

# Avtomatizacija linije za pakiranje kuhinjskih elementov

Janez Pogorelc<sup>1</sup>, Martin Strašek<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

<sup>2</sup>Etra, d.o.o., Svetelka 5, 3222 Dramlje

E-pošta: [janez.pogorelc@um.si](mailto:janez.pogorelc@um.si), [martinstrasek@gmail.com](mailto:martinstrasek@gmail.com)

## Automation of a kitchen packaging line

*Presented is a robotic cell, which is designed for packing of small kitchen elements. The full line is designed for assembling 26 elements in one small box in just 3,4 seconds. Annual production of packed small boxes, with the provided congestion line such as maintaining, is about 7 million pieces.*

## 1 Uvod

Predstavljen je potek izgradnje avtomatizirane linije z opisom posameznih sklopov robotske linije za pakiranje drobnih kuhinjskih elementov [1]. Celotna linija je zasnovana tako, da v času 3,4 sekunde zloži 26 elementov v manjšo kartonsko škatlo. Letna proizvodnja zapakiranih škatel s predvidenimi zastoji linije kot so vzdrževanje in podobno znaša okrog 7 milijonov kosov. V nadaljevanju je opisana avtomatizirana linija s tremi posluževalnimi roboti, predstavljeni pa so tudi problemi, na katere smo naleteli med testnim obratovanjem celotne linije in ukrepi za njihovo odpravo.

Podjetje Etra je bilo na razpisu specializiranega slovenskega podjetja, ki proizvaja PVC elemente za pohištveno industrijo, izbrano za izvedbo linije za vstavljanje drobnih kuhinjskih elementov v manjše kartonske škatle. Le-te se zatem vložijo v večje škatle na paletah za potrebe multinacionalnega podjetja, ki množično proizvaja kuhinje.

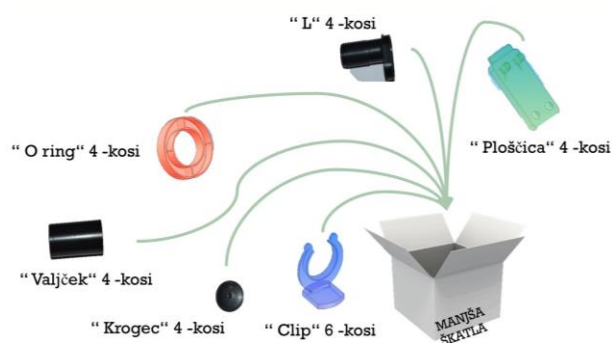
Faza načrtovanja je bila v celoti izvedena v podjetju Etra. Najprej smo opredelili zahteve kupca, nato smo spoznali tehnologijo procesa, ki smo ga želeli avtomatizirati. Zatem smo izdelali koncept linije, podali predloge in rešitve. Na koncu smo določili termine zaključka določenih faz projekta.

V okviru projektantske in konstruktorske ekipe [1] je bila naša naloga, da glede na tehnološke zahteve določimo vrsto krmilja, vhodno-izhodne enote, izdelamo tabelo spremenljivk, elektro-tehnično dokumentacijo, PLK program ter HMI vmesnik.

## 2 Opis avtomatizirane linije za pakiranje

Bistvena zahteva naročnika je bila, da sestavljena škatla zapusti tekoči trak vsake 3,4 s, kar zagotavlja letno produkcijo 7 milijonov škatel s po 26 PVC elementi. Naslednja zahteva je bila izbira velikosti manjše škatle, v katero bodo zloženi elementi. Velikost večje škatle je bila določena s strani transportnih ter logističnih zahtev, velikost manjše pa je morala biti definirana glede na potreben prostor za 26 elementov in navodila (slika 1)

ter glede na velikost večje škatle, da se je prostor zapolnil. Omejeni smo bili tudi s prostorom, saj linija ni smela presegati dolžine 12 metrov in širine 6 metrov. Podana je bila tudi zahteva o maksimalnem dovoljenem hrupu do 55 dB. Seveda je bil določen tudi relativno kratek rok za dokončanje projekta.

