

UNAPREĐENJE KOMISIONIRANJA UPOTREBOM SORTIRNIH ROBOTA IMPROVING ORDER PICKING THROUGH THE USE OF SORTING ROBOTS

Tijana Vujinović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – SAOBRAĆAJ I TRANSPORT

Kratak sadržaj – Težište ovog rada je na istraživanju mogućnosti racionalizacije komisionih procesa kroz njihovu automatizaciju. Cilj rada je racionalizacija procesa komisioniranja robe u postojećem skladištu jedne kompanije koje se istražuje kroz automatizaciju i uvođenje sortirnih robota u skladišni sistem. Za istraživanje je korišćeno simulaciono modelovanje postojećih i projektovanih komisionih procesa u realnom skladišnom sistemu. Simulacioni modeli su razvijeni u simulacionom softveru „FlexSim“ i omogućili su da se porede različite varijante realizacije komisionih procesa prema prethodno definisanim parametrima.

Ključne reči: Komisioniranje, AMR vozila, simulacija.

Abstract – The focus of this work is on exploring the possibilities for rationalizing picking processes through automation. The aim of the study is to optimize the goods picking process in an existing warehouse of a company, investigated through the automation and introduction of sorting robots into the warehouse system. The research utilized simulation modeling of both existing and proposed picking processes in a real warehouse system. Simulation models were developed using the "FlexSim" simulation software, allowing for the comparison of different variants of the picking processes according to previously defined parameters.

Keywords: Order picking, AMR vehicles, simulation.

1. UVOD

Komisioniranje je veoma važan proces koji se realizuje u skladištima za komadne terete i obuhvata aktivnosti izdvajanja traženih artikala prema specifikacijama narudžbina. Njegova efikasnost zavisi od primenjene skladišne tehnologije, organizacije prostora i primenjenih strategija upravljanja. Zbog visokih troškova i obima aktivnosti, komisioniranje se kontinuirano istražuje i unapređuje kako bi se optimizovali procesi, povećala produktivnost i smanjile greške.

Fokus ovog rada je istraživanje potencijala za unapređenje komisionih procesa kroz automatizaciju i uvođenje sortirnih robota. Za istraživanje je korišćeno simulaciono modelovanje postojećih i projektovanih (uz primenu robota) komisionih procesa u realnom skladišnom sistemu.

Simulacioni modeli su razvijeni u simulacionom softveru „FlexSim“ i omogućili su da se porede različite varijante realizacije komisionih procesa prema prethodno definisanim parametrima (brzina, produktivnost i tačnost komisionih procesa). Simulacioni modeli omogućavaju poređenje više scenarija, uključujući različite kombinacije broja robota i količine sortirane robe.

2. SKLADIŠNI PROCESI

U okviru skladišnog sistema mogu se realizovati različiti prerađni procesi a najčešće su to: sortiranje, razdvajanje, spajanje, fizičko ili hemijsko delovanje na robu, pakovanje, označavanje, kao i proces komisioniranja koji će se obraditi u daljem tekstu.

2.1. Komisioniranje kao prerađni proces u skladištu

Komisioniranje je proces pripreme robe za otpremu prema nalogu kupca i uglavnom se sastoji od procesa sortiranja, rasformiranja i formiranja jedinica tereta. Komisioniranje predstavlja kompleksan proces, vremenski veoma zahtevan, sa najvećim učešćem u operativnim troškovima skladištenja i od velikog uticaja na kvalitet skladišne usluge. Jedan od načina za unapređenje procesa komisioniranja jeste uvođenje novih tehnoloških rešenja.

2.2. Faze komisioniranja

Komisioniranje se sastoji od tri faze: priprema, realizacija i kontrola. Priprema uključuje analizu narudžbenica i izradu plana komisioniranja, realizacija podrazumeva izdvajanje robe sa skladipnih pozicija, dok kontrola obuhvata proveru ispunjenja.

