

# **Sistem optične kontrole pakiranja izdelkov v proizvodnem procesu**

**Simon Hudales, Vito Kokol Bogme, Petra Zaviršek, Žan Štern**

**Mentorji: doc. dr. Simon Klančnik, Tadej Peršak mag. inž. meh., dr. Branka Viltušnik**

**Fakulteta za strojništvo**

**Smetanova 17, 2000 Maribor, Slovenija**

**simon.hudales@student.um.si, vito.kokol@student.um.si, petra.zavirsek@student.um.si,**

**zan.stern@student.um.si**

## ***Optical control system of products packaging in manufacturing process***

This article presents a system for contactless control of the packaging of component parts in a manufacturing process. The company PLASTIKA SKAZA d.o.o. manually packages their products, which consist of components that differ in size and shape. Due to the components' form and the style of packaging, the positions of individual components are not precisely defined. This article focuses on developing a machine vision system that checks if all the parts are in the box, according to the client's demands. The system strives to achieve effective and robust error perception in the packaging process. If any errors occur in the packaging process and any components are missing from the package, the system alarm turns on and asks for human troubleshooting. The goal of machine vision is to make the packaging process automated, as opposed to being done by workers. With a developed system the expenses of the control will decrease by 100 % and errors will be eliminated. Test results of the developed system on a number of products showed that the system works effectively.

## ***Kratek pregled prispevka***

V članku je predstavljen sistem za brezkontaktno kontrolo pakiranja komponent sestava izdelka v proizvodnem procesu. V podjetju PLASTIKA SKAZA d.o.o. izvajajo ročno pakiranje izdelka, ki je sestavljen iz večjega števila komponent, ki so med seboj različne po obliki in velikosti, prav tako pa zaradi načina in oblike pakiranja položaji posameznih komponent v paketu niso povsem natančno določeni. Članek se nanaša na razvoj sistema strojnega vida za preverjanje prisotnosti komponent, ki jih naročnik zahteva v končnem paketu. Cilj delovanja sistema je učinkovito in robustno zaznavanje nepravilnosti pri pakiranju izdelka. Če pri pakiranju pride do napake in katera komponenta ni prisotna v paketu, sistem javi neustreznost paketa in prosi za človeško posredovanje. Z implementacijo strojnega vida želimo avtomatizirati kontrolo pakiranja, ki jo sedaj v podjetju opravlja delavec. Z razvitim sistemom se bodo zmanjšali stroški 100 % kontrole pakiranja, prav tako pa se bodo izničile napake pri kontroli pravilnosti pakiranja, ki so posledica človeškega faktorja. Rezultati testiranja razvitega sistema na večjem številu izdelkov so pokazali, da sistem deluje učinkovito.

## 1 Uvod

Ključni steber Industrije 4.0 so tako imenovane pametne tovarne. Vanje so postavljeni pametni stroji in izdelki, ki predstavljajo središče Industrije 4.0. Pametni stroji imajo sposobnost medsebojne komunikacije in komunikacije z izdelki. Posledica tega je povečanje sposobnosti upravljanja bolj kompleksnih sistemov. Pri tem lahko izdelujemo izdelke z večjo učinkovitostjo. V prvih korakih digitalizacije tovarn se srečamo s sistemi, ki nam omogočajo večji vpogled v delovanje proizvodnih procesov. Rezultat tega so na primer roboti, ki sodelujejo z delavci ali pa učeče proizvodne linije s povratno zanko. Z uporabo strojnega vida v proizvodnih sistemih omogočimo strojem in napravam, da zaznavajo dinamično in nenadzorovano proizvodno okolje ter se na podlagi tega inteligentno odzivajo v nepredvidenih situacijah. Strojni vid predstavlja ključno tehnologijo Industrije 4.0 [1].

