
Návrh programu pre automatické vyhodnotenie obrazu vtláčku zosnímaného CCD kamerou

Katarína Pijáková, Ing.*

Katedra aplikovanej mechaniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: katarina.pijakova@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2965

Ondrej Štalmach, Ing., PhD.

Katedra aplikovanej mechaniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: ondrej.stalmach@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2965

Milan Sága, prof. Dr. Ing.

Katedra aplikovanej mechaniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: milan.saga@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2961

Milan Vaško, doc. Ing., PhD.

Katedra aplikovanej mechaniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: milan.saga@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2950 (2981)

Design of a program for automatic evaluation of the indentation image captured by a CCD camera.

Abstract: The aim is to create a program for the automatic evaluation of hardness from a series of images taken by a CCD camera. We will present the different functions of the proposed program. In the first step, we created an algorithm that selects the image with the most suitable sharpness from a series of images of different sharpness. In the second step, we created an algorithm that evaluated the imprint area on the selected image, from which it computed the resulting hardness. We then incorporate the algorithms into a single resulting program. We compare the measurements of the program with measurements at the *University of Žilina* and on a manual V 10/HT instrument.

Keywords: Indentation, hardness tests, image processing, CCD cameras.

ÚVOD

Skúška tvrdosti je mechanická skúška vlastností materiálu pre inžiniersky návrh, štrukturálnu analýzu a vývoj materiálu. Primárnym účelom testovania tvrdosti je určiť vhodnosť materiálu pre aplikáciu alebo špecifickú úpravu, ktorou materiál prešiel. Jednoduchosť testovania tvrdosti z neho robí najbežnejšiu metódu na skúmanie kovov a zliatin [1]. V dnešnej dobe automatizácie a robotizácie sa avšak tieto skúšky stále vykonávajú manuálne. Vyhodnocovanie výsledkov ovplyvňujú rôzne faktory. Najdôležitejší faktor je zaškolenie

zamestnancov, ktoré je časovo náročné a výsledky nie sú stopercentné. Z toho dôvodu sa zameriavame na vývoj algoritmov na automatický výpočet povrchu vtláčkov, ktoré nahrádzajú alebo podporujú manuálne vyhodnocovanie výsledkov.

Na automatický výpočet povrchu vtláčku existuje veľa metód, ktoré môžu byť pre daný problém použité. Predstavíme si ďalšie možnosti na automatické spracovanie meraní vtláčkov.

Prvé štúdie sú zamerané na detekciu povrchu vtláčku pomocou hľadania hraníc vtláčku. V štúdiu [2] použili metódu *Adaptive Ballon Active Contour*. Vyznačuje

sa tým, že nie sú potrebné kroky spracovania a následného spracovania, pretože matematická formulácia je odolná voči šumu. Hlavným prínosom je nová vnútorná energia krivky začlenená do tradičnej metódy obrysu. Umožňuje aby obrysová krivka vyhovovala vtlačeniu tvrdosti, aj keď vzorka obsahuje chyby. V práci [3] navrhli metódu hrubej a jemnej lokalizácie na presné umiestnenie rohu vtláčku. Na určenie polohy a veľkosti vtláčku používali proces hrubej lokalizácie. Počas jemnej lokalizácie sa lineárne rovnice okrajov vtláčku vypočítajú metódou prekladania čiar.

Následne aplikovali konvolučné neurónové siete na výpočet povrchu vtláčku. Konvolučnú neurónovú sieť používali [4] na analýzu obrazu, klasifikáciu objektov a detekciu oblastí objektov. Vyškolili ju na 1920 snímkach vtláčkov a naučili ju detegovať rohy vtláčkov. Využívajú konvolučnú neurónovú sieť na presnejšie meranie diagonálnej dĺžky vtláčku. V práci [5] vytvorili metódu konvolučných neurónových sietí na detekciu ohraničujúceho obdĺžnika vtláčku Vickersovej tvrdosti. Metóda automaticky extrahuje prvky, ktoré sú potrebné na rozpoznanie oblasti vtláčku. Používali dva typy CNN na presné meranie podľa Vickersa, aby zabezpečili presnejší výpočet povrchu vtláčku. Pre presnejšie meranie vtláčku, použili metódu CNN, na segmentovanie Vickersovho vtláčku od pozadia na obrázkoch. Na detegovanie používali obdĺžnik, ktorý ohraničuje vtláčok. Následne obdĺžnik použili na výpočet uhlopriečok vtláčku. Vďaka schopnosti strojového učenia CNN, môže navrhovaná metóda, ak je primerane vyškolená, presne segmentovať Vickersove vtláčky z obrázkov. [6]

