

# Naprava za avtomatizirano dimenzijsko in oblikovno kontrolo izdelanih puš

Benjamin JOVANOVIČ, Aleš HACE, Uroš ŽUPERL

**Izveček:** V serijski proizvodnji za avtomobilsko industrijo so visoki standardi glede kakovosti izdelkov, zato je potrebna 100-odstotna kontrola kosov, preden ti pridejo do kupca. Ker je ročno pregledovanje s pomočjo šablon zamudno, je bila izdelana merilna naprava za avtomatizirano kontrolo puše podvozja avtomobila. Zasnovana je bila tako, da se polovica meritev opravlja s pomočjo spletne kamere, ki izvaja vizualno kontrolo dimenzij, program in uporabniški vmesnik zanjo je bil izdelan v programskem okolju LabView. Drugo polovico meritev opravljajo merilna tipala, ki jih krmili programabilni logični krmilnik (PLK) S7 1212c. Program zanj je bil spisani v programskem okolju TIA Portal.

**Ključne besede:** vizualna kontrola dimenzij, merilna naprava, spletna kamera, puša

## ■ 1 Uvod



**Slika 1.** Puša, ki se dimenzijsko kontrolira

Benjamin Jovanovič, mag. inž. meh., izr. prof. dr. Aleš Hace, oba Univerza v Mariboru, FERI, in doc. dr. Uroš Župerl, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo

Projekt izdelave naprave za avtomatizirano kontrolo puš se je izvajal pod okriljem podjetja Šumer, d. o. o. Želja podjetja je bila izdelati napravo, ki bo omogočala vizualno kontrolo puše (glej sliko 1), katere kupec je avstrijsko podjetje Magna, d. d. Puša se vgrajuje v podvozje avtomobila Mini Morris. Z izdelavo naprave za avtomatsko kontrolo sta se povečali učinkovitost in hitrost procesa končne dimenzijske kontrole.

V članku sta opisani zasnova in izvedba prototipne naprave za avtomatizirano kontrolo puš. Najprej je definiran problem, opisan koncept rešitve in metoda za vizualno detekcijo robov. V nadaljevanju sta predstavljena zgradba prototipne merilne naprave in povzetek testnih merilnih rezultatov, na koncu pa so podane sklepane ugotovitve [1].

## ■ 2 Opis problema

Za preverjanje ustreznosti puše se je izdelal zahtevnik, v katerem so podane mere, ki jih je potrebno kontrolirati. Izbrane so bile tiste, ki se pri obdelavi dostikrat spremenijo in zaradi katerih je prišlo v pre-

teklosti do reklamacij. V tabeli 1 so prikazane kritične mere pri izdelavi puše. Orientacijska vrednost za kot konusa je  $11^{\circ} 25' 15''$ , tolerančno polje pa  $-8' 35''$ . Premer luknje  $\phi = 22,5$  mm je na višini  $2^{+0,4}$  mm od zgornjega roba kosa. Celotna višina puše mora znašati 55 mm. Najmanjši notranji  $-\phi$  izvrtine je  $15^{+0,2}$  mm. Potrebno je preveriti rob posnetja na notranji izvrtini in koncentričnost izvrtin na vsaki strani, saj se kos izdeluje tako, da se najprej naredi izvrtina na eni strani kosa, nato pa še na drugi. Zahtevnik določa, da cikel meritve ne sme biti daljši od 7 sekund.

