



## PROBLEMATIKA POUŽITIA CNC STROJOV, PRI TVAROVANÍ KOMPONENTOV HUSLÍ

Anna Danihelová - Stanislav Košúth

### Abstract

*Problems violin production is very old. It is interesting that the old craftsmen have already produced highly qualified instruments. We can say that already in the 16-th century the shape of violin was brought to perfection. Leonardo da Vinci has probably contributed to it [7]. Producers in the 17-th century produced instruments, that are till nowadays criteria of quality and are being considered as unattainable perfection of sound.*

*The shape and tuning of back and belly contributes the most in relation to quality and sound. By hand shaping of the back and belly it is very difficult to reach the requested shape and symmetricalness. By machine shaping the problems are removed when we model the shape of back and belly in computer. When we look at the 3D back and belly in computer we can control the dimension and shape before it is produced. That means that according to the perfect model we can produce perfect copy.*

*Perfect shape of back and belly and careful and precise tuning of their thickness is promising supposition of the production of high quality musical instrument.*

**Key words:** *Violin, CNC machines, shaping*

### ÚVOD

Pri výrobe hudobných nástrojov, a to najmä sláčikových, ktorá je veľmi špecifickým odvetvím, je potrebné sklbiť niekoľko profesijných vlastností výrobcu na to, aby bol skutočným profesionálom, kompetentným na prácu vo svojom odbore. Je nevyhnutné, aby výrobca dokonale ovládal stolársku prácu, napr. delenie a tvarovanie dreva rezaním, ohýbaním, frézovaním, sústružením. Taktiež je potrebné mať cit a vlohy pre rezbársku prácu a estetické cítenie. Nenahraditeľná je aj prax pri povrchovej úprave.

Stretávame sa so zástancami teórie, že jedine ručne vyrobený nástroj môže byť skutočným majstrovským dielom a nepripúšťajú žiadny zásah stroja počas celej výroby. Existuje istá hranica, teda stav obrobena dielca, po ktorú sa môže pri obrábaní materiálu využiť stroj a hudobný nástroj tým nijako nestráti na výslednej kvalite. Celý výrobný proces sa urýchli a je možné dosiahnuť vyššie presnosti výroby a to v konečnom dôsledku zvýši rozmerovú a tvarovú zhodnosť jednotlivých hudobných nástrojov vyrobených jedným pracoviskom.

Presnosť výroby a zvýšenie efektivity práce spolu so zavedením inovatívnych výrobných postupov je zdôraznená a overená aj v práci [5].

## EXPERIMENTY

Hlavnými úlohami práce bolo:  
rozhodnúť, ako bude reprezentovaný originál pre vytvorenie modelu,  
presne a dostatočne popísať rozmery a tvar originálu,  
vytvoriť grafický model v PC,  
vytvoriť program pre CNC stroj.

### *Výber metódy modelovania*

Základným problémom bolo popísať tvar husľovej dosky dostatočným množstvom dát tak, aby bolo možné vypracovať výkresovú dokumentáciu vhodnú pre spracovanie na PC, pomocou ktorého je možné vytvoriť program pre CNC stroj.

Prvým variantom vytvorenia grafického modelu bolo použitie technického výkresu s pôdorysným pohľadom a tromi rezmi dosky. Takéto vstupné informácie by bolo možné použiť pri geometrickom modelovaní šablónovaním [2]. Tvar husľovej dosky je však v určitých miestach podstatne zložitejší ako šablóny pre modelovanie, ktoré by pozostávali z rovín vytvorených už spomínanými rezovými pohľadmi. Tieto miesta, konkrétne rožky dosiek a pásová časť huslí by boli definované veľmi nepresne. V tomto prípade by sa výhody použitia CNC stroja pri tvarovaní klenby neuplatnili v dostatočnej miere.