V poslednej štúdii sa zamerali na hľadanie povrchu vtláčku s využitím 3D plôch. V štúdii [7] vytvorili novú metódu zloženú na 3D povrchovej topografii vtláčku pre robustnejšie meranie Vickersovej tvrdosti. 3D vyhodnocovacia metóda s informáciami v smere osi Z ponúka vysokú presnosť merania tvrdosti na povrchoch s rôznou kvalitou povrchu.

Hlavným cieľom bude vytvorenie programu na automatické vyhodnotenie Vickersovej tvrdosti zo série snímkov zosnímaných CCD kamerou a výpočet povrchu vtláčku.

Najskôr si popíšeme postup tvorby programu. V prvej časti programu si vysvetlíme, ako budeme spracovávať jednotlivé snímky z CCD kamery, aby sme dokázali zo série snímkov vybrať najostrejšiu snímku vtláčku. V druhej časti programu si vysvetlíme a popíšeme postup úpravy najostrejšej snímky vtláčku, aby sme mohli detegovať vtláčok a urobiť výpočet povrchu vtláčku. V ďalšej časti sa zameriame na porovnanie meraní a verifikáciu výsledkov z programu. Funkčnosť programu pre vyber najostrejšej snímky budeme overovať na dvoch meraniach na prístroji V 10/HT. Vytvorili sme súbor

devätnástich snímkov jedného merania pomocou CCD kamery, snímky majú rôznu kvalitu ostroti obrazu. Verifikáciu výsledkov povrchov vtláčkov budeme overovať na dvoch meraniach vytvorených na Žilinskej univerzite. Merania používame na verifikáciu výsledkov, pretože na Žilinskej univerzite prebiehalo meranie na prístroji ST-2000 Zwick Roell, ktorý ma v sebe zabudovaný program na automatické vyhodnocovanie vtláčkov. Na Žilinskej univerzite sme vytvorili na dvoch vzorkách štyri skúšky tvrdosti. Z meraní sme si vyexportovali snímky na výpočet merania povrchu vtláčku.

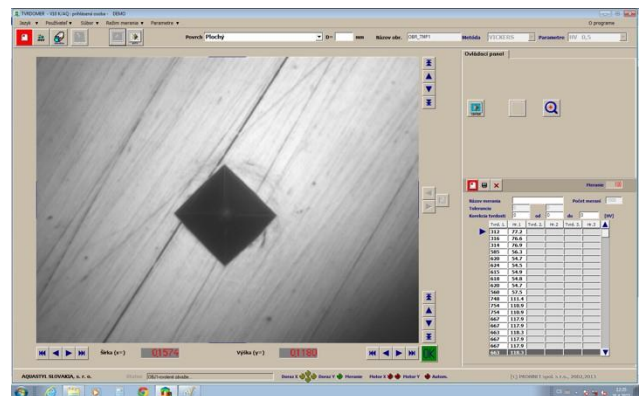
1 OPIS PROGRAMU

V programe *Matlab* sme vytvorili program na automatické vyhodnocovanie povrchu vtláčku. Pri tvorbe programu sme používali základné funkcie *Matlabu* a *Image Processing Toolbox*. Program sme si rozdelili na tri časti:

- úpravu jednotlivých snímkov a výber najostrejšej snímky vtláčku,
- úprava najostrejšej snímky na detegovanie povrchu vtláčku,
- výpočet povrchu vtláčku.

V prvom kroku musíme upraviť snímky, aby sme ich mohli použiť na ďalšie spracovanie. Ako môžeme vidieť na obr. 1, musíme riešiť viacero problémov:

- snímky sú vo farebnom prevedení - potrebná konverzia snímkov do monochromatickej farebnej škály,
- snímka vtláčku je vytvorená ako snímka obrazovky - je potrebné urobiť výrez oblasti, na ktorej sa nachádza vtláčok,
- snímky majú rôznu ostrosť - je potrebné vybrať najostrejšiu snímku.



