

UPORABA AVTONOMNO VODENEGA VOZILA ZA OSKRBO ROBOTSKIH CELIC Z IZDELKI

Maria Yakimovska, Vinko Drev

Izvleček:

Prispevek prikazuje uporabo avtonomno vodenega vozila (AGV, angl. Automated Guided Vehicle) za oskrbo robotskih celic z izdelki v podjetju LTH Castings d. o. o., ki že vrsto let uspešno širi svoje poslovanje ter pri tem velik poudarek namenja vlaganjem v avtomatizacijo proizvodnih procesov. Čeprav je stopnja avtomatizacije že danes visoka, so nadaljnje investicije na tem področju nujne, saj hiter razvoj industrije zahteva stalno nadgrajevanje in optimizacijo. Znotraj oddelka Avtomatizacija procesov, ki se nahaja v obratu Ljubljana, smo v zadnjih letih postavili in zagnali trenutno največjo skoraj popolnoma avtomatizirano linijo. Ta vključuje štiri robotske celice z osmimi obdelovalnimi stroji ter paletno linijo, ki skrbi za distribucijo izdelkov od robotskih celic, skozi pralni sistem do čiste sobe za nadaljnjo obdelavo. Do pred kratkim so bile robotske celice oskrbovane ročno s pomočjo ročnih viličarjev, danes ta naloga poteka avtomatizirano – z uvedbo avtonomno vodenega vozila.

AGV-sistem omogoča učinkovit in samodejen transport materiala med vmesnim skladiščem in robotskimi celicami, kar zmanjšuje potrebo po ročnih posegih, povečuje produktivnost in hkrati izboljšuje varnost v proizvodnem okolju. Njegova glavna naloga je prevoz namenskih zabojnikov z različnimi tipi izdelkov iz skladišča do robotskih celic ter vračanje praznih zabojnikov nazaj na namenska mesta v skladišču. Na ta način dosegamo visoko raven avtonomije in zagotavljamo nemoten potek proizvodnih procesov. V prispevku bodo podrobneje predstavljeni celoten potek implementacije ter ključne prednosti in omejitve uvedenega sistema.

Ključne besede:

avtonomno vodeno vozilo (AGV), avtomatizacija proizvodnje, robotske celice, optimizacija proizvodnje, industrijska avtomatizacija, notranja logistika

1 Uvod

V industriji ima avtomatizirana oskrba proizvodnih celic pomembno vlogo pri povečanju produktivnosti, zmanjševanju potrebe po ročnem delu in izboljšanju učinkovitosti celotnega procesa. V našem podjetju avtonomno vodena vozila (AGV) uporabljamo že vrsto let pri različnih nalogah v proizvodnji. Do sedaj so bila v uporabi predvsem manjša avtonomna vozila, namenjena premikanju manjših vozičkov med posameznimi celicami v livarni. Z novim projektom smo prvič uvedli večje avtonomno vozilo, namenjeno transportu zabojnikov za oskrbo robotskih celic.

Glavni cilj projekta je bil vzpostaviti zanesljiv in nemoten pretok materiala, zmanjšati potrebo po človeškem posredovanju ter povečati fleksibilnost in prilagodljivost logističnega procesa.

Sistem deluje na osnovi AGV-ja, ki na podlagi informacij o zalogah in potrebah proizvodnje izvaja transport zabojnikov do robotskih celic. Vozilo je povezano z glavnim krmilnikom proizvodne linije, ki komunicira tudi z vsemi ostalimi krmilniki na posameznih celicah, tako da AGV ve, kdaj in kam se mora premakniti.

