

## **»Poka-Yoke« - avtomatizacija ročnih montažnih procesov v proizvodnji**

**Tim Vrbančič in Janez Tancek**  
**Inea RBT - oprema za avtomatizacijo d.o.o.**  
**Stegne 11, 1000 Ljubljana**  
**tim.vrbancic@inea-rbt.si in janez.tancek@inea-rbt.si**

### ***»Poka-Yoke« – automation of manual assembly processes in manufacturing***

At manual assembly processes during production of different products, worker usually composes final product from various parts. Due to various factors, also human factors, errors in phase of assembly process can occur. Due to numerous product parts, monotonous assembly process and many other factors, parts can be missed, or changed between each other due to visual similarity. Such mistakes can lead to inadequate or non-functional products. Neither producer, neither end-user wants to have non-functional products. »Poka-Yoke« is Japanese term speaking about error prevention [5]. Solution described in this article speaks about leading the worker through manual assembly process and is based on system of terminals of producer Anywire, and control of assembly process with help of PLC controller from Mitsubishi Electric. Terminals lead the worker through manual assembly with help of their functionalities (switching LED lamps on, visualizing number of parts, opening the doors in front of box with parts, ...). Such solution leads to zero-error production and in long run to higher productivity, higher product quality and to financial benefits.

### ***»Poka-Yoke« – avtomatizacija ročnih montažnih procesov v proizvodnji***

Pri ročnih montaži v proizvodnji najrazličnejših produktov delavec običajno sestavlja produkt iz večih sestavnih delov. Zaradi različnih dejavnikov, tudi človeških, se v procesu montaže pojavljajo napake. Zaradi velikega števila sestavnih delov, monotonosti pri sestavljanju in drugih dejavnikov, se lahko tekom sestavljanja nek del pozabi vgraditi, ali pa se ga zamenja z njemu podobnim zaradi vizualne podobnosti. Take napake vodijo do neustreznih in nefunkcionalnih produktov. Niti proizvajalec niti končni uporabnik si ne želita nedelujočih produktov. Japonski pojem, ki govori o preprečevanju napak, se imenuje »Poka-Yoke« [5]. Rešitev predstavljena v temu članku govori o vodenju delavca skozi ročni montažni proces in temelji na terminalih Anywire in nadzoru ročne montaže s pomočjo PLK krmiljenja proizvajalca Mitsubishi Electric. Terminali vodijo delavca skozi montažni proces s pomočjo različnih funkcij (prižiganje LED lučke, prikaz števila sestavnih delov, odpiranje vrat pred zabojem s sestavnimi deli, ...). Taka rešitev vodi do proizvodnje z nič napakami, na dolgi rok do višje produktivnosti, večje kvalitete izdelkov ter finančnih prihrankov.

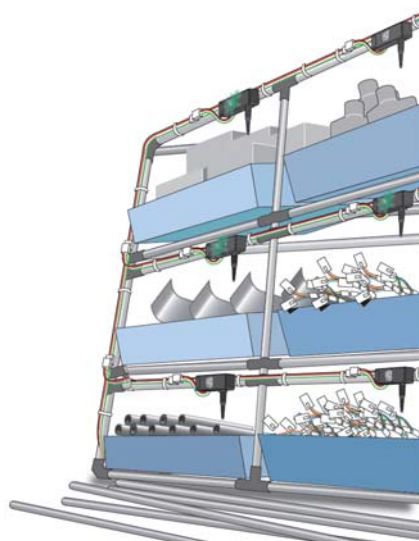
## 1 Uvod

V okviru proizvodnje in ročnih montažnih procesov so možni mnogi vzroki za končno neuporabnost nekega produkta. Lahko gre za neustreznost materiala, napake v samem načrtovanju produkta, neustrezni izdelavi sestavnih kosov (npr. odlivanju delov) ter za napake v procesu sestavljanja. Nekatere napake so človeške narave, spet druge je mogoče pripisati pomanjkljivostim materiala ali pa neustreznemu delovanju strojev v okviru proizvodnje sestavnih delov. Vzroki napak se lahko odkrijejo na različnih stopnjah delovnega procesa, kar pa ima za podjetje lahko različne učinke v obliki neustreznih (pol)proizvodov, finančnih izgub, reklamacij izdelkov in podobno. Najmanj željene so reklamacije izdelkov in njihovi vpoklici, saj je s tem povezana potencialna izguba ugleda podjetja. Smisel in vodilo vsakega proizvodnjega procesa je tveganje za napake znižati na minimalno možno raven.