Obr. 1. Originálna snímka

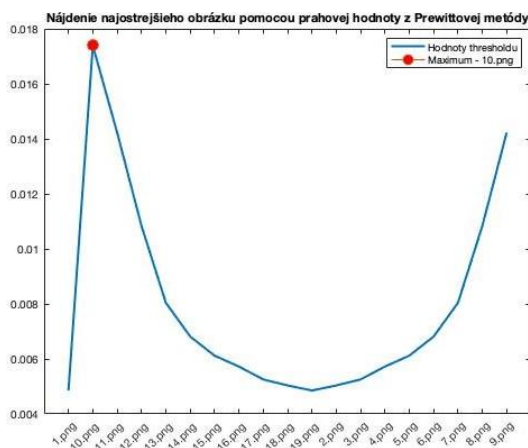
Pomocou cyklu „for“ načítavame postupne snímky zo série snímkov rôznej ostroti, ktoré boli vyhotovené pre konkrétny vtláčok. Najskôr snímky orežeme, aby sme sa zamerali iba na oblasť v okolí vtláčku. Pre ďalšie spracovanie je potrebné snímky prekonvertovať pomocou príkazu „rgb2gray“ do

monochromatickej farebnej škály odtieňov sivej. Nafotené snímky obsahujú okrem samostatného vtlaku aj rôzne chyby a šum. Na odstránenie menších chýb a šumu sme použili medián filter. Tento typ filtrovania sme zvolili, pretože pri odstraňovaní šumu a rôznych chýb zachováva ostrosť hrán.

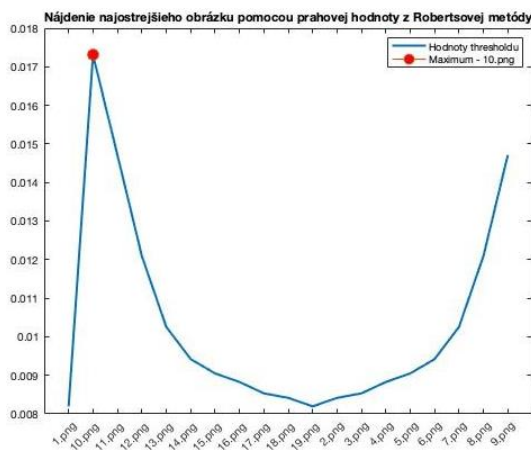
Pre nájdenie najostrejšej snímky budeme porovnávať prahové hodnoty snímok. Prahová hodnota je jedna z výstupných dát, ktoré používame pri metóde detekcie hrán. Pre nájdenie prahových hodnôt používame tri rôzne metódy detekcie hrán:

- *Robertsovu metódu,*
- *Prewittovu metódu,*
- *Sobelovu metódu.*

Upravené snímky sme na konci cyklu „for“ vkladali do jednej premennej, na ktorú sme následne aplikovali funkciu „edge“. Z funkcie „edge“ sme používali iba vypočítanú prahovú hodnotu tzv. *threshOut*. Hodnoty sme postupne ukladali do troch rôznych vektorov, pričom každý vektor patril jednej metóde na detekciu hrán. Pomocou funkcie „max“ sme našli vo vektore najväčšiu hodnotu. Pre rýchlejšie vyhodnotenie jednotlivých metód sme si vytvorili grafy.