Druhým variantom bolo použiť hotovú predfrézovanú husľovú dosku ako originál, ktorý je potrebné rozmerovo a tvarovo presne popísať. To znamená v sieti bodov (súradnicová rovina  $x, y$ ) zmerať výšku klenby (súradnica  $z$ ). Doska je vzorom pre tvar modelu a zároveň aj meradlom presnosti, pretože je možné odmerať, ako sa líši tvar originálu od tvaru novej vyhotovenej dosky. Na meranie rozmerov klenby bol použitý ramenový hrúbkometer s presnosťou 0,01 mm a s rozsahom 0–11 mm. Aby bolo možné hrúbku dosky pohodlne zmerať v pomerne veľkom počte bodov, bolo potrebné zostrojiť k meraciemu ramenu s odchýlkomerom stolík s krížovým suportom (Obr. 3).

Tretím variantom bolo vyrobiť husľovú dosku ručným spôsobom čo najprecíznejšie a túto použiť ako originál pre geometrický model.

### Merania na modeli

Presné definovanie tvaru dosky spočívalo v tom, že sa v dostatočnom množstve bodov usporiadaných v sieti so súradnicami  $x$  a  $y$  odmerala hrúbka dosky ako súradnica  $z$ . Sieť bola zvolená nasledovne. Hodnota dielika na osi  $x$  bola 5 mm a na osi  $y$  10 mm. Takto vznikla sústava 673 bodov na jednej polovici dosky. Keďže doska je osovo symetrická a 38 bodov bolo meraných priamo na osi symetrie, celkovo bol model popísaný po odzrkadlení druhej polovice 1308 bodmi. Spresnená verzia tohto istého postupu bola definovaná cca 2500 bodmi.

## VÝSLEDKY

Model husľovej dosky sa skladá z dvoch častí. Je to povrchová sieť a obrysová krivka. Povrchová sieť bola nameraná na jednej polovici husľovej dosky kvôli predpokladu, že tvar dosky huslí je osovo symetrický. Druhá polovica bodov siete bola doplnená tzv. zrkadlením, čím bola zaistená symetria modelu. V priečnych rezoch na pozdĺžnu os, resp. os symetrie huslí, sa povrch javil ako hladká symetrická krivka. Z hľadiska matematiky mala krivka na celom definičnom obore spojitú deriváciu, neboli na nej skoky (nespojitosť) hrany. Z tohto dôvodu bola zvolená matematická náhrada nameraných bodov krivky pomocou polynómu. Presnosť náhrady krivky polynómom bola zisťovaná ako maximálna

odchýlka krivky od nameraných hodnôt. Najlepšiu náhradu bolo možné špecifikovať ako polynóm najnižšieho rádu a zároveň minimálnou odchýlkou od hodnôt nameraných bodov. Priebeh polynomickej funkcie, teda tvar danej krivky, bol kontrolovaný vizuálne. Ako najlepšia náhrada sa ukázal polynóm 12. rádu, kvôli nízkym odchýlkam od nameraných hodnôt. Tento polynóm však až príliš kopíroval drobné nerovnosti a nepresnosti merania. Prijateľnou náhradou sa ukázal polynóm 8. rádu. Tento menej kopíroval drobné nerovnosti a odchýlky od nameraných hodnôt boli menej ako 0,5 mm. Keďže nebolo zadefinované, že nepárne koeficienty polynómu sú nulové, teoreticky by mohlo dôjsť k náhrade meraných hodnôt nesymetrickou krivkou. Prvotný predpoklad, že vstupné dáta budú dokonale symetrické (kopírovanie bodov zrkadlením), možnosť nesymetrickej náhrady vylučuje. Vizuálna kontrola matematickej náhrady potvrdila, že náhradné polynómy sú symetrické.

