



MODELOVÁNÍ GEOMETRICKÉ STRUKTURY POVRCHU VZNIKAJÍCÍ V PROCESU FRÉZOVÁNÍ DŘEVA

Maciej Kowalski – Miroslav Rousek – Piotr Cichosz – Paweł Karolczak

Abstract

The paper describes the methodology of mathematical modelling the surface roughness originating after milling. Results of measuring were presented of the surface roughness of oak and spruce wood samples. A computer program was used to model the surface roughness. The program serving to create virtual surfaces was developed at the Wrocław Technical University (Politechnika Wrocławska).

Key words: roughness, modelling, milling, wood

ÚVOD

Cílem výzkumu a měření geometrické struktury povrchu (GSP) je její poznání a seznámení se podmínkami vzájemného kontaktu reálných povrchů. Díky nim je možné zjistit shodnost technologických efektů obrábění s konstrukčními předpoklady. Metrologie drsnosti zahrnuje široké spektrum otázek spojených s matematickým popisem a modelováním povrchů. V současné době si můžeme všimnout dynamického rozvoje tohoto odvětví, co vyplývá z nezbytnosti komplexní identifikace složitého objektu, jaký představuje povrchová vrstva. V situaci, kdy je dosažení reálných povrchů za daných podmínek složité, drahé, časově náročné nebo téměř nemožné, se používá matematické modelování povrchů. Kromě toho je matematické modelování velmi užitečné i v případech, kdy je nutné dosažení konkrétních specifických profilů topografie povrchů s charakteristickými specifickými vlastnostmi, např. výškovými, horizontálními, nebo s jejich předem daným vzájemným poměrem.

Cílem práce je prezentace a ověření možnosti matematického modelování topografie povrchu smrkových a dubových vzorků frézovaných na obráběcím stroji CNC.

1. PROGRAM K MODELOVÁNÍ GEOMETRICKÉ STRUKTURY POVRCHOVÉ VRSTVY

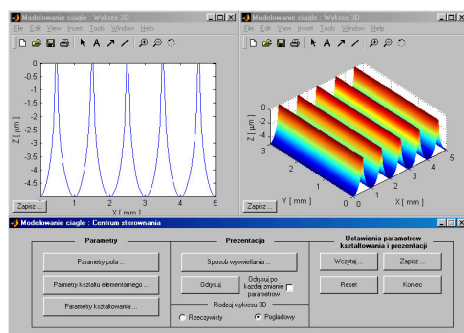
K modelování povrchů byl použit počítačový program *Modelowanie_skr*, vytvořený v Ústavu strojní technologie a automatizace Technické univerzity ve Vratislavi (Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej, Institute of Production Engineering and Automation – Wrocław University of Technology). Program pracuje v prostředí MATLAB a umožňuje modelování povrchů dvěma metodami.

První z nich je založena na zobrazení stop činnosti obráběcího stroje na modelovaném povrchu plynulým (nepřetržitým) způsobem. Za základní tvary (ZT) zobrazující obrys ostří můžeme považovat libovolné křivky, které jsou virtuálně zaprojektované nebo snímané z reálných modelů. Zobrazení může probíhat bez narušení nebo s narušením. K základnímu tvaru se může přidat šum (kopírující nerovnost ostří vznikající jeho otupením, opotřebením). Tato metoda dovoluje simulovat tvarování kinematicko - geometrického povrchu, např. soustružením, obvodovým broušením, frézováním, honováním atd.

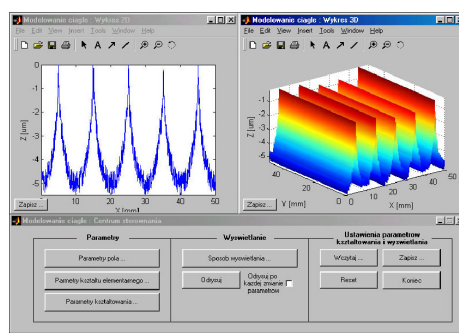
Druhá metoda probíhá pomocí diskrétního „kopírování“ těles (základního tvaru ZT) v materiálu, například elipsoidů, torusů, jehlanů, kuželů atd. Za základní tvary můžeme též považovat jiná libovolná virtuálně zaprojektovaná tělesa, nebo tvary snímané z reálných modelů. Zobrazení může probíhat pravidelně nebo s narušením, které se může projevit změnou polohy nebo změnou základních tvarů těles. Tato metoda dovoluje simulovat tvarování povrchů získaných pomocí elektroerozivního obrábění, pískování, brokování, válečkování atd.

