

PRIMENA ROBOTA U POŠTANSKIM PRERADNIM CENTRIMA

Aleksandar Čupić¹, Mladenka Blagojević¹, Dejan Marković¹, Đorđe Popović²

¹Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,
a.cupic@sf.bg.ac.rs, m.blagojevic@sf.bg.ac.rs, mdejan@sf.bg.ac.rs

²Univerzitet u Istočnom Sarajevu - Saobraćajni fakultet Doboj,
djdjpopovic1970@gmail.com

Rezime: *Višegodišnji konstantan porast broja paketskih pošiljaka uzrokovan, pre svega, e-trgovinom, kao i očekivanja da će se taj trend stabilno nastaviti u dužem vremenskom periodu naterali su poštanske operatore i poštanske kompanije širom sveta da ozbiljno preispitaju svoje pristupe ne samo finalnom razvrstavanju pošiljaka, već i svakoj manipulaciji koja zahteva ljudski rad. U radu je prikazano da robotizacija dela operacija u pripremi pošiljaka za sortiranje, u samom sortiranju, kao i operacija koje slede nakon što su pošiljke razvrstane po odlaznim pravcima predstavlja neminovnost u poštanskoj industriji koja prati sveopšti trend robotizacije i široke upotrebe veštačke inteligencije u poslovanju. Identifikovane su tri glavne oblasti potencijalne primene robotskih sistema u poštanskim preradnim centrima: prilikom uvođenja paketa u sistem, robotski sistemi za razvrstavanje paketa i primena robota za manipulaciju razvrstanih pošiljaka.*

Ključne reči: *automatizacija, prerada pošiljaka, robot*

1. Uvod

Internet kupovina, njena globalna prisutnost i intenzivan rast predstavljaju glavni razlog povećanja broja paketskih pošiljaka sa kojim se suočava većina poštanskih operatera širom sveta. Tradicionalni sistemi sortiranja koji su se razvijali više decenija postali su standardna oprema preradnih centara nudeći im automatizaciju velikog procenta operacija uz visoke kapacitete, pouzdanost i efikasnost bez obzira na izabrani princip rada ili proizvođača. Zajednički imenitelj ovih sistema sortiranja je neprekidnost kretanja pošiljaka i njihovo poluautomatsko ili automatsko upućivanje na krajnja odredišta. Bez obzira što je većina operacija sa pošiljkama mehanizovana i automatizovana, ipak je do sada u najvećem broju slučajeva, izuzimajući najprotočnije sisteme sortiranja prisutne kod poštanskih integratora kao što su DHL, FedEx, UPS, bio potreban i manuelni rad u pripremi pošiljaka za finalno sortiranje, kao i u otpremanju pošiljaka ka spoljnom transportu. Osim toga, određeni procenat pošiljaka zahteva posebno rukovanje bilo zbog osetljivosti sadržaja ili zbog nestandardnih gabarita tako da manuelni rad, bez obzira na sve napore, nikada u suštini nije bio iskorenjen iz preradnih centara.

Nekada prihvatljiv procenat manualnog rada, koji je gotovo neizbežan pri eksploataciji kontinualnih transporterata za preradu pošiljaka, usled porasta cene ljudskog rada, u kombinaciji sa brzim padom cene robotskih sistema, postaje sve više neprihvatljiv. To je glavni razlog zašto se i manje poštanske kompanije poslednjih godina okreću rešenjima koja imaju za cilj smanjenje, ako ne i potpuno ukidanje, ljudskog rada gde god je to moguće u procesu prenosa pošiljaka.

Proces robotizacije operacija u poštanskom saobraćaju pojavom autonomnih vozila i dronova stavio je akcenat na optimizaciju i smanjenje troškova prikupljanja pošiljaka od pošiljaoca, smanjenje troškova prenosa i uručenja primaocu. Činjenica da je fokus čitave industrije na automatizaciji sakupljanja i dostave nije neočekivana jer prikupljanje i dostava (eng. *First/Last mile delivery*) generišu veliki procenat ukupnih troškova prenosa pošiljaka dok se, sa druge strane, smatralo da je proces prerade, odnosno razvrstavanja pošiljaka, najvećim delom već automatizovan i da efekat investiranja u ovu fazu ne može imati toliku ekonomsku opravdanost. Autonomnim sistemima dostave autori su se ranije bavili u radu [1]. U ovom radu akcenat će biti upravo na neophodnosti i načinima uvođenja robota i sa njima povezane veštačke inteligencije u fazu prerade pošiljaka.