2.3. Sistemi i tehnologije komisioniranja

Sistemi za komisioniranje mogu se klasifikovati na različite načine, tj. prema: politici obrade porudžbina kupaca, principu kretanja komisionera (čoveka) ili robe, prema opremi koju koriste komisioneri, prema skladišnom prostoru. S aspekta kretanja komisionera ili robe, postoje sledeći sistemi: čovek - ka - robi, roba - ka - čoveku i automatski.

Komisioniranje po principu čovek - ka - robi, može biti bazirano na komisionim listama, bežičnom komisioniranju primenom bar-kod skeniranja, glasom usmerenom komisioniranju, uočavanju svetlosnih signala. Težište ovog rada je na istraživanju primene autonomnih mobilnih robota i za sortiranje odeređene grupe proizvoda po kupcima.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Svetlana Nikolić, red. prof.

2.4. Performanse procesa komisioniranja

U istraživanjima na području logistike i lanaca snabdevanja, koristi se sledeća klasifikacija performansi [1]:

- finansijske performanse;
- performanse produktivnosti;
- kvalitativne performanse;
- vremenske performanse.

Performanse procesa komisioniranja (proizvodnost, vreme odziva, nivo tačnosti - grešaka, troškovi i sl) u velikoj meri zavise od izabrane - primenjene tehnologije skladištenja, *layout*-a, podsistema komisioniranja. Zbog velikog obima aktivnosti, troškova koje komisioniranje generiše, ono je predmet stalnih istraživanja u cilju unapređenja i racionalizacije.

3. OPIS I ANALIZA POSTOJEĆIH PROCESA KOMISIONIRANJA

U ovom radu, težište je na analizi i unapređenju postojećih procesa komisioniranja u realnom skladišnom sistemu. Posmatranje postojećih procesa rada obavljeno je u logističkoj kompaniji u trajanju od sedam dana. Iz postojećeg asortimana, izdvojena je jedna grupa visokoobrtne robe u okviru koje postoji 68 različitih vrsta proizvoda, ali su sve vrste istih dimenzija, oblika, težine. Posmatranjem postojećeg procesa komisioniranja uočeni su parametri koji idu u prilog uvođenju automatizacije, kao što su prostor kojim skladište raspolaže kao i količina robe koja se svakodnevno komisionira (tabela 1), kretanje radnika i razdaljina koju prelaze, nošenje i sortiranje robe ručno, količina robe koju je moguće sortirati, vreme potrebno za provere i krajnje pakovanje za dostavu, samim tim i produktivnost i učešće grešaka.

Tabela 1. Prikaz broja porudžbina na dnevnom nivou

Novi Sad	Broj porudž. /dan	Količina/ dan [komad]	Kol./ radnik/smena [kom]	Kol./ rad./ 1h [kom]
27.2.2024.	873	35.684	8.921	1.700
28.2.2024.	988	41.717	10.429	1.700
29.2.2024.	1.004	39.145	9.786	1.700
1.3.2024.	505	21.009	5.252	1.700
2.3.2024.	402	21.004	5.251	1.700

Detaljan pregled rada i funkcionisanja novosadskog skladišta obavljen je poslednje nedelje februara 2024. godine kada je nadgledan rad i funkcionisanje radnika u sve tri smene.. Četvrte nedelje svakog meseca dolazi do značajnog porasta u prodaji posmatrane vrste robe. Snimanje komisionih procesa omogućilo je identifikaciju grešaka i uvid u mogućnosti za poboljšanje i racionalizaciju. Na osnovu analize realnog sistema, razvijeni su simulacioni modeli koji obuhvataju sve relevantne aspekte i mehanizme, kao što su objekti, oprema i pravila rada. Modeli su izrađeni u softveru „FlexSim“ i realno oponašaju korišćenje robota u procesu komisioniranja.