Človeške napake se v okviru sestavljalnega procesa dogajajo zaradi različnih dejavnikov. Vzrok je lahko zahtevnost kosovnice produkta oziroma podobnost sestavnih delov, morda monotonost delovnega mesta ali celo pritisk v obliki zahtevane proizvedene količine v nekem časovnem obdobju. Večja kot je pojavnost možnih dejavnikov, večja je možnost za človeško napako pri sestavljanju. Že omenjeni pojem »Poka-Yoke« govori o preverjanju napak [4]. »Yokeru« pomeni izogniti se, »Poka« pomeni nenamerna napaka [4]. Koncept »Poka-Yoke« temelji na omejevanju števila možnih nepravilnih možnosti, ter rezultira v manj (oziroma nič) napakah uporabnika [5].

V temu članku bo predstavljena rešitev vodene montažnega procesa z namenom minimiziranja in izločanja možnih napak. Proizvajalec opreme za avtomatizacijo Mitsubishi Electric skupaj s proizvajalcem Anywire nudi rešitev, ki v procesu ročnega sestavljanja preprečuje človeške napake v fazi izbire in montaže sestavnih delov. Rešitev temelji na PLK krmiljenju Mitsubishi Electric, ter terminalih in ožičenju ASLink proizvajalca

Anywire. Terminali operaterja na sestavljalnem mestu v proizvodnji vodijo skozi proces sestavljanja nekega produkta. Logiko krmiljenja sestavljalnega procesa oziroma delovanja terminalov odreja PLK krmilnik, ki v konfiguraciji terminalov deluje kot »Master«. Za implementacijo opisane rešitve mora delovno mesto sestavljalca biti »definirano« kot več celic (zabojev) v katerih so naloženi sestavni deli, zaboji pa morajo biti zloženi v ustrezno konstrukcijo (glej sliko 1). Terminali so s pomočjo objemk ali vijakov nameščeni na konstrukcijo.



*Slika 1: Prikaz ureditve zabojev s sestavnimi deli v mrežo.*

Terminali proizvajalca Anywire obstajajo v večih različicah, ter so zmožni dveh glavnih funkcionalnosti. V osnovi terminali delavca vodijo skozi proces sestavljanja s prižiganjem LED lučke, odpiranjem vratc ter prikazovanjem številke in barve [3]. Druga funkcionalnost terminalov je zaznavanje delavčevega posega (z roko) v zaboj s sestavnimi deli bodisi s prekinitvijo fotoelektričnega (optičnega) senzorja, s pritiskom na gumb ali z dotikom vzvoda [3].

## 2 Problematika

Delavec je pri sestavljanju proizvoda soočen s sledečimi pogoji in dejavniki. Pri sestavljanju produkta mora slediti navodilom, slediti

kosovnici, sestavne kose iskati in jih sestavljati. Pri temu se lahko srečuje s kosi, ki se med seboj le malenkostno razlikujejo (po obliki, velikosti, barvi in ostalih lastnostih), potrebi po šteju kosov in tudi potrebi po preverjanju preostale količine kosov za sestavljanje (preverjanje zaloge za nemoten sestavljalni proces) [2]. Poleg spleta naštetih dejavnikov se tekom nekega časovnega intervala v vsakem procesu, kjer se pojavlja ponovljivost operacij, delavec srečuje tudi z monotonostjo procesa. Omeniti je potrebno še potrebo po uvajanju in učenju (novega) delavca v sestavljalni proces, kar je že bolj vidik funkcije upravljanja s človeškimi viri podjetja. Za osvojitve spretnosti in izkušenj je potreben čas [2]. Poleg fluktuacije (začasnih) proizvodnih delavcev je potrebno omeniti tudi uvajanje novih produktov in njihovih različic v proizvodni proces [2]. Naštete dejavnike je potrebno upoštevati pri optimiziranju ročnih montažnih procesov v proizvodnjah.

