

# Zagotavljanje kakovosti in sledljivosti izdelkov z uvedbo inteligentnih vložkov

Peter ENIKO, Davorin KRAMAR

**Izvleček:** Namen prispevka je predstaviti koncept ročnega montažnega procesa, ki z inteligentnimi vložki, konstrukcijo montažne celice in uporabo metod vrednotenja montažnega procesa zagotavlja kakovost in sledljivost proizvodov ter ergonomijo, produktivnost in varnost dela. Elektronski vijačniki, branje 2D-kode, vgravirane na podsestavu, in uporaba strojnega vida so inteligentni vložki, ki bodo pilotno implementirani na obravnavani montažni celici v podjetju Poclain Hydraulics, d. o. o., in bodo s pridobivanjem izkušenj s tega področja v določeni meri razširjeni tudi na ostale montažne celice.

**Ključne besede:** sledljivost, elektronski vijačniki, strojni vid, ročna montaža

## ■ 1 Uvod

Podjetje Poclain Hydraulics, d. o. o., ponuja široko paleto hidravličnih ventilov za odprte in zaprte tokokroge ter posebne ventile in bloke. Zaradi relativne kompleksnosti sestavov, za katere je med drugim zahtevana tudi visoka kakovost montaže in preizkusa delovanja, je potrebno zagotoviti fleksibilnost v variabilnem, maloserijskem, ročnem, montažnem procesu. Prispevek predstavlja oblikovanje ročnega montažnega procesa glede na zahteve kupca. Omenjeni projekt predstavlja velik izziv za podjetje, saj obeta serijsko proizvodnjo ene družine izdelkov in zaradi zahteve kupca po 0 ppm neustreznih proizvodov in sledljivosti zahteva implementacijo inteligentnih vložkov, ki bodo v podjetju pilotno implementirani. Projekt se izvaja v sodelovanju z zunanji izvjalci Mb Naklo, DEPRAG, Kolektor Orodjarna, PC

Peter Eniko, univ. dipl. inž., Poclain Hydraulics, d. o. o., Žiri; doc. dr. Davorin Kramar, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

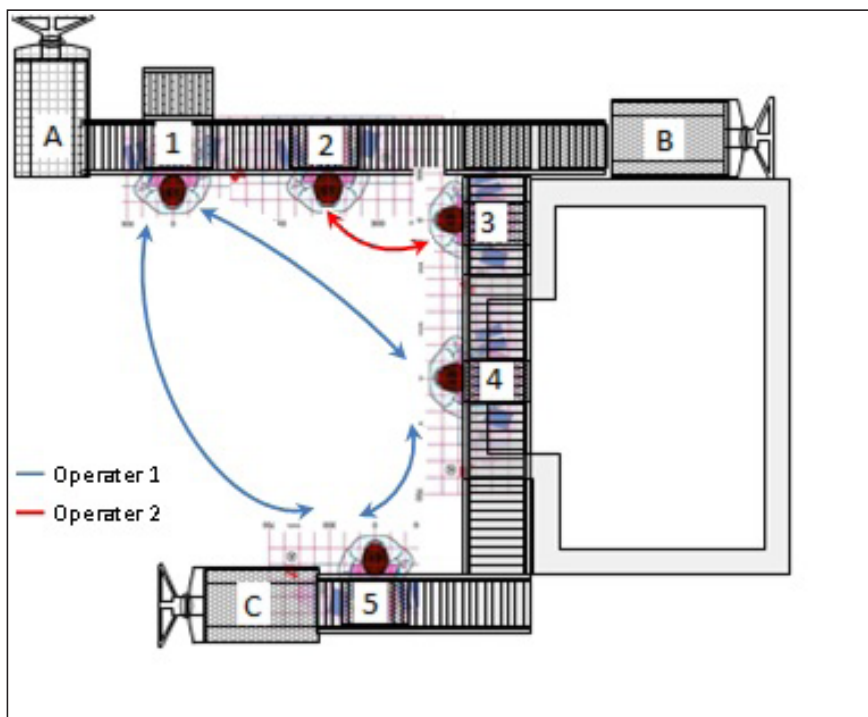
Vision ter Laboratorijem za odrezavanje (LABOD) in Laboratorijem za strego in montažo (LASIM) Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani. Posamezni inteligentni vložki so bili individualno testirani in bodo po korakih implementirani na ustrezno delovno mesto, vzporedno z naraščanjem povpraševanja oziroma s povečevanjem serije.