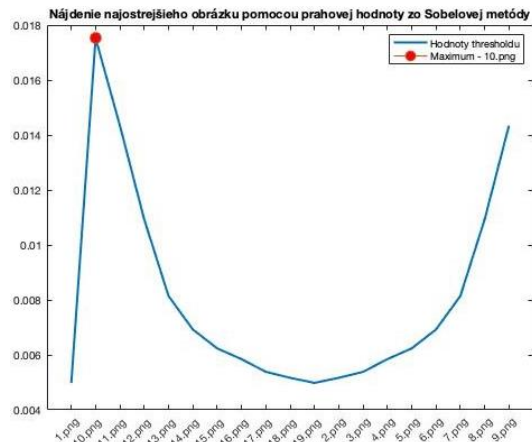


Obr. 2. Graf prahových hodnôt s použitím Prewittovej metódy



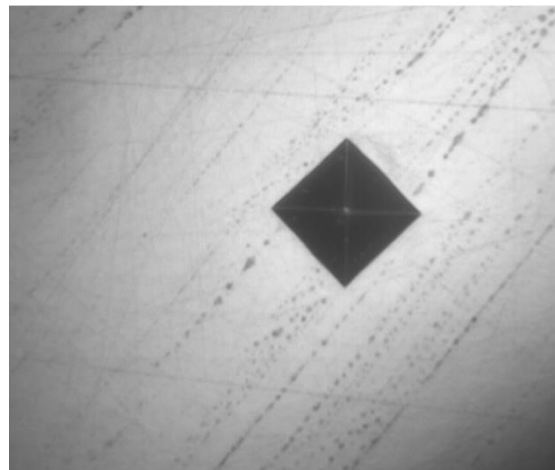
Obr. 3. Graf prahových hodnôt s použitím Robertsovej metódy

Na x-ovej osi sú zobrazené názvy snímok a na y-osi sú zobrazené prahové hodnoty snímok. Modrou krivkou sú znázornené prahové hodnoty snímok. Červeným bodom znázorňujeme najvyššiu prahovú hodnotu pre konkrétnu snímku.



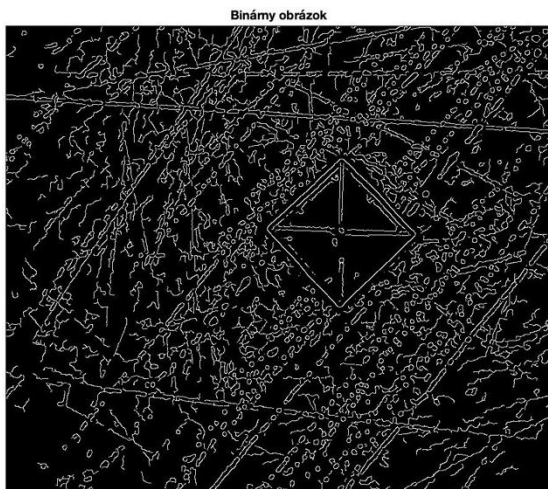
Obr. 4. Graf prahových hodnôt s použitím Sobelovej metódy

Tri metódy sme použili, aby sme porovnali tieto metódy navzájom a zistili, aké výsledky dostaneme pri ich použití. Nakoľko sa výsledky zhodujú, môžeme vo výslednom programe použiť, ktorúkoľvek metódu. Pomocou funkcie „max“ vieme zistiť aj pozíciu, na ktorej sa maximálna hodnota vektora nachádza a preto za predpokladu, že najostrejšiu snímku považujeme tú s maximálnou hodnotou *threshOut* vieme určiť, ktorá zo série snímok je najostrejšia (obr. 5).



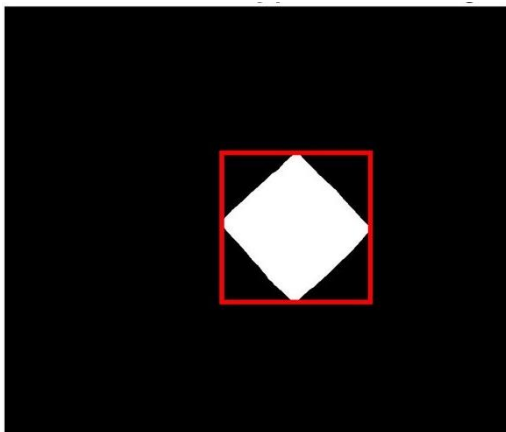
Obr. 5. Najostrejšia snímka

Pre vhodné pracovanie s obrazom pri detegovaní tvaru si musíme najskôr snímku prekonvertovať do binárnej snímky. Na transformáciu snímok sme zvolili funkciu detekcie hrán. Hlavným výstupom je binárny obrázok. Použili sme *Cannyho* metódu, pretože používa dve prahové hodnoty na detekciu silných a slabých hrán. Keďže táto metóda používa dve prahové hodnoty na detekciu hrán je menšia pravdepodobnosť, že bude ovplyvnená šumom (obr. 6).