4. AUTOMATIZACIJA SKLADIŠTA

Automatizacija skladišta se odnosi na upotrebu tehnologija i softvera za automatizaciju različitih zadataka koji se ponavljaju, uključujući upravljanje skladištem, komisioniranje, pakovanje i otpremu. Automatizacija procesa u skladišnim sistemima podrazumeva primenu tehnoloških rešenja i sistema kako bi se aktivnosti izvršavale bez ili sa minimalnim intervencijama ljudske radne snage. Ovo uključuje upotrebu različitih tehnologija, softvera i hardvera kako bi se poboljšala efikasnost, smanjili troškovi i povećala preciznost u upravljanju robom. Glavni cilj automatizacije u skladištima je optimizacija logističkih procesa, od prijema i skladištenja do pripreme i isporuke proizvoda [2].

4.1. Trendovi automatizacije skladišta

U skladištima se mogu primeniti različiti automatizovani sistemi, a neki od njih su: mobilni roboti kao usluga, kolaborativni roboti, automatizovana vođena vozila, automatizovani sistemi za sortiranje, sistemi za upravljanjem skladištem na različitim platformama, *Pick-to-Light* i *Put-to-Light* sistemi, sistemi za prepoznavanje bar-koda, kao i automatizovani sistemi mobilnih robota (detaljnije obrađeni u poglavlju 6). Koristeći ove tehnologije, preduzeća mogu da poboljšaju tačnost, efikasnost, bezbednost i održivost, istovremeno smanjujući troškove i optimizujući skladišni prostor.

4.2. Prednosti i nedostaci automatizacije

U industriji skladištenja automatizacija nudi određene prednosti, uključujući poboljšanu preciznost, veću efikasnost, unapređenje sigurnosti i minimiziranje troškova. Nedostaci automatizacije skladišta su malobrojni, ali ključni pri odlučivanju o investicijama. Novi sistemi mogu biti nestabilni, uz rizik loših proračuna, a autonomni sistemi su skloni kvarovima i zahtevaju stručne popravke, što može dovesti do zastoja. Takođe, u nekim slučajevima roboti ne mogu potpuno zameniti ljude, pa je često potrebna poluautomatizacija.

5. ROBOTIKA U SKLADIŠNIM SISTEMIMA

Robotika je spoj nauke, inženjeringa i tehnologije koja proizvodi mašine - robote, koje repliciraju ili zamenjuju ljudske akcije. Ovo je veoma važno jer je jedan od najvećih izazova sa kojima se danas suočava logistička industrija je dostupnost radne snage. Postoji više razloga za takvu situaciju prvi je uvođenje e-trgovine i promene u navikama ljudi da kupuju preko interneta, što dovodi do potrebe za većim brojem radnika u logističkim procesima, a drugi razlog je pad raspoložive radne snage zbog smanjenja broja stanovnika, kao i celokupne promene potražnje poslova u društvu. Roboti se obično dele u više kategorija, a neke od njih su: unapred programirani roboti, humanoidni roboti, autonomni roboti, teleoperativni roboti, kolaborativni roboti [3].

Prvi roboti korišćeni za industrijske potrebe uvedeni su 1961. godine kako bi obavljali složenije zadatke. Roboti su korišćeni za teške i ponavljajuće zadatke. Poslednjih 30 godina autonomni mobilni roboti su se drastično promenili. Današnji AMR-ovi (*Autonomous Mobile Robots* - AMR) (slika 1) mogu obavljati različite vrste zadataka i pomažu pri smanjenju troškova u mnogim

sektorima. Mogu raditi duže od normalnog radnog vremena, kao i vikendima i samim tim pomažu u smanjenju opterećenja radnika tokom pika proizvodnje, bez zapošljavanja dodatnih radnika u fabrikama i skladištima.