## ■ 2 Koncept montažnega procesa

Osnovo konstrukcije montažne celice in montažnega procesa predstavlja standard VDI 2862 (2012), ki je bil poleg ostalih zahtev po kakovosti, sledljivosti, ergonomiji dela, produktivnosti in varnosti podan s strani kupca. Analiza rizika je bila izvedena z metodo Process Failure Mode Effect Analysis (PFMEA) in je bistveno prispevala k oblikovanju montažne celice in definiciji montažnega procesa. Posamezne montažne operacije so bile ovrednotene z work-factorjem, kar omogoča časovno usklajevanje tehničnih časov dela obeh operaterjev. V procesu montaže sta predvidena dva operaterja, pri tem se bodo montažne

operacije in preizkusi izvajali na petih delovnih mestih.

Vpenjalne priprave so konstruirane tako, da omogočajo rotacijo baznega dela in translacijo po valjčni progji. Dimenzije valjčne proge in postavitve zalogovnikov omogočajo obojerno delo na vsakem montažnem mestu. V montažni proces istočasno vstopita pilotno (iz transportnega vozička A na delovno mesto 1, slika 1) in glavno ohišje (iz transportnega vozička B na delovno mesto 2, slika 1). Obe ohišji predstavljata bazni del določenim operacijam montaže. Ko glavno ohišje prispe na delovno mesto 2, se izvede branje 2D-kode. Output odpre ustrezne programe vijačenja elektronskih vijačnikov, program kontrole prisotnosti in pozicije O-tesnil ter program končnega hidravličnega preizkusa (EOL test – End Of Line test) v skladu z zahtevami sestavne risbe. Pozicija 3 na sliki 1 predstavlja zračni test tesnjenja O-tesnil. Pozicija 4 na sliki 1 predstavlja preizkuševališče, na katerem poteka končni hidravlični preizkus. Na poziciji 5, slika 1, poteka zaščita končnega sestava. Ta je namenjena zaščiti med sledečim procesom barvanja. Izhod montažne celice pred-



Slika 1. Tloris montažne celice [1]

stavlja transportni voziček C, slika 1. Neustrezno vijačenje zahteva in predlaga korektorne ukrepe, sicer je nadaljnje vijačenje onemogočeno. Neustrezna pozicija oziroma odsotnost O-tesnil ob kontroli zahteva korekcije in ponovno kontrolo, sicer je transport baznega dela po valjni progi fizično onemogočen. Negativen hidravlični test javi napako, sestav se izloči iz procesa montaže in se na koncu delovnega naloga dodela na valjni progi. V vsakem primeru dodelave se podatki KO (neustrezno) in OK (ustrezno) beležijo zaporedno in se ne brišejo.

## 2.1 Branje 2D-kode

Branje 2D-kode se izvaja na poziciji 2 na sliki 1 in predstavlja začetek posameznega montažnega procesa. Podatki, ki so zabeleženi v 2D-kodi, omogočajo izbiro ustreznih programov vijačenja, strojnega vida ter testa EOL pri sledečih operacijah in ustrezno shranjevanje podatkov (slika 2).

2D-koda je vgravirana na pritrdilni površini glavnega ohišja. Vpenjalna priprava in konstrukcija valjčne proge omogočata branje kode s kamero, ki je nameščena pod valjčno progo. Tehnično rešitev v skladu

