

# Robotsko sestavljanje sklopa ventilatorskega grelca

Jure REJC, Franci KOVAČIČ, Andrej GRAH, Marko OBID, Ciril POŽENEL, Marko MUNIH

**Izvleček:** Med mnogimi vgradnimi komponentami za belo tehniko podjetje ETA Cerčno, d. o. o., izdeluje tudi električne grelce različnih tipov, ki se razlikujejo po obliki in moči. Za tipe, ki se izdelujejo v večjih količinah, so v proizvodnem procesu vpeljane namenske proizvodne linije. Za izdelavo pečniškega ventilatorskega grelca sta vpeljani kar dve identični liniji, ki sta, razen v zadnjem sklopu, povsem avtomatski. V ročnem delu proizvodne linije delavec grelec najprej vstavi v paletu in zatem objemke in fiksirne ploščice. Tako opremljena paleta potuje v sklepno fazo proizvodnje. Za avtomatizacijo ročnih delovnih mest je bil izveden in testiran prototip. Rezultati testiranja temeljijo na večjem številu preizkušenih grelcev, kar je pokazalo, da sta spremenjen vrstni red proizvodnih faz in celoten koncept dela ustrezna.

**Ključne besede:** električni grelec, robotsko sestavljanje, industrijska proizvodnja

## ■ 1 Uvod

Podjetje ETA Cerčno, d. o. o., je med največjimi svetovnimi proizvajalci vgradnih komponent za belo tehniko. V svojem proizvodnem programu imajo mehanske termostate, grelne plošče in tudi cevne električne grelce.

V segmentu električnih grelcev izdelujejo okrog 600 različnih tipov, in to nekaj milijonov na letni ravni. Tipi grelcev se razlikujejo po obliki, namenu uporabe, moči in po tem, ali z njimi grejemo tekočine ali zrak.

Med velikim številom različnih tipov grelcev je kar nekaj takih, ki se izdelujejo v velikih količinah. Za njihovo izdelavo je smotrna vpeljava namen-

Dr. Jure Rejc, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko; Franci Kovačič, univ. dipl. inž., Andrej Grah, univ. dipl. inž., Marko Obid, univ. dipl. inž., Ciril Poženel, univ. dipl. inž., vsi ETA Cerčno, d. o. o., Cerčno; prof. dr. Marko Munih, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko

skih proizvodnih linij, ki zmanjšajo strošek [1] izdelave ter pospešijo delovni proces.



**Slika 1.** Pečniški ventilatorski grelec

Slednje velja tudi za pečniški ventilatorski grelec, moči 2100 W (slika 1). Zanj sta namenjeni kar dve proizvodni liniji, ki sta skoraj povsem avtomatizirani, le del, kjer se grelec vloži v paletu, namestijo distančniki oz. objemke in namestijo nosilne ploščice, je neavtomatiziran. V tej delovni fazi delata dva delavca v več izmenah na posamezni proizvodni liniji, zato je smiselno ta del linije avtomatizirati.

Pri avtomatizaciji ročnega procesa se je potrebno zavedati nekaterih specifičnih lastnosti grelca. Predvsem gre izpostaviti njegove vzmetne lastnosti, ki lahko onemogočajo vlaganje grelca v paletu. Poleg tega so vsi drugi sestavni deli izdelani z mehanskim sekanjem. Ta postopek

ne zagotavlja ponovljivo izdelanih sestavnih delov, kar lahko povzroči težave pri avtomatizaciji.

## ■ 2 Ročne faze dela

V ročni del proizvodne linije grelec prispe kot zaključen grelni element. Opremljen je z električnimi kontakti in prirobnico, manjkajo pa elementi za vgradnjo v pečico. Slika 2 kaže paletu, ki se uporablja v zadnjih fazah sestave.

V tri ležišča na paleti delavec najprej vstavi tri enake objemke, ki so v obliki dvojne črke U (slika 3). Objemke s svojo obliko definirajo razdaljo med cevoma grelca, izdelane pa so iz nerjavečega jekla, ki je delno feromagnetno.

Zatem delavec vstavi grelec v paletu (slika 4), da njegove cevi pravilno sedejo v ležišča na paleti. Nekatere grelce zaradi vzmetnih lastnosti in nepravilne oblike delavec težko vstavi v paletu, zato jih izloči. Ostale s fizično manipulacijo in z rotacijo objemk dimenzijsko uredi (slika 5).

Ko je grelec dimenzijsko urejen, sledi ročno vstavljanje dveh ravnih in ene ukrivljene pritrdilne ploščice v utore ležišč, zatem pa sledi avtomatski

transport celotne palete v postajo za avtomatsko točkanje objemk ter pritrdilnih ploščic in električno preverjanje karakteristik grelca. En delavec potrebuje za vse opisane faze 15 sekund, zato paralelno delata dva, saj je cikel ostalih avtomatskih faz dobrih 7 sekund.

### ■ 3 Avtomatizacija procesa

Pri vsaki avtomatizaciji delovnega procesa je potrebno zagotoviti stabilno delovanje v daljšem časovnem obdobju [2]. Zato je potrebno izvesti mnogo testiranj z dejanskimi izdelki, po možnosti celo izdelati prototip naprave, kar smo storili tudi mi. Zahteva po skrajšanju cikla dela v ročni fazi nas je vodila v delitev dela na dve paralelni avtomatski delovni mesti, kjer smo predvideli delo dveh robotov. V prvi bi v paleto s prvim robotom vstavili grelec in objemke, v drugi pa z drugim robotom nameščali pritrdilne ploščice.