Program umožňuje modelování struktur drsnosti jak 2D (jednotlivý profil), tak i 3D (části povrchu). Vytváří možnost libovolného stanovení velikosti pole modelovaného povrchu, stupně diskretizace a předpokládané deformace.

Na obrázku č. 1 je zobrazen příklad povrchu s dominantním uložením (směrem) stop, modelovaného bez narušení. Základní tvar je možné narušit. Příkladem takové operace je „přidaný šum“. Vzhled povrchu vygenerovaného s přidaným šumem k základnímu tvaru je ukázáno na obrázku č. 2.



Obr. 1 Příklad povrchu s dominantním směrem stop (bez narušení)



Obr. 2 Příklad povrchu s dominantním směrem stop (s narušením)

Modelované povrchy je možné také mnohonásobně vzájemně "skládat". Díky těmto možnostem je možné simulovat a pozorovat změny stavu geometrické povrchové vrstvy v rámci po sobě následujících obráběcích operacích. Na obrázku č. 3 je vidět příklad složení (součtu) povrchů s dominantním směrem, otočených o 45° různým směrem. Program také umožňuje modelování vlivu působení zvláštního druhu mechanického filtru, jakým je měřicí hrot dotykového profilografometru snímající zkoumaný povrch. Na obrázku č. 4 je zobrazen názorný tvar modelu 2D měřicího hrotu a vliv jeho rozměru na snímání profilu drsnosti (obr. 5).

Na obr. 6 je zobrazen názorný tvar modelu měřicího hrotu 3D a vliv jeho rozměru na snímání drsnosti na povrchu (obr. 7).

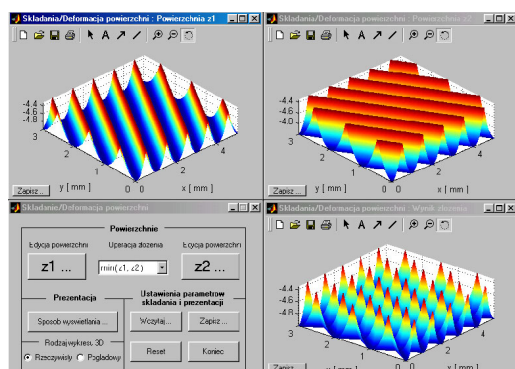
Vytvořený program umožňuje zasílání modelovaných profilů a povrchů v podobě matice do profilografometrů, např. FORM TALYSURF 120L, za účelem výpočtu parametrů drsnosti a vlnitosti vygenerovaných povrchů.

2. PŘEDPOKLADY PRO MODELOVÁNÍ

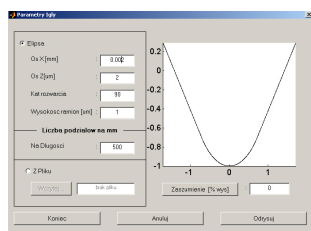
Snahou při modelování frézování povrchu dřevěných vzorků bylo co nejvěrnější vytvoření reálných kinematicko-geometrických podmínek tvarování povrchu dřeva. Mezi ně je možné zahrnout:

- zobrazení tvaru vrcholku řezného břitu pomocí elipsy,
- náhodně narušený tvar řezného břitu (kopírující nerovnost ostří vznikající jeho otupením, opotřebením),
- modelování náhodného kmitání nástrojů v třech osách,
- modelování harmonického kmitání nástrojů v třech osách.

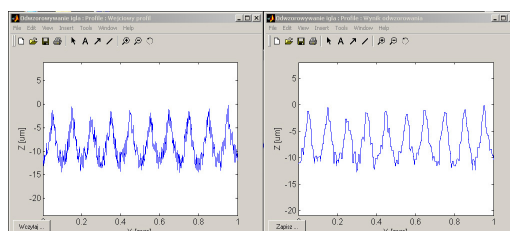
Dodatečně byl k modelovanému povrchu přidán globální šum simulující další náhodné faktory, které nebyly brány dříve v úvahu, a které se vyskytují během skutečného obrábění dřeva, např.: nestejnorodnost obráběného materiálu.



