



## HODNOTENIE NEROVNOSTI POVRCHU POMOCOU LASEROVEJ PROFILOMETRIE

Ján Šustek – Adrián Banski

### Abstract

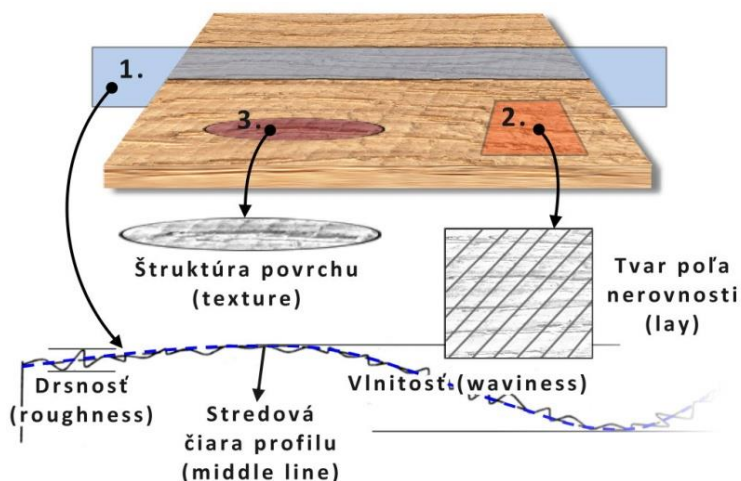
*For the current period in the industrial production is characterized by a marked increase in not only the requirements for accuracy, but the reproducibility of production and manufacturing processes. Today in practice, starting along the contact measuring devices to promote the light-optical devices that provide several advantages over the contact sensor. This article describes the light-optical laser profilometer LPM. In this article the characterization of measurement principle and parameters of laser profilometers LPM and describe the basic features of software LPMview.*

**Key words:** roughness, unevenness, waviness, laser profilometer, LPM

### ÚVOD

Pre súčasné obdobie v priemyselnej výrobe je charakteristické zreteľné zvýšenie požiadaviek nielen na presnosť, ale aj reprodukovateľnosť výroby a výrobných postupov. Okrem zvýšenej presnosti výroby sa zvyšuje požiadavka aj na jednoznačnú interpretáciu výrobných dokumentácie a presné dodržiavanie štandardizovaných postupov kontroly. ISO reaguje na tieto požiadavky zostavením plánu, ktorý pre oblasť GPS (Geometrical Product Specifications – Geometrické špecifikácie výrobkov) vytvára štruktúru potrebných noriem a tým špecifikuje odpovedajúce normalizované aktivity.

Samotný povrch obrobkov vyrobených z dreva a drevných materiálov zo sebou nesie stopy spôsobené nielen spôsobom opracovania (pílenie, frézovanie, brúsenie), ale aj stopy vyplývajúce z vlastnej stavby, štruktúry materiálu a vlastností materiálu reagujúcimi na zmenu vonkajších podmienok obr. 1. Posudzovanie kvality povrchu potom môžeme rozdeliť podľa najdôležitejších vlastností a častých chýb na chyby geometrické, optické, štruktúrne a chemicko-fyzikálne (1).



Obr. 1 Hodnotenie povrchu

1. Redukovaná rovina – hodnotenie primárneho profilu, profilu drsnosti a profilu nerovnosti,
2. Charakter povrchu – tvar a smer poľa nerovností, štruktúra a chyby povrchu.

Norma STN EN ISO 4287 - Charakter povrchu – profilová metóda: stanovuje termíny, definície a parametre charakteru povrchu. Norma vychádza pri hodnotení charakteru povrchu z profilovej metódy, t.j. hodnotí povrch z profilu povrchu, t.j. čiary, ktorá vznikne rezom skutočného povrchu definovanou plochou. V praxi sa zvykne vyberať rovina, ktorej normála je rovnobežná so skutočným povrchom a má vhodný smer. Vhodný smer je ten v ktorom zistíme väčšie hodnoty parametrov charakteru povrchu (pričný profil) (4).

Na normu STN EN ISO 4287 nadväzuje norma STN EN ISO 4288 (3), ktorá definuje pravidlá a postupy pri posudzovaní charakteru povrchu profilovou metódou.