2. Pregled relevantne literature

Upotrebom robota u manipulaciji pošiljkama bavilo se više autora u proteklih desetak godina. Najviše interesovanja za istraživanja u ovoj oblasti pokazala je industrija e-trgovine koja je na taj način pokušala da reši problem komisioniranja robe u svojim skladištima koja su u tom periodu imala dramatičan rast kako po površini, tako i po broju i vrsti jedinica koje kroz ta skladišta prolaze. Poseban problem im je predstavljao zahtev da se rokovi uručenja ne samo ispoštuju, već često i skrate bez obzira na povećanje obima posla. Kako se tipičan konvejski sistem komisioniranja robe i sortiranja pošiljaka ugrubo sastoji od uvodnih stanica, samog konvejera i izlaznih dokova, veoma su važna istraživanja kako različite alternative razmeštaja opreme utiču na performanse *tilt-tray* ili *cross-belt* sistema sortiranja. Fedtke i Boysen [2] su u svom istraživanju analizirali scenarija sa paralelnim konvejerima, različitim brojem uvodnih stanica, kao i različitim pravilima utovara. Takođe, pomenuti autori su se u istom radu bavili i utvrđivanjem procedura za dodelu dolaznih i odlaznih tokova pošiljaka određenim dokovima za istovar/utovar.

Lamballais i ostali [3] su se bavili istraživanjem uticaja rasporeda opreme (*layout*) na performanse prerade u sistemima sa mobilnim autonomnim robotima (eng. *Autonomous Mobile Robot – AMR*). Autori ovog rada su došli do zaključka da na propusnost, odnosno kapacitet prerade sortirnog centra (logističkog u njihovom slučaju), najveći uticaj imaju lokacije radnih stanica i odnos dužine i širine skladišnog prostora. Wang i ostali [4] su istraživali radni ciklus robota koji pomera regale u skladištu. Njihovi rezultati su veoma ilustrativni prilikom računanja vremenskih parametara kretanja mobilnih robota za sortiranje, o kojim će više reči biti u nastavku. Tan i ostali [5] istražuju problem optimizacije sortiranja paketa u skladištu e-trgovine gde paketi čekaju na sortiranje i dostavu. Detaljan operativni plan prebacivanja paketa sa komisionih stanica i automatski vođenih vozila (eng. *Automated Guided Vehicle – AGV*) na prikolice se utvrđuje u cilju da se minimizira vreme završetka obrade poslednje pošiljke. Na osnovu definisanog problema autori su razvili model mešovitog celobrojnog linearnog programiranja koji je rešavan algoritmom optimizacije rojem čestica (eng. *Particle Swarm Optimization – PSO*).

Predloženim PSO algoritmom uspeali su da reše model sa visokom efikasnošću, dok je analiza osetljivosti sugerisala kakav bi trebalo da bude razmeštaj prikolica u koje prihvataju pakete od AGV.

Xu i ostali u izuzetno ilustrativnom radu [6] koriste tabu pretraživanje kako bi dokazali da je moguće unaprediti performanse sistema prerade pomoću mobilnih robota (smanjuju vreme prerade pošiljka i troškove manuelnog rada) promenom politike dodeljivanja paketa robotu. Trenutno je najrasprostranjenije pravilo dodeljivanja paketa najbližem – slučajnom robotu, ali autori rada [6] dokazuju da je moguće povećati protočnost sistema do 8,76% i smanjiti manuelni rad čak za 17,5% kada se koristi njihov algoritam dodele. Ovaj rad pokazuje da je uvođenje mobilnih robota u sortiranje paketa uveliko usvojeno i da će u budućnosti glavni akcenat naučne zajednice biti na usavršavanju softvera upravljanja ovim uređajima, a ne dokazivanju da li su njihova fleksibilnost i niski operativni troškovi dovoljan razlog za širu primenu u industriji.

S obzirom na aktuelnost teme korišćenja robota u mnogim industrijama moguće je pronaći inspirativne radove u širokom spektru naučnih oblasti, ali su najbliže problematici razvrstavanja paketa kojom se bavi ovaj rad radovi [7, 8, 9, 10].

3. Korišćenje robota u pripremi pošiljaka za sortiranje

Pre nego što se pristupi finalnom sortiranju pošiljaka potrebno je iste pripremiti kroz nekoliko sukcesivnih faza. Radno najintenzivnije faze koje prethode razvrstavanju, a u kojima je moguće substituisati ljudski rad robotima, su istovar pošiljaka iz dolaznih vozila i naročito uvođenje pošiljaka na kontinualna sredstva (trakaste, *tilt-tray*, *cross-belt* i slične konvejjere).