Slika 1. Autonomni mobilni roboti – LiBiao roboti

6. AUTONOMNI MOBILNI ROBOTI

Autonomni mobilni roboti su novi oblik automatizacije koji uključuje robotsko paletiranje/depaletiranje i autonomne mobilne robote (AMR). AMR koriste senzorsku tehnologiju za transport robe po skladištima, ali za razliku od AGV-a (*Automated Guided Vehicle*), ne zahtevaju postavljenu stazu ili unapred postavljenu rutu između lokacija. Ovi mali i okretni roboti mogu identifikovati informacije na svakom paketu i precizno ih sortirati. Ovi roboti omogućavaju efikasnost, tačnost i sigurnost tokom procesa sortiranja.

6.1. Pametni sortirni roboti – LiBiao roboti

LiBiao roboti su roboti prvenstveno namenjeni za sortiranje. Prvi put su instalirani u Turskoj, od strane vodećeg turskog preduzeća *Kuryenet*, koje se bavi distribucijom paketa i poštanskim uslugama.

Automatizovani robotski sistem za sortiranje zahteva samo jednu petinu površine poda potrebne tradicionalnom transportnom sistemu. *LiBiao* roboti vrše sortiranje robe po naložima gde se pomoću skenera očitava vrsta robe i automatski se prepoznaje kom nalogu pripada ta roba i odvozi se do predviđenog mesta.

6.2. Zašto su *LiBiao* roboti AMR, a ne AGV

I AMR i AGV su robotska rešenja koja se koriste u manipulaciji materijalima u skladištima, distributivnim centrima i proizvodnim pogonima. Ove tehnologije automatizacije premeštaju materijale s jedne lokacije na drugu i čine protok materijala efikasnijim. Takođe pomažu u poboljšanju stopa grešaka i produktivnosti radnika. AMR je robot koji koristi senzore i može biti kontrolisan autonomno, bez potrebe za ručnim vođenjem ili markerima. Ključne razlike između AMR i AGV su: navigacija, izbegavanje prepreka, bezbednost, troškovi vlasništva, implementacija, fleksibilnost, reagovanje i održavanje [4].

AMR-ovi mogu pružiti slobodno kretanje i planiranje rute u realnom vremenu, što im omogućava da sarađuju sa ljudima u aktivnostima manipulisanja materijalima. Takođe imaju sposobnost brze promene zadataka, preusmeravanja oko prepreka i rada u gotovo svakom okruženju. Ove karakteristike im omogućavaju da se koriste za mnogo širi spektar zadataka od AGV-ova i zbog svega toga, *LiBiao* roboti spadaju u AMR-ove. Iako

su AGV-ovi prisutni duže vreme, AMR-ovi brzo postaju preferirani izbor za mnoge primene zbog svoje fleksibilnosti, vremena reagovanja i niskih potreba za održavanjem [4].

7. SIMULACIJA PROCESA KOMISIONIRANJA U SOFTVERU „FLEXSIM“

Osnovna prednost primene simulacionih modela, koji su razvijeni u različitim softverskim alatima, je da mogu da pomognu u utvrđivanju i praćenju zakonitosti karakterističnih za opisivane realne sisteme.

7.1. Simulacija diskretnih događaja

U tehnici, simulacija se koristi za modeliranje dinamičkih, stohastičkih sistema koji se diskretno menjaju. Sistem je skup različitih entiteta (ljudi i mašina) koji u toku vremena utiču uzajamno jedni na druge da bi ostvarili jedan ili više ciljeva.

Proizvodnja i transport su dinamički procesi, promenljivi u toku vremena. Dakle, stanje sistema, osobine entiteta i broj aktivnih entiteta, sadržaj setova, aktivnost, i kašnjenja koja se odigravaju su sve funkcije zavisne od vremena i menjaju se u toku vremena.

7.2. „FlexSim“

„FlexSim“ je softver za 3D simulaciju koji modelira, simulira, predviđa i vizualizuje poslovne sisteme u različitim sektorima (proizvodnja, zdravstvo, skladištenje, rudarstvo, logistika i dr). Softver „FlexSim“ može da se koristi za vizualizaciju rezultata predloženih promena radi optimizacije tokova proizvoda, za vizualizaciju rasporeda osoblja, iskorišćenosti resursa, dizajna raspodele prostora i skoro svaki drugi aspekt sistema. Zahvaljujući simulacionim softverima omogućeno je da se optimizuje sistem pre nego što se izvrše promene u realnim sistemima, čime se ostvaruju uštede u vremenu i novcu.