2 Opis sistema

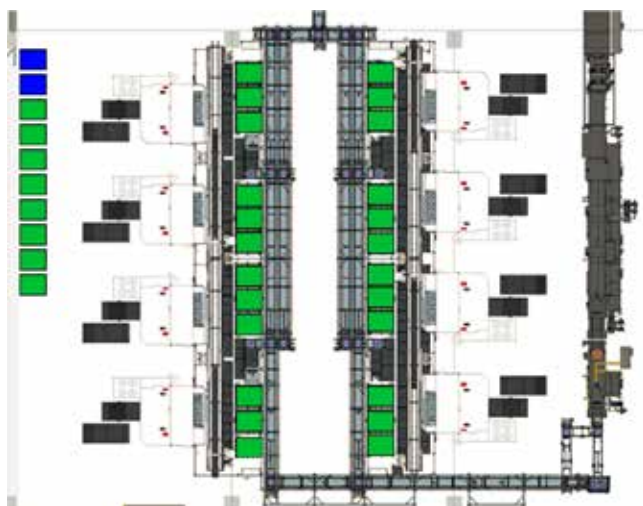
Proizvodna linija (*slika 1*), ki jo bomo oskrbovali z avtonomno vodenim vozilom (AGV), je zasnovana iz štirih robotskih celic, pri čemer vsaka celica vključuje dva obdelovalna stroja SW BA06. Skupno torej linija obsega osem obdelovalnih strojev, razporejenih tako, da zagotavljajo optimalen potek proizvodnje. Vsaka robotska celica je razdeljena na

Maria Yakimovska, univ. dipl. inž., Vinko Drev, univ. dipl. inž., oba LTH Castings d. o. o., Škofja Loka



© The Authors 2025. CC-BY 4.0

<https://doi.org/10.5545/Ventil-31-2025-5.09>



Slika 1 : Model linije in robotskih celic z označenimi pobiralnimi in odlagalnimi mesti

dve postaji, pri čemer ima vsaka postaja tri pobiralno-odlagalna mesta za zabojnike.

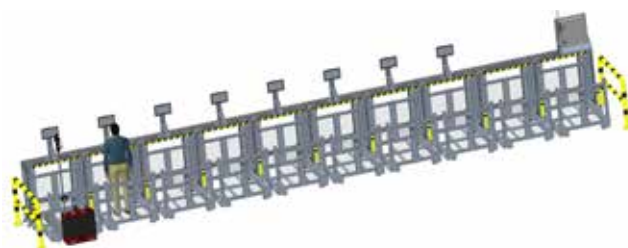
Pobiralno-odlagalna mesta imajo vgrajena vodila, ki so na začetku malo bolj odprta (razširjena), kar omogoča večjo toleranco pri odlaganju zabojnikov v celico.

2.1 Vmesno skladišče zabojnikov

Za zagotovitev nemotenega pretoka materiala je za vsako postajo v istem prostoru vzpostavljeno vmesno skladišče (slika 2). V njem je za vsako postajo rezervirano eno mesto za polne zabojnike, ki jih AGV prevaža iz vmesnega skladišča do posamezne celice. Ker linijo sestavljajo štiri robotske celice in vsaka vsebuje dve postaji, to pomeni skupaj osem postaj in s tem osem mest za polne zabojnike v vmesnem skladišču (osem zelenih kvadratov na levi strani na sliki 1).

Poleg tega sta v vmesnem skladišču predvideni še dve dodatni mesti za prazne zabojnike (dva modra kvadrata na levi strani na sliki 1), ki jih AGV vrača iz celic nazaj v vmesnem skladišču po zaključeni obdelovalni operaciji. Nad vsakim skladiščnim mestom za polne zabojnike je nameščen prikazovalnik (uporabniški grafični vmesnik), ki operaterjem prikazuje ključne informacije o stanju posameznega zalogovnika in pripadajočih robotskih celic.

Za skladiščna mesta, namenjena praznim zabojnikom, smo dodali opozorilni sistem v obliki zvočne sirene. Ta se aktivira v primeru, ko sta obe mesti zasedeni, kar pomeni, da prazni zabojniki še niso bili odstranjeni in prostor za nove še ni na voljo. V takšnem primeru AGV ne more odložiti praznega zabojnika, kar lahko povzroči zastoj v oskrbi ro-



Slika 2 : Model vmesnega skladišča

botskih celic, zato opozorilo omogoča pravočasno ukrepanje.