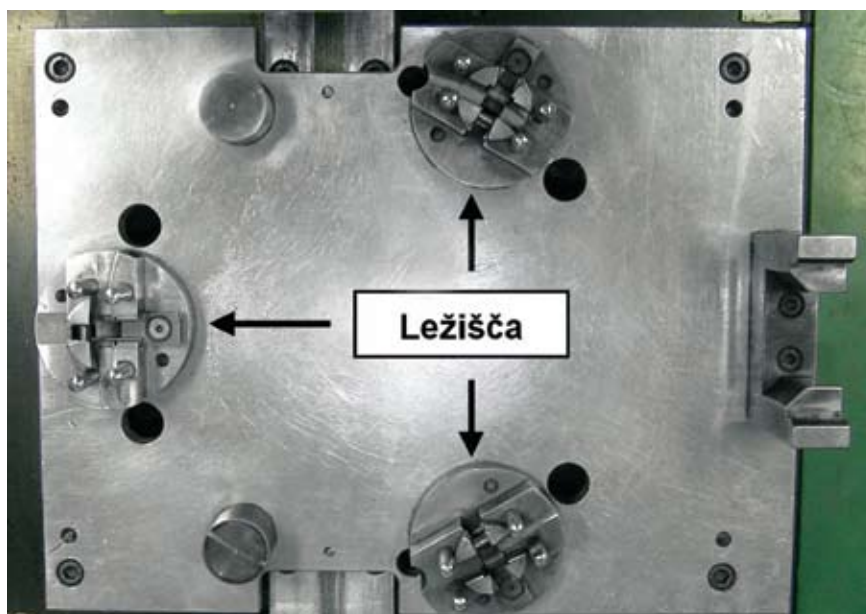
#### Robotsko vstavljanje pritrdilnih ploščic

Najprej smo testirali avtomatizacijo vstavljanja pritrdilnih ploščic (slika 6) v utore palete. Uporabili smo 4-osni robot Epson E2S651 z nameščenim vzporednim pnevmatskim prijemalom UNI-AIR HDK-20 z dvema prstoma. Prijemalo omogoča razpon prstov 9 mm in silo stiska 35 N.

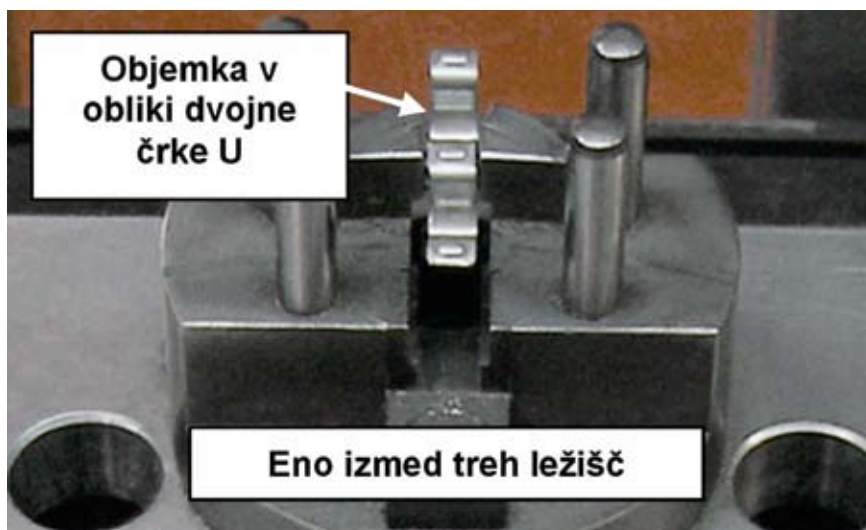
Za nameščanje dveh ravnih ploščic v dva utora ležišč na paleti, ko je grelec dimenzijsko že urejen z objemkami, povsem zadostuje dvoprstno prijemalo. Tretja pritrdilna ploščica pa je večja in na spodnjem delu ukrivljena, zato je bilo potrebno prijemalo opremiti z dvema vakuumska priseskoma za stabilen prijem (slika 7). Ta dva priseskoma sta držala ploščico pod kotom 90° glede na prijem s prstoma.

#### Avtomatsko nameščanje objemk in robotsko vstavljanje grelca v paleto

Vstavljanje pritrdilnih ploščic ni pomenilo velikega izziva, saj je opravilo preprosto. Največji izziv avtomatizacije delovnega procesa je bilo nameščanje objemk, vstavljanje grelca