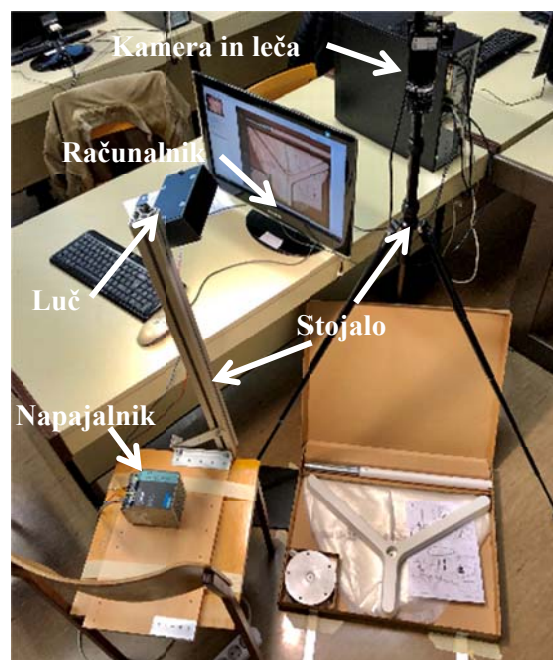
V tem članku bomo predstavili razvoj sistema za brezkontaktno kontrolo pakiranja izdelkov. Izziv, ki smo ga reševali, je bil podan s strani podjetja PLASTIKA SKAZA d.o.o.. V podjetju ročno pakirajo izdelek, ki je sestavljen iz večjega števila komponent. Komponente so si med seboj različne po velikosti in obliki, prav tako pa v paketu nimajo točno določenega položaja, zahtevana je le njihova prisotnost. Cilj, ki smo ga želeli doseči, je avtomatizacija procesa kontrole pakiranja izdelkov, ki jo je do sedaj opravljal delavec ter na ta način zmanjšati stroške, hkrati pa zagotoviti 100 % kontrolo pakiranja. Do učinkovite rešitve smo prišli na podlagi laboratorijskih testiranj razvitega sistema in prilagajanja parametrov sistema. Simulirali smo realno stanje paketa v proizvodnji in napravili veliko možnih scenarijev za namen priprave učne in testne množice.

Članek je organiziran po naslednjem vrstnem redu. V drugem poglavju je predstavljena uporabljena strojna in programska oprema, v tretjem poglavju je predstavljen koncept razvitega sistema strojnega vida. Četrto poglavje se nanaša na predstavitev uporabljenih metod digitalne obdelave slik. Članek se

zaključuje s predstavitvijo rezultatov v petem poglavju in kratkim zaključkom.

## 2 Strojna in programska oprema

Uporabljena strojna oprema za zajem slike je industrijska kamera SCA1390 17FC proizvajalca Basler [2]. Kamera lahko zajema do 120 slik na sekundo s spektrom kvalitete od VGA do 1,3 MP. Iz kamere se video signal prenaša na osebni računalnik preko »FireWire« vmesnika [2]. K strojni opremi za zajemanje slike štejemo še lečo. Leča prepušča in lomi svetlobo ter je potrebna za usmerjanje in mehansko nastavitve kvalitete slike. Uporabljena je bila Cosmicar TV Television 12,5 mm 1:1,8 Manual Focus leča. Uporabljeno je bilo še stojalo za kamero, ki smo ga fiksno namestili ter glede na območje zajemanja slike določili položaj paketa. Položaj paketa smo omejili z barierami, da se le-ta med zajemom slik ne spreminja. Potrebna je bila še osvetlitev opazovanega objekta. Uporabili smo LED luč, ki smo jo namestili na aluminijast profil, ki je s podstavkom predstavljal stojalo. Svetloba, ki jo je oddajala LED luč, je bila toplo bela. Za priklop luči je bil uporabljen napajalnik z močjo 240 W [3].



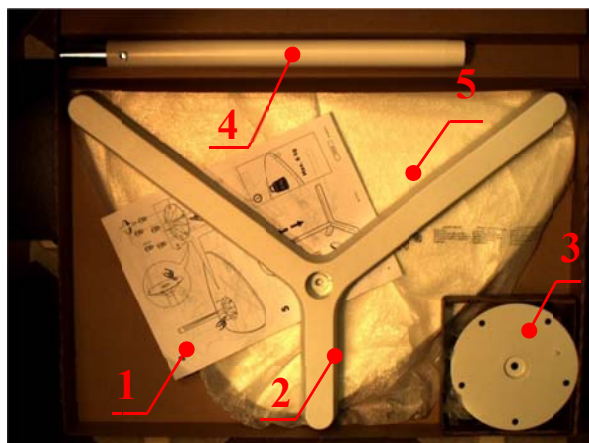
Slika 1: Laboratorijski prototip sistema za optično kontrolo pakiranja.

