

Usporedba protoka automatiziranih skladišnih sustava za male dijelove s dizalicama i s regalnim vozilima

Magdić, Nikolina

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:788629>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom](#).

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-27**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Nikolina Magdić

Zagreb, 2019. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Goran Đukić, dipl. ing.

Studentica:

Nikolina Magdić

Zagreb, 2019. godina.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem svom mentoru prof. dr.sc. Goranu Đukiću na ukazanom povjerenju i savjetima pri pisanju ovog rada. Također zahvaljujem svojoj obitelji i dečku Nini Horvatu na neizmjenoj podršci i pomoći tijekom studija.

Nikolina Magdić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Nikolina Magdić** Mat. br.: 0035201707

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Usporedba protoka automatiziranih skladišnih sustava za male dijelove s dizalicama i s regalnim vozilima**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Throughput comparison for mini-load AS/RS and SBS/RS**

Opis zadatka:

Za skladištenje i komisioniranje manjih dijelova, kao automatizirane izvedbe sustava pojavljuju se automatizirani skladišni sustavi s dizalicama unutar prolaza (poznati kao eng. mini-load AS/RS) te u novije vrijeme sustavi s regalnim vozilima (poznati kao shuttle-based S/RS, SBSR/S).

U radu je potrebno:

- opisati automatizirane skladišne sustave za male dijelove u izvedbi s dizalicama i regalnim vozilima,
- prikazati prednosti korištenja i primjere primjene ovih sustava,
- objasniti modele oblikovanja ovih sustava, s naglaskom na modele radnih ciklusa potrebne za određivanje protoka sustava,
- provesti usporedbu protoka na odabranim varijantama izvedbi sustava.

Zadatak zadan:
29. studenog 2018.

Rok predaje rada:
1. rok: 22. veljače 2019.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2019.
3. rok: 20. rujna 2019.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 25.2. - 1.3. 2019.
2. rok (izvanredni): 2.7. 2019.
3. rok: 23.9. - 27.9. 2019.

Zadatak zadao:

Prof.dr.sc. Goran Đukić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	III
POPIS OZNAKA	IV
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD.....	1
2. AUTOMATIZIRANI SKLADIŠNI SUSTAVI ZA MALE DIJELOVE.....	2
2.1. Opis	2
2.2. Prednosti korištenja.....	4
2.3. Primjeri primjene	6
2.3.1. Proizvođači	6
2.3.2. Implementacija.....	8
3. AUTOMATIZIRANI SKLADIŠNI SUSTAVI S VOZILIMA UNUTAR REGALA	10
3.1. Opis	10
3.2. Prednosti korištenja.....	12
3.3. Primjeri primjene	13
3.3.1. Proizvođači	13
3.3.2. Implementacija.....	14
4. MODELI OBLIKOVANJA.....	15
4.1. Automatizirani skladišni sustavi s dizalicama	15
4.1.1. Automatizirani skladišni sustavi s malim dijelovima	17
4.2. Automatizirani skladišni sustavi s regalnim vozilima	20
5. USPOREDBA PROTOKA.....	22
5.1. Odabrani primjeri iz prakse.....	22
5.2. Proračun s istim vrijednostima brzine i ubrzanja.....	23
5.2.1. Regal 10,8×30 m.....	23
5.2.2. Regal 18×18 m.....	24
5.2.3. Regal 54×6 m.....	25
5.3. Usporedba izračunatih protoka	26
5.4. Proračun s maksimalnim vrijednostima brzine i ubrzanja	27
6. ZAKLJUČAK.....	28
LITERATURA.....	29
PRILOZI.....	31

POPIS SLIKA

Slika 1. Automatizirani skladišni sustav za male dijelove [1]	3
Slika 2. Dizalica za transport više sanduka [3]	4
Slika 3. Sustav s konvejerima Mecalux [4].....	5
Slika 4. Schaefer mini-load AS/RS [6]	7
Slika 5. Mini-load sistem implementiran u poduzeće Polar [7].....	8
Slika 6. Ulazno/izlazna stanica [7]	9
Slika 7. D.B.T. d.o.o. sustav za male dijelove [8].....	9
Slika 8. Skica SBS/RS [9].....	11
Slika 9. Vozilo tvrtke Vanderlande [10]	11
Slika 10. Lift za transport više kutija istovremeno [11].....	12
Slika 11. Regalno vozilo <i>Stingray</i> tvrtke TGW [12].....	13
Slika 12. SBS/RS tvrtke Knapp [13].....	14
Slika 13. SBS/RS implementiran u poduzeće Alnatura [14]	14
Slika 14. Radni ciklusi dizalice [15]	15