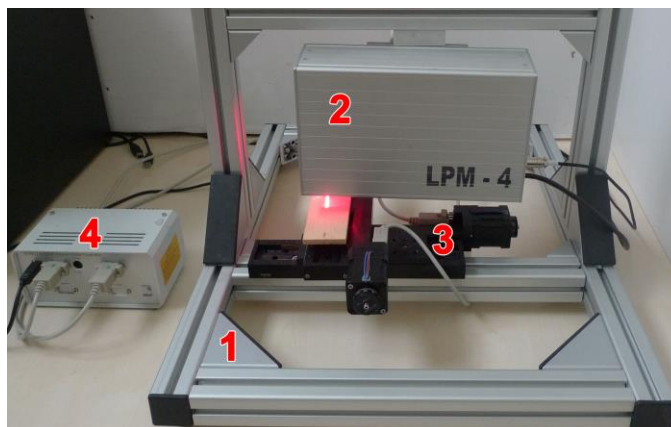
Na kontrolu a meranie nerovnosti povrchu sa najčastejšie používajú kontaktné meracie prístroje, ale v poslednej dobe sa začínajú presadzovať čoraz viac bezkontaktné meracie prístroje založené na optickom princípe merania. Jedným z nových meracích prístrojov využívajúci optickú metódu merania nerovnosti pomocou profilovej metódy je aj konštrukcia laserových profilometrov LPM. Profilometre LPM, ich hardwarová a softwarová časť vychádza zo špecifikácií merania nerovnosti povrchov profilovou metódou definovanou v norme STN EN ISO 4287.

Cieľom príspevku je poukázať na vlastnosti nových meracích prístrojov LPM určených k hodnoteniu povrchu podľa špecifikácii noriem GPS v oblasti opracovania dreva a drevných materiálov. Laserový profilometer LPM doplnený o funkciu presného posuvu môže priniesť do merania nerovnosti povrchu materiálov nielen rýchlosť a presnosť ale aj komplexnosť merania rozpracovanú v profilovej metóde normy STN ISO 4287.

## LASEROVÝ PROFILOMETER LPM – KONŠTRUKCIA A PRINCÍP MERANIA

Konštrukcia profilometra LPM s horizontálnym posuvom LPM 4 (Obr. 2) pozostáva z nosnej hliníkovej konštrukcie na ktorej sú umiestnené výkonné prvky zariadenia. Nosná konštrukcia umožňuje vertikálne polohovanie profilometrickej hlavy, ktoré potrebné pre

rozdielne výšky snímaných telies presné zaostrenie kamery. Hlavnou časťou zariadenia je profilometrická hlava, ktorá pozostáva z firewire kamery Marlin F131B a laserovej diódy so zdrojom svetla o vlnovej dĺžke 635nm a výkone 3mW. Doplňujúcou časťou je zostava dvoch mikrometrických posuvných stolíkov Standa 8SMC1. Zostava posuvov umožňuje pracovný pohyb v rovine XZ v rozsahu 100mm s presnosťou kroku na 1  $\mu$ .



Obr. 2 Zostava laserového profilometra LPM-4:

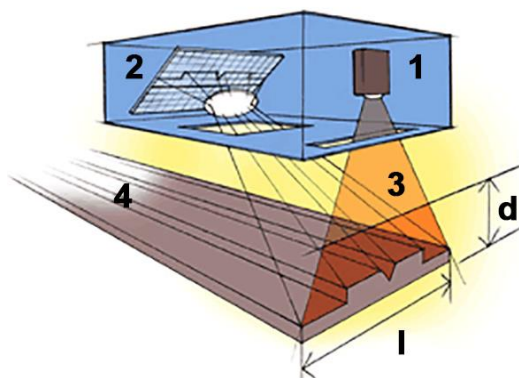
- 1 – Nosná koštruktúra umožňujúca manuálne prednastavenie pracovnej vzdialenosti a upevnenie profilometrickej hlavy a sústavy posuvných stolíkov, 2 – Profilometrická hlava, 3 – Sústava posuvov pre osi XZ, 4 – Riadiaca jednotka sústavy posuvov pracovných stolíkov.