Uvođenje pošiljaka u sistem za razvrstavanje je u velikom procentu sistema prerade malog i srednjeg kapaciteta (do 18.000 pak/h) do sada bilo rešeno pomoću operatera čiji zadatak je bio da iz nadolazećeg kontingenta nerazvrstanih pošiljaka izdvajaju jednu po jednu pošiljku, mere im masu ako je to potrebno, pravilno ih orijentišu (u smislu vidljivosti adrese) i postavljaju na konvejer. Ponekad su, kod sistema manjeg preradnog kapaciteta, uz prethodno navedene operacije vršili i očitavanje adrese uz kodiranje pošiljke. U slučajevima kada je obim pošiljaka prevazilazio kapacitet jedne mašine, poštanski operatori i kompanije bi uvodili u eksploataciju veći broj mašina pre nego što bi se odlučili za kompleksnije i daleko skuplje potpuno automatizovane sisteme. Ovakve odluke su imale za posledicu da je broj angažovanih ljudi rastao prateći rast broja pošiljaka.

Ideja zamene operatera uvođenjem robota nije nova, ali je za njenu širu implementaciju bilo neophodno da se ispuni nekoliko važnih uslova. Na prvom mestu smanjenje cena robotskih sistema koje su do pre samo desetak godina bile tolike da je čak i u zemljama sa najvećom cenom rada bilo potpuno neisplativo koristiti ih za izvršavanje ipak jednostavnih i relativno nepreciznih operacija kakva je uvođenje i singulacija pošiljaka. Pojeftinjenje svih komponenti manipulativnih robota, kako hardverskih tako i softverskih, uz pojavu veštačke inteligencije i njenu primenu u upravljanju učinili su ih upotrebljivim u gotovo svim procesnim industrijama. Globalna kriza radne snage kojom je naročito pogođen evropski kontinent i posledično rast jedinične cene rada samo su dodatno pospešili robotizaciju. Ne samo da su skratili period povratka investicije u novu tehnologiju, već su i usloveli da je u svim planovima za ozbiljna proširenja poslovanja prisutna strategija menadžmenta da se potreba za novim radnicima reši prekvalifikacijom

postojećih zaposlenih koji bivaju zamenjeni robotima. Prema [11] već u toku sledeće 2025. godine širom sveta će biti u upotrebi 4 miliona robota u 50 hiljada skladišnih/sortirnih objekata.



Slika 1. Manipulativni robot Yaskawa GP12 u radu [12]

Na slici 1 prikazan je jedan od manipulativnih robota (robotska ruka) koji se koriste na poslovima uvođenja i singulacije paketa na tradicionalni kontinualni transporter za razvrstavanje. Osnovni zahtev koji se postavlja pred robote u ovoj fazi prerade je da se mogu što lakše integrisati sa postojećim tradicionalnim sistemima sortiranja. U zavisnosti od broja stepeni slobode kretanja robotima je potrebno manje ili više prostora na radnom mestu tako da je u slučaju nedostatka slobodnog prostora potrebno postaviti sofisticiraniji, a samim tim i skuplji uređaj. Osim toga, važno je pravilno izabrati tip zahvatanja u zavisnosti od karakteristika paketa (masa, gabarit, lomljivost, itd.). Za skeniranje, zahvatanje, orijentaciju i pozicioniranje paketa koristi se trodimenzionalno inteligentno snimanje u kombinaciji sa obradom slike pomoću veštačke inteligencije. Kapacitet uvođenja je maksimalno do 1.700 kom/h, maksimalna masa paketa je 12 kg, dok je domet robota 1440 mm u horizontalnoj, odnosno 2511 mm u vertikalnoj ravni [12].

4. Roboti kao rešenje faze sortiranja pošiljaka

U nastavku će biti predstavljeni roboti kao rešenja za finalno sortiranje po destinacijama. Ovi roboti koriste kombinaciju senzora, kamera, aktuatora i drugih mehaničkih komponenti kako bi detektovali, okarakterisali i sortirali objekte u ispravnu posudu/vreću ili pregradak. Njihov proces sortiranja je prilagođen specifičnim potrebama i zahtevima svakog preduzeća i prilagođen je vrsti predmeta/paketa koji se sortiraju. Osim u poštanskoj koriste se u različitim industrijama, uključujući e-trgovinu, logistiku, proizvodnju, poljoprivredu i reciklažu [13].