Slika 2. Prazna paleta



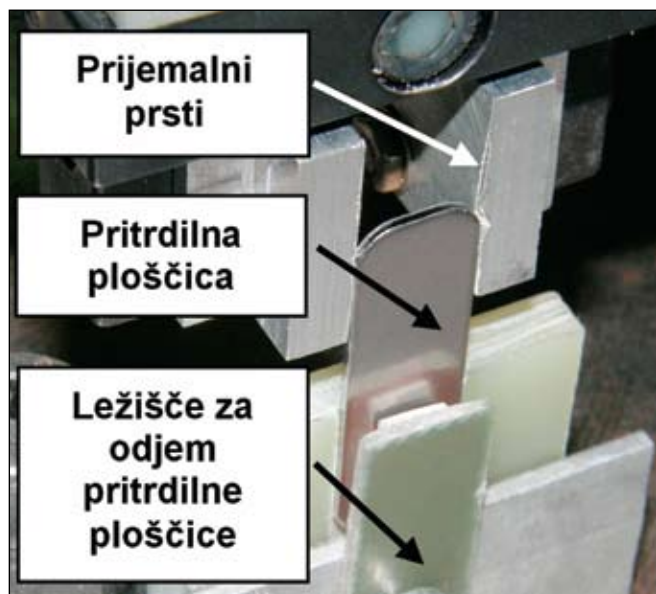
Slika 3. Objemka, nameščena v ležišče



Slika 4. Grelec, vstavljen v ležišča na palet



Slika 5. Objemka določa razdaljo med cevema



Slika 6. Odjemno mesto za ravne ploščice

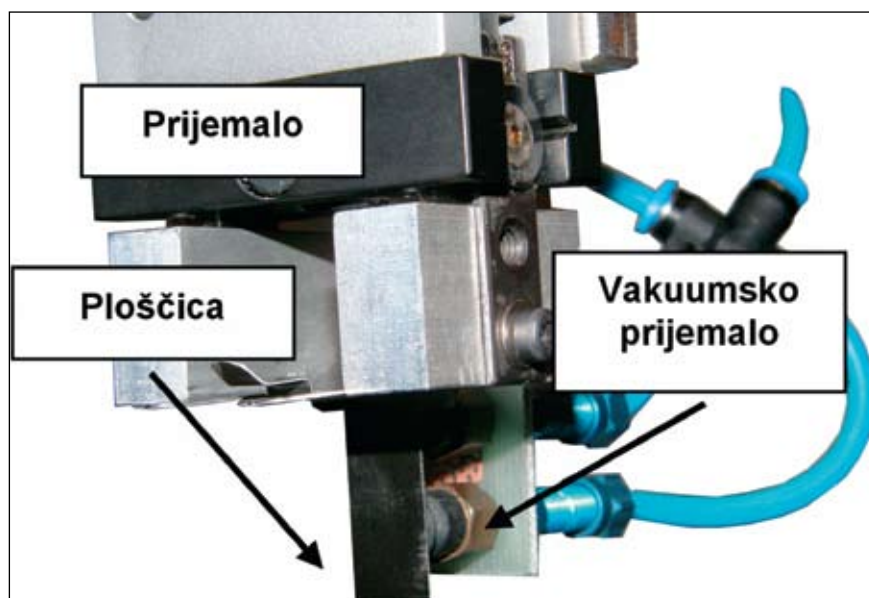
v paleto ter njegova dimenzijska ureditev z objemkami. Ker delovno mesto ni povsem na koncu proizvodne linije, ni bil dovoljen nikakršen znaten poseg v obliko in vpetje na paleti. Po tehtnem premisleku smo zasnovali prototip za izvedbo del, kot je predstavljen v nadaljevanju.

Testni sistem za dimenzijsko ureditev grelca sestavljajo (slika 8): 6-osni robot Epson PS3, triprstno prijemalo na robotu za prijem grelcev, distančniki za ureditev grelca po višini, V-lijak za ohranitev lege grelca (slika 10) in sistem za nameščanje objemk. Delovno mesto s paletto na sliki 8 ni vidno. Slika 9 kaže detajle sistema za dimenzijsko ureditev grelca. Vidimo dva od treh prijemalnih prstov z označeno smerjo gibanja, pritrisno ploščo in dva od štirih distančnikov za ureditev grelca po višini.

Najprej smo grelce namestili v delovno mesto za dimenzijsko urejanje. Cevi grelca smo potisnili v

V-lijak (slika 10), kar zagotavlja zadovoljivo pozicioniranje grelca. Da je grelec resnično pravilno pozicioniran, je potrebno zagotoviti ponovljive dimenzije grelca, kar pa je naloga predhodnih proizvodnih faz. Pri testiranjih smo postopek opravili ročno, kar pa je v proizvodnji potrebno avtomatizirati. Ta del avtomatizacije ni problematičen,

saj grelci do te delovne faze prispeljo urejeni po tekočem traku. Z njega bi jih pobirali z ustreznim mehanizmom, ki bi jih vlagal v mesto za dimenzijsko urejanje. V V-lijak bi jih potisnili s pnevmatskim cilindrom.



Slika 7. Prijemalo za ukrivljene ploščice

Sledi vertikalni gib robota navzdol (1) tako, da pritrisna ploščica prijemala stisne spodnjo cev grelca (2) ob podlago (slika 11). Štirje pnevmatski cilindri med spodnjo in zgornjo cev grelca potisnejo distančnike (1), zatem pa robot z dodatnim vertikalnim gibom (2) pritrisne zgornjo cev grelca do prave dimenzije (slika 12).

V tem trenutku je grelec dimenzijsko vertikalno poravnal in sledi prijem cevi grelca s triprstnim prijemalom na robotu. S tem grelec poravnamo še v horizontalni ravnini. Prijemalo ima nameščene tri posebne prste z utori, ki ravno zaobjamejo cevi (slika 13). Ti prijemalni prsti so med seboj zamaknjeni za kot  $120^\circ$ . Ko je grelec prijeto, umaknemo distančnike.

Sledi nameščanje objemk, ki je izvedeno s sistemom pnevmatskih cilindrov. Ti omogočajo rotacijo za  $\pm 120^\circ$  in vertikalni ter horizontalni premik. Na sliki 14 so s puščicami označene prostostne stopnje mehanizma.

