

# **Avtomatizacija sočasne proizvodnje različnih izdelkov – nekateri vidiki načrtovanja razmestitve in naprav linije**

**Anton Ružič**  
**Institut »Jožef Stefan«**  
**Jamova 39, 1000 Ljubljana**  
**anton.ruzic@ijs.si**

## *Automation of a production line for concurrent production of different products*

*In this article we present an automated production line capable of concurrent production of different products, that is tea boxes. The line input are tea blends and other prime materials, and the output are six different tea products out of more thousand possible, packaged into boxes and card boxes, palletted on six europalettes, ready to be transported to an automated warehouse.*

### **1 Uvod**

V velikem prehrabnem podjetju s sedežem v Sloveniji smo razvili in postavili avtomatizirano linijo za proizvodnjo oziroma pakiranje čajev.

Prvo izvedbo linije smo postavili že pred desetimi leti. Naloga je obsegala izbiro strojev, načrtovanje razmestitve obstoječih in novih strojev; izdelavo vseh mehanskih in elektromehanskih logističnih komponent in naprav; celotno ožičenje, krmiljenje, nadzor in statistično obdelavo proizvodnih podatkov.

Od prve postavitve periodično izvajamo manjše dopolnitve in večje spremembe, s katerimi povečujemo kapaciteto, fleksibilnost, zanesljivost ter stopnjo avtomatizacije.

Nekatere spremembe izhajajo iz novih možnosti, ki jih nudijo nove, sodobnejše proizvodne tehnologije in gradniki za avtomatizacijo. Druge spremembe izhajajo iz novih zahtev naročnika, saj je podjetje v zadnjem v stalni rasti. S širjenjem tržišča in dopolnjevanjem nabora artiklov se pojavljajo

nove zahteve glede značilnosti in izvedbe tega in drugih proizvodnih pogonov podjetja.

Pri vseh projektih in nalogah tesno sodelujemo s strokovnjaki podjetja, tako pri sestavljanju zahtev in določanju robnih pogojev rešitev kot pri izvedbi posodabljanja.

### **2 Osnovne lastnosti proizvodne linije**

Opisani pogon je namenjen proizvodnji, pakiranju in paletizaciji škatlic čajev.

Pred izvedbo avtomatizacije so pri proizvodnji uporabljali nekatere stroje, vendar se je večina potrebnih tehnoloških postopkov izvajala ročno oziroma ob ročni stregi posameznih strojev. V proizvodnjo je bilo vključenih veliko delavcev. V nekem trenutku se je proizvajal eden ali le nekaj izdelkov. Podjetje je ugotovilo, da je za nadaljnji razvoj programa potrebno zmanjšati proizvodne stroške, povečati kvaliteto in stalnost proizvodnje ter predvsem doseči fleksibilno proizvodnjo, ki bo omogočila hkratno proizvodnjo večjega števila artiklov in hitro menjavo proizvajanih artiklov. To smo dosegli z opisano zasnovo in izvedbo avtomatizacije proizvodne linije.

Po avtomatizaciji pogona se proizvodnja v normalnem režimu izvaja samodejno. Delavci so po vključeni samo v postopke zalaganja surovin in po potrebi pri odpravljanju morebitnih zastojev ter okvar komponent linije.

Vhod v proizvodno enoto so različne čajne mešanice in druge surovine, na primer za fimiranje škatlic in kartonov, ovijanje ter označevanje. Izhod so različni čaji, pakirani v škatlice različnih velikosti; škatlice so vložene v

kartone različnih dimenzij; kartoni so robotizirano zloženi na europaleta, ki so na koncu linije pripravljene za transport v avtomatizirano visokoregalno skladišče. Vse pakirne enote so ustrezno označene, kar je potrebno tako zaradi logističnih procesov v tovarni in pri naročniku kot za doseganje popolne sledljivosti proizvodnje.