Obr. 6. Binárna snímka

Ako môžeme vidieť na obr. 6, snímka obsahuje všetky hrany, ktoré sú na snímke. Pred ďalším postupom musíme snímku upraviť. Najskôr pomocou funkcie *imfill* vyplníme diery na snímke. Potom aplikujeme príkaz „*bwareopen*“. Tento príkaz odstráni zo snímky malé objekty, ktoré pre nás nie sú dôležité. Snímku máme takmer pripravenú na výpočet povrchu vtláčku. Pre nájdenie objektov sme použili funkciu *regionprops*. Táto funkcia obsahuje rôzne vlastnosti, ktoré môžeme použiť na hľadanie objektov na obrázkoch. V našom prípade sme zvolili vlastnosť *BoundingBox*. Pomocou vlastnosti sa nám okolo vtláčku vytvorilo orámovanie (obr. 7).



Obr. 7. Povrch vtláčku nájdený pomocou funkcie *BoundingBox*

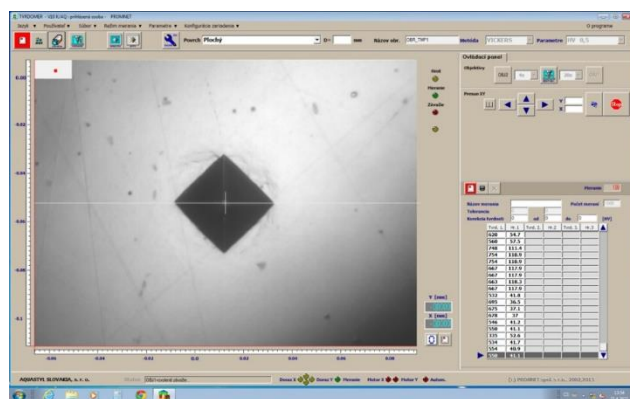
Rozmery orámovania sa zapisujú do vektoru, kde prvé čísla sú súradnice ľavého horného rohu, tretie číslo prislúcha horizontálnej šírke obdĺžnika a štvrté číslo je vertikálna výška obdĺžnika. pomôže vybrať a zobrazíť objekt, ktorý potrebujeme.

V poslednej časti programu riešime výpočet povrchu vtláčku. Pred výpočtom musíme najskôr priradiť hodnoty vo vektoroch popisujúcich rozmery orámovania (k premenným šírka a výška), ktoré popisujú uhlopriečky vtláčku. Rozmery uhlopriečok vtláčku musíme prepočítať z pixelov na milimetre, vďaka čomu je možné vypočítať povrch vtláčku. Na

prepočítanie pixelov na milimetre sme potrebovali zistiť presný rozmer pixelu, aby sme dostali čo najpresnejší výpočet povrchu vtláčku.

Nakoľko z merania na prístroji *V 10/HT* sme dostali snímky z obrazovky, na ktorých bola znázornená stupnica pre jednotlivé osi, mohli sme rozmer pixelu vypočítať ručne. Pomocou mierky, ktorá je okolo snímky (obr. 8) sme z *x*-ovej osi zistili, že na šírke 0,1 mm sa nachádza 646 pixelov a na *y*-osi sme zistili, že na výške 0,1 mm je 645 pixelov. Následne sme pomocou priamej úmery zistili, že jeden pixel má šírku 0,000155 mm a výšku 0,000155 mm.

Na univerzite sa povrchy vtláčkov počítajú pomocou automatického vyhodnocovacieho programu. Program si na základe vlastností kamery sám vypočíta rozmer jedného pixelu. V tomto prípade mal pixel rozmer 0,00023688664x0,00023688664 mm.



Obr. 8. Mierka snímky vtláčku

2 POROVNANIE MERANÍ S PRÍSTROJOM V 10/HT

V tejto časti sa budeme venovať porovnávaniam meraní medzi manuálnym prístrojom *V 10/HT* a nami navrhnutým programom. Robili sme merania na dvoch vzorkách s rozdielnou tvrdosťou. Z oboch meraní sme si vytvorili devätnásť snímok vtláčkov. Vtláčky boli odfotené rôznej ostrosti. Ostrosť snímky je ovplyvnená vzdialenosťou kamery od meranej vzorky. Pri výbere snímky vtláčku, sme si overovali funkčnosť programu. Súbor snímok bol spracovaný veľmi podobne a preto sme si vytvorili grafický pracovný postup.

Po spracovaní snímok nami navrhnutým programom. Povrch vtláčku pri prvom meraní vyšiel 571 mm². Povrch vtláčku pri meraní na tvrdomeri vyšiel 580 mm². Rozdiel medzi manuálnym meraním a výpočtom pomocou nami navrhnutého programu vyšiel 1,6%.