Prototip ni imel izvedenega popolnoma avtomatskega nameščanja objemk, saj je bilo potrebno namestiti objemko v ustje mehanizma za držanje objemk ročno, kar pa je potrebno v procesu realizacije avtomatizirati. Ta del avtomatizacije bi bil izveden s saržerjem za objemke, iz katerega bi sistem za nameščanje objemk te pobiral.

Da objemka stoji v ustju za držanje objemk, je imelo ustje majhne luknje, skozi katere smo ustvarjali vakuum in tako utrdili objemko v fazi transporta do pozicije za njeno nameščanje na cevki. Po ročni namestitvi objemke v ustje za držanje objemk je sistem za nameščanje objemk najprej z rotacijo ( $0^\circ$ ,  $-120^\circ$  ali  $+120^\circ$ ) zagotovil pravo pozicijo glede na pozicijo nameščanja objemke, nato pa z vertikalnim gibom navzgor in horizontalnim gibom v smeri cevk potisnil objemko na cevki grelca. Prijemalni prsti so bili konstruirani tako, da so imeli točko prijema v sredini namestitvene pozicije za objemke.

Prijemalni prsti so imeli vgrajena tudi dva močnejša trajna magneta, ki sta zagotovila, da objemke med transportom v paletu niso izpadle s cevk grelca (slika 15).

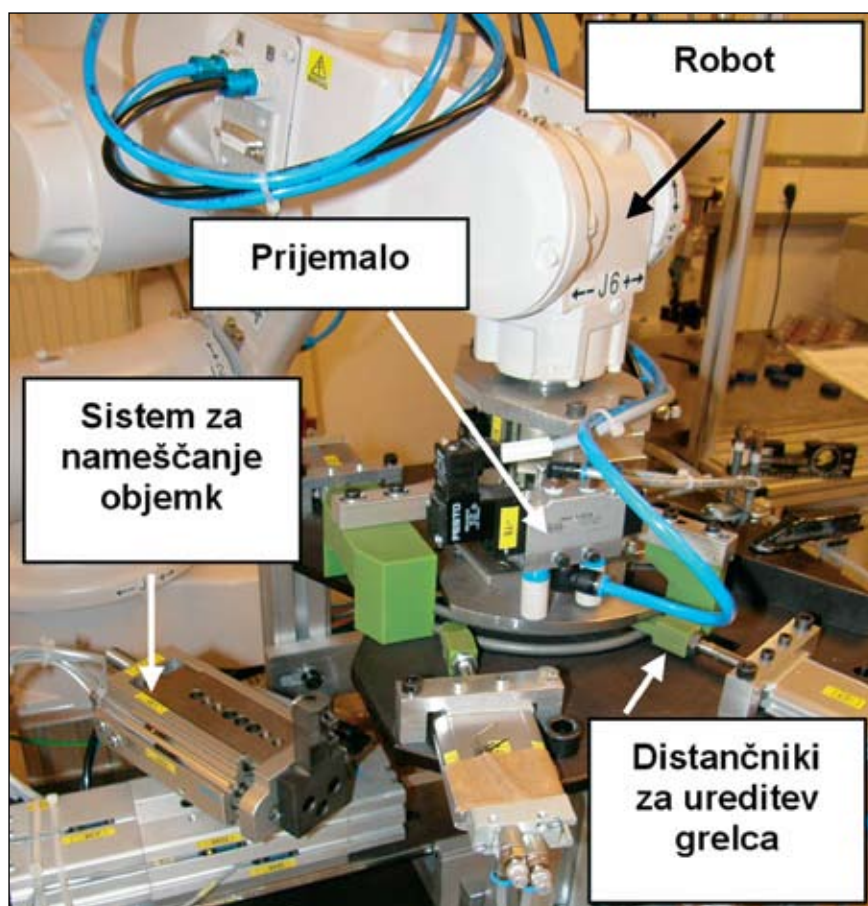
Prijeti grelec z nameščenimi objemkami je robot nato dvignil z mesta za dimenzijsko urejanje grelca in nameščanje objemk ter ga prenesel neposredno v paletu (slika 16). Na ta način smo združili prvo in drugo fazo dosedanjega ročnega dela.

Grelec zaradi svoje geometrije in uporabljenega materiala deluje kot vzmet, zato je bilo v nekaterih primerih grelec nemogoče potisniti v paletu. Ker ob tem nastanejo večje vertikalne sile, smo v fazi testiranja za zaustavitev robota v taki situaciji uporabili funkcijo prekoračitve največjega dovoljenega navora motorjev posameznega sklepa robota. V praksi se v takih primerih velikokrat uporabljajo senzorji sil in navorov [3] ter pnevmatsko-mehanski sklopi [4]. V našem primeru bi zadostovala uporaba pnevmatsko-mehanskega elementa med vrhom robota in namenskim triprstnim prijemalom.