POPIS TABLICA

Tablica 1. Proizvođači AS/RS [5].....	6
Tablica 2. Specifikacije Schaefer mini-load AS/RS [17].....	22
Tablica 3. Specifikacije Swisslog SBS/RS [18].....	22
Tablica 4. Podaci za proračun	23
Tablica 5. Podaci za regal 10,8×30 m.....	23
Tablica 6. Mini-load AS/RS za 10,8×30 m.....	23
Tablica 7. SBS/RS za 10,8×30 m.....	24
Tablica 8. Podaci za regal 18×18 m.....	24
Tablica 9. Mini-load AS/RS za 18×18 m.....	24
Tablica 10. SBS/RS za 18×18 m.....	25
Tablica 11. Podaci za regal 54×6 m.....	25
Tablica 12. Mini-load AS/RS za 54×6 m.....	25
Tablica 13. SBS/RS za 54×6 m.....	26
Tablica 14. Usporedba podataka	26
Tablica 15. Rezultati s maksimalnim vrijednostima	27

POPIS OZNAKA

Oznaka	Opis
AS/RS	<i>Automated Storage and Retrieval Systems</i>
SBS/RS	<i>Shuttle-based Storage and retrieval Systems</i>
AVS/RS	<i>Autonomus Veichle Storage and Retrieval Systems</i>
SC	<i>Single command</i>
DC	<i>Dual command</i>
L	<i>Duljina regala</i>
H	<i>Visina regala</i>
v_x	<i>Brzina u smjeru osi x</i>
v_y	<i>Brzina u smjeru osi y</i>
T	<i>Faktor skaliranja</i>
Q	<i>Faktor oblika</i>
SIT	<i>Square-in-time</i>
E(SC)	<i>Vrijeme jednostrukog radnog ciklusa</i>
E(TB)	<i>Prosječno vrijeme vožnje između dvije točke u regalu</i>
E(DC)	<i>Vrijeme dvostrukog radnog ciklusa</i>
$T_{P/D}$	<i>Vrijeme odlaganja ili izuzimanja spremnika</i>
S(DC)	<i>Standardna devijacija vremena vožnje dvostrukog radnog ciklusa</i>
k_1, k_2	<i>Granice uniformne razdiobe vremena vožnje dvostrukog radnog ciklusa dizalice</i>
t_1, t_2	<i>Granice uniformne razdiobe vremena dvostrukog radnog ciklusa</i>
E(CT)	<i>Očekivano vrijeme ciklusa sustava</i>
p	<i>Prosječno vrijeme komisioniranja po spremniku</i>
E(PU)	<i>Očekivana iskoristivost komisionera</i>
R	<i>Protok mini-load sustava</i>
ϑ	<i>Protok SBS/RS sustava</i>
t_a	<i>Vrijeme dolaska</i>
ρ	<i>Stopa iskorištenosti sustava</i>
K	<i>Broj spremnika u sustavu</i>
λ	<i>Stopa dolaska</i>

μ	<i>Stopa usluge</i>
t_o	<i>Očekivano vrijeme rada dvostrukog ciklusa</i>
v_v	<i>Brzina vozila</i>
a_v	<i>Ubrzanje vozila</i>
v_l	<i>Brzina lifta</i>
a_l	<i>Ubrzanje lifta</i>
n	<i>Broj razina sustava</i>
ϑ_s	<i>Protok sustava</i>

SAŽETAK

Tema ovog rada usporedba je protoka automatiziranih skladišnih sustava za male dijelove s dizalicama i s regalnim vozilima. U prvom poglavlju opisani su automatizirani skladišni sustavi za male dijelove s dizalicom te su za isti navedene prednosti korištenja i primjeri primjene, a zatim su u drugom opisani sustavi s regalnim vozilima te njihove prednosti i primjena. U trećem poglavlju detaljno je za svaki sustav objašnjen model oblikovanja s pripadajućim modelom radnog ciklusa za izračun protoka. Posljednje poglavlje sadrži proračun protoka na različitim izvedbama dimenzija regala.

Ključne riječi: automatizirani skladišni sustavi, mini-load, SBS/RS, radni ciklus, protok

SUMMARY

The topic of this paper is a throughput comparison of mini-load AS/RS and SBS/RS. The first and second chapter contain the description of mini-load AS/RS and SBS/RS, the advantages of their use as well as the implementation. The third chapter explains in detail the design model for each system with its associated duty cycle model for throughput calculation. The last chapter contains the calculation of the throughput on the different dimension examples of a rack.