Sistem strojnega vida smo razvijali na računalniku s procesorjem proizvajalca Intel, oznake i5-750, ki deluje pri osnovni frekvenci 2,66 GHz. Kapaciteta pomnilnika je znašala 4 GB. Na Sliki 1 je predstavljen laboratorijski prototip razvitega sistema strojnega vida.

Za implementacijo rešitve smo uporabili razvojno okolje NI Vision Builder proizvajalca National Instruments, ki je globalno vodilno podjetje v avtomatiziranih kontrolah in sistemih merjenja. Modularna platforma in sistematično oblikovan vmesnik, kot je LabVIEW, pomaga inženirjem pri razvoju in integraciji novih tehnologij [4].

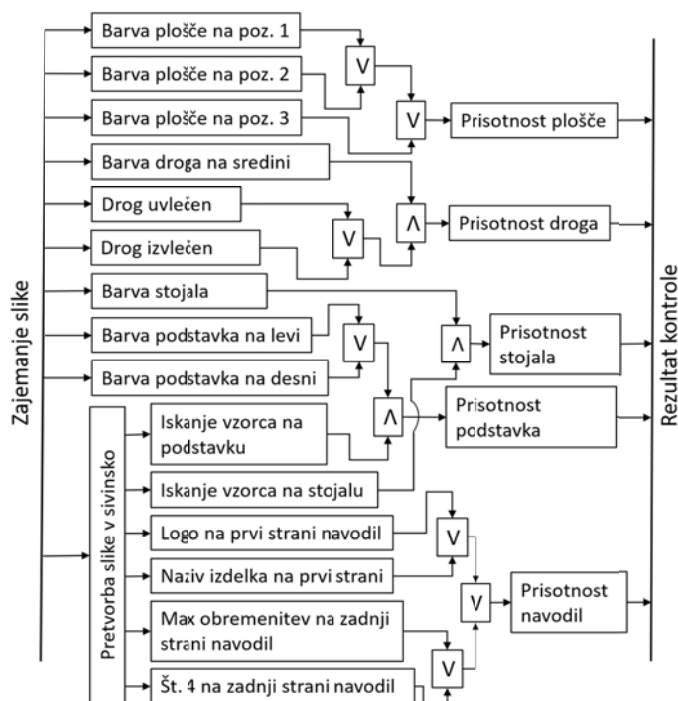
### 3 Princip delovanja sistema

Podjetje Plastika Skaza d.o.o. je izkazalo interes po preverjanju sledečih komponent v paketu: navodila (1), stojalo (2), podstavke (3), drog (4) in plošča (5). Komponente so prikazane na Sliki 2. Za izgradnjo uspešno delujočega sistema optične kontrole smo najprej analizirali postavitev posameznih komponent znotraj paketa.



Slika 2: Postavitev komponent znotraj paketa.

Temu je sledila izgradnja algoritma za zaznavanje posameznih komponent po vnaprej določenih pravilih pakiranja. Glede na proizvodni proces v podjetju smo si zadali cilj, da razvit sistem vsak paket preveri v manj kot eni sekundi. Na Sliki 3 je predstavljen blokovna shema delovanja razvitega sistema za optično kontrolo pakiranja izdelka.



Slika 3: Blokovna shema razvitega sistema za kontrolo pakiranja izdelkov.