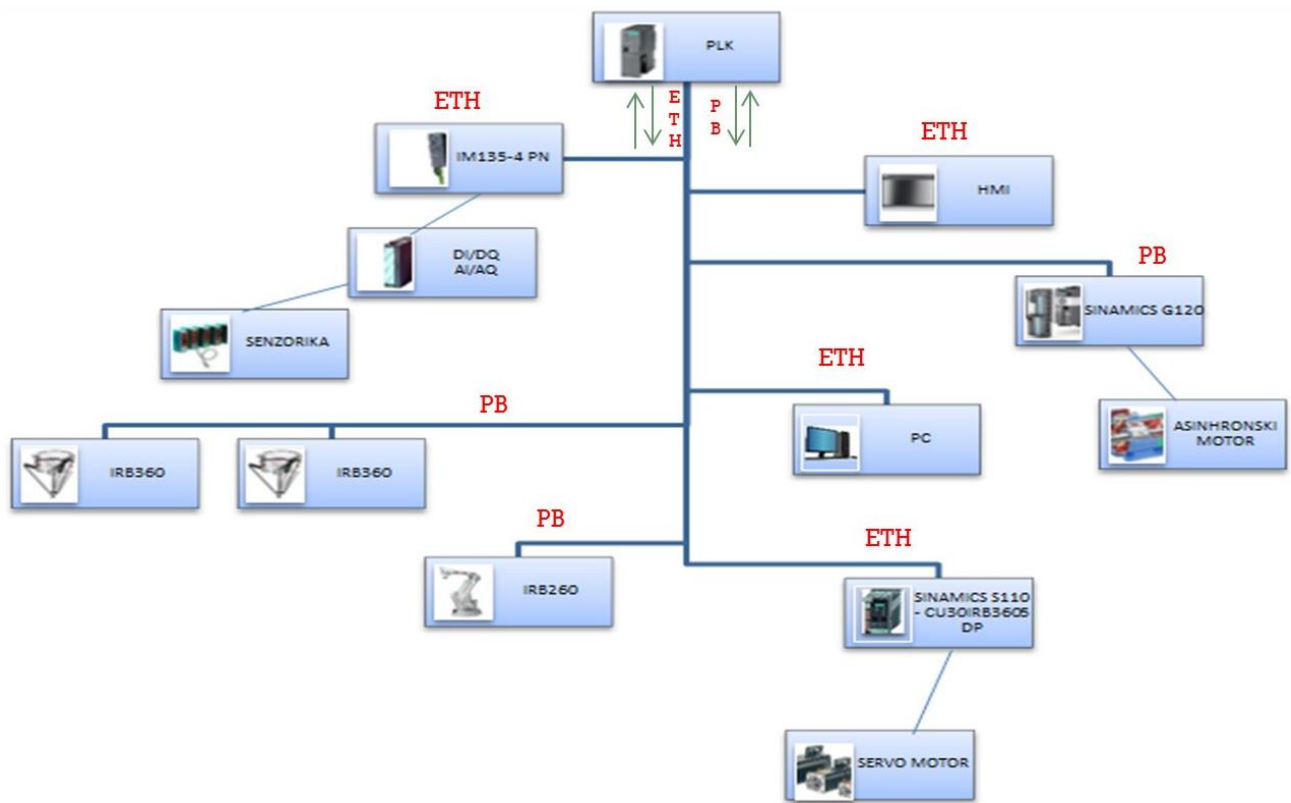


Slika 1. Kartonska škatla in 26 elementov ter navodila

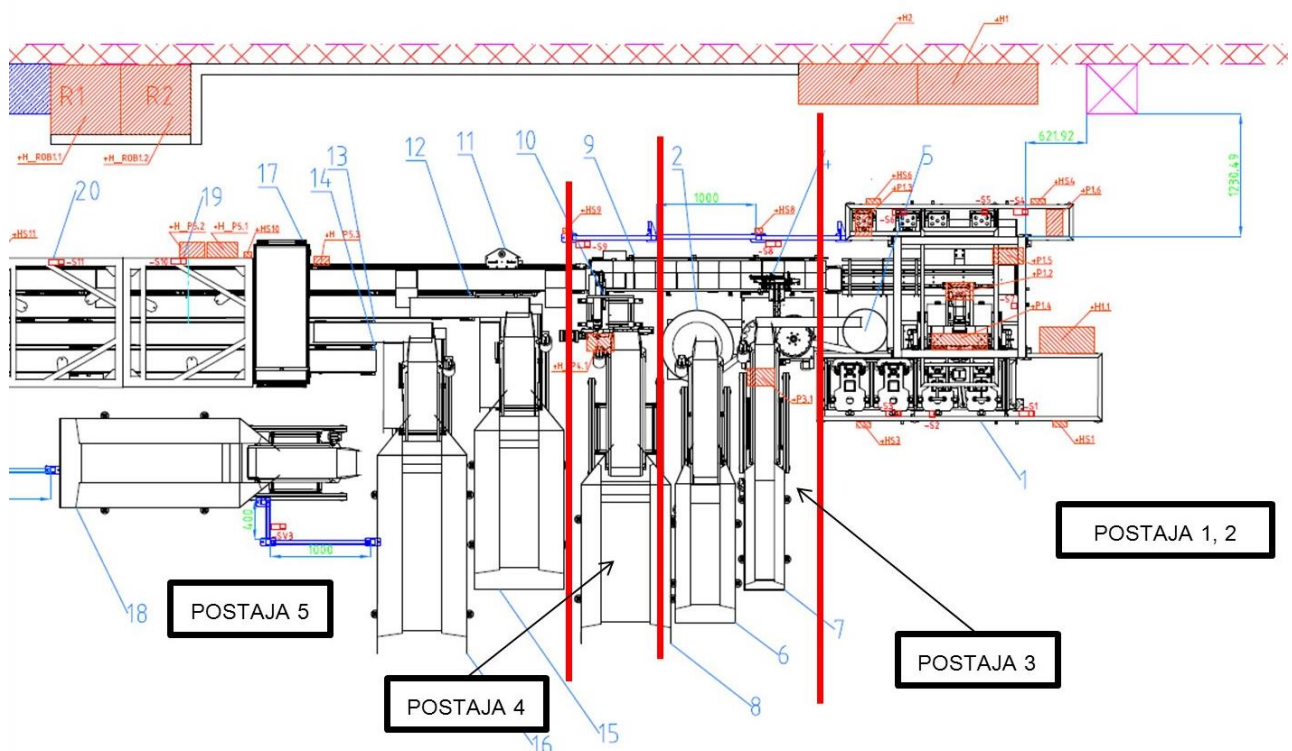
Na sliki 2 je prikazana blok shema sklopov avtomatizirane linije. Krmilno in nadzorno funkcijo celotne linije [2] predstavlja zmogljiv industrijski PLC krmilnik S7-300 (CPU 6ES7317-2EK14-0AB0), ki skrbi za povezavo sistema v zaključeno celoto. Krmilnik s pomočjo TCP/IP industrijskega Ethernet (ETH) in Profibus (PB) komunikacije nadzoruje vse aktuatorje in sprejema informacije od senzorjev. PLC krmilnik Siemens Simatic komunicira z IM135-4 PN ET 200M razširitvenim modulom, na katerega so priključene vhodno-izhodne analogne in digitalne enote, na slednje pa so priključeni senzorji. Prav tako preko industrijskega Ethernet komunikacije s HMI panelom in industrijskim PC računalnikom, na katerem sta nameščena programska oprema za programiranje robotov IRB260/360. Na industrijskem PC računalniku je nameščena tudi programska oprema, ki poskrbi, da video nadzorni sistem obdela podatke in jih pošlje preko krmilnika ter Profibus povezave na krmilnik »Flexpicker«-ja IRB360. Preko Profibus komunikacije krmilnik nadzira Sinamics G120 in Sinamics S110 kontrolni procesni enoti, ki nadzorujeta delovanje asinhronskih in servo motorjev.