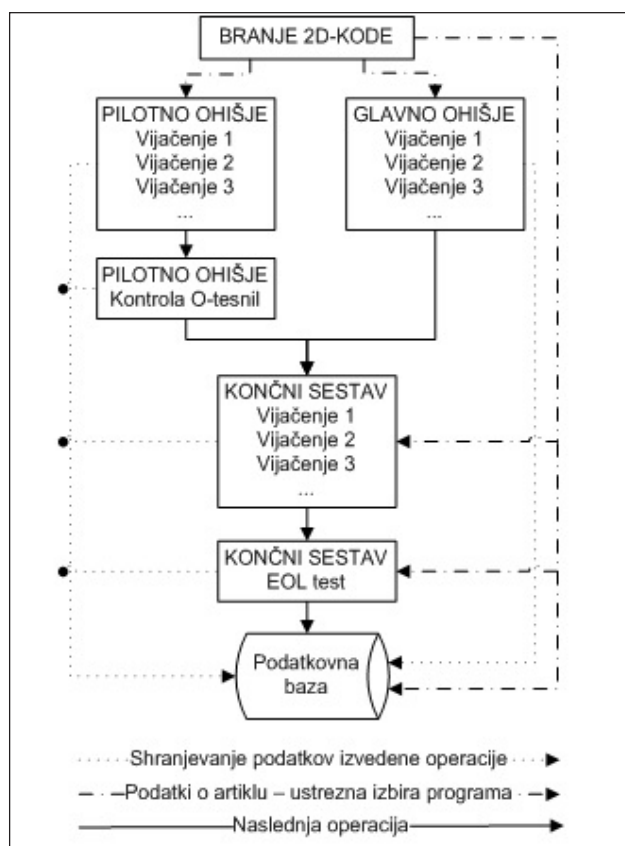
s splošnim tehnološkim nivojem in uveljavljenimi trendi tovrstne tehnologije je izdelalo podjetje Kolektor Orodjarna, PC Vision, ki je vodilni integrator optičnih sistemov v regiji in ponuja vrhunske rešitve strojnega vida. Tehnično rešitev tako predstavlja ustrezna oprema, ki omogoča kontrolo kakovosti gravure ter branje 2D-kode in je integrirana v informacijski sistem montažne celice (slika 3).

## 2.2 Testiranje elektronskih vijačnikov

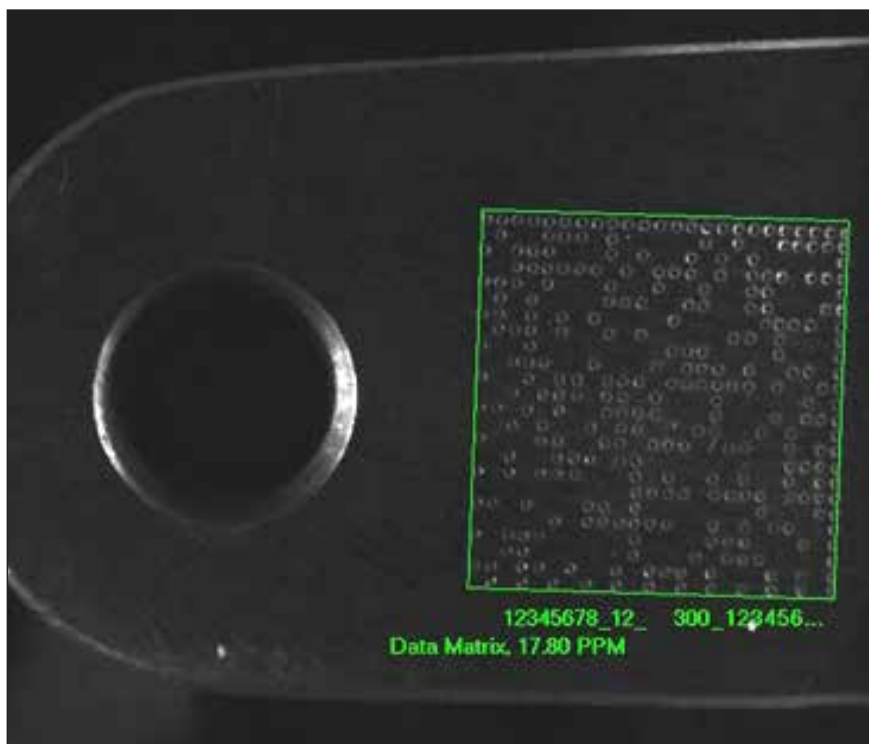
Glede na zahteve in potrebe montaže je podjetje DEPRAG, ki ga v Sloveniji zastopa Mb Naklo, predlagalo, predstavilo in testiralo vijačnik tipa 315EWT58-1200-E12. Vijačnik omogoča shranjevanje 15 različnih programov vijače-

nja in zagotovi razpon momentov od 20 do 100 Nm. Glede na to, da je potrebno zagotoviti moment 65 Nm, je vijačnik oblikovan tako, da se z njim upravlja obojerno, pri tem pa zagotavlja ergonomijo glede lastne teže in velikosti. Orientacija baznega dela je prepoznana z dvema induktivnima senzorjema. Z izbiro ustreznega orodja, ki ga predlaga program glede na pozicijo baznega dela, se izvajajo ustrezni parametri vijačenja. Ko so vsa vijačenja s čelne stranice baznega dela končana, program potrdi, da so bili vsi sestavni deli pravilno privijačeni in da se lahko nadaljuje naslednja operacija.