Použitá je kamera nemeckého výrobcu Allied Vision Technologies, ktorý sa už dlhoročne radí medzi lídrov v tejto oblasti. Kamera Marlin F131B disponuje 2/3" CMOS čipom Cypress IBIS5. V maximálnom rozlíšení 1280x1024 dosahuje snímkovú frekvenciu 25fps. Kamera disponuje 10 Bit A/D prevodníkom a skleneným filtrom a s počítačom komunikuje cez rozhranie Firewire. Samotná laserová dióda je osadená optikou, ktorá prekresľuje laserovú čiaru. Laserová čiara je zaostrená na vzdialenosť v ktorej je kalibrovaná pracovná vzdialenosť kamery.

Tab. 1 Parametre jednotiek LPM:

LP M	Vlnová dĺžka lasera	Výkon lasera	Pracovná vzdialenosť'	Pracovný rozsah	Základná dĺžka	Vyhodnocovaná dĺžka
60	650 nm	10 mW	100 mm	200 $\mu$ m – 30 mm	60 mm	120 mm
4	660 nm	40 mW	20 mm	10 $\mu$ m-1000 $\mu$ m	4 mm	90 mm

LPM využíva triangulačný princíp laserovej profilometrie. Obraz laserovej čiary je snímaný pod uhlom digitálnou kamerou. Zo zosnímaného obrazu je následne vyhodnotený profil objektu v priereze. Prierez a teda tvar profilu povrchu je určený laserovou čiarou obr. 3.



Obr. 3 Princíp laserového profilometra LPM:

1 – Zdroj laserového svetla, 2 – CCD kamera, 3 – rozprestreté laserové svetlo na povrchu, 4 – meraný povrch, d – pracovný rozsah profilometra, l – základná dĺžka merania,

Princíp merania LPM pozostáva z troch krokov:

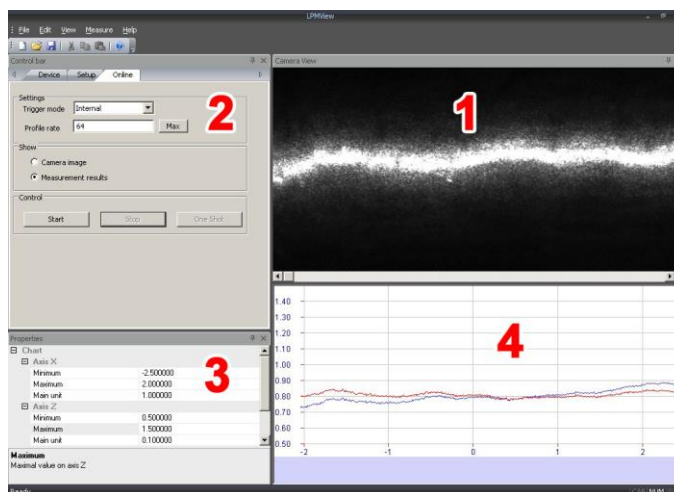
- a) **RAW snímanie obrazu** – meraný objekt umiestnime, medzi kameru a zdroj osvetlenia. Z hľadiska merania predstavuje najlepšie riešenie použitie čiernobielej digitálnej kamery. Kamera premietne prostredníctvom objektívu obraz osvetleného objektu na svetlocitlivý čip, ktorý je umiestnený v kamere. Svetlocitlivý čip obsahuje určité množstvo svetlocitlivých jednotiek (pixelov). Každý pixel sníma intenzitu osvetlenia separátne, pričom intenzita osvetlenia nesie informáciu o svetelnej priepustnosti meraného objektu ale i pozadia.  
Intenzita svetla v danom pixely sa následne elektronicky spracuje, podľa typu kamery do 8-bitového tvaru, čo predstavuje 256 úrovní intenzity osvetlenia. Výsledkom je obraz pozostávajúci zo sústavy pixelov, ktorých farba sa pohybuje v rozmedzí 0-256 úrovní šedej farby, podľa intenzity svetla v danom pixely.
- b) **binarizácia obrazu** – v ďalšom postupe sa zosnímaný obraz softwarovo spracuje. Zvolí sa prahová úroveň intenzity osvetlenia a tak všetkým pixelom, ktoré majú úroveň intenzity menšiu sa priradí čierna farba a ostatným pixelom biela farba. V princípe ide o oddelenie meraného objektu od pozadia, čo umožní dosiahnuť maximálne rozlíšenie meraného objektu a pozadia.
- c) **kalibrácia merania** – výsledkom binarizácie obrazu je sústava bielych a čiernych pixelov predstavujúcich obraz meraného objektu a pozadia. Vieme teda posúdiť aké množstvo pixelov predstavujú jednotlivé geometrické parametre meraného objektu. Ak vložíme medzi kameru a svetelný zdroj meraný objekt, ktorého geometrické parametre poznáme, tak vieme priradiť jednotlivým parametrom počet pixelov. Takýmto spôsobom definujeme rozmery pixelu v meraných jednotkách a môžeme merať geometrické parametre objektov s neznámymi parametrami. Je však nutné, aby merané objekty boli umiestnené v rovnakej vzdialenosti od kamery (aby bolo dodržaná rovina merania).