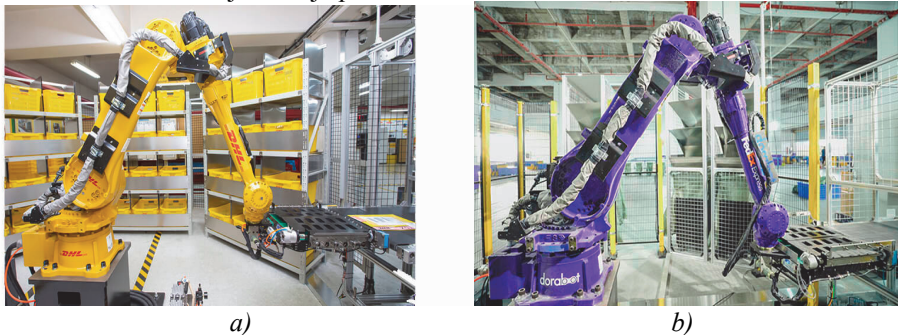
Primena robota u fazi sortiranja paketa predstavlja novinu koja u mnogome redefiniše postulate dobre inženjerske prakse ustanovljene prethodnih nekoliko decenija na iskustvima korišćenja kontinualnih konvejera. Najvažnija razlika je u tome da aksiom u projektovanju sortirnih linija, a koji se odnosio na to da se kontinualni tok paketa ako je to ikako moguće ne prekida, uvođenjem robota u sortiranje više nije obavezan. Osim toga, kapaciteti prerade koji su bili definisani brzinom kretanja paketa i njihovim međurastojanjem na transporteru nezavisno od dužine transportera i broja odredišta sada su kod robotskog sortiranja definisani, pre svega, brojem robota, njihovom pojedinačnom

kapacitivnošću i zavise od raspoloživog prostora, odnosno broja odredišta. Bez obzira na očigledne razlike između pojedinačnih robotskih sistema, najuopštenije rečeno, postoje dva tipa robota za sortiranje pošiljaka: fiksni i mobilni.

4.1 Fiksni roboti u sortiranju paketa

Fiksni roboti koji se koriste za sortiranje paketa svojim izgledom veoma podsećaju na robote koji su predstavljeni u prethodnom poglavlju. Međutim, funkcionalne karakteristike ovih robota su daleko ispred onih koji su namenjeni za uvođenje pošiljaka na kontinualne transportere, odnosno manipulaciju razvrstanih paketa. Zadatak ovih robota je daleko složeniji s obzirom da je potrebno identifikovati određenu adresu preuzetog paketa i na osnovu nje odložiti ga u jednu od maksimalno 100 mogućih kliznica/posuda/vreća (trenutno je to najveći broj odredišta). Zbog toga ne treba upoređivati cene robotskih sistema za sortiranje paketa sa robotima namenjenim uvođenju/odvođenju paketa, već sa tradicionalnim sistemima za sortiranje malih paketa svedenih na isti kapacitet sortiranja.

Robot predstavljen na slici 2 postiže kapacitet sortiranja preko 1.000 kom/h najviše zahvaljujući veštačkoj inteligenciji kojom je upravljani. Možda ovaj kapacitet, pojedinačno gledan, ne ostavlja utisak da bi mogao da reši rastući problem prerade velikog broja pošiljaka, ali kada se ima u vidu da je ovom robotu dovoljno 40m² za rad i da je na srazmerno malom prostoru moguće instalirati potreban broj robota koji bi povećali ukupni kapacitet prerade, onda je potpuno logično što su dva najveća svetska integatora DHL i FedEx instalirali ove uređaje u svoje preradne centre.



Slika 2. Fiksni sortirni AI robot - Dorabot: a) DHL b) FedEx

Robotski sistemi sortiranja nude mogućnost poštanskim operatorima i kompanijama da bolje dimenzionišu svoje preradne kapacitete prema trenutnim, ali i budućim potrebama nudeći im konstantno visok koeficijent iskorišćenja. Sa druge strane, nosivost od 10 kg po paketu, kao i limitirana debljina paketa, ograničavaju upotrebu ovih robota na sortiranje malih paketa zbog smeštanja velikog broja odredišta na malom prostoru [14]. Ni mobilni roboti se još uvek ne mogu koristiti za sortiranje velikih i teških paketa tako da je najverovatniji scenario da će u preradnim centrima u budućnosti biti prisutni tradicionalni sistemi sortiranja potpomognuti novim inteligentnim robotskim sistemima.