Osnovne značilnosti avtomatizirane linije so naslednje:

- linija lahko v enem trenutku proizvaja do 6 različnih izdelkov izmed nabora več tisoč vrst čajev in raznih kombinacij naslednjih značilnosti: velikosti osnovnih škatlic, velikosti kartonov, števila škatlic v kartonih, razne oznake škatlic in kartonov itd.;
- med tekočo proizvodnjo se lahko prekine proizvodnja nekega artikla oziroma začne proizvodnja novega artikla, ne da bi se pri tem ustavila proizvodnja ostalih artiklov;
- razporeditev linije, logistični in transportni podsklopi ter krmiljenje so zasnovani in načrtani tako, da ima linija ob možnosti sočasne proizvodnje 6 izdelkov nekajkrat manjši nabor uporabljenih strojev in nekajkrat manjšo površino kot običajni ločeni avtomatizaciji proizvodnje posameznih izdelkov.

Zadnja točka je finično posebej pomembna za naročnika, saj so v proces proizvodnje in pakiranja tovrstnih izdelkov vključeni stroji za izvedbo posameznih tehnoloških operacij, ki lahko stanejo od nekaj sto tisoč EUR do reda milijonov EUR. Z doseženo rešitvijo smo zato omogočili bistveno manjšo investicijo za isti obseg proizvodnje.

### 3 Nekaterne značilnosti razporeditve

Pri zasnovi razporeditve smo zasledovali različne cilje glede lastnosti linije, hkrati smo morali zadostiti nekaterim pogojem. Na primer:

- zasnova logistične razporeditve, ki omogoča visoko izkoriščenost strojev pri sočasni proizvodnji različnih artiklov, od katerih posamezni lahko zahtevajo različne operacije;
- razporeditev posameznih delov linije za učinkovit in nemoten transport potrebnih surovin in polizdelkov; na primer, za avtomatsko zalaganje strojev s čajnimi mešanicami, za nemoten dovoz surovin za škatlice in kartone, za ovijanje, za označevanje in podobno; pri tem je treba uskladiti transportne poti linije s transportnimi potmi drugih pogonov tovarne, z lokacijo glavnega visokoregalnega skladišča in z lokacijami pomožnih vmesnih skladišč surovin;
- razporeditev strojev v celotni transportni shemi linije, ki v primeru zastojev omogoča hiter dostop operaterjev do tistih delov, sklopov in krmilnih omaric strojev, kjer se tipično izvajajo posegi za odpravo zastojev; rešitve morajo zadoščati tudi zakonskim normam;
- izdelava transportnih in logističnih sklopov za popolnoma avtomatski pretok polizdelkov znotraj linije; ti sklopi so obenem načrtani tako, da delujejo kot zalogovniki, ki pri zastoju nekega stroja ali sklopa omogočajo nemoteno delovanje okolice do odprave zastoja; zalogovniki so načrtani glede na pričakovano pogostnost zastojev različnih komponent; s tem se pri omejenih zastojih produktivnost linije ne zmanjša.

Za končno razporeditev linije so značilne razporeditve poti, ki na pogled niso »geometrijsko« urejene ali najkrajše. Nekaterne poti avtomatizirane linije sestavljajo zaključene zanke. Zato smo na več ključnih mestih predvideli možnost hitrega odpiranja delov linije za dostop do naprav znotraj takšnih zank.

Ob tem smo upoštevali še vrsto drugih faktorjev. Na primer, pri proizvodnji hrane je potrebno vsakodnevno redno čiščenje posameznih delov strojev in periodično temeljito čiščenje. Takšni deli morajo biti dostopni tako, da je mogoče hitro čiščenje, saj se postopek lahko izvaja le, če stroj ne obratuje.

Ob tem omenimo, da se na delu linije lahko proizvajajo tudi zdravilni čaji, ki se obravnavajo kot zdravila. Pri tovrstni proizvodnji je potrebno zadostiti posebnim dodatnim zahtevam.