Linijo smo zaradi lažjega konstruiranja razdelili na sedem delov oz. postaj [1,2]:

- postaja 1, 2 – izdelava škatle ter vstavljanje navodil;
- postaja 3 – vstavljanje krogcev in pokrovcov;
- postaja 4 – vstavljanje valjčkov;
- postaja 5 – robotsko vstavljanje elementov;
- postaja 6 – kontrola škatle;
- postaja 7 – zapiranje škatle;
- postaja 8 – robotsko zlaganje škatel.



Slika 2. Najpomembnejši sklopi linije za avtomatsko pakiranje



Slika 3. Shematski prikaz naprav za postaje 1 do 5

Na sliki 3 vidimo pomembnejše elektromehanske sklope za postaje 1 do 5, pri čemer predstavljajo prikazane modre številke pozicijo določenega elementa v glavi glavnega načrta za določen podsklop posameznega dela celotne linije. Na podsklopih elektro in strojnih načrtov lahko vidimo kabelske trase, pozicije, oznake senzorike, motorjev, cilindrov in pozicijo elektro glavnih ter prehodnih omar. Celotna linija ima točno določen pomen oznak, ki jih podrobneje vidimo v posameznih podsklopih elektro oziroma strojnih načrtov. Se pa lahko že na podlagi oznake orientiramo, za katero postajo gre in kje se senzor ali aktuator tudi nahaja. Npr.: oznaka C1.19 predstavlja C – cilindri, 1 – prva postaja, .19 – 19. cilindri v prvi postaji.

Podoben sistem označevanja velja za vso senzoriko in ostale aktuatorje, ki se nahajajo na liniji [2].

## 2.1 Postaja 1, 2

Postaji 1 in 2 sta načrtovani tako, da izdelujeta po dva polizdelka hkrati, saj zaradi zahtevnega tehnološkega postopka drugače ne bi dosegli dovolj kratkega časa izvršitve. Postaja je sestavljena iz petih podsklopov:

1. **Nosilna enota** – premikata jo dva servo motorja levo in desno ter gor in dol. Na njej se poleg senzorjev nahajajo tudi vakuumski seski, ki prijemajo karton in navodila. Na sredini nosilne enote je odtisna glava, ki poskrbi, da se škatla primerno oblikuje. Odtisna glava se v spodnji poziciji razklene in zlepi škatlo.

2. **Ogrodje in formirna enota** - skrbita za izdelavo škatle. Na tej enoti se nanese lepilo preko lepilnih šob. Lepilo, ki se nanese, ima približno 450 °C in se posuši oziroma doseže zadostno trdnost že po 1 sekundi.

3. **Zalogovnik kartonov** - nahaja se na levi strani postaje 1 in 2 in vsebuje po štiri prostore za shranjevanje kartonov. Na tej postaji so štiri asinhronski motorji, ki so krmiljeni preko frekvenčnih regulatorjev. Skrbijo za dvig kartonov na točno določeno višino, da lahko nosilna enota prenese kartone z ene na drugo lokacijo.

4. **Zalogovnik navodil** - nahaja se na desni strani postaj 1 in 2 in vsebuje po štiri prostore za shranjevanje navodil. Za dvigovanje navodil (nekaj spetih listov A4) skrbita dva motorja in sicer SMC1.1 in SMC1.2.

5. **Lepilna naprava** - skrbi za prvo lepljenje škatel, da dobijo obliko za vstavljanje plastičnih elementov (slika 4). Same brizgalne šobe, ki jih prožimo z elektromagnetni ventili, nanašajo lepilo približno 15 ms in se nahajajo na podsklopu »ogrodje in formirna enota«.

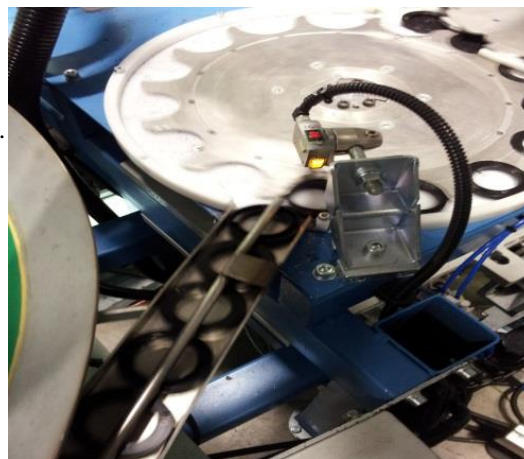


Slika 4. Lepilna naprava – prikaz na HMI vmesniku

## 2.2 Postaja 3

Tukaj se v škatlo odložijo krogci in pokrovčki. Le-ti najprej iz ločenih zalogovnikov padejo vsaki v svojo vibracijsko posodo, nato pa po drčah potujejo proti rota-