Kalibracijo vijačnika zagotavlja dobavitelj in je bila izvedena na treh etalonih z različnim nazivnim momentom. Na vsakem etalonu je bilo izvedenih 10 vijačenj. Standardna deviacija momentov vijačenja ne sme preseči maksimalne meje odstopanja 3 % nominalne vrednosti. Poročilo kalibriranja zagotavlja verodostojnost parametrov vijačenja in ustrezno ponovljivost, rezultati so podani v tabeli 1.



Slika 2. Shema shranjevanja podatkov med procesom montaže [1]



**Slika 3.** Branje vgravirane 2D-kode – test [2]

Kosovnica ventila, na katerem so se izvajali testi vijačenja, obsega 29 različnih sestavnih delov. Določene izvedbe ventila imajo nekoliko drugačno strukturo kosovnice, saj ventil omogoča več izvedb. V prispevku so predstavljeni rezultati vijačenja povratnega ventila.

Glede na priporočila in dosedanje izkušnje vijačenj z momenti je bil določen program vijačenja, ki zagotavlja ustrezno deformacijo tesnila in končni moment. Slika 4 predstavlja grafični prikaz procesa vijačenja povratnega ventila. Vijačenje se izvaja v dveh korakih. Prvi korak je namenjen privijanju matice povratnega ventila do sedeža izvrtine, pri tem pa ne sme doseči končnega zahtevanega momenta. Prvi korak tako zagotovi hitrost vijačenja 150 vrtljajev/min. Zelena krivulja na sliki 4 prikazuje linearno vijačenje do točke, ko matica povratnega ventila doseže sedež izvrtine. V tej točki pride do sunka, ki se izraža kot moment znotraj predpisanega tolerančnega polja 25–45 Nm. Drugi korak je namenjen doseganju končnega momenta in na sliki 4 predstavlja drugi maksimum na krivulji momentov (rdeča krivulja). Nadzorovani čas je prav tako 5000 ms, vijačenje se iz-

vaja počasneje, in sicer s 40 vrtljaji/min. Ko vijačnik doseže moment 65 Nm ( $\pm 5\%$ ), zagotovi postopno zavrtavljanje vijačenja v 100 ms.

Za statistično vrednotenje procesa vijačenja je bilo izvedenih 50 vijačenj na isti poziciji. Vijačenje je bilo izvedeno na primeru vijaka, ki mora biti privijačen s 35 Nm. Histogram meritev in x-kontrolno karto prikazuje slika 5. Dosežene so bile standardna deviacija 0,85 %, visoka spo-

**Tabela 1.** Meritve in rezultati kalibracije vijačnika [3]

Nominalna vrednost [Nm]	24	72	120
Merjena vrednost 1 [Nm]	24,82	70,89	119,2
Merjena vrednost 2 [Nm]	25,28	71,31	118,9
Merjena vrednost 3 [Nm]	25,55	70,85	118,94
Merjena vrednost 4 [Nm]	24,73	71,91	118,34
Merjena vrednost 5 [Nm]	24,46	72,82	119,4
Merjena vrednost 6 [Nm]	24,82	71,61	120,16
Merjena vrednost 7 [Nm]	25,06	72,37	120,76
Merjena vrednost 8 [Nm]	25,09	70,55	121,83
Merjena vrednost 9 [Nm]	24,52	70,7	119,7
Merjena vrednost 10 [Nm]	25,31	71,31	120,92
Povprečje	24,96	71,43	119,82
Standardna deviacija	0,36	0,75	1,09
Standardna deviacija [%]	1,42	1,05	0,91
Deviacija (nominalna: <3 %) [%]	0,8	0,47	0,15