8. MODEL PROCESA KOMISIONIRANJA UPOTREBOM SORTIRNIH ROBOTA

Za unapređenje postojećih procesa komisioniranja predlaže se viši tehnološki nivo komisioniranja. Primena novih autonomnih mobilnih robota za sortiranje se istražuje u realnom skladišnom sistemu za određenu vrstu robe. Izabrana vrsta robe je pogodna za komisioniranje robotima jer su dimenzije pojedinačnih komada ujednačene za različite proizvode unutar izabrane grupe i nema velikih razlika u težini, te nema potrebe za korišćenjem različitih vrsta robota, što značajno smanjuje troškove nabavke i pojednostavljuje primenu ovog sistema.

8.1. Definisanje parametara modela

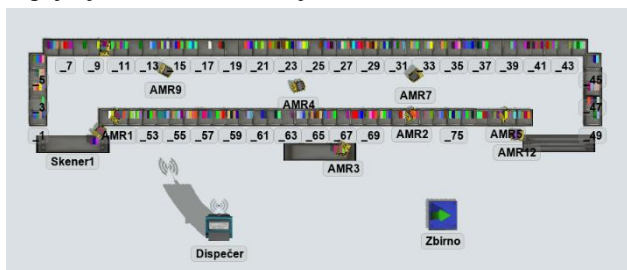
Simulacioni model je razvijen za praćenje parametara komisioniranja i stvaranja slikovitijeg prikaza moguće postavke automatizacije skladišta. Osnovne veličine korišćene za kreiranje simulacionog modela su: skladišni prostor, ograničeno vreme komisioniranja, rastojanja koja se prelaze, količina narudžbina (komada/dan) i broj određinih mesta za robu (šut).

Model koji se koristi približno prikazuje plan postavljanja i korišćenja AMR-a. On sadrži jedan izvor koji ima svoj tempo izbacivanja proizvoda, sadrži 2 mesta za skeniranje

proizvoda i raspoređivanje po robotima, 20 sortirnih robota i 80 šuteva za odlaganje proizvoda. U realnom sistemu neće postojati izvor koji će zadavati tempo pristizanja proizvoda, već će sva roba već biti zbirno odvojena u blizini pozicija za skeniranje. Plan je da roboti dolaze do skenera gde se roba ručno postavlja na robota za sortiranje sa bar-kodom okrenutim ka gore da bi se automatski skenirao i nakon skeniranja robe robot zna u koji šut treba da odveze robu. Kako su u pitanju AMR vozila, ona se kreću određenom putanjom pri nailasku na drugo vozilo lako se obilaze da bi stigli do potrebne lokacije gde odlažu robu u šut. Šutevi predstavljaju kupce, što znači da se može istovremeno opsluživati 80 kupaca. Nakon što se rasporedi roba za tih 80, pušta se naredni nalog koji sadrži narudžbine narednih 80 kupaca.

8.2. Prikaz strukture modela

Izgled kreiranog modela je prikazan na slici 2, ovaj model je napravljen u ovom obliku da bi se što realističnije prikazala putanja AMR-a, kao i lakše preglednosti u softveru. Model, naravno, ima određena ograničenja i nije u potpunosti precizan, jer se ne uzimaju u obzir određena ubrzanja i usporenja, ljudske greške, vreme koje oduzima napajanje robota, servisiranje itd.