cijskem združevalniku, ki se ob prisotnosti obeh kosov s pomočjo servo motorja obrne in jih združi (slika 5). Združeni kosi ponovno potujejo po drčah s pomočjo zraka, ki piha v smeri novih zalogovnikov. Namenska pnevmatska roka potisne »smernik« in izmenično potiska material v predalčke (dvakrat po 4), ki se nato izpraznijo v dve škatli. Podobno kot pri prvi postaji, se tudi tukaj zaradi doseganja hitrosti cikla polnita dve škatli hkrati.



Slika 5. Vstavljanje »O-ring« elementov v združevalnik

## 2.3 Postaja 4

Na četrti postaji se v škatlo zložijo valjčki. Ti iz zalogovnika padejo na trak, kjer jih nato cilindri potisne v prilagojen sortirni zalogovnik. Na koncu zalogovnika se valjčki zapeljejo na vratca. Ko so na vratcih štirje valjčki in je škatla na poziciji za odlaganje, prime vakuumski cilindri vsaki valjček, nato se vratca pod njimi odprejo. Cilindri odloži valjčke v škatlo, hkrati pa je sprožena blokada pred vdorom novih valjčkov na pozicijo vrat, dokler cikel odlaganja ni končan.

## 2.4 Postaja 5

Sestavljajo jo t. i. »vision sistem« in dva »Flexpicker« robota ABB IRB360, ki v škatle zlogata po tri različne kose. Vsak izmed teh kosov je iz zalogovnika prenesen na posebne vibratorje, ki te dele pravilno obrnejo ter položijo vsakega na svoj trak. Nato deli potujejo po trakih do kamer, ki robotom sporočijo položaj in orientacijo posameznega dela (slika 6). Oba robota imata posebna prijemala, s katerim lahko primeta vsakega izmed kosov na katerem koli traku. Prijemalo je sestavljeno iz cilindričnih klešč in vakuumskih prijemal [6].



Slika 6. Zlaganje elementov na osnovi video sistema

## 2.5 Postaja 6

Izvaja se kontrola vseh v škatlo vstavljenih elementov ter kontrola višine zloženega materiala. Za nadzor skrbi-jo dva video senzorja in štiri laserski senzorji. Če kateri koli delček manjka ali če je višina materiala prevelika, potisne cilindri takšno škatlo iz linije. Pravilno napolnjena škatla nadaljuje pot na postajo 7.

## 2.6 Postaja 7

Tukaj se vrši zapiranje škatle s pomočjo cilindrov. Če je škatla po pregledu brez odkritih napak, nadaljuje po traku naprej do aktuatorjev, ki zaporedno zapognejo stranice škatle tako, da je pripravljena za nanos lepila.

## 2.7 Postaja 8

Upravlja jo zmogljiv ABB-jev robot IRB260 (slika 7), ki s pomočjo vakuumskega prijemala dvigne po pet škatel in jih zloži v večjo škatlo na paleti. Po prejemu signala, da je pripravljenih naslednjih pet škatel, jih dvigne in sistematično odloži v večjo škatlo. Ko je škatla polna, se ta prestavi in na njeno mesto prispe nova, ki se s pomočjo pozicionerjev postavi v pravilno lego. Celotna postaja je ograjena z zaporo, visoko 2,2 m, kar predstavlja zaščito pred vstopom nepooblaščenih oseb v območje robota (enako je izvedena zaščita na postaji 5).



Slika 7. Robot IRB260 z vakuumskim prijemalom

## 3 Programska oprema

Elektro vezalne sheme smo narisali s pomočjo programa EPLAN Electric P8 [5]. Ta je profesionalno orodje za izdelavo elektro vezalnih shem oz. elektro načrtov. Uporabljali smo osnovno različico EPLAN Electric V 1.9.11. V tem programskem okolju smo ustvarili 338 strani dokumentacije, ki je vsebovala vse od elektro vezalnih shem, kosovnic do grafičnih pregledov izrisa elektro omar.