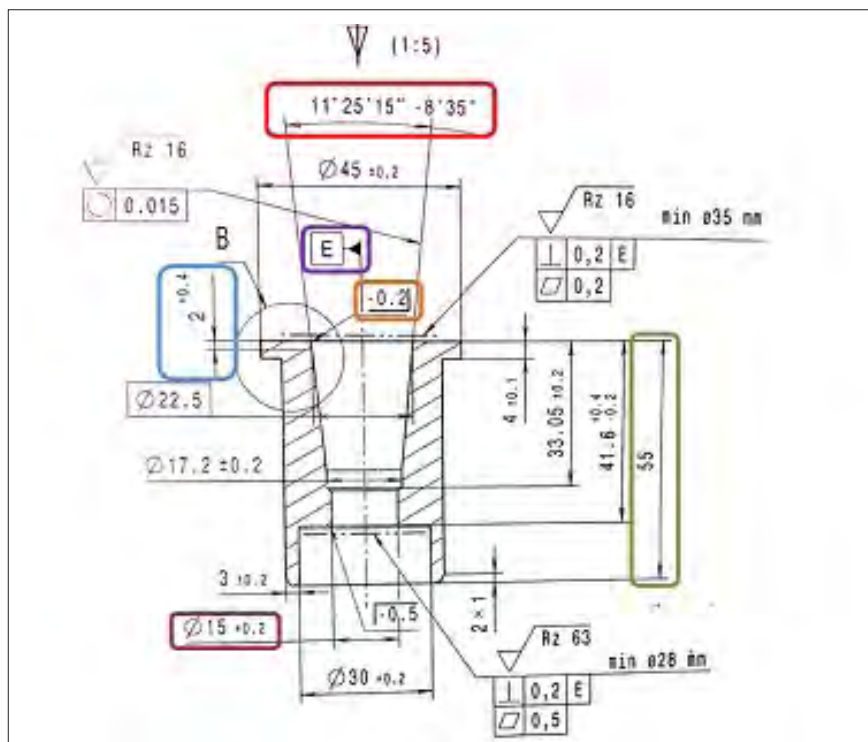
Na sliki 2 je prikazan izsek delavniške risbe puše. Za lažje razumevanje je v tabeli 2 podana legenda mer, ki jih je potrebno kontrolirati.

## ■ 3 Konceptualna rešitev

Za meritve kota konusa so bila izbrana **merilna tipala**, saj so cenovno najugodnejša in za serijsko kontrolo dovolj hitra rešitev. Z njimi se izmerijo kot konusa konične izvrtine, višina kosa in premer na določeni višini. Meritev se izvede tako,

Tabela 1. Kontrolirane mere

Dimenzija	Orientacijske vrednosti
kot konusa	11° 25' 15"
mera 22,5 na višini	2 + 0,4 mm
višina kosa	55 mm
notranji f	15 + 0,2 mm
rob posnetja	-0,2 mm
koncentričnost konus na φ 15	±0,1 mm
površina	vizualno



Slika 2. Načrt puše

da tipala potujejo po konični površini in ob tem zapisujejo vrednost razprtja in višino tipanja. Postopek je prikazan na sliki 3. Kot konusa se izračuna po enačbi:

$$\alpha = \frac{\arctg \cdot \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}}{2} \quad (3.1)$$

Meritve koncentričnosti lukenj, najmanjšega notranjega premera in prisotnost roba posnetja se določijo s pomočjo **strojnega vida**. Uporabljena je bila metoda detekcije roba, ki je bolj podrobno opisana v poglavju 4. Ker je bil cilj izdelati cenovno ugodno napravo, se je uporabila klasična spletna kamera s čim večjo resolucijo, saj je v primerjavi z industrijskimi kamerami nepriemerljivo cenejša. Slabost te izbire je v tem, da je bilo potrebno spisa-

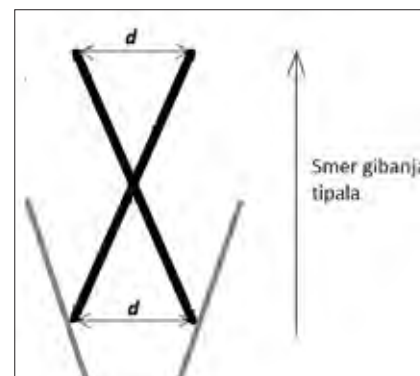
ti celoten program za detekcijo in komunikacijo, saj klasična spletna kamera v nasprotju z industrijskimi ne vsebuje vnaprej sprogramiranih funkcij.