## SOFTWARE LPMVIEW A POSTUP MERANIA PRI HODNOTENÍ NEROVNOSTI POVRCHU POMOCOU LPM S HORIZONTÁLNYM POSUVOM

Na komunikáciu a vyhodnotenie nameraných údajov z profilometrov LPM slúži program LPMView. Software LPMView (obr.4) od spol. Kvant s r.o. vo svojej najnovšej verzii (1.2) umožňuje viacero nových funkcií:

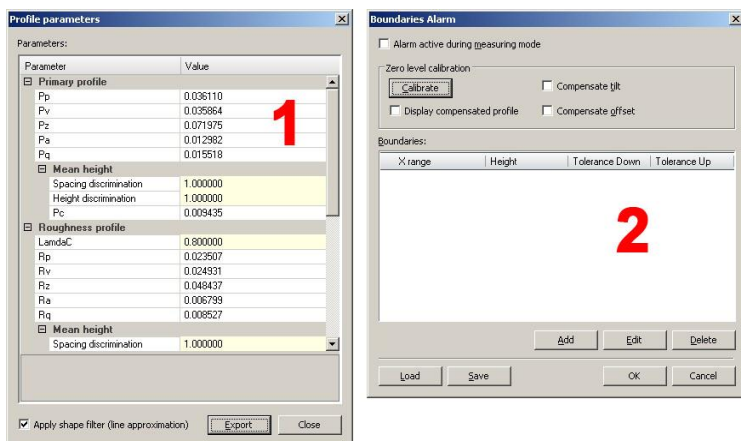
- Zobrazit' aktuálny profil objektu, ktorý je v pracovnom rozsahu konkrétneho LPM zariadenia.
- Uložit' nasnímaný profil do formátu CSV a XLS.
- Zmenit' nastavenia parametrov LPM zariadenia.
- Zobrazit' obraz, ktorý vidí kamera umiestnená v LPM zariadení.
- Uložit' obraz z kamery ako bitmapový obrázok.
- vyhodnotit' namerané údaje profilovou metódou v plugine Drsnosť a vlnitosť.
- Ovládať posuv mikrometricého stolíka v osy X,
- Pomocou pluginu (podprogramu) Okrajové podmienky dokáže upozorňovať na prekročené hodnoty nerovnosti povrchu.

Základné rozloženie okien počas merania povrchu v programe LPMView je na Obr.4. Program LPMView 1.2 ďalej obsahuje niekoľko funkčných zásuvných modulov (plugin), ktoré rozširujú jeho funkcionality o možnosť vyhodnotenia nameraných údajov pomocou profilovej metódy hodnotenia nerovnosti povrchu. Pomocou pluginu s definovanými okrajovými podmienkami je možné nastaviť upozornenia a vylúčenia snímaných hodnôt, ktoré prekračujú stanovené podmienky. Pomocou týchto podprogramov je možné proces sledovania nerovnosti povrchu do určitej miery z automatizovať a vyhnúť sa chybám počas merania.



Obr. 4 Software LPMView 1.2:

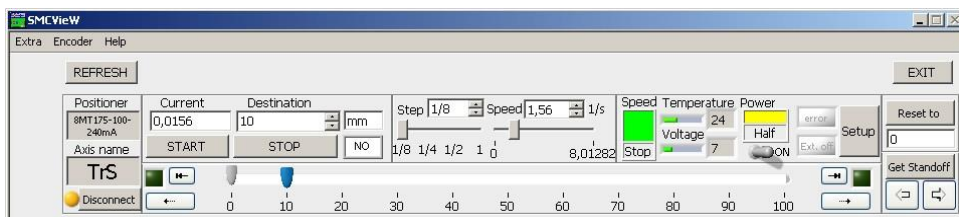
1 – Okno reálneho obrazu zosnímaného kamerou, 2 – Okno nastavení profilometra a spúšťanie vyhodnotenia údajov, 3 – Okno nastavenia grafu zobrazených údajov, 4 – Zosnímané údaje prepočítané do XY grafu hodnôt, modrá krivka reprezentuje reálny prepočet, červená je krivka s použitím filtra sklonu povrchu.