#### **4 Načrtovanje logističnih in transportnih sklopov glede na specifične značilnosti izdelkov**

Kot smo predhodno omenili, smo v sklopu avtomatizacije pogona zasnovali in izdelali razne transportno logistične naprave. Poleg trakov so to razni podajalniki škatlic, obračalniki škatlic in kartonov, pozicionirniki, ranžirno-združevalni elementi, sortirni podsklopi, izmetalniki, in podobno. Pri realizaciji teh naprav smo morali rešiti specifične probleme, ki jih sicer ne srečujemo pri avtomatizaciji proizvodnje togih izdelkov, torej takšnih, ki imajo natančne dimenzije, enake teže in lastnosti, ki so praviloma ponovljive od enega izdelka do drugega izdelka istega tipa.

Na obravnavani liniji posebni stroji formirajo kartonaste škatlice, v katerih so vrečke s čaji. Nekatere izmed spremenljivih lastnosti teh izdelkov so naslednje:

- škatlice imajo lahko do ovijanja bolj ali manj izbočene stranice;
- lahko se zgodi, da pokrovi škatlic niso čisto do konca zaprti;
- od časa do časa je možno tudi, da nitke posameznih filter vrečk niso dobro vstavljene in ostanejo zunaj reže pokrova;
- kartonaste škatlice so stisljive, zato sila, ki na njih nastopi pri transportu in manipulacijah povzroči spremembo dimenzij in oblike;

- material iz katerih so škatlice ima neko nezanemarljivo higroskopičnost; teža embalaže istih tipov izdelkov se spreminja v odvisnosti od obdobja predhodnega skladiščenja zaklopnice, iz katerih se formirajo škatlice;
- specifična teža mešanic in s tem tudi škatlic je lahko občutno različna od izdelka do izdelka.

Podobno spremenljive lastnosti imajo kartoni in drugi materiali, vključeni v obravnavano proizvodno linijo.

Vse te značilnosti je potrebno ustrezno upoštevati pri načrtovanju naprav in postopkov.

Na primer, kanali ranžirnih, razdruževalnih in sortirnih naprav morajo biti takšni, da je čim manjša verjetnost, da se škatlice z opisanimi lastnostmi zataknejo in povzročijo zastoje.

Drugi primer je zgradba in nastavljanje hitrosti delovanja transportno logističnih naprav. Zaradi čim večje produktivnosti in prepustosti posameznih odsekov želimo čim višje hitrosti delovanja naprav. Pri njihovem načrtovanju upoštevamo dinamiko škatlic, ki je odvisna od teže in elastičnosti posamezne škatlice. Skozi posamezne naprave lahko gredo zaporedoma škatlice z različnimi vrstami izdelkov. Škatlice se ob sicer enakih zunanjih dimenzijah lahko zelo razlikujejo v teži, saj so nekatere čajne mešanice ob isti prostornini tudi trikrat težje od drugih. Pri kotnih obračalnikih prihajajo škatlice v neki, na primer vzdolžni orientaciji do konca kraka, kjer jih ortogonalni cilinder potisne pravokotno v drugi krak, kjer škatlice nadaljujejo pot z drugačno, na primer prečno orientacijo, ustrezno zahtevam naslednjih tehnoloških operacij. Pri določanju zgradbe in nastavljanju čimvečje hitrosti naprave moramo upoštevati različno dinamiko škatlic. Potiskanje ob spremembi smeri premikanja sicer lahko povzroči nezaželjeni zasuk škatlic in morebitno zatikanje v transportnem kanalu.