4.2 Autonomni mobilni roboti u fazi sortiranja paketa

Autonomni mobilni roboti kao rešenje za sortiranje malih i srednjih paketa imaju značajno veću primenu od fiksnih. Osnovni razlog je, prema mišljenju autora ovog rada, značajno iskustvo koje je poštanska i industrija logističkih usluga sakupila u dužem nizu godina u kojima su se koristila autonomna vozila u unutrašnjem transportu. Autonomni roboti koji neodoljivo u radu podsećaju na AGV vozila zapravo to i jesu sa razlikom da im nisu potrebne tradicionalne tehnike navođenja (kontaktno, indukciono i sl.) već imaju sposobnost samonavođenja u kontrolisanim uslovima, dok je rutiranje i optimizacija najčešće prepuštena veštačkoj inteligenciji. U suštini, AMR transformišu i optimizuju operacije automatizacijom dugotrajnih zadataka nudeći prilagodljivost različitim poslovnim potrebama. Ne definiše ih oblik ili veličina već njihova sposobnost navigacije i određivanja vlastitih ruta.

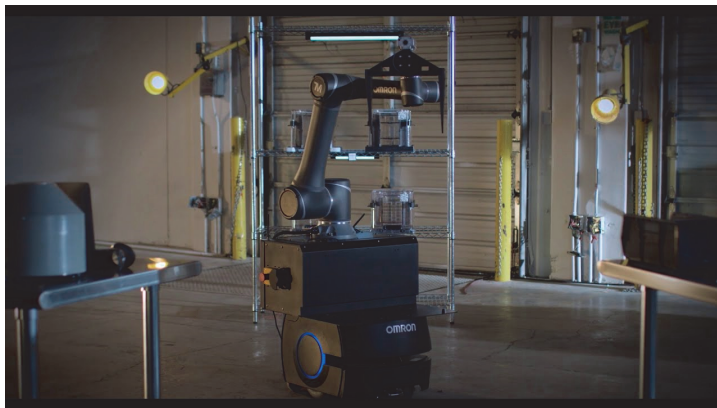
Uopšteno govoreći, u zavisnosti od njihove primene, izdvajaju se tri kategorije autonomnih mobilnih robota koji se koriste u poštanskim preradnim centrima:

- AMR za prenos inventara, čiji je zadatak da automatizuju prenos kutija, paleta, kontejnera unutar preradnog centra. U tu svrhu rukuju i ukрупnjem i pojedinačnim predmetima;

- AMR za prikupljanje pošiljaka unutar preradnog centra, čiji je zadatak da sa određenih zadatih mesta na kojima pošiljke čekaju na preradu iste preuzmu i prevezu do punktova za sortiranje;

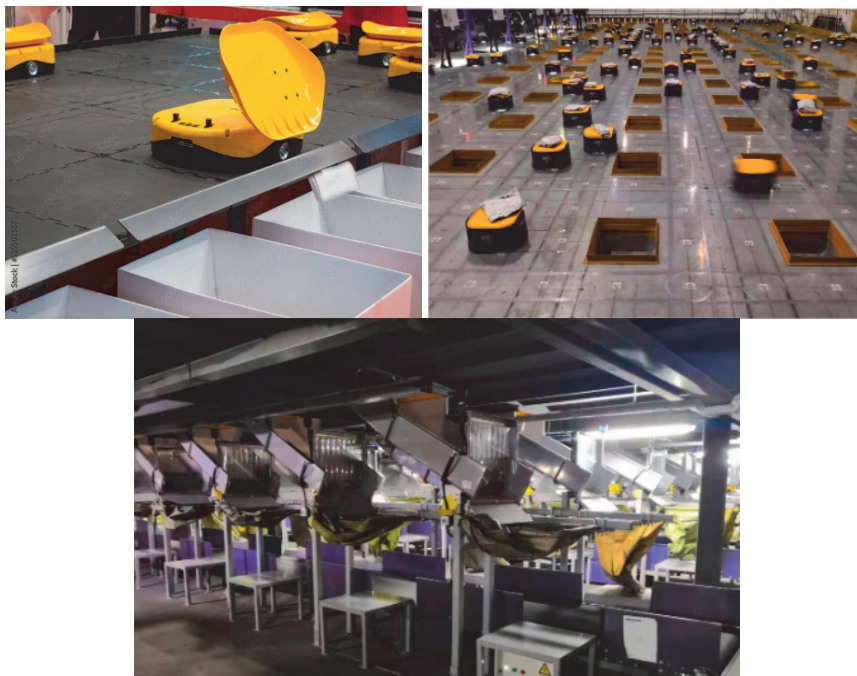
- AMR za sortiranje, čiji je zadatak da olakšaju sortiranje pomoću različitih alata.