#### 4 Metode za vizualno detekcijo roba

Metode za vizualno detekcijo roba s pomočjo detekcije robov se izmeri luknja v puši in ugotovi prisotnost posnetja roba, saj se na območju spremembe naklona površine svetloba drugače odbija, kar posledično povzroči različno svetilno izrazitost slikovnih pik na sliki. Zaradi tega se lahko rob zazna kot lokalne spremembe na zajeti sliki, saj je slika polje točk, ki so predstavljene kot vektorji. Z gradientno metodo nad temi vektorji se dobi lokalni maksimum dane funkcije  $f(x,y)$  (4.1).

Tabela 2. Legenda označb

Kontrolirana mera	Barva
kot konusa	red
višina kosa	zeleno
Φ najmanjše izvrtine	vijolično
rob posnetja	oranžasto
Φ na višini 2 <sup>+0,4</sup> mm	modro
koncentričnost izvrtin	vijolično



Slika 3. Principa merjenja konusa s tipalom

$$\nabla(x, y) = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Pomemben podatek je obseg gradienta (4.2), ki je enak stopnji rasti funkcije  $f(x, y)$  na enoto razdalje v smeri G.

$$G[f(x, y)] = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (4.2)$$

Obseg gradienta se prikaže v absolutni vrednosti, saj se tako predstavlja v praksi (4.3).

$$\begin{aligned} G[f(x, y)] &\approx |G_x| + |G_y| \\ G[f(x, y)] &\approx \max(|G_x|, |G_y|) \end{aligned} \quad (4.3)$$

Za digitalne slike so odvodi približki razlik, ki se pojavljajo na sliki. Najbolj preprost gradientni približek je podan v enačbi (4.4). Pri tem je potrebno upoštevati, da indeks i predstavlja smer x, indeks j pa negativno smer y [2]:

$$\begin{aligned} G_x &\cong f[i, j+1] - f[i, j] \\ G_y &\cong f[i, j] - f[i+1, j] \end{aligned} \quad (4.4)$$

Spremembo rasti gradienta je mogoče zaznati s konvolucijsko masko, zapisano v (4.5). Z masko se prele-

ti slika in rezultat je iskani gradient oz. zaznani rob, kot je prikazano na *sliki 4*. Na levi strani je neobdelana slika, na sredini pa slika, preletena s konvolucijsko masko  $mG_x$ . Pri tem se zazna le polovica robov, zato se isti postopek ponovi še z masko  $mG_y$ . Končni rezultat je vsota slik, preletenih s konvolucijsko masko  $mG_x$  in  $mG_y$ , kot prikazuje desna *slika 4*.

$$mG_x = \begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$mG_y = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Uporaba približka  $mG_x$  zapisanega v (4.5), je pravzaprav gradientni približek v interpolirani točki  $[i, j + \frac{1}{2}]$  in  $mG_y$  v točki  $[i + \frac{1}{2}, j]$ , ki v bistvu ni točka  $[i, j]$ , kot bi pričakovali. Je namreč na meji dveh slikovnih točk, zato je v tem primeru le približek gradienta za točko  $[i, j]$  [3]. Temu se izogne z uporabo Sobelovega operatorja. Z njim se izračuna gradient 3 x 3 soseščine in posledično vrednost centralne slikovne točke. Enačba za izračun obsega gradienta je zapisana v (4.6):

$$M = \sqrt{s_x^2 + s_y^2} \quad (4.6)$$

pri čemer se parcialna odvoda izračunata po (4.7) in upošteva, da je  $c = 2$ :

$$s_x = (a_2 + c \cdot a_3 + a_4) - (a_0 + c \cdot a_7 + a_6)$$

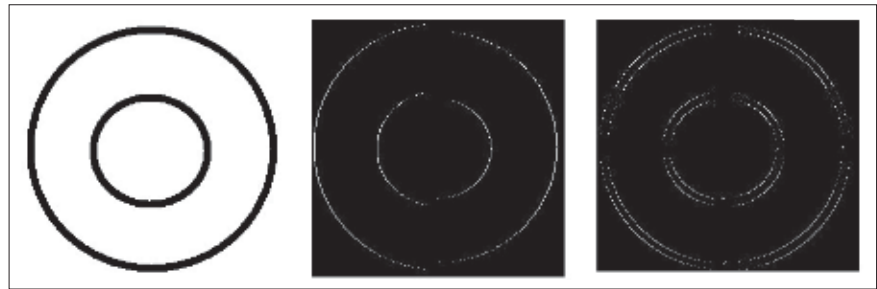
$$s_y = (a_0 + c \cdot a_1 + a_2) - (a_6 + c \cdot a_5 + a_4) \quad (4.7)$$