Rešitev, ki temelji na terminalih za usmerjanje delavca, je uporabna v primeru »zahtevne« kosovnice in kompleksnosti končnega produkta. Z rešitvijo, ki delavca usmerja pri sestavljanju, je mogoče tveganje za napake minimizirati oziroma celo izločiti. Delavec ne potrebuje več navodil za sestavo, dejavnik številnih med seboj podobnih kosov ne pride več do izraza, čas sestavljanja se skrajša, kvaliteta izdelkov pa se poveča [2]. V nadaljevanju je opisano, kako je mogoče rešitev PLK vodenja sestavljanja vključiti na delovno mesto za ročno sestavljanje.

### **3 Uporaba rešitve PLK vodenja ročnega sestavljanja**

Na delovnem mestu delavec iz zabojev s sestavnimi deli po vnaprej določenem zaporedju jemlje sestavne dele in jih sestavlja v končni produkt. Tveganje pri temu procesu je, da delavec pogrši pri izbiri sestavnega kosa (na primer, da sestavni del, ki je na vrsti za vgradnjo, pomotoma izpusti, da vzame na pogled podobnega, ali pa, da iz zaboja ne vzame zadostnega števila sestavnih delov za vgradnjo). Pri opisani rešitvi lahko terminali s pomočjo LED diode signalizirajo zaboj s sestavnimi

delom, ki je na vrsti za vgradnjo v končni produkt. Druga možnost je uporaba terminala, ki signalizira število kosov, ki jih mora delavec vzeti iz zaboja s sestavnimi deli (v primeru, da mora vgraditi večje število istega sestavnega dela). Naslednja možnost so terminali z loputkami, ki se odpirajo po vnaprej določenemu vrstnemu redu. Našteti terminali so lahko dopolnjeni z električnim vijačnikom, »Vision« kamero za ugotavljanje kvalitete izdelka ali pa čitalnikom črtnih kode [2]. Terminali za vodenje procesa nimajo le funkcije vodenja delavca k naslednjemu sestavnemu delu za vgradnjo, ampak tudi funkcijo prepoznavanja posegov delavca v zaboj. Slednja funkcionalnost je nujno potrebna za sosleden proces montaže. Drug primer uporabnosti rešitve vodene ročne izbire sestavnih delov je denimo priprava (različnih) sestavnih delov iz zabojev na trak/pladenj za nadaljno posluževanje na proizvodnji liniji.

Rešitev vodene procesa montaže je mogoče uporabiti tudi v primeru polnjenja celic/zabojev s sestavnimi deli in je po »smeri« uporabe ravno obraten od zgoraj omenjenega primera uporabe [1]. V temu primeru terminali s prikazovanjem naslednjega zaboja delavca usmerjajo k ustreznemu zaporedju polnjenja zabojev s sestavnimi deli. Na ta način je mogoče izločiti možne napake v procesu polnjenja zalog sestavnih delov.

### **4 Terminali za vodenje procesa sestavljanja, njihovo delovanje in krmiljenje procesa**

Rešitev vodene procesa ročne montaže lahko delimo v dva dela. Prvi del obsegajo terminali za vodenje operaterja in njihovo ožičenje proizvajalca Anywire. Drugi del obsega PLK krmiljenje sekvenčnega procesa ročne montaže, in je izvedeno s PLK krmilniki proizvajalca Mitsubishi Electric.

Terminali za vodenje procesa sestavljanja omogočajo dve funkcionalnosti – funkcijo prepoznavanja delavčevega giba in funkcijo usmerjanja delavca k naslednjemu koraku v procesu ročne montaže. Terminal ima vedno obe funkcionalnosti, saj v prvem koraku delavcu prikaže sestavni del, ki je na vrsti za vgradnjo, v

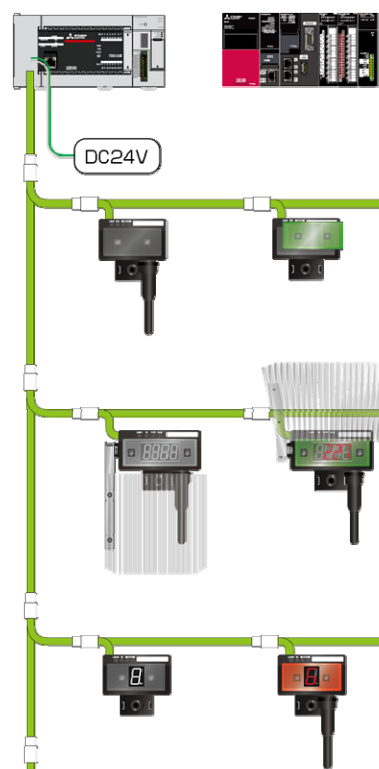
drugem koraku pa prepozna delavčev poseg v zaboj s sestavnim delom. Slednje za sekvenčno logiko procesa pomeni, da je delavec korak v procesu montaže dejansko izvedel, ter da je lahko prikazan naslednji sestavni del za vgradnjo.