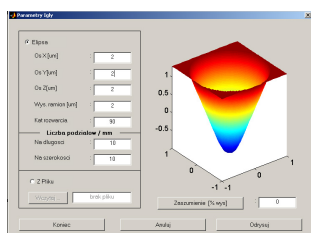
Obr. 3 Model vzniklý složením povrchů s dominantním směrem, otočených o 45° různým směrem



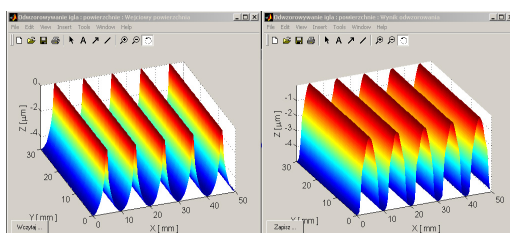
Obr. 4 Náznový tvar modelu 2D měřicího hrotu o poloměru zaoblení $r=2\ \mu\text{m}$ a úhlu hrotu $\alpha=90^\circ$



Obr. 5 Filtrační činnost měřicího hrotu 2D $r=2\ \mu\text{m}$, $\alpha=90^\circ$



Obr. 6 Náznový tvar modelu 3D měřicího hrotu o poloměru zaoblení $r=2\ \mu\text{m}$ a úhlu hrotu $\alpha=90^\circ$



Obr. 7 Filtrační činnost měřicího hrotu 3D $r=2\ \mu\text{m}$, $\alpha=90^\circ$

3. ROZSAH, PODMÍNKY A METODIKA MĚŘENÍ REÁLNÉHO POVRCHU

Pro každý ze zkoumaných materiálů (dub a smrk) byly připraveny čtyři vzorky, frézované frézovací hlavou s jedním nožem vyrobeným z rychlořezné oceli (HSS). Obrábění bylo prováděno čtyřmi různými otáčkami frézy: $n=10000, 13000, 16000, 19000$ ot/min. Pro všechny vzorky byla použita rychlost posuvu $v_f=4$ m/min. Měření drsnosti bylo provedeno kolmo ke směru posuvu nářadí.

Pro srovnání modelů a reálných povrchů byly snímány dříve popsané vzorky. K snímání a analýze výsledků byl použit profilometr FORM TALYSURF-120 L firmy Taylor Hobson Limited. Měření 3D bylo provedeno na povrchu o rozměru $1,28 \times 1,28$ mm s krokem dat $5 \mu\text{m}$. Takto změřené povrchy byly filtrovány za účelem oddělení drsnosti od vlnitosti a odchylky tvaru filtrem ISO-2CR s velikostí „cut-off“ $0,25$ mm.

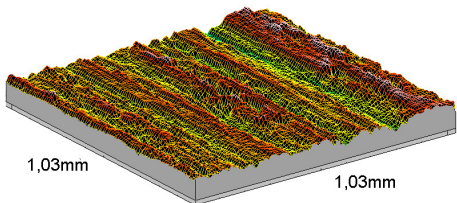
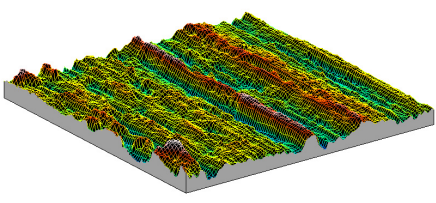
4. PŘÍKLAD POUŽITÍ PROGRAMU

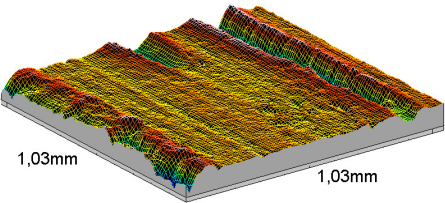
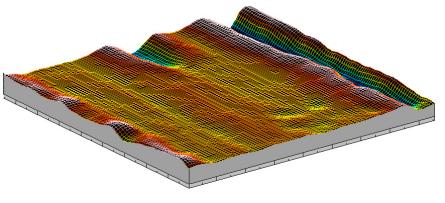
Předkladem bylo, že modelovaný povrch má být podobný tomu, jaký je možné obdržet po frézování dřeva. Tvar vrcholku řezného břitu byl modelován pomocí elipsy (základní tvar) ke které byl přidán šum o hodnotě 3% výšky základního tvaru. Pro zamodelování podmínek práce nářadí, co nejvíc odpovídajících skutečnosti, byla velikost elipsy měněná v rozsahu 2-5 % jejího skutečného rozměru (modelování náhodného kmitání nářadí). Na celý povrch bylo rovněž přidáno harmonické kmitání na ploše x-y.