$Ms_x$  in  $ms_y$  se lahko implementirata z naslednjo konvolucijsko masko (4.8) [4]:

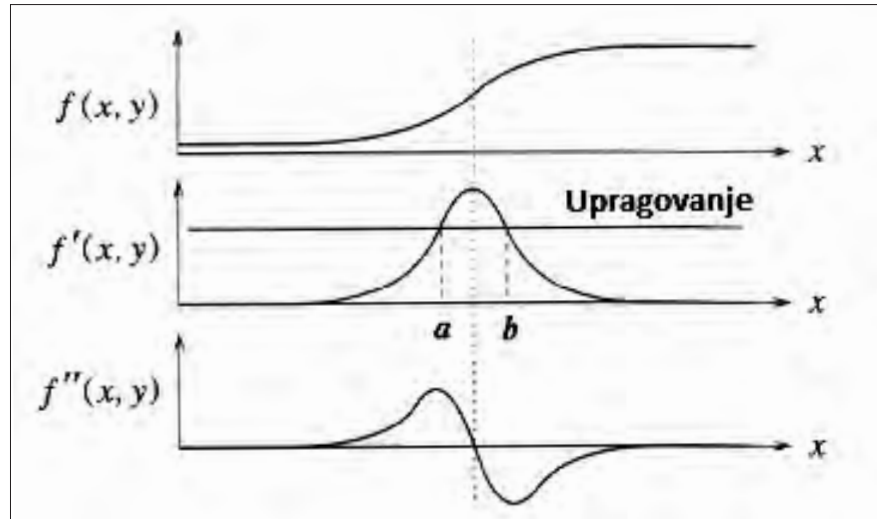
$$ms_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$ms_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

Z zgornjima metodama se z izračunom prvega odvoda zazna rob. Če je ta nad pragovno mejo, je rob zaznan. Pri tem lahko nastane problem, saj se najde več robov. To se odpravi s ponovnim odvajanjem, kajti pri prvem odvodu se dobi lokalni maksimum, ki se ponovno odvaja in se dobi funkcija, ki seka os



**Slika 4.** Levo: neobdelana slika, na sredini detekcija roba z masko  $mG_x$ , desno detekcija roba s konvolucijsko masko  $mG_y$



**Slika 5.** Oblika funkcije po dvakratnem odvajanju

x kot prikazuje *slika 5*. V tej točki je rob, ki se išče.

Z uporabo Laplaceovega operatorja v dvodimenzionalnem prostoru se dobi drugi odvod (4.9):

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (4.9)$$

oziroma maska:

$$m\nabla^2 \approx \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

Sedaj se lahko *slika 4* levo preleti z masko (4.10) in kot rezultat se dobi še bolj izrazit rob, ki je prikazan na *sliki 6*.

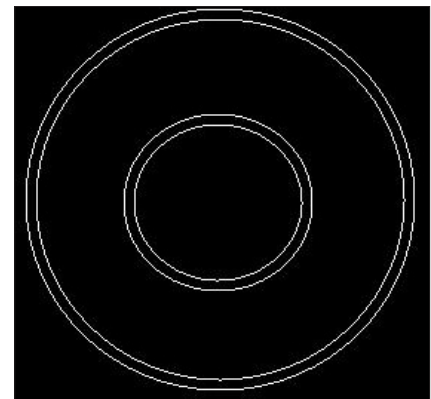
### ■ 5 Zgradba merilne naprave

Naprava za avtomatizirano kontrolo puš je sestavljena iz dveh sklopov.

Prvi sklop so merilna tipala (klešče), ki so prikazana na *sliki 7*.