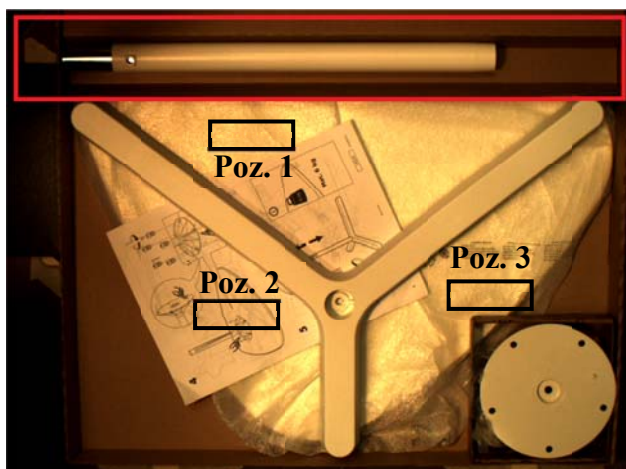
Na Sliki 4 je predstavljen Booleova algebra, ki je uporabljena za izgradnjo blokovne sheme na Sliki 3. Izjavna forma je izjava, v kateri kakšno vrednost ali objekt (predmet, pojem) nadomesti spremenljivka. O logični vrednosti izjavne forme ne moremo govoriti, dokler spremenljivke ne nadomestimo s konkretno vrednostjo oziroma z objektom. Uporabili smo konjunkcijo ( $\wedge$ ) ter disjunkcijo ( $\vee$ ). Konjunkcija izjave A in B nastane tako, da izjavi povežemo z »in hkrati«, disjunkcija pa poveže izjavi z besedo »ali« [5].

A	B	$A \wedge B$	$A \vee B$
1	1	1	1
1	0	0	1
0	1	0	1
0	0	0	0

Slika 4: Vrednosti izhodne veličine.

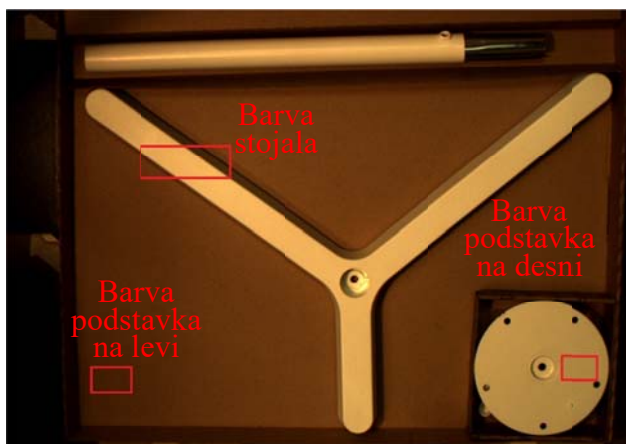
Prisotnost plošče smo preverjali z barvnim klasifikatorjem na treh različnih mestih, saj obstaja možnost, da je posamezno mesto prekrito z navodili (črna polja na Sliki 5). Prav tako smo z barvnim klasifikatorjem preverjali prisotnost droga in ali je le-ta uvlečen oz.

izvlečen, območje pa smo omejili na zgornji del paketa in s tem pohitрили preverjanje (rdečo polje na Sliki 5).



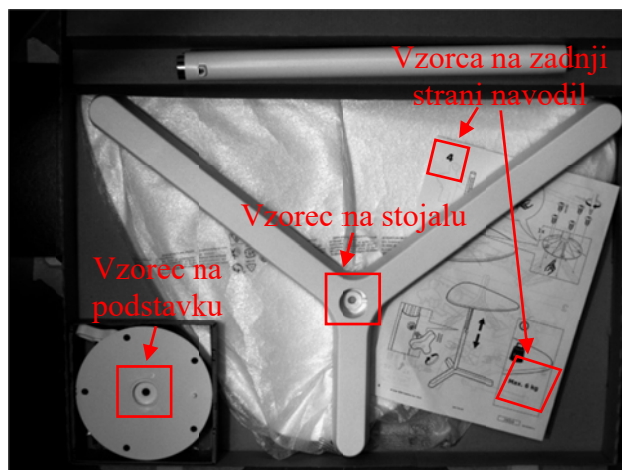
Slika 5: Območje, v katerem se mora nahajati drog in tri pozicije, na katerih se preverja prisotnost plošče.

Sledilo je še preverjanje podstavka in stojala z barvnim klasifikatorjem, z namenom zanesljivejšega delovanja končnega sistema, Slika 6.