U fazi sortiranja poštanskih paketa ovi roboti se mogu koristiti kroz nekoliko pojava oblika. Jedan od njih je AMR sa robotskom rukom koji je pogodan za napredne zadatke automatizacije kao što su fleksibilno komisioniranje, pakovanje i paletizovanje (slika 3). Njihova svestranost čini ih idealnim za sortiranje u poštanskim preradnim centrima.



Slika 3. Autonomni mobilni robot sa robotskom rukom

Takođe, u poštanskim preradnim centrima pogodni su za korišćenje i AMR koji pojednostavljaju proces sortiranja različitim tehnologijama rukovanja. Upravljaju zadacima kao što su brzo sortiranje paketa koji su uglavnom posledica e-trgovine i rukovanje povratom robe. Autonomne mobilne robote ove vrste odlikuje brz i precizan rad, uska područja za sortiranje i zauzimanje malog prostora (slika 4).

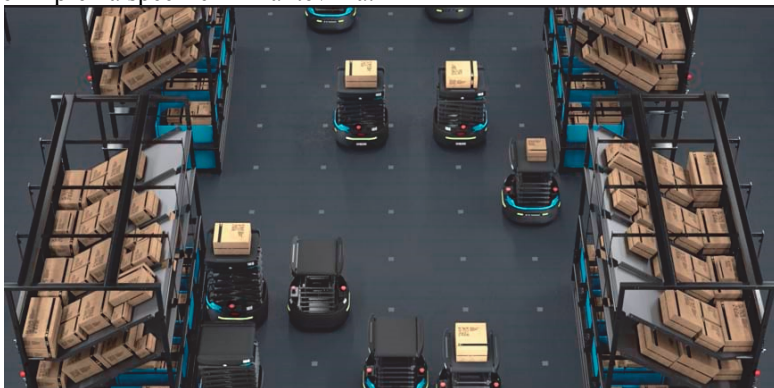


Slika 4. Autonomni mobilni robot u radu

U posljednjih nekoliko godina primetna je sve veća primena AMR ove vrste kod poštanskih operatora u procesima prerade. Bez fiksnih infrastrukturnih zahteva, modularni sistemi zasnovani na AMR su skalabilni i nude potpunu fleksibilnost, sa dodatnim robotima koji se lako uvode kada su potrebni. Jedan od takvih uspešnih primera je Hellenic Post gde su roboti deo programa digitalnog restrukturiranja državne kompanije čiji je cilj da se nosi sa sve većim brojem paketa od onlajn kupovine koji datira još od pandemije korona virusa. Hellenic Post je pre tri godine u prerađni centar u Atini u prvoj iteraciji uvela u eksploataciju 55 malih autonomnih mobilnih robota na četiri točka pokretanih veštačkom inteligencijom, ubrzavajući proces sortiranja koji često oduzima mnogo vremena. Pri toj aktivnosti roboti skeniraju poštanski broj, mere masu paketa i, vođeni senzorima, istovaruju paket u odgovarajuće poštanske vreće postavljene oko platforme kojom se roboti kreću (slika 5). Zahvaljujući robotima proces je i do tri puta brži, obezbeđujući dostavu sledećeg dana, a greške su praktično eliminisane. Danas ovaj operator raspolaže sa 120 autonomnih mobilnih robota i može da obradi blizu 125.000 paketa težine do 10 kg svakog dana. Svaki robot se puni samo pet minuta svaka četiri sata, roboti su izrazito efikasni, pa su potrošnja energije na licu mesta i troškovi energije minimizirani. Rešenje za sortiranje zasnovano na AMR je navodno omogućilo operatoru da poboljša efikasnost svoje radne snage raspoređivanjem osoblja na produktivnije zadatke.

Još jedan oblik primene AMR u poštanskim prerađnim centrima za potrebe sortiranja pošiljaka su i AMR sa podiznom platformom (slika 5). To je najosnovniji tip autonomnih mobilnih robota i predstavlja osnovu za mnoge raznovrsne primene zavisno od opremljenosti samog uređaja i potreba onih koji ih uvode u eksploataciju. Njihova

