A) pohľad zhora, B) pohľad z boku

## 2. VÝSLEDKY EXPERIMENTU

Závislosť mechanického kmitania  $a$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ] od posuvnej rýchlosti rozdelená podľa faktora reznej rýchlosti predstavuje obr. 4. Je zrejme že pri faktore reznej rýchlosti 13 a 16  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  hodnoty zrýchlenia zo stúpajúcou posuvnou rýchlosťou narastali. Výnimku tvorili hodnoty zrýchlenia pri hodnote faktora reznej rýchlosti 19  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . V tomto prípade najnižšia hodnota zrýchlenia bola nameraná pri posuvnej rýchlosti 4  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$  a faktore reznej rýchlosti 19  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Z grafov je vidieť miesto, kde sa krivky závislosti jednotlivých faktorov pretínajú. Z analýzy vplyvu posuvnej rýchlosti s druhým faktorom reznej rýchlosti, môžeme konštatovať, že pri najnižšom posuve ( $v_f=2$   $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ) má na hodnotu zrýchlenia významnejší vplyv faktor reznej rýchlosti. Pretože rezná rýchlosť je priamo ovplyvnená otáčkami nástroja, môžeme predpokladať, že práve zvyšujúce sa otáčky nástroja spôsobili nárast hodnoty zrýchlenia kmitania pri najnižšej posuvnej rýchlosti. Je možné predpokladať, že oblasť medzi posuvom 2 až 4  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$  pri hodnotách reznej rýchlosti 13 až 19  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  je miestom vzniku samobudeného kmitania spojeného s rezným procesom a tvorbou triesky.

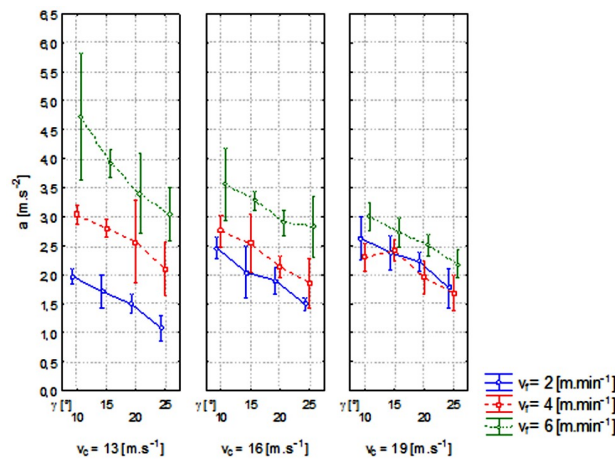


Obr. 4 Závislosť zrýchlenia mechanického kmitania  $a$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ] od rýchlosti posuvu  $v_f$  [ $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ] - zobrazené podľa faktora reznej rýchlosti  $v_c$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ] v stĺpci podľa faktora uhla čela  $\gamma$  [°]



Obr. 5 Závislosť zrýchlenia mechanického kmitania  $a$  [ $\text{m.s}^{-2}$ ] od reznej rýchlosti  $v_c$  [ $\text{m.s}^{-1}$ ] - zobrazené podľa rýchlosti posuvu  $v_f$  [ $\text{m.min}^{-1}$ ] v stĺpci podľa faktora uhla čela  $\gamma$  [ $^\circ$ ]

Závislosť mechanického kmitania  $a$  [ $\text{m.s}^{-2}$ ] od reznej rýchlosti rozdelená podľa faktora posuvnej rýchlosti je na obr. 5. Môžeme konštatovať, že pri hodnotách faktora posuvu 4 a 6 hodnoty zrýchlenia kmitania so zvyšujúcou sa reznou rýchlosťou klesajú. Opačný priebeh majú hodnoty pri najnižšej posuvnej rýchlosti 2. Vysvetlenie tejto závislosti vychádza z predchádzajúceho rozboru vplyvu posuvnej rýchlosti na hodnotu zrýchlenia kmitania. Pri najnižšej hodnote faktora posuvnej rýchlosti ( $v_f=2\text{m.min}^{-1}$ ) sa hodnota teoretickej hrúbky triesky vyjadrená parametrom  $h_{\text{max}}$  pohybuje v rozsahu 0,0833 – 0,125mm. Môžeme predpokladať, že pri tomto rozsahu odoberanej vrstvy má výraznejší vplyv na hodnoty zrýchlenia vonkajšia budiaca sila v tomto prípade periodická sila závislá od počtu otáčok rezného nástroja. S veľkosťou odoberanej vrstvy súvisí aj nárast rezných síl spojených s procesom tvorby triesky. Je možné predpokladať, že výraznejší vplyv rezného procesu na hodnotu zrýchlenia kmitania sa dostaví až pri určitých hodnotách rezných síl. Podľa rozboru je možné určiť parametre rezného procesu, pri ktorých vzniká alebo nevzniká samobudené kmitanie spojené s rezným procesom.