Pre pozdĺžny smer tvaru huslí nebolo možné použiť tento spôsob náhrady bodov. Krivky rovnobežné s osou symetrie huslí neboli symetrické, navyše v niektorých častiach boli nespojité. Okrem toho náhrada polynómom by bola problematická pre nedodržanie hodnôt v bodoch. Bola preto zvolená náhrada interpoláciou, konkrétne splineovou kubickou interpoláciou [6]. Splineova kubická interpolácia presne dodržiava hodnoty v bodoch, ktoré interpoluje [1]. Výsledná sieť modelovaná softwarom Matlab [4] a AutoCAD je na obr. 1.

Obrysová krivka bola nameraná v x, y súradniciach s rastrom 5x5 mm. V kritických miestach (oblasť rožkov huslí) bol raster zhustený na 1x1 mm. Takto zmerané hodnoty boli aproximované splineovou kubickou interpoláciou. Obrys huslí nebolo možné popísať nijakou matematickou funkciou, pretože v každom smere by k jednej hodnote nezávisle premennej x prislúchalo viac hodnôt závisle premennej y. Z tohto dôvodu bol obrys huslí rozdelený na 5 úsekov, ktoré už bolo možné popísať funkciami. Výsledný tvar krivky bol dodatočne upravovaný ručne.

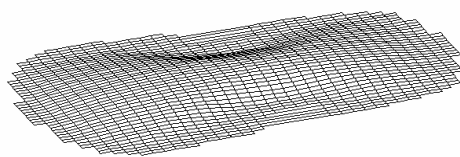
Výsledný model bol vygenerovaný ako množina bodov so vzdialenosťou (krokom) 0,1 mm.

Vzniknutý matematický model povrchu husľovej dosky bol tvorený ako súčet povrchovej siete orezanej obrysovou čiarou a obrysovej čiary.

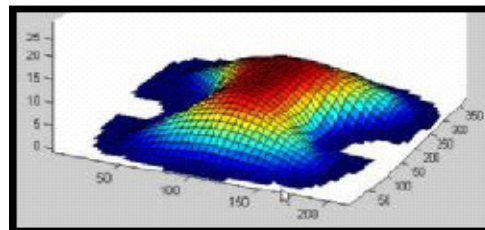
CNC stoj, pre ktorý má slúžiť produkt tejto práce je, schopný komunikovať s vonkajším prostredím pomocou grafických programov AutoCAD.dxf formát, PC-Draft, Pro-Lignum 3D. Komunikácia sa deje prostredníctvom softwaru TwinCAM 32. Je to program, ktorý na základe grafického obrazca nakresleného podľa určitých pravidiel, je schopný vytvoriť riadiaci program pre ovládanie obrábacieho mechanizmu [3]. Podrobnejší popis je napr. v práci [5].

Výsledok práce programu Matlab 5.3 bol skript na nakreslenie modelu husľovej dosky pre program AutoCAD.

Výsledok práce programu AutoCAD bol technický výkres husľovej dosky pre program TwinCAM (Obr. 2).



a)



b)

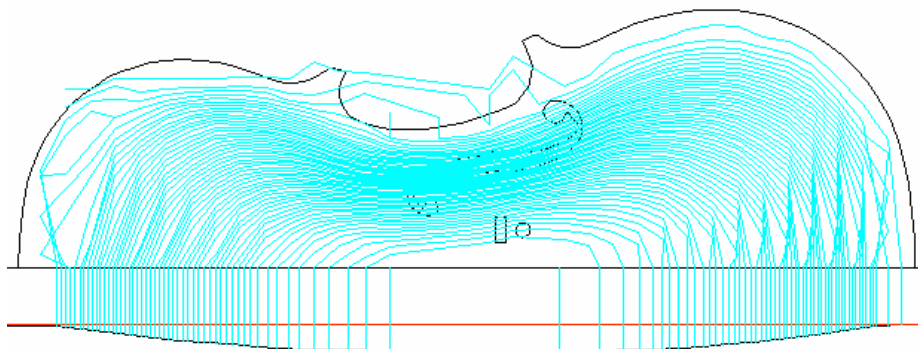
**Obr. 1** Sieť vrchnej klenby husľovej dosky vykreslená programom a) AutoCAD, b) Matlab.