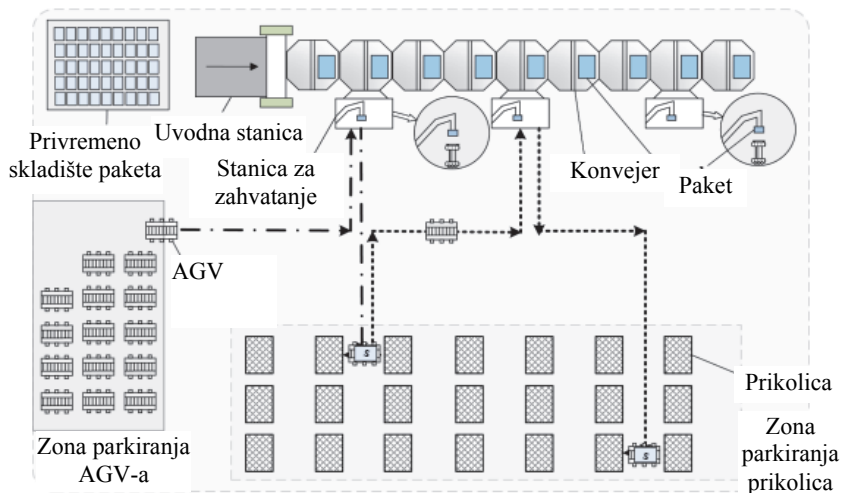
osnovna prednost je prilagodljivost koja kompanijama omogućava izradu robotskih rešenja prilagođenih prema specifičnim zahtevima.



Slika 5. Sortirni mobilni roboti sa podiznim platformama

5. Mogućnosti upotrebe robota u manipulaciji razvrstanih pošiljaka

Slično robotima koji zamenjuju skup manualni rad u pripremnim fazama prerade paketa, i roboti namenjeni za rad sa razvrstanim paketima imaju neke specifične zahteve koje moraju da ispune. Zadatak je, u najkraćem, da se iz gomile pošiljaka (koje su u ovom slučaju sa istim pravcem upućivanja, ali ih može biti više na kraju kliznice bilo zbog brzog nailaska ili zbog nedostupnosti odvoženja dalje) identifikuje pojedinačna pošiljka i prebaci na AGV/boks paletu/vreću i slično. Za razliku od uvodnih robota, ovi roboti ne moraju da pravilno orijentišu paket, ali u nekim slučajevima može se tražiti od njih daleko komplikovanija operacija slaganja, odnosno formiranja logističke jedinice.



Slika 6. Prikaz odvoženja razvrstanih pošiljaka korišćenjem robota i AGV-a

Na slici 6 dat je šematski prikaz jednog mogućeg rešenja odvoženja razvrstanih paketa [5]. Nakon upućivanja paketa na određenu kliznicu od strane kontinualnog

konvejera (može biti bilo koji), paketi bivaju zahvaćeni od strane robota koji ih utovaruje na AGV. Nakon što biva utovaren, AGV transportuje paket do odgovarajuće prikolice gde ga istovaruje i vraća se do robota koji mu je dodeljen za utovar sledećeg paketa. Iako je tehnološki, kapacitivno, pa čak i softverski apsolutno moguće da jedan robot opslužuje više od jedne određene kliznice to se u praksi ne praktikuje zbog smanjenja složenosti upravljanja samim robotom, što je u skladu sa istraživanjem koje su sprovedeli Fedtke i Boysen [2].

Osim ovog scenarija, u zavisnosti od broja odredišta, kapaciteta prerade i udaljenosti utovarnog fronta na vozila spoljnog transporta, moguća su i jednostavnija scenarija – bez korišćenja AGV-a. U toj varijanti bi roboti prebacivali pakete sa kraja kliznice, recimo, direktno u prikolice/box palate sa točkovima koje bi se na manje ili više automatizovan način odvozile. U tom slučaju bi se pojavio poseban problem slaganja paketa, što bi moglo da uspori rad robota.

Cene manipulativnih robota koji se koriste za uvođenje paketa na transporter ili za manipulaciju razvrstanim pošiljkama variraju u relativno širokom opsegu, ali ih je moguće nabaviti već za oko 3000 hiljada dolara. Ovakva cena apsolutno opravdava postavljanje zasebnog robota na kraju svake kliznice umesto komplikovanja upravljačkih procedura jer fleksibilnija i produktivnija rešenja mogu koštati i preko 10000 dolara. S obzirom na uštede koje sa sobom donose, period povratka investicije je u svakom slučaju i više nego zadovoljavajuć.