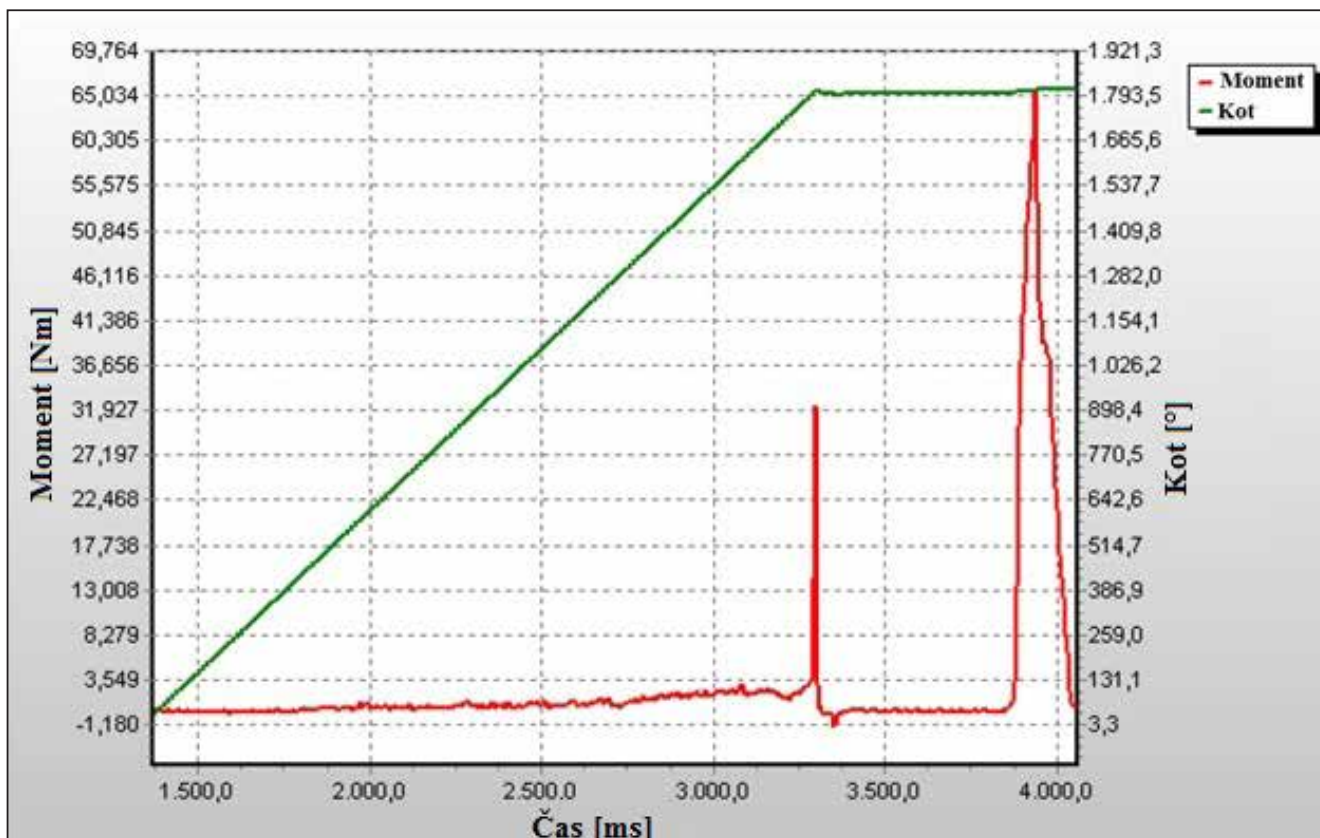
sobnost in uspešnost vijačnika  $C_m = 2,75$  in  $C_{mk} = 2,7$ .

### 2.3 Kontrola O-tesnil s strojnim vidom

Montaža oziroma vstavljanje O-tesnil poteka na montažnem mestu 1 (slika 1). Pri montaži je pozicija baznega dela vedno enaka. Montaža O-tesnil zahteva nanos olja na sedeže izvrtin. Površina kosa tako ostane mastna tudi ob montaži v končni sestavi, debelina sloja je zaradi ročnega nanosa neenakomerna.

Za ustrezno delovanje končnega sestava sta potrebni prisotnost in pravilna vstavljenost vseh O-tesnil. Pravilna vstavljenost pomeni ustrezno učvrščenost O-tesnila v sedež posamezne izvrtine. Posledica nepravilne vstavljenosti je poškodba oziroma ukleščenost O-tesnila med montažo končnega sestava. Večje poškodbe oziroma ukleščenosti se odkrijejo med zračnim in EOL-testom (poziciji 3 in 4 na sliki 1) in zahtevajo popravilo. Manjše poškodbe oziroma ukleščenost niso ugotovljene z omenjenimi testi, temveč se v obliki zunanjega puščanja izkažejo šele po daljšem delovanju ventila.