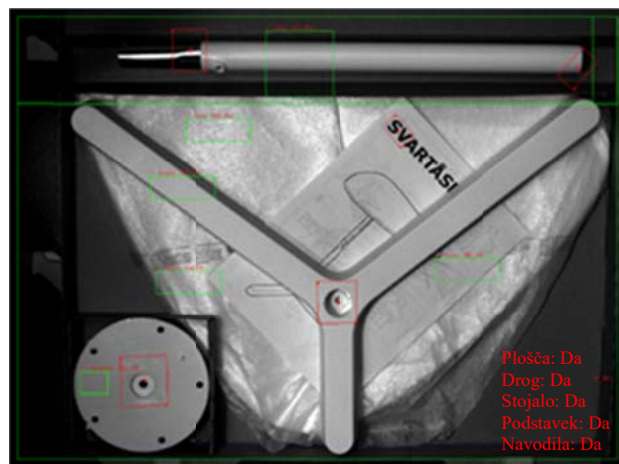
Slika 6: Področja preverjanja barve stojala in podstavka.

Da smo lahko dokončno potrdili ali so navodila, podstavek in stojalo prisotni v paketu, smo morali zajeto sliko pretvoriti v sivinsko. Ker so navodila lahko obrnjena s prvo stranjo navzgor ali navzdol, smo morali na obeh straneh poiskati ključne značilke za prepoznavanje prisotnosti navodil. Prisotnost stojala in podstavka smo prav tako preverjali z iskanjem ustreznih vzorcev.



Slika 7: Iskani vzorci na stojalu, podstavku in navodilih.

Ob koncu preverjanja paketa smo želeli, da se nam na ekranu izpiše še prisotnost posameznih komponent. Zato smo za vsako komponento določili vse logične pogoje in povezavo med njimi, npr. plošča je prisotna, če se vsaj eno območje ujema z naučenim. Na Sliki 8 je prikazan uporabniški vmesnik razvitega sistema.



Slika 8: Uporabniški vmesnik razvitega sistema.

#### 4 Opis uporabljenih metod

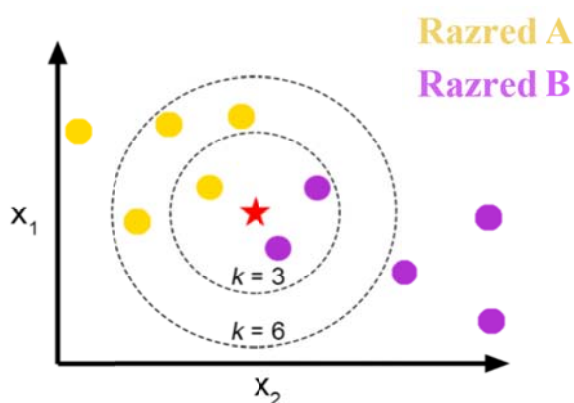
V razvitem sistemu smo prisotnost komponent izdelka preverjali z dvema različnima pristopoma, kot je to opisano v poglavju 3, in sicer z barvno klasifikacijo določenih območij na sliki ter iskanjem v naprej določenih vzorcev na zajeti sliki. Za barvno razvrščanje smo uporabili metodo najbližjih sosedov [6]. Barvno sliko smo nato pretvorili v sivinsko z namenom, da smo jo

lahko obdelali z metodo za iskanje vzorca na sivinski sliki [7].

#### 4.1 Metoda najbližjih sosedov

Metoda najbližjih sosedov je neparametrična metoda strojnega učenja, kar pomeni, da metoda ne ocenjuje parametrov in uteži izbranega modela. Kot znanje uporabi kar posamezne učne primere (angl. instance-based learning). Ocenjujemo jo kot metodo z lenim učenjem, saj za dani novi primer poišče algoritem za razvrstitev v dani množici učnih primerov šele, ko nastopi povpraševanje.

Ideja metode je, da ob vprašanju o vrednosti odvisne spremenljivke za novi primer poišče  $k$ -primerov, kateri so najbližji glede na podano mero razdalje vzorca. Pri klasifikaciji predpostavi, da novi primer spada v večinski razred med sosedi. Da bi preprečili neodločen izid razvrščanja, se pri klasifikaciji običajno izbere, da je  $k$  liho število.



Slika 9: Izbira števila  $k$  za klasifikacijo.

Pri izbiri števila  $k$  je potrebno biti previden, saj ob premajhnem številu  $k$  pride pri vrednotenju vzorcev do pretirano velikega prilagajanja. Prav tako pa je napačno misliti, da ob velikem številu  $k$  pridobimo zanesljivo delovanje, saj v tem primeru pride do prešibkega posploševanja [8].