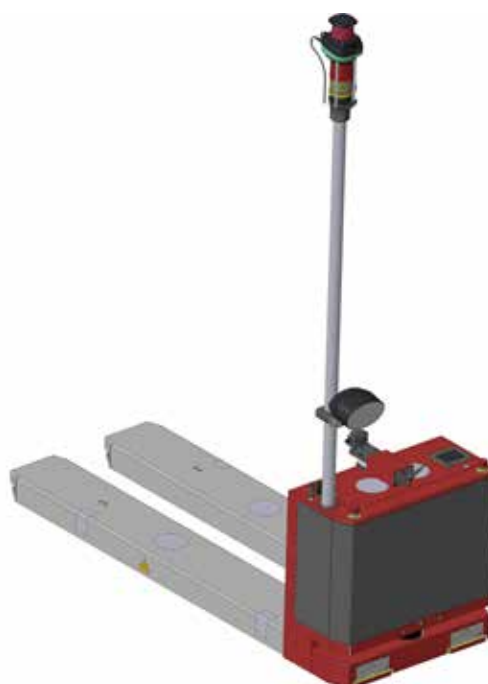
Tako zasnovan sistem zagotavlja učinkovito in avtomatizirano oskrbovanje proizvodnih celic, pri čemer AGV zagotavlja hitro in natančno dostavo zabojnikov med skladiščem in robotskimi celicami.

3 Uporabljena oprema

3.1 AGV

Jedro avtomatiziranega sistema je paletni AGV G130 (slika 3) proizvajalca Melkus Mechatronics. Vozilo uporablja lasersko navigacijo na osnovi tehnologije SLAM, ki omogoča delovanje brez potrebe po dodatni infrastrukturi, kar poveča prilagodljivost in fleksibilnost pri načrtovanju poti znotraj proizvodnega okolja.

AGV se premika vsesmerno, kar zagotavlja visoko manevrsko sposobnost tudi v omejenih prostorih.



Slika 3 : Avtonomno vodeno vozilo (AGV)

Gre za nizkodvižni viličar, ki omogoča avtonomno nalaganje palet ter zagotavlja učinkovito manipulacijo z zabojniki v proizvodnih celicah. Največja višina dviga vilic znaša *130 mm*, kar povsem ustreza zahtevam našega sistema glede na zasnovo in višino transportnih zabojnikov.

3.2 Industrijski računalnik

Za nadzor in izvajanje nalog AGV-ja je uporabljen industrijski računalnik *SHUTTLE BOX-PC BPCAL02-i5*, na katerem je nameščena programska oprema, ki omogoča definiranje mape proizvodnega okolja, prevzemnih in odlagalnih mest ter različnih vrst nalog, kot so: pobiranje zabojnika, odlaganje, premik na določeno lokacijo ali premik na polnilno postajo.

3.3 Siemensov krmilnik

V sistem je vključen Siemensov krmilnik, ki komunicira z AGV-jem in mu glede na stanje v robotskih celicah dodeljuje naloge. Krmilnik je povezan z glavnim krmilnikom linije, ki preko vmesnikov za izmenjavo podatkov pridobiva informacije iz vseh robotskih celic. Tako je omogočen celovit nadzor nad celotnim proizvodnim procesom.

Na podlagi združenih podatkov o stanju linije in trenutnih potrebah posameznih celic se naloge za AGV sprožijo samodejno. Krmilnik nato poskrbi, da se vozilo premakne na ustrezno lokacijo – bodisi za dostavo polnega zabojnika bodisi za odvzem praznega zabojnika. Na ta način sta zagotovljeni optimalna razporeditev nalog ter zmanjšana možnost zastojev v proizvodnji.