Za zagotavljanje učinkovite montaže je potrebna 100-odstotna kontrola prisotnosti in pravilne vstavljenosti O-tesnil. Tako kot pri branju



Slika 4. Grafično spremljanje parametrov vijčenja [3]

vgravirane 2D-kode je tehnično rešitev v skladu s splošnim tehnološkim nivojem in uveljavljenimi trendi tovrstne tehnologije izdelalo podjetje Kolektor Orodjarna, PC Vision. Poleg že omenjenih pogojev oziroma zahtev montažnega procesa predstavlja konstrukcija montažne celice, ki zagotavlja pozicijo

baznega dela v smeri x, y ( $\pm 5$  mm) in ponovljivost nagiba baznega dela ( $\pm 0,5^\circ$ ), določene omejitve pri izbiri optičnih elementov. Podjetje Kolektor Orodjarna, PC Vision je glede na obstoječe stanje, torej dane pogoje, ki jih ponujata montažni proces in konstrukcija montažne celice, predlagalo opremo ter izdelalo preiz-

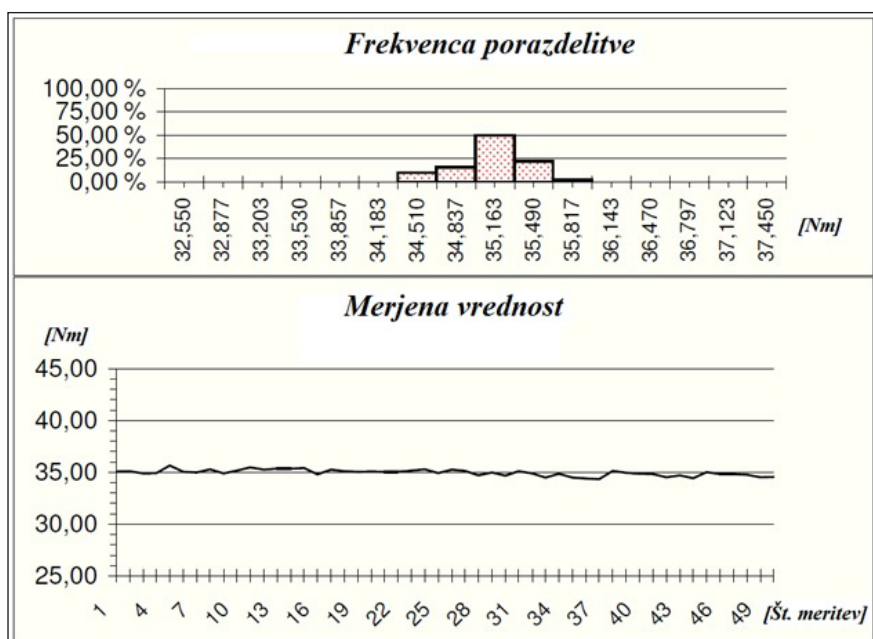
kuševališče (slika 6). Preizkuševališče je zagotavljalo testiranje zaznavanja vseh znanih in določenih preventivnih napak, ki se lahko pojavijo ob montažnem procesu.

S testiranjem in usklajevanjem zahtev naročnika je bila definirana izvedba programske opreme »na ključ«. Takšna izvedba omogoča naročniku prilagajanje ključnih parametrov za detekcijo napak in spremembo tolerančnih meja.

Ob sami implementaciji predstavljene 100-odstotne kontrole so predvidena testiranja za potrditev robustnosti delovanja: celotne opreme, periferije in komunikacij ter ciklov delovanja. Pred prevzemom je predvideno poskusno obratovanje, torej zbiranje slik in rezultatov meritev ter optimizacija optičnega sistema.

### 2.3 EOL-test

Preden končni sestav zapusti montažni proces, je potrebna 100-odstotna kontrola delovanja. V celici je predviden avtomatski hidravlični preizkus. Pred začetkom izvajanja operacije mora operater nastaviti