Funkcionalnost prepoznavanja delavčevega posega v zaboj je mogoče doseči s terminali s pritisknim gumbom, z vzvodnim stikalom in terminali, ki vsebujejo fotoelektrični (optični) senzor [3]. Našteti terminali prepoznajo pritisk na gumb, dotik na stikalni vzvod in poseg delavca v neko območje (delavec sproži prekinitev fotoelektričnega senzorja), ko delavec vzame sestavni del iz zaboja. S prepoznavo posega delavca v zaboj sistem sklepa, da je delavec iz zaboja sestavni del vzel.

Druga funkcionalnost terminalov vodi delavca k naslednjemu sestavnemu delu za vgradnjo. Najbolj osnoven terminal za indikacijo naslednjega kosa za vgradnjo je terminal z LED lučko. Bolj napreden terminal (s funkcijo indikacije naslednjega sestavnega dela) z LED lučko omogoča prikazovanje različnih barv. Tretja različica terminala za vodenje delavca obsega terminala z vratici, ki se odpro pred zabojem s sestavnimi deli, ki so na vrsti za vgradnjo. Zadnja različica so terminali, ki imajo vgrajen 7-segmentni prikazovalnik, ki je zmožen prikazovati številke [3]. Slednji prikazuje koliko kosov (npr. matic) je potrebno v nekem koraku vzeti iz zaboja in jih vgraditi.

Na voljo so terminali z različnimi kombinacijami obeh funkcionalnosti, izbira kombinacije tipov terminala pa je odvisna od značilnosti specifičnega koraka ročne montaže (kjer se bo terminal vgradil). V primeru, da mora delavec v nekem koraku montaže iz zaboja vzeti na primer 3 cevi, je na tem mestu smiselno izbrati terminal s kombinacijo LED lučke, prikazovalnikom števk in stikalnim vzvodom. Delavcu je s to kombinacijo signaliziran naslednji sestavni del za vgradnjo (prižig LED lučke) in število zahtevanih cevi za vgradnjo (prikaz na 7-segmentnem prikazovalniku). Prepoznavanje števila delavčevih posegov v zaboj je izvedeno z dotikom vzvoda.

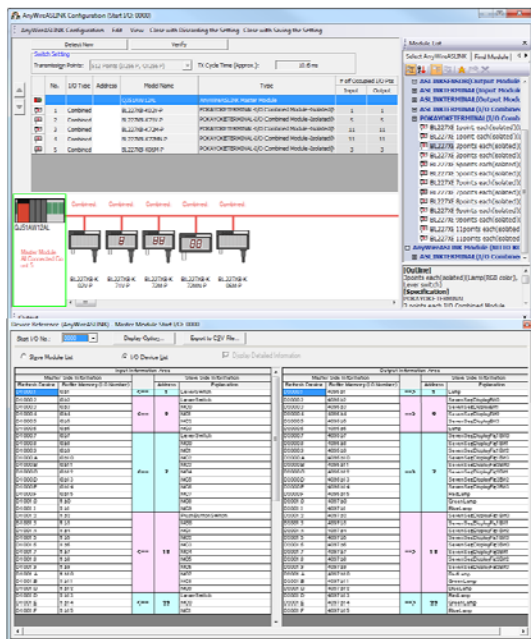
Sistem deluje, če delavec sledi signalom, ki mu jih pošiljajo terminali. Ne preprečuje pa namernih »sabotaž« vnaprej določenega sestavljalnega procesa – na primer pri posegu v zaboj delavec prekine fotoelektrični senzor s čimer sistem poseg tretira kot opravljen korak v procesu. S tem torej ni mogoče preprečiti, da delavec v zaboj poseže, a sestavnega dela namenoma ne vzame iz zaboja.



Slika 2: Prikaz možnih terminalov z različnimi funkcionalnostmi.