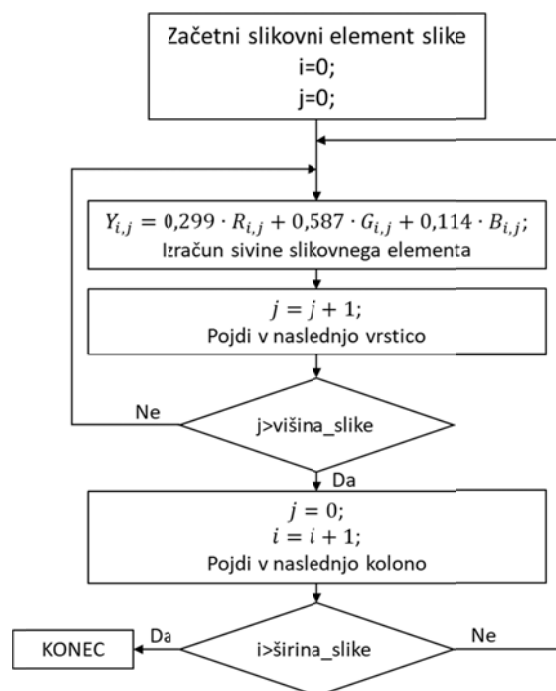
#### 4.2 Pretvorba barvne slike v sivinsko

Za vsak slikovni element v sliki smo izračunali sivino  $Y$  z enačbo (1).

$$Y = 0,299 \cdot R + 0,587 \cdot G + 0,114 \cdot B, \quad (1)$$

kjer  $R$  predstavlja rdečo barvno komponento,  $G$  zeleno barvno komponento ter  $B$  modro barvno komponento [9].

Na Sliki 10 je prikazana blokovna shema pretvorbe barvne slike v sivinsko sliko.



Slika 10: Blokovna shema algoritma za transformiranje barvne slike v sivinsko.

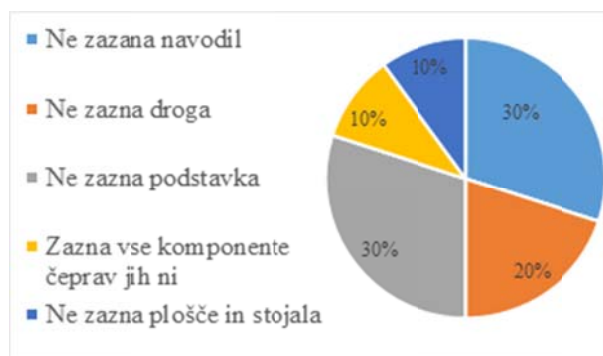
#### 4.3 Metoda iskanja vzorcev

Metoda iskanja vzorcev je tehnika, ki primerja dele slike s prej definirano referenčno sliko ter se uporablja za prepoznavanje objektov. Proces iskanja premika referenčne predloge na vse možne položaje na primerjani sliki ter izračuna numerični indeks, ki pove, kako dobro predloga ustreza sliki. Metoda iskanja vzorcev v sivinah je naprednejša tehnika, ki išče vzorce ne glede na njihovo orientacijo. Takšna metoda je bila uporabljena pri določanju prisotnosti navodil, stojala in podstavka (Slika 7) [10, 11].

### 5 Rezultati

Cilj naše projektne naloge je bil razviti sistem, ki bo uporaben v proizvodnji, kar pomeni, da smo želeli sistem, ki bo dovolj hitro in dovolj zanesljivo zaznal prisotnost

komponent v paketu. Razvit sistem zazna prisotnost komponent v 0,75 s, kar je za uporabo v proizvodnem procesu podjetja zadovoljivo. Učinkovitost razvitega sistema smo testirali na 28 slikah paketa z vsemi prisotnimi komponentami ter na 218 slikah pomanjkljivega paketa. V laboratorijskem okolju smo za vsako opravljeno testiranje najprej izvedli ročno pakiranje izdelka. S tem smo poskušali simulirati položaje komponent pri ročnem pakiranju v realnem proizvodnem okolju. Opravljena testiranja so pokazala, da je sistem zanesljiv v 95,93 %. Od skupno 246 testnih primerov je sistem v 10 primerih naredil napako, od tega je eno napako sistem naredil pri sliki paketa z vsemi prisotnimi komponentami. Napake, ki so se pojavljale v sistemu, so nastale predvsem zaradi komponent, ki niso bile na predvidenem položaju. Tako jih sistem ni zaznal ali pa je njihove značilnosti prepoznal na drugih komponentah. Napake so glede na njihovo vrsto prikazane na Sliki 11.