Obr. 6 Závislosť zrýchlenia mechanického kmitania  $a$  [ $\text{m.s}^{-2}$ ] od uhla čela  $\gamma$  [ $^\circ$ ] - zobrazené podľa rýchlosti posuvu  $v_f$  [ $\text{m.min}^{-1}$ ] v stĺpci podľa faktora reznej rýchlosti  $v_c$  [ $\text{m.s}^{-1}$ ]

Závislosť mechanického kmitania  $a$  [ $m \cdot s^{-2}$ ] od uhla čela rozdelenej podľa faktora reznej rýchlosti je na obr. 6. Rezný klin s menším uhlom ľahšie vniká do obrábaného materiálu a rezné sily sú nižšie ako pri väčších uhloch. Podľa Teoret (2003) najvýraznejším vplyv na mechanické kmitanie majú nástroje s nižším až záporným uhlom čela. V kontexte s výsledkami predstavenými na obr. 6 môžeme konštatovať, že zväčšujúcim sa uhlom čela hodnota zrýchlenia kmitania klesá. Najväčší rozptyl hodnôt bol zaznamenaný pri najmenšom uhle čela 10 a najmenší pri uhle 20°. S pohľadu opotrebenia sa veľké uhly čela pri nástrojoch rýchlo-rezných nástrojoch nedoporučujú.

### 3. ZÁVER

Z pohľadu optimalizácie je potrebné konštatovať že najhorším prípadom vzhľadom na hodnoty mechanického kmitania je kombinácia podmienok procesu pri nízkej reznej rýchlosti, vysokej hodnote posuvu a malom uhle čela rezného nástroja. Je možné predpokladať, že pri uvedených kombináciách sledovaných parametrov, dochádza jednak zvýšenej nepresnosti opracovania obrobku, ako aj nárastu energetickej náročnosti procesu obrábania.

### POUŽITÁ LITERATÚRA

SIKLIENKA, M., CHRISTOV, I., GAJTANSKA, M. 2001: Zariadenie na meranie mechanických kmitov na báze laserového lúča. In: Zborník z medzinárodnej vedecko-odbornej konferencie, Technické vzdelanie ako súčasť všeobecného vzdelania. Veľká Lomnica 2001, 9-10.9.2003, s.450-455, ISBN 80-8055-870-1.

KOMATSU, M. 1993. Machineng performance of router bit in the peripheral milling of wood I.: Effects of the helix angle of the peripheral cutting – edge on the cutting force and machined surface – roughness. In: Jurnal of the apan Wood Research Society, vol. 39, 1993, no. 6, p. 628 -635.

TLUSTÝ, J. 1955. Samobuzené kmity v obrábecích strojích. Praha, 1955.

BUDA J., SOUČEK J., VASILKO K., 1983. Bratislava: teória obrábania. Praha: Štátní nakladatelství technické literatury, 1983, s.356, ISBN – 7789-14-6.

Teoret 2003. [online]. [s.a.] [Cit. 2008-2-6]. Dostupné na: <<http://www.prometheus.sk/teoret/index.htm>>.

StatSoft, Inc. 2004: STATISTICA data analysis software system, version 6.  
[www.statsoft.com](http://www.statsoft.com)

*Článok vznikol v rámci grantovej úlohy s názvom „Výskum fyzikálnych a mechanických javov v špecifických podmienkach prvotného a druhotného spracovania dreva a drevných materiálov. S číslom I/4387/07, VEGA SR.*