Povrch vtláčku pri druhom meraní vyšiel 673 mm². Povrch vtláčku na tvrdomeri *V 10/HT* vyšiel 682 mm². Rozdiel medzi meraním povrchu vtláčku na tvrdomeri a meraním pomocou programu je 1,3 %.

3 POROVNANIE MERANÍ SO ŽILINSKOU UNIVERZITOU

Na *Žilinskej univerzite* sme robili meranie pre dve vzorky s rozdielnou tvrdosťou. Počas merania sme na oboch vzorkách vytvorili viacero vtláčkov pre presnejší výpočet povrchu vtláčku a získanie vyššieho počtu dát.

Meranie využívame na verifikáciu vytvoreného programu, pretože prístroj na meranie mikrotvrdosti má tento program zabudovaný v tvrdomeri. V oboch meraniach sme vytvorili štyri snímky vtláčkov. Snímky sú zaostrené a nie je teda potrebné riešiť výber najostrejšej snímky vtláčku. Nebolo potrebné ručne zisťovať rozmer jedného pixelu, keďže program mal v sebe tento výpočet zabudovaný. Jeden pixel má rozmer $0,00023688864 \times 0,00023688864$ mm.

Pri spracovaní používame rovnaký princíp spracovania, ktorý sme si graficky znázornili.

Pri porovnávaní prvého merania medzi programom a *Žilinskou univerzitou* nám vyšli takéto výsledky. Prvý povrch vtláčku vyšiel 568 mm^2 . Povrch vtláčku na *Žilinskej univerzite* vyšiel 562 mm^2 . Rozdiel medzi meraniami je 1,1 %.

Druhý povrch vtláčku vyšiel 568 mm^2 . Povrch vtláčku na *Žilinskej univerzite* vyšiel 562 mm^2 . Percentuálny rozdiel medzi povrchmi vtláčku je 1,1 %.

Tretí povrch vtláčku vyšiel 582 mm^2 . Povrch vtláčku na *Žilinskej univerzite* vyšiel 572 mm^2 . Rozdiel medzi meraniami na univerzite a meraniami programu je 1,7 %.

Štvrtý povrch vtláčku vyšiel 565 mm^2 . Povrch vtláčku na *Žilinskej univerzite* vyšiel 562 mm^2 . Percentuálny rozdiel medzi výpočtami povrchov vtláčkov je 0,5 %.

V tomto meraní sa rozdiel medzi výpočtom povrchu vtláčkov pohybuje v rozmedzí od 0,5 % do 1,7 %.

Pri porovnaní druhého merania medzi programom a *Žilinskou univerzitou* nám vyšli takéto výsledky.

Povrch prvého vtláčku vyšiel 670 mm^2 . Povrch vtláčku vypočítaný na univerzite vyšiel 641 mm^2 . Percentuálny rozdiel medzi meraniami je 4,5 %. Takýto veľký rozdiel medzi meraniami mohol vzniknúť aj z dôvodu zlého merania na univerzite, pretože v ďalších troch meraniach sú hodnoty výsledkov povrchu vtláčku vyššie.

Povrch druhého vtláčku vyšiel 662 mm^2 . Povrch vtláčku vypočítaný na univerzite vyšiel 666 mm^2 . Rozdiel medzi výpočtom povrchu vtláčku na univerzite a programom je 0,6 %.

Povrch tretieho vtláčku vyšiel 666 mm^2 . Povrch vtláčku vypočítaný na univerzite vyšiel 658 mm^2 . Rozdiel medzi výpočtom povrchu vtláčku na univerzite a programom je 1,2 %.

Povrch štvrtého vtláčku vyšiel 670 mm^2 . Výpočet povrchu vtláčku na univerzite vyšiel 662 mm^2 .

Rozdiel medzi výpočtom povrchu vtláčky na univerzite a programom je 1,2 %.

V meraní sa percentuálny rozdiel medzi meraniami pohybuje od 0,6 % do 1,2 %.

ZÁVER

Hlavným cieľom bolo vytvorenie a verifikácia programu na automatické spracovanie snímky povrchu vtláčku vytvoreného CCD kamerou. Najskôr sme si predstavili a popísali jednotlivé funkcie programu.