Slika 11: Vrste napak pri kontroli pakiranja – skupno 10 napak.

## 6 Zaključek

Testiranja v laboratorijskem okolju so potrdila učinkovitost razvitega sistema. Napake, ki so se v sistemu pojavljale, so nastale predvsem zaradi pomanjkljive osvetlitve, saj so bile v paketu vse komponente bele barve s podobno oziroma enako površino. Te napake bi v večini odpravili z dodatnim izvorom svetlobe, pri laboratorijskem testiranju smo namreč uporabili le en izvor svetlobe. Celoten sistem bi v proizvodnji lahko tudi ogradili, s čimer bi preprečili vstop zunanje svetlobe. Tako bi minimalizirali vstop zunanje svetlobe in njen vpliv na zanesljivost sistema. V prihodnosti bi

bil smiselno sistem nadgraditi tako, da bi bil sposoben prepoznavati tudi komponente drugih barv, saj v podjetju poleg bele barve izdelujejo tudi komponente črne barve.

## Zahvala:

Za mentorstvo in pomoč pri razvoju sistema in pisanju članka se zahvaljujemo doc. dr. Simonu Klančniku, Tadeju Peršaku, mag. inž. meh. ter dr. Branki Viltušnik.

## 7 Literatura

- [1] Žiga Kariž: Nova revolucija je tu. Dosegljivo na: <https://www.gzs.si/Portals/SN-informacije-Pomoc/Vsebine/GG/2017-junij/49-54-industrija%2040.pdf> [Datum dostopa: 15.3.2019]
- [2] Basler SCA1390 17FC. Dosegljivo na: <https://www.avsupply.com/ITM/4766/sca1390-17fc.html>. [Datum dostopa: 15.3.2019]
- [3] Napajalnik Siemens SITOP. Dosegljivo na: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/oms/Catalog/Product/6EP1334-2BA20>. [Datum dostopa: 15.3.2019]
- [4] NI Vision Builder. Dosegljivo na: <http://www.ni.com/sl-si/shop/electronic-test-instrumentation/application-software-for-electronic-test-and-instrumentation-category/what-is-vision-builder-for-automated-inspection.html>. [Datum dostopa: 15.3.2019]
- [5] I. Kosi-Ubl, *Osnove matematične analize*, Fakulteta za strojništvo v Mariboru, Maribor 2011
- [6] E.R. Davies: *Computer and Machine Vision - Theory, Algorithms, Practicalities*. Department of physics Royal Holloway, University of London, Egham, Surrey, UK 2012
- [7] Alexander Hornberg: *Handbook of Machine Vision*. WILEY-VCH, Weinheim 2006
- [8] Zoran Bosnič: Osnove umetne inteligence. Dosegljivo na: [https://ucilnica.fri.uni-lj.si/pluginfile.php/67169/mod\\_label/intro/P04%20Regresija%2C%20linearni%2C%20lokalni.pdf?time=1549964174787](https://ucilnica.fri.uni-lj.si/pluginfile.php/67169/mod_label/intro/P04%20Regresija%2C%20linearni%2C%20lokalni.pdf?time=1549964174787) [Datum dostopa: 15.3.2019]
- [9] Transformacija RGB slike v sivinsko. Dosegljivo na: [http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/370281AC-01/nivisionconcepts/color\\_pattern\\_matching/](http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/370281AC-01/nivisionconcepts/color_pattern_matching/) [Datum dostopa: 15.3.2019]
- [10] Swaroop, P., Sharma, N. (2016). An Overview of Various Template Matching Methodologies in Image Processing. *International Journal of Computer Applications*, volumen(153), (št. 10).
- [11] Metoda iskanja vzorcev. Dosegljivo na: [https://docs.adaptive-vision.com/4.7/studio/machine\\_vision\\_guide/TemplateMatching.html](https://docs.adaptive-vision.com/4.7/studio/machine_vision_guide/TemplateMatching.html) [Datum dostopa: 16.3.2019]