Drugi del prototipne merilne priprave predstavlja ogrodje s spletno kamero, *slika 8*.

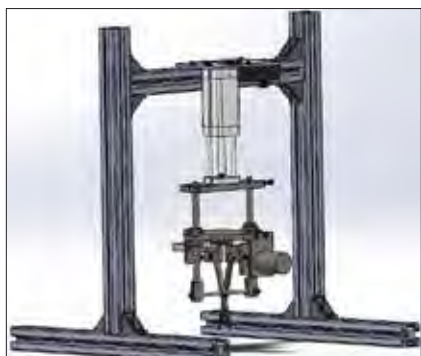
Merjenje z merilnimi tipali in spletno kamero poteka sočasno. Podatki o ustreznosti vizualnih meritev se iz računalnika pošljejo na PLK po povezavi Profinet.



**Slika 6.** Zaznavanje roba s pomočjo konvolucijske maske (4.10)

## 5.1 Merilna tipala

Merilna tipala so krmiljena s Simensovim PLK-jem CPU 1212c DC/DC/DC [5]. Vrednosti signalov o razprtju tipala so pridobljene iz analognega induktivnega senzorja [6].



Slika 7. Merilna tipala

Trenutna višina tipal se prebere z žičnega senzorja [7]. Na *sliki 10* je prikazan diagram stanj merilnega sklopa. Iz njega je razvidno, da se merilna tipala najprej spustijo v konično izvrtino. Ko so v maksimalni



Slika 8. Ogradje naprave za vizualno kontrolo

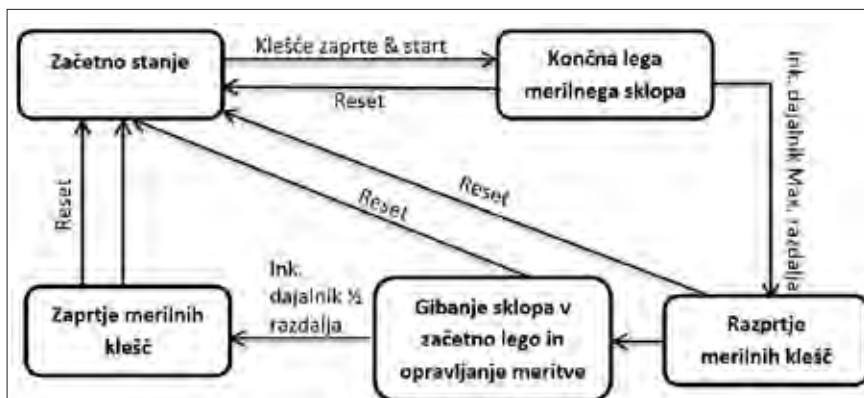
globini, se razprejo in začne se zajemanje podatkov o razprtosti tipal in trenutni višini. Nato se merilna tipala začnejo gibati nazaj proti izhodiščni legi in med tem se na določenih višinah zajemajo podatki s senzorjev, ki so potrebni za izračun konične izvrtine.

Preden pridejo merilna tipala v izhodiščno lego, se ustavi zajemanje podatkov in tipala se zaprejo.

PLK poleg krmiljenja in zajemanja podatkov s senzorjev izvaja komunikacijo z aplikacijo v programskem okolju LabView, v kateri se izvaja vizualna kontrola. Ob morebitnem neustreznem



Slika 9. Povezava: spletna kamera-računalnik-PLK



Slika 10. Diagram stanj merilnega sklopa

vizualnem kosu ali neustreznem kosu pri meritvi z merilnimi tipali se aktivira ustrezen digitalni izhod na krmilniku, ki signalizira napako merilcu.

## 5.2 Spletna kamera

Za meritev najmanjše izvrtine in koncentričnosti izvrtin ter detekcijo roba je uporabljena spletna kamera LOGITECH C525 HD. Program za vizualno kontrolo je izdelan v programskem okolju LabView. Uporabljeni sta knjižnici za strojni vid Vision Acquisition in Vision Assistant [8]. S prvo se nastavijo ustrezni parametri za spletno kamero, ki so prikazani v *tabeli 3*.