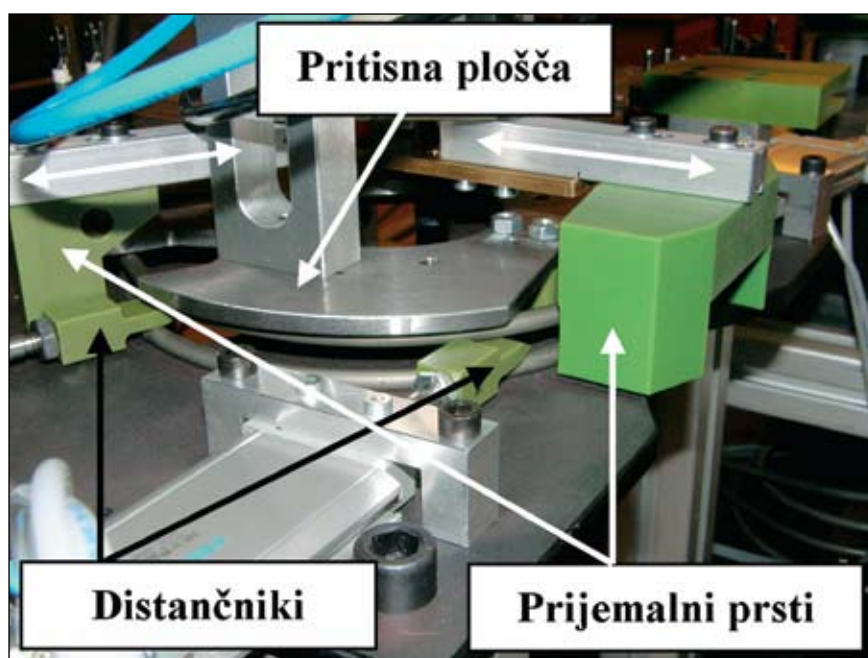
#### ■ 4 Metodologija testiranja

##### Robotsko vstavljanje pritrdilnih ploščic

Pri testiranju robotskega vstavljanja dveh ravnih ploščic v utora dveh ležišč na paletu smo uporabili tri grel-



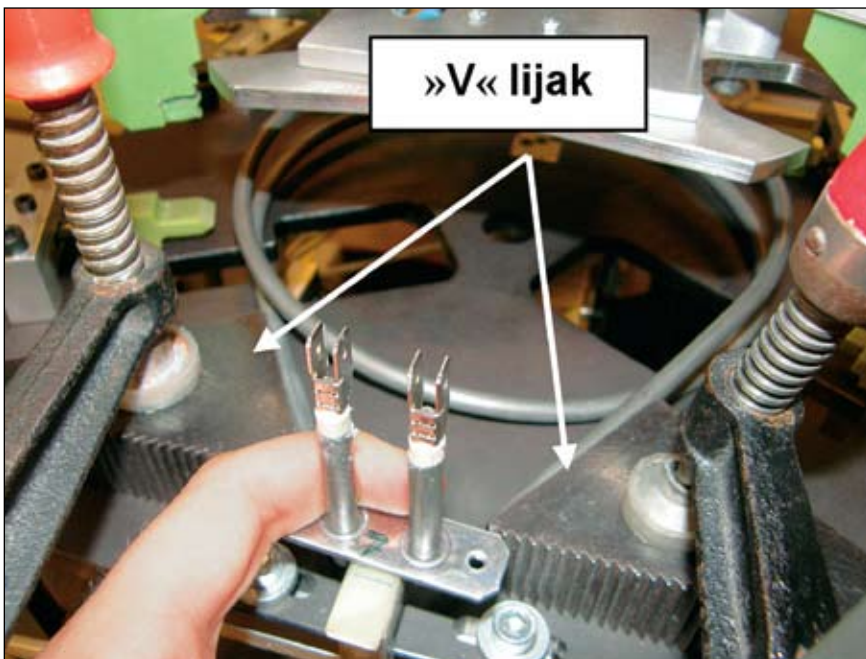
Slika 8. Testni sistem za dimenzijsko urejanje grelca



Slika 9. Sistem za dimenzijsko urejanje grelca

ce. Te smo izmenično vstavljali v paletu in s tem spreminjali pogoje za vstavljanje ploščic. Vse tri grelce smo ob namestitvi v paletu opremili z objemkami, da smo ustvarili realne pogoje pri vstavljanju ploščic.

Uporabili smo 40 ravnih ploščic, kar pomeni 20 ploščic na utoro ležišča. Če pa gledamo s stališča menjave grelcev v paletu, smo na ta način preizkusili vsaj 120 različnih situacij vstavljanja.



**Slika 10.** Nameščanje grelca v prototip

Pri testiranju robotskega vlaganja ukrivljene ploščice v ustrezen utor ležišča palete smo imeli na razpolago 62 ukrivljenih ploščic. Ker je ploščica na spodnjem delu nekoliko ukrivljena, je ne moremo neposredno vstaviti v utor ležišča na paleti. Zato je potrebno grelec na tem delu nekoliko privzdigniti. To smo storili s trikotno klado, ki smo jo vstavili pod spodnjo cev grelca. S primikom te klade za določeno razdaljo, ki je bila fizično omejena, smo dvignili grelec. To smo storili za vsako ponovitev vstavljanja. Pri teh testih smo uporabili samo en grelec.

Avtomatsko nameščanje objemk in robotsko vstavljanje grelca v paletu. Za sklepno preverjanje pravilnosti delovanja prototipnega sistema za nameščanje objemk in vlaganje grelca v paletu skupaj z objemkami smo uporabili 165 grelcev. Ti so bili povsem naključno odvzeti iz proizvodne linije, zato je bila njihova geometrija različna. Poskusi so potekali tako, da smo v V-lijak ročno vstavili grelec in zagnali program za vodenje robota. Ta je preko digitalnih vhodov in izhodov robotskega krmilnika krmilil tudi vse pnevmatske cilindre v sistemu in spremljal stanja senzorjev premika posameznih cilindrov. Vse objemke smo ročno namestili v ustje sistema za nameščanje objemk. Končni rezultat pravilne vložitve grelca skupaj

z objemkami v paletu smo preverili vizualno.