Pro výpočet parametrů drsnosti modelovaných povrchů byla data převedena do matic a přenesena do profilografometru, na kterém byla dříve provedena měření. Tento profilografometr je vybaven programem Talymap Export 2.0.19, který umožňuje analýzu jak reálných tak i modelových povrchů.

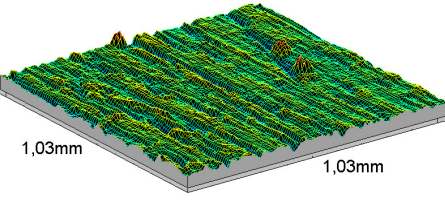
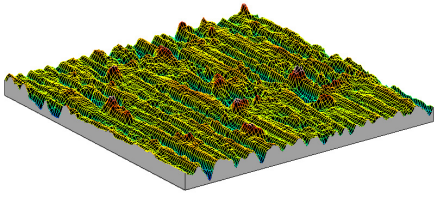
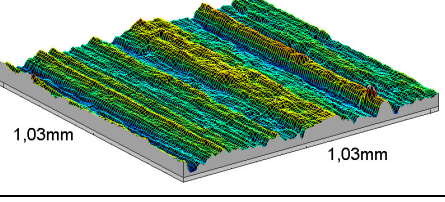
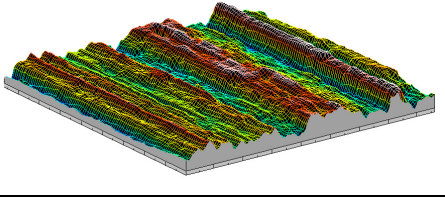
V tabulce 1 a 2 jsou zobrazeny zajímavější příklady zvolených reálných povrchů a jim odpovídajících modelů. Vzhledem k omezenému rozsahu článku nejsou v práci uvedeny všechny výsledky modelování.

Tabulka 1. Srovnání reálných povrchů dubových vzorků a modelů

REÁLNÝ POVRCH DUB $n = 10000$ ot/min	MODELOVANÝ POVRCH
	
Zvolené parametry drsnosti: $Sa=1,85\mu\text{m}$, $Sq=2,38\mu\text{m}$, $Sp=7,51\mu\text{m}$, $Sv=14,4\mu\text{m}$, $St=21,9\mu\text{m}$, $Ssk=-0,409$, $Sku=3,84$, $Sz=19,3\mu\text{m}$	Zvolené parametry drsnosti: $Sa=3,67\mu\text{m}$, $Sq=5,28\mu\text{m}$, $Sp=11,5\mu\text{m}$, $Sv=17,1\mu\text{m}$, $St=28,6\mu\text{m}$, $Ssk=-0,522$, $Sku=2,39$, $Sz=15,6\mu\text{m}$

REÁLNÝ POVRCH DUB $n = 13000 \text{ ot/min}$	MODELOVANÝ POVRCH
	
Zvolené parametry drsnosti: $Sa=0,86\mu\text{m}$, $Sq=1,11\mu\text{m}$, $Sp=4,88\mu\text{m}$, $Sv=6,62\mu\text{m}$, $St=11,5\mu\text{m}$, $Ssk=-0,297$, $Sku=4,01$, $Sz=9,82\mu\text{m}$	Zvolené parametry drsnosti: $Sa=0,96\mu\text{m}$, $Sq=2,05\mu\text{m}$, $Sp=6,42\mu\text{m}$, $Sv=8,96\mu\text{m}$, $St=15,38\mu\text{m}$, $Ssk=-0,469$, $Sku=5,51$, $Sz=15,6\mu\text{m}$