Za programiranje PLC krmilnika serije S7-300 smo uporabili Simatic Manager S7 [4] programsko okolje. Izbrali smo način FBD - programiranje s funkcijskimi bloki. Najprej smo iz elektro vezalnih shem pridobili strojno postavitev celotne linije in uvozili I/O (vhodno-izhodno) tabelo. Ker je celotna linija imela več kot 350 signalov (senzorjev, alarmov, nedovoljenih stanj), smo z uvozom te tabele iz programa EPLAN privarčevali kar nekaj časa in truda.

Za grafični prikaz podatkov smo uporabili Siemens 10" HMI panel MP277, ki je občutljiv na dotik. Programska oprema je bila razvita s pomočjo WinCC V12

programirnega okolja, ki je sicer integriran v TIA (Totally Integrated Automation) portal [3].

## 4 Zaključek

Med samo izvedbo projekta avtomatizacije linijo za pakiranje šestih različnih elementov v škatlo smo nale- teli na precej težav, ki smo jih tudi sproti odpravljali.

Večino težav so predstavljale okvare na mehanskih sklopih, saj je bilo ob 24-urnem poskusnem delovanju težko zagotoviti konstantnost linije. Ker določene mehanske komponente niso delovale po pričakovanjih, smo težave sprva reševali s spreminjanjem programske kode in z optimizacijo le-te, vseskozi pa smo strojno izboljševali linijo in jo optimizirali, da ni več prihajalo do zastojev. V poskusnem obdobju obratovanja so se pojavili nepotrebni zastoji, saj operaterji na liniji niso bili kos dodatnim težavam, povrh pa tudi sistem alar- miranja ni bil 100-odstotno zanesljiv.

V obdobju poskusnega delovanja smo prišli do zak- ljučka, da je treba v celoti prenoviti določene postaje, saj je kljub temu, da so bili časi pakiranja škatle ustrez- ni, bila obraba mehanskih delov pri prvotni konstrukciji prevelika. Tako bi bila linija potrebna pogostejšega servisiranja, s čimer bi izgubili na letni količini zapaki- ranih škatel.

Investitor in podjetje Etra sta se odločila, da na last- ne stroške zamenjata kritične dele linije, kar je bil pre- cejšen zalogaj. V zelo kratkem času smo morali na novo zgraditi dele postaj točno določenih dimenzij, postaje pa so morale delovati po spremenjenem konceptu. Spre- meniti smo morali tudi mnoge elektro vezalne sheme in precej programske opreme.

Zamenjavo določenih sklopov postaj smo izvedli v najkrajšem možnem času, saj smo ob zamenjavi in ponovnem zagonu linije z novo logiko povzročili samo tridnevni izpad proizvodnje kljub dejstvu, da smo opravi- li zamenjave na skoraj polovici vseh postaj.

Izkazalo se je, da je bil projekt izjemno zahteven tako s stališča tehnične kompleksnosti kot tudi stališča koordinacije projekta zaradi vključenosti večjega števila sodelavcev ETRE in zunanjih podizvajalcev.

## Literatura

- [1] M. Strašek: Avtomatizacija linije za pakiranje kuhinjskih elementov z uporabo PLC krmilnika, diplomsko delo visokošolskega študijskega programa Elektrotehnika, UM-FERI, maj 2014
- [2] Etra d.o.o. Navodila in tehnična dokumentacija – Pakirna linija METOD. Celje, avgust 2013
- [3] Siemens: <https://eb.automation.siemens.com/mall/en/si/Catalog/Products/10021037>
- [4] Siemens SIMATIC: <http://www.industry.siemens.com/topics/global/en/tia-portal/controller-sw-tia-portal/simatic-step7-basic-v11/screencasts/Pages/Default.aspx>
- [5] EPLAN: EPLAN Electric P8 – Getting Started . 02 / 2009
- [6] ABB: <http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-360>