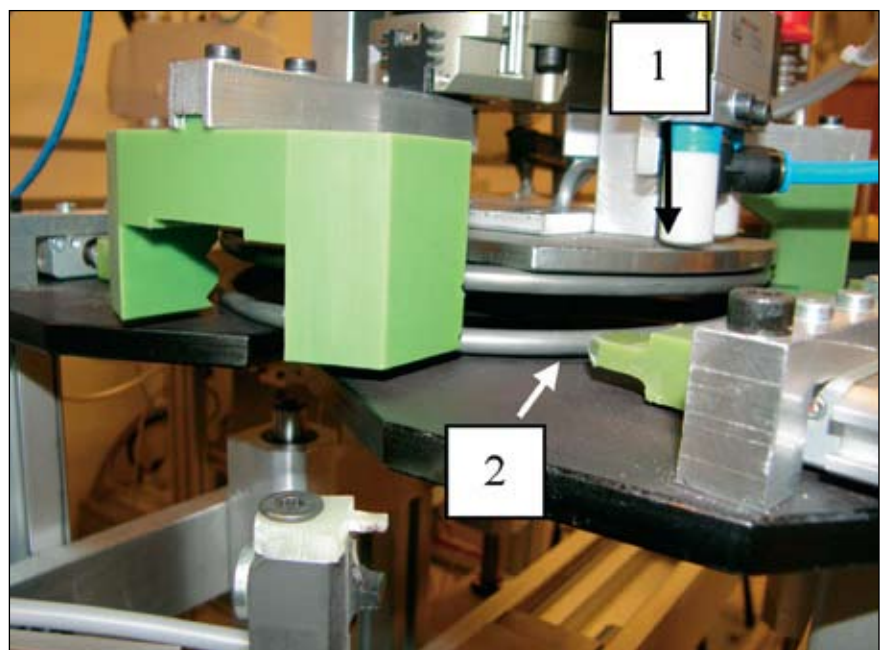
Testiranje je potekalo v več fazah, predstavljamo pa samo zadnji sklop testiranja. Predhodne faze smo namreč uporabili za večje izboljšave sistema. Največ sprememb so bili deležni prijemalni prsti prijemala, saj so bili sprva ravni, brez utorov za cevki grelca in tudi trajni magneti so bili vgrajeni naknadno. V sklepnih fazi testiranja smo 85 grelcev uporabili za vpeljavo drobnih izboljšav,

med katerimi izpostavimo spremembo vrstnega reda nekaterih opravil, predvsem v fazi geometrijskega definiranja grelca z robotom. Nadaljnjih 80 grelcev smo uporabili za končni test prototipnega sistema. Zaradi ročnega nameščanja objemk v ustje sistema za avtomatsko nameščanje objemk na ta način nismo mogli neposredno izmeriti časa celotnega opravlila. Tako smo lahko podali le okvirno oceno, ki je temeljila na izkušnjah konstruktorjev podjetja ETA Cerklno, ki so podali okvirne čase avtomatskega nameščanja objemk v ustje za posamezno objemko.

## ■ 5 Rezultati testiranja s prototipom

### Robotsko vstavljanje pritrdilnih ploščic

Pri testiranju vstavljanja ravnih ploščic se je pokazalo, da je vstavljanje na predlagani način zelo uspešno, saj je bilo izmed 120 poskusov 116 ploščic uspešno vloženi, 4 pa so bile neuspešno vstavljene. Rezultati so podani v tabeli 1 in na grafu 1. Razlog za neuspešna vstavljanja je predvsem nepravokoten prijem ploščice, zato je ta ob poskusu vstavljanja v utor zadela ob rob utora ter tako izpadla iz prijemala. Težavo bi rešili z bolj izdelanim odjemnim



**Slika 11.** Dimenzijska ureditev grelca po višini

mestom za oba tipa ploščic, z bolj oblikovanimi prijemalnimi prsti za ploščice ter rahlim odprtjem ustja utorov palete, na kar je pristal tudi naročnik testiranja.

V tabeli 1 in na grafu 1 podajamo tudi rezultate poskusov vstavljanja ukrivljene ploščice. Rezultati kažejo popoln uspeh pri vlaganju te ploščice. Kljub dobri rezultatu je bil naš predlog, da se tudi pri tem utoru malce odpre ustje. Sam način prijema pa naj bo enak, kot smo ga imeli pri testiranjih.

Poleg uspešnosti vstavljanja obeh tipov ploščic smo opravili tudi časovno analizo opravila. Testi so pokazali, da je potreben čas za namestitev ene ploščice, skupaj s časom gibanja robota, okrog 3 sekunde. To pomeni, da je v končni izvedbi potrebno izdelati trisegmentno prijemalo, ki bi ob pričetku dela prijelo vse tri ploščice hkrati, zatem pa postopoma vstavljalo eno po eno. S tem bi celoten cikel opravila trajal med 5 in 7 sekund, kar je bil tudi najdaljši dovoljeni čas na enem izmed dveh paralelnih delovnih mest.

### Avtomatsko nameščanje objemk in robotsko vstavljanje grelca v paleto

Testi na prvih 85-ih grelcih so pokazali, da je glavna težava nameščanje objemk, saj jih mehanizem prijemala objemk ob natikanju na cevi ob umiku delno potegne nazaj. Če se je zgodilo to, ko smo jih hoteli skupaj z grelcem potisniti v paleto, je bil rezultat zvita objemka. Take primere kaže slika 17.