Naslednji izmed specifičnih vidikov lahko opišemo pri formiranju vlaka določenega števila škatlic v primeru, ko to potrebuje naslednja

tehnološka operacija. Takšno je na primer vlaganje, kjer moramo zalagati stroj z zaporednimi serijami enakega števila izdelkov. Zapora pred takšnimi operacijami ustavi premikanje škatlic na paralelnih kanalih, pri čemer so v vsakem kanalu sortirane škatlice istega tipa. Konec formiranja niza oziroma »paketa« s predpisanim številom škatlic ugotavljamo s senzorjem razdalje od prvega do zadnjega izdelka paketa. Ker se medtem, ko zapora zadržuje izdelke trak premika in jih zbira, vsaka škatlica v nizu zaradi lastne teže in trenja potiska vse škatlice pred sabo z neko silo. Zato pride do deformacije vseh prednjih škatlic in posledičnega zmanjšanja dimenzije posameznih škatlic. Ker je teža posameznih izdelkov različna, je tudi sila in s tem linearna deformacija različna. »Paket« istega števila škatlic je tako od enega do drugega tipa izdelkov občutno različen, kar je potrebno upoštevati pri konstrukciji sortiranja.

Pri zapori izdelkov delih linije s pomičnim trakom prihaja do trenja med trakom in bazo škatlice. S funkcionalnim načrtovanjem in krmiljenjem je potrebno zagotoviti, da ustavljanje ne traja predolgo, ker v tem primeru trenje povzroči (v najboljšem primeru vizualne) poškodbe škatlic.

## **5 Zgradba glede na ohranjanje funkcionalnosti pri izpadu posameznih sklopov**

Ena od zahtev je čim bolj stalna proizvodna razpoložljivost linije. Zato smo celotni sistem načrtali tako, da se pri izpadu posameznih delov čim manj zmanjša funkcionalnost in kapaciteta linije.

Krmilno-nadzorni sistem avtomatizirane linije sestoji iz števila računalnikov različnih tipov, povezanih tako med seboj kot tudi s proizvodno-informacijskim sistemom celotne tovarne. Naloge smo razporedili tako, da se a) pri tipični proizvodnji naloge posameznih hierarhičnih nivojev odvijajo skupaj v določenih časovnih periodah; b) da se naloge z daljšo tipično periodo, lastno višjim hierarhičnim nivojem, izvajajo na računalnikih z manjšim

tipičnim časom med okvarami (MTBF), naloge s krajšo periodo pa na zanesljivejših računalnikih; c) da izpad računalnikov enega nivoja samo po sebi ne vpliva na izpad funkcionalnosti računalnikov drugega nivoja in d) da so določene funkcije nekaterih nivojev v omejeni meri izvedljive v neposredno nižjih nivojih.

Na ta način je pri izpadu funkcionalnosti nekega nivoja v večini situacij možno delovanje vseh spodnjih nivojev brez zmanjšanja proizvodne kapacitete linije. V tem času lahko odpravimo napako oziroma okvaro komponente.

Zahtevo po čim manjšem izpadu funkcionalnosti ob okvari posameznih komponent smo upoštevali tudi zgradbi in napravah fizičnega proizvodnega nivoja. V odvisnosti od tipa in obsega okvare se situacija spreminja od stanja, v katerem se ohranijo tako kapacitete kot večina funkcionalnosti do stanja, kjer z vključevanjem delavcev v posamezne faze proizvodnje ohranjamo kapaciteto ob zmanjšani fleksibilnosti linije.

## **6 Povzetek**

Zasnovali smo in razvili linijo za proizvodnjo in pakiranje prehrabnih izdelkov. Linija, ki omogoča hkratno proizvodnjo različnih izdelkov je visoko avtomatizirana.

V prispevku smo se posvetili predvsem nekaterim vidikom načrtovanja zgradbe in razmestive linije ter vidikom načrtovanja posameznih logistično transportnih sklopov.

Obravnavali smo tudi specifične zahteve, ki izhajajo iz nedoločenosti oblike in dimenzij ter iz drugih posebnih lastnosti proizvodjanih izdelkov.

## **7 Literatura**

- [1] A. Ružič, *Avtomatizirana linija za hkratno proizvodnjo različnih izdelkov: pregledna predstavitev*, IJS delovno poročilo 9452, Ljubljana 2006.
- [2] A. Ružič, *Programski sistem za nadzor in krmiljenje linije čajev: implementacijske opombe*, IJS delovno poročilo 9450, Ljubljana 2006.