Tabela 3. Parametri spletne kamere

Parameter	Vrednost
Exposure (izpostavljenost)	0,283133 $\mu$ s
Contrast (kontrast)	0,138253
Brightness (svetlost)	74
Gain (ojačanje)	235
White Balance (belina)	5981
Zoom (povečava)	1
Focus (fokus)	75
Sharpness (ostrina)	1
Saturation (nasičenost)	1

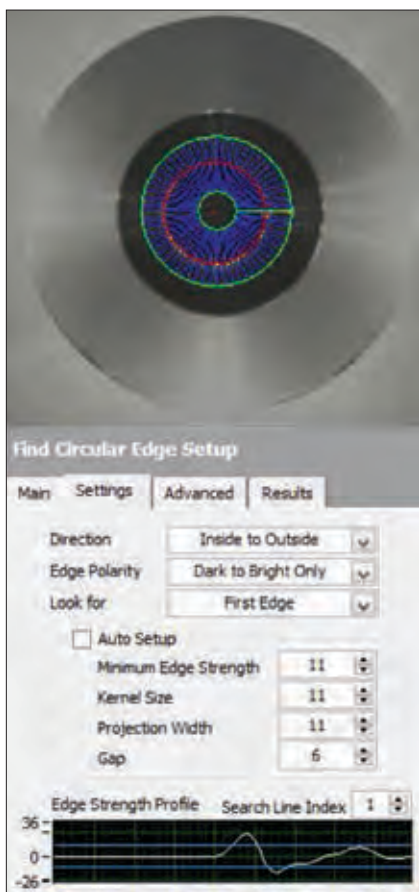
Z drugo se je izdelal program za detekcijo in meritev robov. Na *sliki 11* je prikazano okno, v katerem se z upoštevanjem teorije iz poglavja 4 nastavijo parametri pri detekciji roba.

Tretji del kode v LabViewu predstavlja komunikacijo s krmilnikom. Diagram stanj na *sliki 12* prikazuje stanja pošiljanja rezultatov meritev spletne kamere.

## 6 Rezultati testnih meritev

Testne meritve so bile izvedene tako, da so se izbrali kosi z napako in brez napake. Nato se je vsak izbrani kos petkrat premeril in so se zapisala odstopanja meritev. Pri meritvi najmanjšega premera konične izvrtine s spletno kamero je mogoče doseči natančnost dve stotinki milimetra, pri meritvi koncentričnosti izvrtin pa štiri stotinke milimetra. Natančnost merilnih tipal pri meritvi kota konusa znaša 0,05°, pri meritvi višine kosa in želenega premera na iskani višini pa je možno doseči 0,2 mm natančno meritev. Poleg natančnosti prototipne merilne naprave je bilo potrebno izmeriti še čas cikla meritve, ki je znašal 6 s.