Slika 17. Zvite objemke

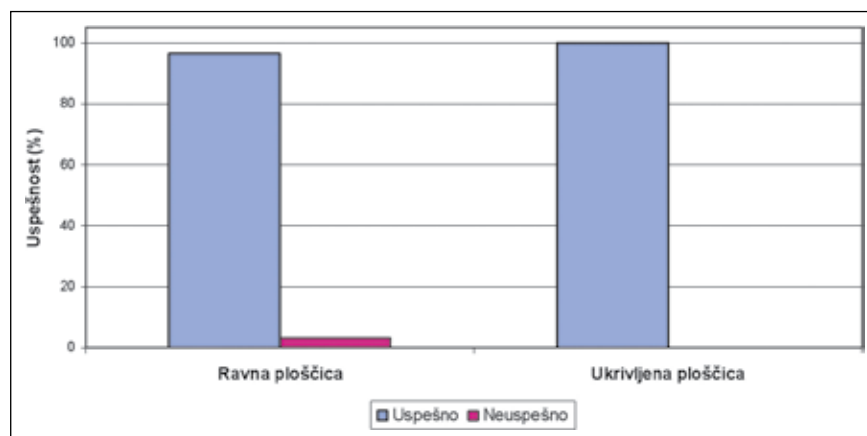
Težavo smo odpravili z odstranitvijo spodnjega kraka prijemala objemk, obenem pa smo zgornji del dodali. Izboljšavo kaže slika 14 zgoraj. Na nadaljnjih 80-ih grelcih smo spre-

membo testirali in omenjena težava se ni nikoli več ponovila.

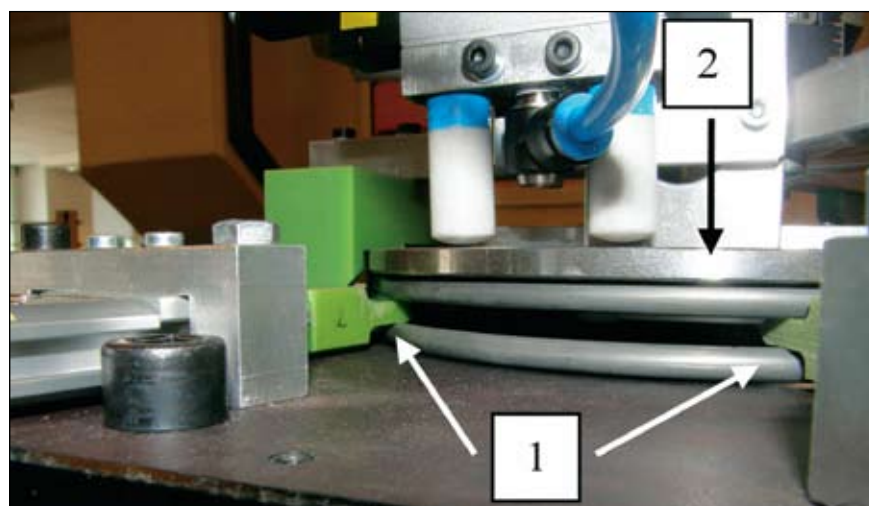
Zaradi ročnega nameščanja objemk smo čas izvedbe lahko le okvirno izmerili. Izmerili smo čas od odmika distančnikov med cevema grelca do vstavljanja in izpuščanja grelca v paleto. Ta čas je bil 3,8 sekunde, kar pomeni, da so za nameščanje objemk ostale 3 sekunde. Zaključek je bil, da je potrebno vse tri objemke namestiti istočasno, za kar bi bilo potrebno spremeniti dosedanji mehanizem. Nov mehanizem bi istočasno nameščal objemke s tremi kraki mehanizma, med katerimi je kot 120°.

Tabela 1. Vstavljanje ploščic

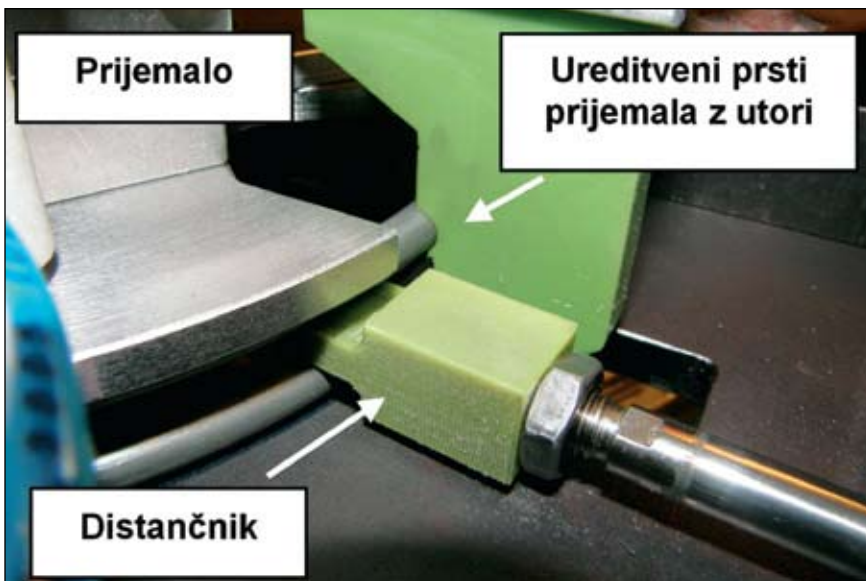
	Ravna ploščica	Ukrivljena ploščica
Št. komadov	120	62
Uspešno	116	62
Neuspešno	4	0



Graf 1. Vstavljanje ploščic



Slika 12. Končna dimenzijska ureditev grelca po višini



Slika 13. En krak prijemala za prijem cevi grelca



Slika 14. Sistem za nameščanje objemk

je zadeval vlaganje grelca v paleto in nameščanje objemk za dimenzijsko ureditev grelca. Za namen preizku-

sov smo načrtali in izdelali prototip, ki smo ga med testiranjem dopolnjevali. V prototipnem sistemu je

6-osni robot z ustreznim triprstnim prijemalom za stisk in prijem grelca, da se dimenzijsko uredi, zatem pa avtomatsko namestijo tri objemke. Tako prijet in z objemkami opremljen grelec robot odnese in vstavi v paleto, temu pa sledi operacija vstavljanja ploščic.