6. Zaključak

Tradicionalno sortiranje poštanskih pošiljaka, pre svega paketa, obavljalo se ručnim radom sa značajnim utroškom vremena i često nedostatkom istog, uzrokujući kašnjenja u procesu uručjenja pošiljaka, ponekad i sa greškama. Sortiranje je bivalo dugotrajno i radno intenzivno. Dugo su kontinualni transporter bili jedina opcija za mašinsko razvrstavanje paketa i sva je prilika da će još dugo biti u upotrebi. Zbog svoje fleksibilnosti i niskih operativnih troškova atraktivna alternativa za rešavanje ovih problema, koja na specifičan način doprinosi povećanju produktivnosti i efikasnosti preradnog centra, je neminovno uvođenje robota u proces prerade i sortiranja pošiljaka. Kao što je u radu prikazano, mnogostruke su niše primene raznih varijanti robota na raznim aktivnostima procesa prerade i sortiranja. Ono što se mora istaći je da cilj nije da se radnici zamene robotima, već da se radna snaga učini efikasnijom.

Literatura

- [1] A. Čupić, M. Blagojević, D. Marković, “Analiza sistema kombinovane dostave poštanskih pošiljaka”, *Zbornik radova XLI Simpozijuma o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju – PosTel 2023*, 87-98, 28-29. novembar 2023, Beograd, <https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954752/POSTEL.2023.009>
- [2] S. Fedtke, N. Boysen, “Layout planning of sortation conveyors in parcel distribution centers”, *Transp. Sci.* 51 (1) (2017) 3–18, <https://doi.org/10.1287/trsc.2014.0540>.
- [3] T. Lamballais, D. Roy, M.B.M. De Koster, “Estimating performance in a Robotic Mobile Fulfillment System”, *Eur. J. Oper. Res.* 256 (3), 976–990, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.06.063>.

- [4] K. Wang, Y.M. Yang, R.X. Li, “Travel time models for the rack-moving mobile robot system”, *Int. J. Prod. Res.* 58 (14), 4367–4385, 2020, <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1652778>.
- [5] Z. Tan, H. Li, X. He, “Optimizing parcel sorting process of vertical sorting system in e-commerce warehouse”, *Advanced Engineering Informatics*, 48, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101279>
- [6] X. Xu, Y. Chen, B. Zou, Y. Gong, “Assignment of parcels to loading stations in robotic sorting systems”, *Transportation Research Part E* (164), 2022, <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102808>
- [7] N. Boysen, D. Briskorn, S. Fedtke, M. Schmickerath, “Automated sortation conveyors: A survey from an operational research perspective”, *European J. Oper. Res.* 276 (3), 796–815, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.08.014>.
- [8] D.L. McWilliams, “A dynamic load-balancing scheme for the parcel hub-scheduling problem”, *Comput. Ind. Eng.* 57 (3), 958–962, 2009, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2009.03.013>.
- [9] M. Merschformann, T. Lamballais, M. De Koster, L. Suhl, 2019. “Decision rules for robotic mobile fulfillment systems”, *Oper. Res. Perspect.* 6, 100128, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.orp.2019.100128>.
- [10] B. Zou, R. De Koster, Y. Gong, X. Xu, G. Shen, “Robotic sorting systems: Performance estimation and operating policies analysis”, *Transp. Sci.* 55 (6), 1430–1455, 2021, <https://doi.org/10.1287/trsc.2021.1053>
- [11] <https://www.abiresearch.com/press/50000-warehouses-use-robots-2025-barriers-entry-fall-and-ai-innovation-accelerates/>
- [12] <https://www.motoman.com/en-us/about/media-center/news/october-2022/flexible,-high-speed-robotic-parcel-induction-for>
- [13] <https://www.unboxrobotics.com/sorting-robots-in-express-logistics-industry-a-complete-guide/>
- [14] <https://newsroom.fedex.com/newsroom/asia-pacific/fedex-launches-ai-powered-sorting-robot-to-drive-smart-logistics>

Abstract: *The multi-year constant increase in the number of parcels caused, above all, by e-commerce, as well as the expectation that this trend will continue stably for a long period of time has forced postal operators and postal companies around the world to seriously reconsider their approach not only to the final sorting of postal items, but also to any manipulation that requires human work. The paper shows that the robotization of part of the operations in the preparation of postal items for sorting, in the sorting itself, as well as the operations that follow after the items (parcels) are sorted according to outgoing directions, is an inevitability in the postal industry, which follows the general trend of robotization and the wide use of artificial intelligence. Three main areas of potential application of robotic systems in postal sorting centers have been identified: during the introduction of parcels into the system, robotic systems for sorting parcels and the application of robots for the manipulation of sorted postal items.*

Keywords: *automation, sorting of postal items, robot*

USE OF ROBOTS IN POSTAL SORTING CENTERS

Aleksandar Čupić, Mladenka Blagojević, Dejan Marković, Đorđe Popović