3.4 Uporabniški grafični vmesniki

Kot podporo operaterjem uporabljamo osem prikazovalnikov (*Raspberry Pi touchscreen*), ki služijo kot uporabniški grafični vmesniki. Ti so nameščeni nad vmesnim skladiščem – vsak je namenjen eni postaji. Na teh vmesnikih (*slika 4*) so operaterjem na voljo ključni podatki, kot so:

- ▶ trenutno aktivna koda izdelka, ki se obdeluje na posameznem obdelovalnem stroju,
- ▶ način delovanja celice (avtomatski ali ročni način),
- ▶ status zahteve s strani celice (če je bila sprožena zahteva za zabojnik),
- ▶ način oskrbovanja celice (oskrba z AGV-jem ali ročnim viličarjem),
- ▶ informacija o prisotnosti zabojnika na posameznem mestu v vmesnem skladišču.

Prisotnost zabojnika preverjamo s pomočjo senzorjev, ki so nameščeni na vsako skladiščno mesto. V primeru, da senzor na določenem mestu ne zazna zabojnika, se naloga za AGV ne sproži, kar preprečuje napačne premike oziroma vožnje brez zaboj-



Slika 4 : Primer prikazovalnika nad vmesnim skladiščem

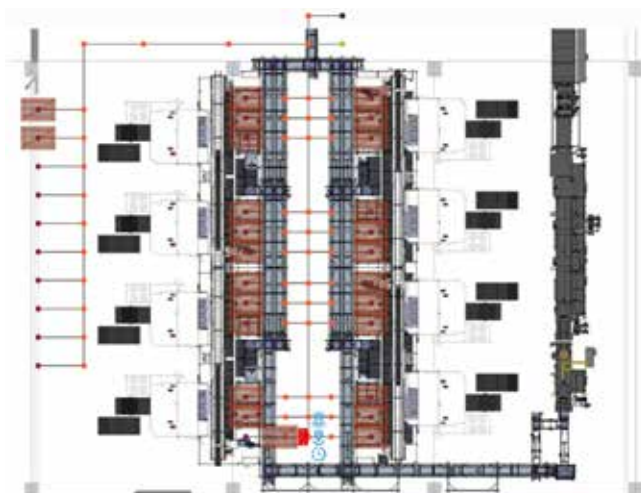
nika. Vsi podatki, razen kode izdelka, so logičnega tipa (*angl. bool*) in jih beremo neposredno iz krmilnika za linijo. Dodatno na vsakem prikazovalniku v spodnjem levem kotu prikazujemo tudi morebitne aktivne alarme, kar omogoča operaterjem hiter pregled nad stanjem sistema ter pravočasno ukrepanje v primeru napak ali morebitnih zastojev.

4 Implementacija sistema

Uvedba avtomatiziranega oskrbovanja robotskih celic z AGV-ja je potekala v več fazah, ki so vključevale najprej testiranje AGV-ja v delavnici, priprava potrebne opreme, načrtovanje in izdelava konstrukcije za vmesno skladišče, načrtovanje in izdelava elektroopreme, prilagoditev programske opreme ter preizkušanje oz. testiranje celotnega sistema. Večino nalog smo sprva preizkusili v delavnici, kjer



Slika 5 : AGV v proizvodnji



Slika 6 : Simulacija AGV-ja v programskem okolju TCS

smo simulirali pobiranje in odlaganje zabojnikov ter spremljali natančnost gibanja vozila.

Med testiranjem smo se soočili predvsem z izzivi glede natančnosti pri pobiranju in odlaganju zabojnikov. Čeprav je predvidena toleranca pri pozicioniranju znašala $\pm 1\text{ cm}$, smo v praksi pogosto zaznali večja odstopanja, kar je povzročalo težave pri pravilnem pobiranju in odlaganju zabojnikov na predvidena mesta. Za izboljšanje natančnosti smo večkrat izvedli kalibracijo navigacijskega sistema, saj smo ugotovili, da se položaj vozila lahko zaradi manjših premikov ali sprememb v okolju nekoliko spremeni. Z rednim kalibriranjem in prilagajanjem nastavitev smo dosegli boljšo natančnost pri pozicioniranju AGV-ja, kar je bistveno izboljšalo uspešnost pobiranja in odlaganja zabojnikov.