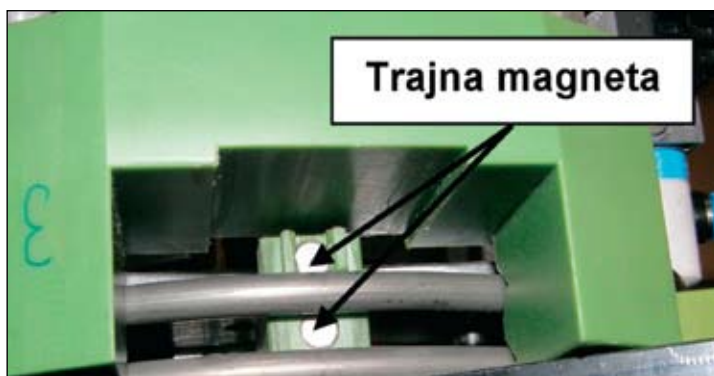
## Literatura

- [1] Necdet Geren, Alan Redford, »Cost and performance analysis of a robotic rework cell«, International Journal of Production Economics, Volume 58, Issue 2, 15 January 1999, str. 159–172.
- [2] Jukka K. Nurminen, Olli Karonen, Kimmo Hätönen, »What makes expert systems survive over 10 years—empirical evaluation of several engineering applications«, Expert Systems with Applications, Volume 24, Issue 2, February 2003, str. 199–211.
- [3] E. A. Puente, C. Balaguer, A. Barrientos, »Force—torque sensor-based strategy for precise assembly using a SCARA robot«, Robotics and Autonomous Systems, Volume 8, Issue 3, 1991, str. 203–212.
- [4] Yanqiong Fei, Xifang Zhao, »Contact and jamming analysis for three dimensional dual peg-in-hole mechanism«, Mechanism and Machine Theory, Volume 39, Issue 5, May 2004, str. 477–499.

**VENTIL**  
REVUIA ZA FLUIDNO TEHNIKO, AVTOMATIZACIJO IN MEHATRONIKO

telefon: + (0) 1 4771-704  
 telefaks: + (0) 1 4771-761  
<http://www.fs.uni-lj.si/ventil/>  
 e-mail: ventil@fs.uni-lj.si





Slika 15. Sistem za nameščanje objemk



Slika 16. Grelec z objemkami vstavljen v paletu

### Robotic assembly of a fan heater set

**Abstract:** Among many built-in components for household gadgets, the company ETA Cerklno d.o.o. also manufactures electrical heaters. They produce many types of heaters that differ in shape and heating power. Dedicated production lines are developed for those heaters that are manufactured in higher quantities. For the production of oven heaters they have installed two identical production lines, which are, except for the last section, completely automatic. In the manual phase of each of the two production lines workers first place the heater into the manufacturing palette and then assemble the clamps and fixation plates. The entire assembly moves to the end of the production line. In order to automate the manual phase a prototype was developed and tested. The results of these tests are based on a large amount of tested heaters and show that the change of order in the production phase is appropriate.

**Keywords:** electrical heater, robot assembly, industrial production

**SERVO VENTILI, PROPORCIONALNI VENTILI IN RADIALNO-BATNE ČRPALKE**

# MOOG

**Zakaj radialno-batne visokotlačne črpalke MOOG?**

- preverjena kvaliteta še nedavno pod "BOSCH-evo" prodajno znamko,
- robustna izvedba in visoka obrabna odpornost omogočata dolgo življenjsko dobo črpalk,
- primerna za črpanje tudi specialnih medijev olje-voda, voda-glikol, sintetični ester, obdelovalne emulzije, izocianat, polioli, ter seveda za mineralna, transmisijska ali biorazgradljiva olja,
- nizka stopnja glasnosti,
- visoka odzivna sposobnost in volumski izkoristek,
- velika izbira regulacije črpalk.

**Moogovi servo ventili, proporcionalni ventili in radialno-batne črpalke so sestavni deli najboljših hidravličnih sistemov.**  
Brez njih si ne moremo zamisliti delovanje strojev za brizganje plastike in aluminija, strojev za oblikovanje v železarnah in lesni industriji, v letalih in napravah za simulacijo vožnje.

**ZASTOPA IN PRODAJA**  
**ppt commerce d.o.o.**  
Pavšičeva 4  
1000 Ljubljana  
Slovenija  
tel.: +386 1 514-23-54  
faks: +386 1 514-23-55  
e-pošta: ppt\_commerce@siol.net

**Orbitalni hidromotorji, z zavoro ali z dodatnimi blok ventili**

**Servo krmilni sistemi za vozila- viličarje, traktorje, gradbene stroje ...**

**M+S HYDRAULIC**