Obr. 5 Okná podprogramov:

1 – Okno pluginu "Drsnosť a vlnitosť", 2 – Okno pluginu "Okrajové podmienky"

Najdôležitejším podprogramom je plugin "Drsnosť a vlnitosť" Obr. 5.1, ktorý poskytuje výpočet profilových charakteristík povrchu a umožňuje nastavovať niekoľko dôležitých profilových parametrov akými sú vlnové dĺžky filtra  $\lambda_c$ , rozstupové rozlíšenie a výškové rozlíšenie. Plugin umožňuje aplikovať aj tvarový filter, ktorý je vhodný pri nepresne vymanipulovaných skúšobných vzorkách. Program LPMView ovláda zároveň posuv pracovného stolíka v smere osy X a podľa zvoleného rozsahu (vzdialenosti) zosnímané údaje zostavy a vyhodnotí ako novú vyhodnocovanú dĺžku. Samostatným programom SMCView je možné separátne ovládať posuv v smere osy Z v rozsahu 0 až 100mm.



Obr. 5 Program SMCView pre ovládanie posuvu

Pracovný postup merania na profilometroch LPM v programe LPMView je jednoduchý a pozostáva z niekoľkých samostatných krokov. Podľa normy STN ISO 4288 (3), ktorá definuje postup pri posudzovaní povrchu profilovou metódou sa najprv vykoná odhad sledovaného parametra na jednej základnej dĺžke. Následne sa podľa tabuliek uvedených v norme STN ISO 4288 určí veľkosť vyhodnocovanej dĺžky, ktorá sa nastaví v programe LPMView. Dôležitým parametrom pri vyhodnotení sú vlnové dĺžky jednotlivých profilových charakteristík. Tieto parametre vyhodnotenia je možné meniť aj po vykonaní merania na celej vyhodnocovanej dĺžke a meranie tak nie je potrebné opakovať pri zmene tohto parametra. Pri hodnotení nerovnosti povrchu z dreva a drevných materiálov je vhodné venovať pozornosť aj nastaveniu okrajových podmienok merania, ktoré zabezpečia odfiltrovanie nežiaducich chýb v meraní. Program umožňuje uloženie dát XY grafu pre ďalšie spracovanie, alebo export tabuľky profilových charakteristík snímaného povrchu.

## ZÁVER

Laserové profilometre predstavujú optickú bezkontaktnú metódu merania a vyhodnocovania profilových parametrov nerovnosti povrchu. Optická metóda taktiež umožňuje zmerať geometrické parametre objektov, ktoré je problematické alebo až nemožné zmerať štandardnými meracími metódami. Metóda predstavuje oveľa rýchlejšie, presnejšie a najmä spoľahlivejšie riešenie v porovnaní s manuálnymi meracími systémami. Pomocou softwaru LPMView je možné vykonať komplexné hodnotenie obrobeného povrchu podľa špecifikácii normy STN ISO 4287 (2). Zostava laserových profilometrov LPM spolu so softwarom LPMView predstavuje otvorený a modifikovateľný systém, ktorý je vhodný na hodnotenie nerovnosti povrchu, ako aj hodnotenie geometrickej presnosti obrobkov vyrobených z dreva a drevných materiálov.

### Pod'akovanie

Článok vznikol v rámci grantovej úlohy s názvom „Delenie a obrábania dreva“. S číslom 018TU Z-4/2013, KEGA SR.

## LITERATÚRA

- [1] WHITEHOUSE, D.: Handbook of Surface Metrology. Bristol and Philadelphia: Inst. of Physics Pub, 1994.
- [2] STN EN ISO 4287- 1999: Charakter povrchu – profilová metóda
- [3] STN EN ISO 4288- 2000: Profilová metóda - pravidlá a postupy pri posudzovaní charakteru povrchu
- [4] ORLOWSKI, K.: Study into selected tool and raw material factors affecting quality of narrow-kerf sawing processes. In: Wood machining and procesing - product quality and waste characteristics, Warsaw 2009, ISBN 978-83-7583-107-8, p. 60.