## ZHODNOTENIE

Pomocou spomínaného postupu je možné vytvoriť model s veľmi vysokou presnosťou. Presnosť suportov CNC stroj je tiež veľmi vysoká (0,001 mm). Tieto predpoklady by mali zaručiť vysokú presnosť a spoľahlivosť presnosti výroby. Praktické skúsenosti nie sú vždy také pozitívne. Pri tvarovaní obrobku sa uplatňujú vo vysokej miere nasledujúce faktory.

Prvým faktorom je interakcia medzi nástrojom a obrobkom. Tvar a geometria nástroja priamo ovplyvňuje nielen kvalitu obrobeného povrchu, ale aj presnosť výroby. Je to spôsobené zatláčaním materiálu, respektíve jeho ustupovaním pred rezným nástrojom. Deje sa to najmä pri obrábaní smrekovej dosky huslí aj pri práci s ostrým a kvalitným nástrojom guľovitého tvaru. V osi rotácie nástroja je totiž nulová rezná rýchlosť, preto je nutné zabezpečiť, aby nedochádzalo k obrábaniu materiálu práve touto jeho časťou. Tento jav je možné odstrániť použitím iného tvaru nástroja a samozrejme tomu prispôbiť aj spôsob obrábania, alebo pracovať so skloneným vretenom CNC stroja vzhľadom k horizontálnej obrábacej rovine.

Druhým faktorom je kvalita upevnenia obrobku na stole stroja. Je potrebné brať ohľad na druh materiálu, s ktorým sa pracuje, nutnosť zabezpečenia presnosti uchytenia a stability obrobku v troch osiach. V opačnom prípade sa negujú výhody presnosti a spoľahlivosti obrábania CNC technológiou.



**Obr. 2** Technický výkres vrchnej klenby vrchnej husľovej dosky zobrazený pomocou vrstevníc.



**Obr. 3** Pohľad na meracie zariadenie – odchýlkomer a stolík s krížovým suportom.

## ZÁVER

Pomocou softvaru Matlab a AutoCAD bol vytvorený model vrchnej klenby husľovej dosky s vysokou presnosťou. Pomocou neho je možné vyfrézovať tvar dosky. Zároveň je potrebné uvedomiť si dôležitosť precíznosti návrhu a zhotovenia prípravkov potrebných na upevnenie obrobku v stroji. Praktické odskúšanie ukáže prednosti použitia CNC technológie, ale aj možnosti odstránenia potenciálnych problémov naznačených v predchádzajúcej časti tohto príspevku.

## LITERATÚRA

- [1] GÖPEL, W - HESSE, J - ZEMEL, J. N.: Sensors: Fundamentals and General aspects. In: MIŠEJE, M.: Splineová kubická interpolácia. Bratislava : 2000.
- [2] HUDEC, B.: Základy počítačové grafiky. Praha : 1997.
- [3] KOCMAN, K. – ŠIMONEK, P.: Speciální technologie II, základy optimalizace a technologie obrábění na NC strojích. Brno : 1988.
- [4] KOZÁK, Š – KAJAN, S.: Matlab-simulink I. Bratislava: 1999.
- [5] ČULÍK, M. - DANIHEL, M.: Technologické zvláštnosti pri výrobe elektrickej gitary. In *5<sup>th</sup> International Science Conference: Chip and chipless woodworking processes*, Starý Smokovec, 2006
- [6] MIŠEJE, M.: Splineová kubická interpolácia. Bratislava: 2000.
- [7] SAVČENKO, T.: Tajomstvá výroby huslí a fyzikálno – akustické vlastnosti dreva použitého pri ich konštrukcii. [Diplomová práca]. Zvolen: 2004. Technická univerzita. Drevárska fakulta.