Po uspešno izvedenih kalibracijah in dodatnih prilagoditvah algoritmov smo nadaljevali s testiranjem v dejanskem proizvodnem okolju (slika 5). AGV se je po uvedbi izkazal za zanesljivega in učinkovitega pri oskrbovanju robotskih celic, pri čemer je dosegel zadostno natančnost pri premikih in nalogah, kar je omogočilo nemoten avtomatiziran proces proizvodnje.

Prostorske prilagoditve v proizvodnji so vključevale označevanje poti, definiranje točk za pobiranje in odlaganje zabojnikov ter določitev pozicij vmesnega skladišča (slika 6). Za zagotavljanje varnosti v proizvodnem okolju smo uvedli dodatne talne oznake, varnostne cone in signalizacijo. Po prilagoditvi prostora smo nadaljevali z integracijo AGV-ja v obstoječi proizvodni sistem.

Programska oprema omogoča tudi dinamično dodeljevanje nalog glede na stanje v celicah. Sistem je konfiguriran tako, da se naloge izvajajo v skladu s potrebami linije, kar pomeni, da krmilnik AGV-ju sproži nalogo šele, ko prejme povratno informacijo o stanju zalog iz celice.

5 Postopek dodeljevanja nalog

Dodeljevanje nalog AGV-ju temelji na vnaprej določenih pogojih, ki zagotavljajo varno in zanesljivo delovanje v proizvodnem okolju. Pred vsako nalogo sistem najprej preveri stanje baterije AGV-ja. V primeru, da je stanje baterije nižje od 10 %, AGV naloge ne prevzame, temveč se nemudoma usmeri na polnilno postajo. Če je stanje baterije med 10 % in 20 %, sistem najprej preveri, ali obstaja aktivna naloga. Če naloge ni, gre AGV prav tako na polnilec. V vseh ostalih primerih, ko je stanje baterije ustrezno ali je naloga nujna, AGV nadaljuje z izvajanjem naloge.

Pri dodeljevanju nalog ločimo dva glavna postopka: *prevzem praznega zabojnika iz celice* in *dostavo polnega zabojnika v celico*.

5.1 Prevzem praznega zabojnika iz celice

Ko AGV prejme nalogo za prevzem praznega zabojnika iz celice, ga najprej usmerimo na lokacijo pred celico (slika 7). Ko se nahaja na poziciji, zaradi varnostnih zahtev začasno izklopimo varnostni skener, nameščen v notranjosti celice. AGV se nato zapelje v celico, pobere prazen zabojnik in se premakne nazaj pred skener, kjer čaka, da se ta ponovno vklopi. Šele po ponovni aktivaciji skenerja nadaljuje pot do vmesnega skladišča, kjer zabojnik odloži na za to določeno prazno mesto.



Slika 7 : Primer prevzema zabojnika iz celice

5.2 Prenos polnega zabojnika v celico

V primeru dostave polnega zabojnika sistem najprej preveri, ali je na pripadajočem skladiščnem mestu že pripravljen poln zabojnik za dostavo. Če je, AGV prejme nalogo in se odpravi do skladišča, kjer pobere zabojnik. Nato se premakne pred celico, kjer počaka pred varnostnim skenerjem. Ko izklopimo skener, AGV nadaljuje vožnjo v celico, kjer odloži zabojnik. Po končani nalogi se vozilo vrne pred skener in počaka na njegov ponovni vklop. Po izvedeni nalogi AGV čaka na morebitno novo dodelitev. Če v roku 20 sekund ne prejme nove naloge, sistem preveri stanje baterije. Če je ta pod 80 %, se AGV usmeri na polnilno postajo, v nasprotnem primeru na parkirno mesto, kjer čaka na naslednjo aktivacijo.

Po uspešni integraciji in konfiguraciji smo izvedli serijo testov za preverjanje delovanja sistema. Najprej smo uvedli delovanje sistema samo na eni celici v eni izmeni, kjer smo potem sistem razširili na vseh ostalih celicah v eni izmeni ter na koncu še v vseh treh izmenah.