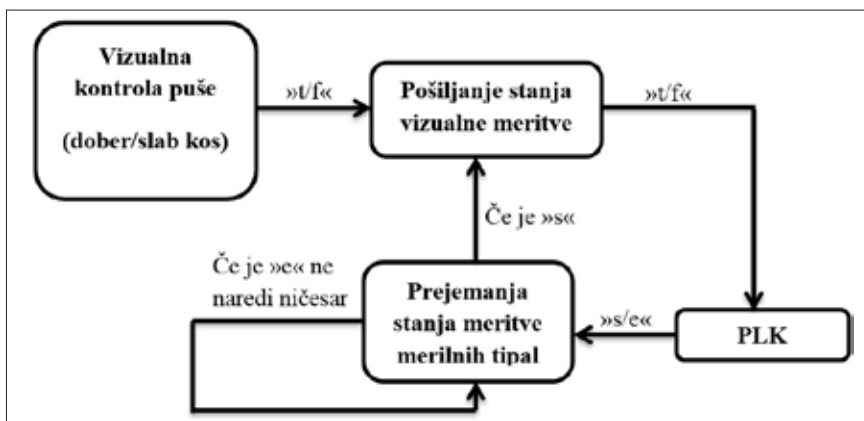




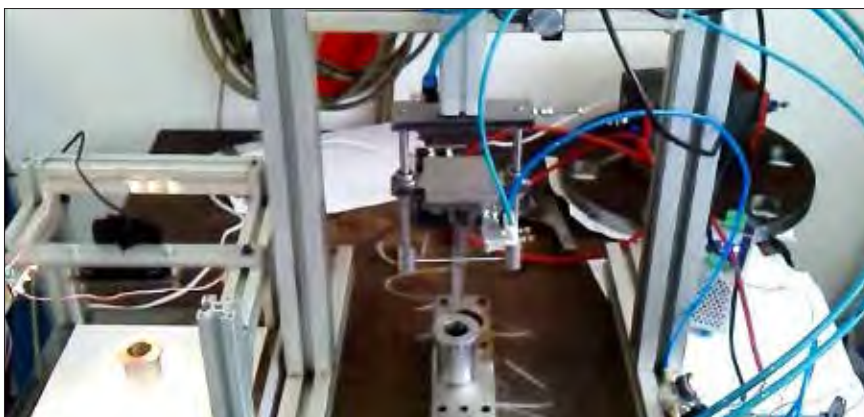
Slika 11. Detekcija in meritev krožnega roba najmanjše izvrtine

## 7 Zaključek

Cilj projekta je izdelava naprave za avtomatizirano dimenzijsko in oblikovno kontrolo puš. Z izdelanim prototipom so bile izpolnjene zadane zahteve. Testne meritve so pokazale, da je natančnost meritev znotraj predpisanih tolerančnih polj. Čas meritve ne presega predpisane vrednosti 7 s. V prihodnje je potrebno dograditi še manipulator, ki bo doziral merjenje in izvajal zlaganje in izmet pregledanih merjencev. Trenutno je naprava v fazi preizkušanja in odpravljanja napak.



Slika 12. Shematični prikaz izvajanja programa v LabViewu



Slika 13. Slika prototipne naprave

## Viri

- [1] Aleš Poljak, Kontrola kvalitete barvnega nanosa na betonske strešnike, *Avtomatika*, 85, (2008), str. 1–3.
- [2] R. K. B. G. S. Ramesh Jain, *Machine Vision*, McGraw-Hill, 1995.
- [3] Robertsov operator, dostopno na: [http://en.wikipedia.org/wiki/Roberts\\_cr-oss](http://en.wikipedia.org/wiki/Roberts_cr-oss) [19. 10. 2014].
- [4] Sobelov operator, dostopno na: [http://en.wikipedia.org/wiki/Sobel\\_oper-ator](http://en.wikipedia.org/wiki/Sobel_oper-ator), [19. 10. 2014].
- [5] S7 1200 manual, dostopno na: <http://www.paratrasnet.ro/pdf/automatizari-industriale/S7-1200.pdf>, [8. 10. 2014].
- [6] Indiktivni analogni senzor, dostopno na: <http://www.sensor.si/data/pdf/analogni/IX080CM65MG3.PDF>, [8. 10. 2014].
- [7] Žični senzor, dostopno na: [http://www.asmsensor.com/asm/pdf/pro/ws31\\_42\\_us.pdf](http://www.asmsensor.com/asm/pdf/pro/ws31_42_us.pdf), [8. 10. 2014].
- [8] LabView, Wikipedija, prosta enciklopedija, dostopno na: <http://en.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>, [13. 10. 2014].

### Device for the automated control of the dimensions and visual inspection of bushes

**Abstract:** In a serial production for the automotive industry there are high standards for the quality of products. Every piece has to go through a 100 % dimensional control before reaching the customer. Manual checking is very time-consuming. So in order to control such pieces, more specifically the bushes for car chassis, a measuring device for an automated control was designed. It was designed in two parts. The first part takes measurements with a web camera, making visual inspections of the dimensions. The program and user interface for this was designed in LabView. The second part of the measurements is performed by a measuring sensor that is controlled by PLC S7 1212c. The program for it was written in the TIA Portal.

**Keywords:** visual inspection of dimensions, measuring device, webcam, workpiece