Prvé porovnanie meraní bolo medzi prístrojom *V 10/HT* a nami vytvoreným programom. Porovnávali sme dve vzorky s rôznou tvrdosťou. Pri oboch meraniach sme vytvorili súbory devätnástich snímok. Snímky prechádzali od nezaostrenej snímky až po zaostrenú snímku a opäť k rozostrenej snímke. Boli merané postupne s rovnakým časovým krokom. Snímky boli vytvorené pomocou snímky obrazovky, pretože merací prístroj je určený na manuálne vyhodnocovanie výsledkov a toto bola jediná cesta, ako získať dáta na porovnanie. Snímky sme spracovali pomocou nami vytvoreného programu a overili sme si jeho funkčnosť pri výbere najostrejšej snímky vtláčku a výpočte povrchu vtláčku. Percentuálny rozdiel medzi meraniami na prístroji *V 10/HT* a programom boli od 1,3 % do 1,6 %.

Druhé porovnávanie výsledkov bolo so *Žilinskou univerzitou* a nami vytvoreného programu. Na *Žilinskej univerzite* sme robili meranie na dvoch vzorkách s rôznou tvrdosťou. Pri oboch vzorkách sme vytvorili štyri vtláčky a vyexportovali sme si snímky vtláčkov. Snímky boli zaostrené a nebolo preto potrebné v tejto časti riešiť výber najostrejšej snímky vtláčku. Bolo to umožnené, pretože merací prístroj na univerzite má v sebe zabudovaný program na automatické vyhodnocovanie povrchov vtláčkov. Preto sme dané meranie použili na verifikáciu vypočítaných povrchov vtláčkov s nami vytvoreného programu. Pri prvom meraní bol percentuálny rozdiel medzi *Žilinskou univerzitou* a programom od 0,5 % do 1,7 %. Pri druhom meraní bol percentuálny rozdiel medzi meraniami od 0,6 % do 1,2 %. V jednom meraní bol percentuálny rozdiel až 4,5 %. Tento rozdiel bol spôsobený nesprávnym vyhodnotením povrchu vtláčku na *Žilinskej univerzite*.

Na základe vyhodnotenia výsledkov, môžeme konštatovať, že cieľ na vytvorenie programu na automatické vyhodnotenie snímok povrchu vtláčkov vytvorených pomocou CCD kamery bol splnený, keďže rozdiel výsledkov bol menší ako 2 %.

PodĎakovanie

Tento článok vznikol za podpory KEGA projektu 054ŽU – 4/2021.

LITERATÚRA

[1] CHANDLER, H. (2004): *Hardness Testing, 2nd Edition*. ASM International®, ISBN 0-87170-640-7, SAN: 204-7586.

[2] FRANCISCO, D. L. - MOREIRA, MAURÍCIO N. - KLEINBERG, HEMERSON - F. ARRUDA et al. (2016): *A novel Vickers hardness measurement technique based on Adaptive Balloon Active Contour Method*.

Dostupné na:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417415006533#sec0007>

https://books.google.sk/books?id=rxg0qXoq4N0C&printsec=frontcover&dq=hardness+measurement&hl=sk&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=hardness%20measurement&f=false.

[3] ZEXIAN, L. - FENG, Y. (2021): *A Novel coarse-to-fine Localization Algorithm for Automated Vickers Hardness Measurement*. Dostupné na: https://www.researchgate.net/publication/355953671_A_Novel_coarse-to-fine_Localization_Algorithm_for_Automated_Vickers_Hardness_Measurement.

[4] TANAKA, Y. - SEINO, Y. - HATTORI, K. (2018): *Vickers hardness measurement by using convolutional neural network*. Dostupné na: https://www.researchgate.net/publication/328896872_Vickers_hardness_measurement_by_using_convolutional_neural_network.

[5] TANAKA, Y. - SEINO, Y. - HATTORI, K. (2020): *Automated Vickers hardness measurement using convolutional neural networks*. Dostupné na: https://www.researchgate.net/publication/342941188_Automated_Vickers_hardness_measurement_using_convolutional_neural_networks.

[6] ZEXIAN, L. - FENG, Y. (2021): *Automated measurement of Vickers hardness using image segmentation with neural networks*. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224121011106>.

[7] DAEMI, B. - TOMKOWSKI, R. - ARCHENTI, A. (2020): *High precision 3D evaluation method for Vickers hardness measurement*. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S007850620300305#sec0010>.