Preizkusi so vključevali simulacijo različnih scenarijev oskrbe celic, spremljanje natančnosti premikov in odzivnosti sistema na spremembe v proizvodnji. Posebej smo preverjali pravilnost zaznavanja zalog, pravočasno pošiljanje ukazov AGV-ju ter natančnost pri pobiranju in odlaganju zabojnikov.

6 Sklep

Ker gre za projekt, ki smo ga prvič uvedli v takem obsegu, smo se med implementacijo soočili z več

izzivi, predvsem tehnične narave. Ena od pogostejših težav je bila povezana s pozicioniranjem AGV-ja, kjer so se pojavljala odstopanja pri natančnosti ustavljanja na določenih točkah, kar je vplivalo na zanesljivost pobiranja in odlaganja zabojnikov. Dodatno smo imeli težave pri vzpostavljanju kontakta s polnilno postajo, kar je v teh primerih povzročalo težave pri samodejnem polnjenju vozila.

Z uvedbo AGV-ja smo dosegli krajši čas oskrbe, saj ni več potrebnega dodatnega čakanja na razpoložljivost operaterja – AGV nalogo izvede takoj po prejemu ukaza. S tem smo operaterje razbremenili ročnega dela, zmanjšali obseg ročnih posegov ter izboljšali pretočnost linije, kar pred uvedbo ni bilo mogoče.

Za dodatno nadgradnjo bi sistem lahko opremili s kamero za vizualno zaznavanje točnih pozicij, kar bi še izboljšalo natančnost pri delovanju. Prav tako bi vpeljali brezstično (brezkontaktno) polnilno postajo, ki bi poenostavila in pospešila postopek polnjenja brez potrebe po mehanskem priklopu.

Kot nadaljnje korake načrtujemo nadgradnjo sistema z uporabo tehnologije RFID, kjer bo vsak zabojnik opremljen s čipom, AGV pa s čitalcem RFID. Takšna rešitev bi omogočila avtomatsko prepoznavanje zabojnikov in še večjo sledljivost materiala.

Kljub začetnim izzivom se je uvedba sistema izkazala za uspešno, zato že razmišljamo o razširitvi uporabe AGV-jev tudi na druge proizvodne linije – povsod tam, kjer pogoji in procesi omogočajo uvedbo takega sistema. V prihodnosti načrtujemo postopno nadgradnjo in optimizacijo obstoječega sistema z namenom povečanja učinkovitosti in širše uporabe v podjetju.

Use of Automated Guided Vehicle for Supplying Robotic Cells with Products

Abstract:

This paper presents the use of an Automated Guided Vehicle (AGV) for supplying robotic cells with products at LTH Castings d.o.o., a company that has been successfully expanding its business for many years while placing strong emphasis on investments in the automation of the production processes. Although the current level of automation is already high, further investments in this area are essential, as the rapid development of industry requires continuous upgrading and optimization. Within the Process Automation Department, located at the Ljubljana plant, we have in recent years designed and commissioned the company's largest and nearly fully automated production line. This line includes four robotic cells with eight machining centers, as well as pallet conveyor system that ensures the distribution of products from the robotic cells, through the washing system, to the cleanroom for further processing. Until recently, the robotic cells were supplied manually using hand pallet trucks, today, this task has been automated with the introduction of an Automated Guided Vehicle (AGV).

The AGV system enables efficient and fully automated material transport between the intermediate warehouse and the robotic cells, reducing the need for manual intervention, increasing productivity, and at the same time improving safety in the production environment. Its main task is to transport dedicated containers with different product types from the warehouse to the robotic cells and to return empty containers back to their designated storage locations. In this way, a high level of autonomy is achieved, ensuring the uninterrupted flow of the production processes. The paper will present in detail the entire implementation process, as well as the key advantages and limitations of the introduced system.

Keywords:

automated guided vehicle (AGV), production automation, robotic cells, production optimization, industrial automation, internal logistics