Drugi del rešitve vodene ročne montaže predstavlja PLK krmiljenje montažnega procesa, ki v našem primeru temelji na krmilnikih proizvajalca Mitsubishi Electric. PLK krmilniki in vgrajeni terminali so med seboj žično povezani preko protokola ASLink in napajani s 24V enosmerne napetosti [3]. Glede na kompleksnost sistema terminalov (velikost in število sestavljajnih postaj) je za PLK vodenje ročne montaže mogoče izbirati med kompaktnimi krmilniki iQ-F, ter modularnimi krmilniki serije L in iQ-R. Osnovni PLK je dopolnjen z »Master« modulom za ASLink [3]. Končno konfiguracijo uporabljenih terminalov se vzpostavi s pomočjo grafičnega orodja v

okviru programa GXWorks za programiranje Mitsubishi PLK-jev [3]. Funkcija »AutoRefresh« omogoča mapiranje signalov terminalov v pomnilnik krmilnika, programsko orodje pa omogoča diagnostiko vseh povezanih terminalov [3].



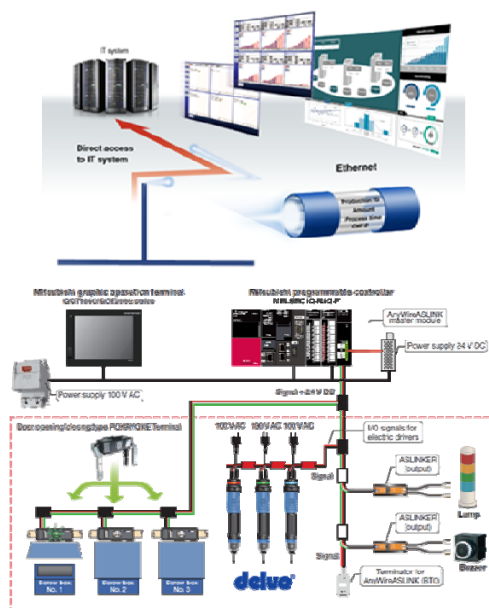
Slika 3: Grafično orodje za konfiguriranje uporabljenih terminalov (znotraj GXWorks programskega orodja za programiranje PLK-jev).

## 5 Razširljivost rešitve

S pomočjo zmogljivih krmilnikov Mitsubishi je rešitev vodene ročne montaže razširljiva do 100 distribuiranih sestavljalnih delovnih postaj [2]. Na najnižji ravni je mogoče preko kompaktnega krmilnika iQ-F nadzorovati sekvenčno vodenje do 128 osnovnih terminalov na eni delovni postaji [2]. Najvišjo raven zmogljivosti predstavlja sistem do 100 distribuiranih sestavljalnih postaj, ki je centralno krmiljen s krmilnikom iQ-R [2]. Topologija omrežja omogoča do 100 metrov oddaljenosti med postajami, komunikacija pa temelji na CC-Link IE 1 Gigabitni komunikaciji [2].

Podatki o sestavljalnem procesu produkta se lahko shranjujejo v bazo podatkov ter so v nadaljevanju za prikaz in analize lahko

obdelovani preko MAPS SCADA nadzornega sistema. Naštete razširitve vključujejo tudi integracijo z MES sistemi za upravljanje proizvodnje. Delovne postaje so preko operaterskih panelov in/ali krmilnikov povezane z bazami podatkov. Zmogljivi krmilniki iQ-R že sami omogočajo interno bazo podatkov za ravnanje s podatki in sekvencami ter neposredno povezavo z Excel ali Access programskim orodjem. Vodstvena raven podjetja ima tako neposreden vpogled v ročno sestavljanje v proizvodnji in samo učinkovitost ročne montaže.



Slika 4: Prikaz integracije rešitve vodenja sestavljalnega procesa od proizvodne ravni do vodstvenega nivoja upravljanja s proizvodnjo.

Bolj napredne rešitve vodenih ročnih montažnih procesov, kjer je PLK vodenje ročne montaže nadgrajeno z integracijo v MES in ERP nivo podjetja, dejansko pomeni informatizacijo ročnih montažnih procesov, tako na nivoju delovne postaje (informiranje operaterja, dostavljalca zalog,...), kot na višjih nivojih (vodja linije za planiranje proizvodnje, nabavna služba, učinkovitost posameznega delavca,...). Rešitev Mitsubishi Electric-a, ki omogoča popolno informatizacijo ročne montaže, s spremljanjem učinkovitosti in produktivnosti posamezne ročne delovne postaje, se imenuje iQ-Monozukuri [2].