Tabulka 2 Srovnání reálných povrchů smrkových vzorků a modelů

REÁLNÝ POVRCH SMRK $n = 13000 \text{ ot/min}$	MODELOVANÝ POVRCH
	
Zvolené parametry drsnosti: $Sa=2,43\mu\text{m}$, $Sq=3,27\mu\text{m}$, $Sp=26,5\mu\text{m}$, $Sv=18,6\mu\text{m}$, $St=45,1\mu\text{m}$, $Ssk=-0,67$, $Sku=5,52$, $Sz=35,6\mu\text{m}$	Zvolené parametry drsnosti: $Sa=4,36\mu\text{m}$, $Sq=5,38\mu\text{m}$, $Sp=36,9\mu\text{m}$, $Sv=20,9\mu\text{m}$, $St=57,8\mu\text{m}$, $Ssk=-0,493$, $Sku=3,69$, $Sz=27,1\mu\text{m}$
REÁLNÝ POVRCH SMRK $n = 19000 \text{ ot/min}$	MODELOVANÝ POVRCH
	
Zvolené parametry drsnosti: $Sa=2,37\mu\text{m}$, $Sq=2,95\mu\text{m}$, $Sp=15,6\mu\text{m}$, $Sv=10\mu\text{m}$, $St=25,6\mu\text{m}$, $Ssk=0,171$, $Sku=2,84$, $Sz=19,3\mu\text{m}$	Zvolené parametry drsnosti: $Sa=3,86\mu\text{m}$, $Sq=4,14\mu\text{m}$, $Sp=20,9\mu\text{m}$, $Sv=14,6\mu\text{m}$, $St=35,5\mu\text{m}$, $Ssk=0,226$, $Sku=1,94$, $Sz=26\mu\text{m}$

5. ZÁVĚR

S použitím popsaného počítačového programu je možné namodelovat libovolné, velmi komplikované povrchy, mezi jinými povrchy o topografii blížíci se k těm, které je možné dosáhnout ve skutečnosti. Je možné modelovat také širokou škálu různých narušení nebo odchylek vyskytujících se na skutečných površích. Výhodou popsaného matematického modelování drsnosti je úplné zbavení se odchylek vznikajících při opakování měření drsnosti, které vznikají během výzkumu reálných povrchů, a také možnost odstranění efektu mechanické filtrace měřicího hrotu profilografometru. Tyto chyby mohou zásadním způsobem narušit analýzu zkoumaných povrchů.

LITERATURA

- [1] Alauddin M., El Baradie M.A., Hashmi M.S.J.: *Computer-aided analysis of a surface-roughness model for end milling*. Journal of Materials Processing Technology 55/1995, str. 123-127.
- [2] Baek D.K., Tae J.K., Hee S.K.: *Optimization of feedrate in a face milling operation using a surface roughness model*. International Journal of Machine Tools & Manufacture 41/2001, str. 451-462.
- [3] Biszczad R., Cichosz P., Kowalski M., Kuzinowski M.: *Matematyczne modelowanie topografii powierzchni*. Wpływ technologii na stan warstwy wierzchniej - WW '02. Gorzów Wlkp.-Poznań, 13 listopada 2002, str. 395-402.
- [4] Cichosz P., Kowalski M., Kuzinovski M.: *Modelowanie matematyczne powierzchni szlifowanych obwodowo i czołowo*. W: Koziarski A. Gołabczak A. (redakcja): Obróbka ścierna. Tendencje rozwoju. Wydawn. Politechniki Łódzkiej. Łódź 2003, str. 405÷410.
- [5] Franco P., Estrems M., Faura F.: *Influence of radial and axial run outs on surface roughness in face milling with round insert cutting tools*. International Journal of Machine Tools & Manufacturing, 44/2004, str. 1555-1565.
- [6] Kolaritis F.M., DeVries W.: *A model of geometry of the surface generated in end milling with variable process inputs*. Mechanics of deburring and surface finishing processes. ASME PED-38, 1989, str. 63-78.
- [7] Miko E.: *Modelowanie konstituowania chropowatości powierzchni frezowanej walcowo*. Postępy Technologii Maszyn i Urządzeń, 19/3/1995, str. 51-67.
- [8] Miko E.: *Modelowanie konstituowania mikronierówności powierzchni frezowanych czołowo ostrzami o ściętym narożu*. Zebranie Sekcji Podstaw Technologii Maszyn PAN, Prace Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 1997, str. 57-68.
- [9] Paris H., Peigne G., Mayer R.: *Surface shape prediction in high speed milling*. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 44/2004, str. 1567-1576.