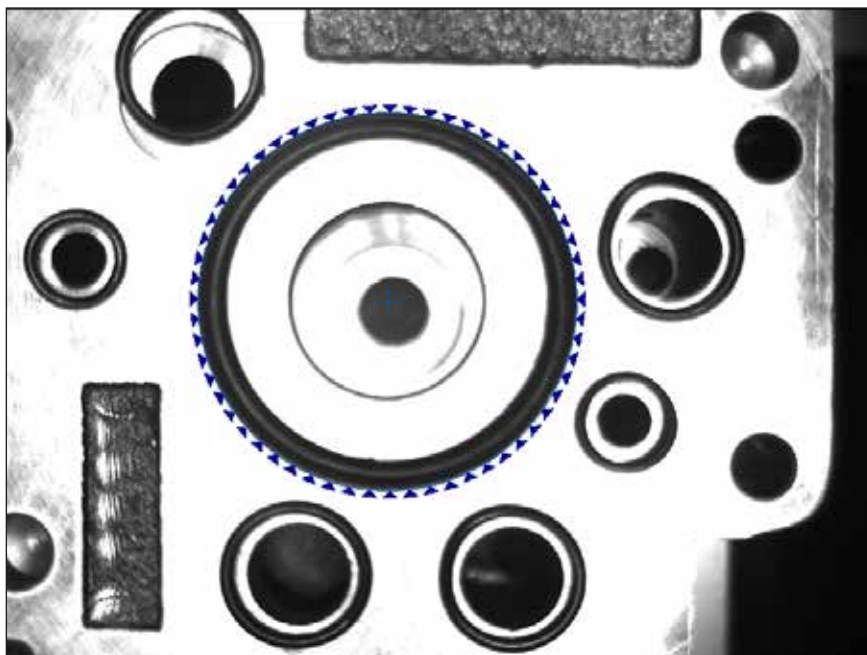


Slika 5. Poročilo statističnega vrednotenja procesa [3]

priklope, krmilje preizkuševališča pa preveri ustrezno delovanje komponent in končnega sestava v skladu s predpisanim protokolom testiranja. Preizkuševališče je še v fazi konstrukcije in bo v celoti konstruirano in izdelano v podjetju Poclain Hydraulics, d. o. o. Omenjeno podjetje ima z gradnjo avtomatskih preizkuševališč izkušnje in se tako lažje prilagaja ostalim aplikacijam, ki so predvidene znotraj montažne celice. Status opravljenega preizkusa bo zabeležen v obliki standardnega poročila, ki je prikazan v *tabeli 2*, in bo arhiviran za vsak preizkušane posebej.

### ■ 3 Zaključek

V prispevku je predstavljen koncept montažnega procesa, ki je bil razvit



Slika 6. Primer kontrole večjega O-tesnila [2]

Tabela 2. Status opravljenega preizkusa avtomatskega končnega hidravličnega testa [1]

Št. vrstice	Zapis
Vrstica 01	Serijska številka
Vrstica 02	Zaporedna številka
Vrstica 03	Kontrola CHECK (C) 1 = OK, 2 = KO; -1 = neizvedeno
Vrstica 04	START datum & čas Preizkuševališče TEST BENCH (TB)
Vrstica 05	1 = OK, 2 = KO; -1 = neizvedeno
Vrstica 06	END datum & čas Preizkuševališče TEST BENCH (TB)

za potencialno serijsko proizvodnjo. Uspešno sodelovanje in izkušnje zunanjih izvajalcev in naročnika

omogočajo implementacijo, nadgradnjo in vzdrževanje inteligentnih vložkov zagotavljanja kakovosti vse

od laboratorijskih testiranj oziroma prototipne delavnice do aplikacije v realnosti. V primeru pilotne implementacije montažnega mesta je s strani naročnika nujno potrebno posvečanje posebne pozornosti in poznavanje detajlov, saj služi kot vodilo in zgled definiranju montažnih procesov v prihodnosti.

### Viri

- [1] Arhiv Peter Eniko, Poclain Hydraulics, d. o. o., 2013.
- [2] Poročilo testiranja, Matej Logar, Kolektor Orodjarna, PC Vision, 2013.
- [3] Poročilo testiranja, Daniel Guttemberg, DEPRAG SCHULZ GMBH u. CO., 2013.
- [4] Niko Herakovič: Strega in montaža, zapiski predavanj, 2011.

### Quality assurance and product traceability with the introduction of intelligent inputs

**Abstract:** The purpose of this paper is to present the concept of a manual assembly process that together with intelligent inputs, physical assembly cell construction, and the usage of assembly process valuation methods ensures the quality and traceability of products, ergonomics, productivity and safe working conditions. Electronic screwdrivers, the reading of the 2D code that is engraved on a subassembly, and the use of machine vision are intelligent inputs that are going to be implemented for the first time in the company Poclain Hydraulics d.o.o. After acquiring experience in this area, some intelligent inputs are going to be expanded to other prefabricated assembly cells as well.

**Key words:** traceability, electronic screwdrivers, machine vision, manual assembly