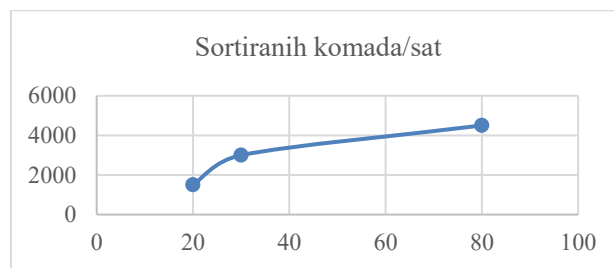


Slika 2. Prikaz simuliranog modela

Cilj formiranja ovakvog modela je da se izvrši objektivno vrednovanje pokazatelja posmatranih komisionih procesa, što treba da pomogne pri odlučivanju o nabavci i implementaciji nove opreme. Prikazani model je odredio broj robota dovoljnih za određene dnevne zahteve, kao i broj neophodnih pozicija za skeniranje da bi se ispoštovala brzina i vreme za koje mora da se realizuje komisioniranje.

8.3. Izlazni rezultati modela

Cilj simulacionog modela je da odredi potreban broj robota, prostor i troškove njihove upotrebe kako bi se izračunao period povrata investicije. Iako roboti nisu brži od ljudi, smanjuju vreme ispravljanja grešaka sa 25% na 0%, čime se povećava produktivnost. Roboti će preuzeti monotone zadatke poput sortiranja, dok će radnici biti oslobođeni teških fizičkih poslova i zaduženi za kompleksnije aktivnosti. Produktivnost ostaje ista, ali se poboljšava efikasnost zahvaljujući smanjenju grešaka, a radnici i roboti sarađuju u realnom vremenu. Uvođenjem robota se poboljšava i kvalitet rada radnika, dolazi i do opšteg zadovoljstva radnika što može da dovede do manje fluktuacije radnika. Radnici su mogli da rasporede oko 1700 komada robe na sat, dok će roboti sortirati do 3500 komada, s tim da će doći do potrebe za dodatnim preslaganjem robe u polutke. Potreban broj robota se može utvrditi na osnovu grafika na slici 3.



Slika 3. Odnos sortiranih komada sa brojem robota

Svaka automatizacija procesa zahteva određena finansijska ulaganja, ali isplativost se ne prati samo kroz povrat investicije, nego i kroz: unapređivanje procesa, smanjenje štete na robi, ubrzanje vremena provedenog u komisioniranju i pripremanju robe za dalji transport.

9. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

U cilju unapređenja komisioniranja, simuliran je proces upotrebe autonomnih mobilnih robota za sortiranje, čime se olakšava rad skladišnih radnika i smanjuje potreba za kontrolom robe, brojem radnika, te rizik od povreda. Model simulira robote koji sortiraju robu prema kupcima, prateći produktivnost radnika i optimizujući proces. Ograničenja simulacije uključuju smanjenje broja entiteta i nasumičnu raspodelu naloga, ali predloženo rešenje nudi fleksibilnost u sortiranju. Glavni rezultati uključuju povećanje produktivnosti do 25%, 55 robota koji sortiraju 3500 komada robe na sat, ispunjenost 90% dnevnih potreba i zadržavanje istog broja zaposlenih. Očekuje se da će dalji razvoj samovozećih vozila unaprediti industrijske procese i smanjiti uticaj na životnu sredinu.

10. LITERATURA

- [1] Nikolić S. (2016): Osnovi logistike: principi, sistemi i procesi, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
- [2] [Automatizacija u skladištu: trendovi i izazovi u svetu brzine i efikasnosti | PC Press](#) (pristupljeno u julu 2024.)
- [3] <https://builtin.com/robotics> (pristupljeno u julu 2024.)
- [4] <https://hy-tek.com/resources/whats-the-difference-between-amr-and-agv/> (pristupljeno u maju 2024.)

Kratka biografija:



Tijana Vujinović rođena je u Novom Sadu 2000. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Saobraćaj i transport – Unapređenje komisioniranja upotrebom sortirnih robota odbranila je 2024.god. kontakt: tijanavujinovic000@gmail.com