Key words: automated storage and retrieval systems, mini-load, SBS/RS, duty cycle, throughput

1. UVOD

Automatizirani skladišni sustavi predstavljaju različite izvedbe sustava za automatizirano odlaganje i izuzimanje materijala u ili iz skladišnih lokacija te se projektiraju prema namjeni za različite vrste artikala. Pojavljuju se 1960-ih godina primjenom prve izvedbe visokoregálnih automatiziranih sustava jer je na taj način bilo moguće skladištiti velike količine zaliha uz minimalne troškove. Međutim, zbog mijenjanja trenda s velikim zalihama u „*Just in time*“ koncept, automatizirani sustavi morali su se prilagoditi te se nude jeftiniji računalni sustavi i druga tehnološka rješenja zbog kojih danas postoje različite izvedbe. Prvotno su se automatiziranim skladišnim sustavima smatrale izvedbe s prolazima između regala kojima su se kretali automatski uređaji poput dizalica za izuzimanje i odlaganje. Međutim, danas se automatiziranim skladišnim sustavom smatraju i okretni regali, vertikalni podizni moduli te najnoviji sustavi s automatski vođenim vozilima unutar regala. Najčešće se koristi kratica AS/RS eng. *Automated Storage and Retrieval Systems*, koja će se koristiti u daljnjem tekstu. Automatizacijom procesa izuzimanja i odlaganja smanjuju se operativni troškovi te također troškovi ljudskog rada jer omogućuju uže prolaze i maksimalno iskorištenje visine regala, čime se smanjuje površina skladišta. AS/RS su upravljani računalom što garantira visoku točnost operacija, manje oštećivanja robe u procesu te eliminaciju ljudskih nezgoda. AS/RS se klasificiraju na automatizirane skladišne sustave s dizalicama unutar prolaza, horizontalne okretne regale, vertikalne okretne regale, vertikalne podizne module te automatizirane skladišne sustave s vozilima unutar regala. Cilj je ovog rada za skladištenje i komisioniranje malih dijelova usporediti izvedbe s dizalicama unutar prolaza sa sustavom s vozilima unutar regala. U radu će se svaki sustav detaljno opisati, navest će se prednosti korištenja i primjeri primjene te će se objasniti modeli oblikovanja i usporediti protok na odabranim varijantama izvedbi sustava.

2. AUTOMATIZIRANI SKLADIŠNI SUSTAVI ZA MALE DIJELOVE

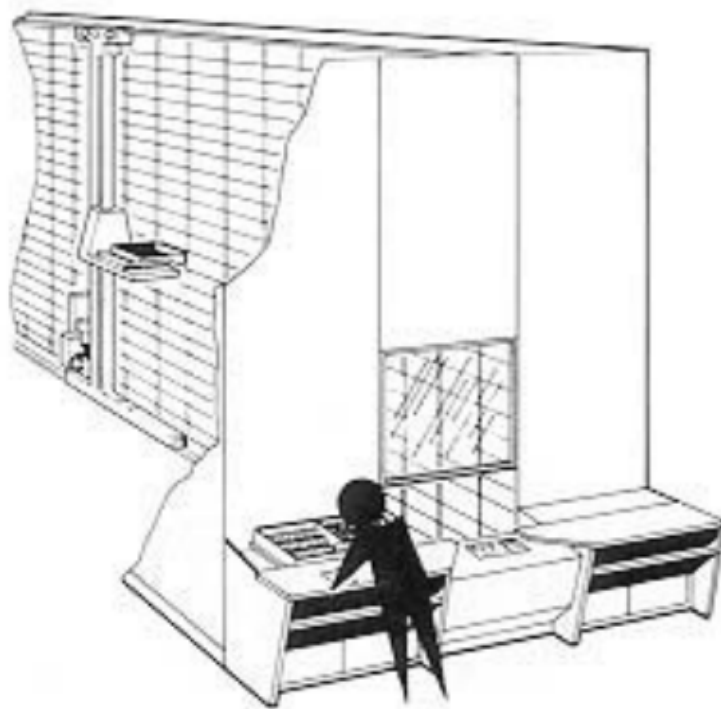
Automatizirani skladišni sustavi s dizalicama unutar prolaza (eng. *Crane in aisle AS/RS*) sustavi su u kojima se između regala nalazi automatska dizalica za odlaganje i izuzimanje tereta. Postoje različite izvedbe prema vrsti tereta, a to su [1]:

- visokoregalna skladišta eng. *Unit-load AS/RS*,
- automatizirani skladišni sustavi za male dijelove eng. *Mini-load AS/RS*,
- sustavi s čovjekom na dizalicama eng. *Person-on-board AS/RS*.

Visokoregalni sustavi namijenjeni su za teške i velike terete približno od 250 do 500 kg, koji su smješteni na paletama ili u sanduke paletnih dimenzija te se pomoću dizalice odlažu i izuzimaju u/iz regala. Automatizirani skladišni sustavi za male dijelove predstavljaju tip sustava za odlaganje i izuzimanje tereta mase između 50 i 250 kg, koji se nalaze u malim spremnicima ili sanducima. Sustavi s čovjekom na dizalicama nastali su modifikacijom prethodne dvije izvedbe, a radi se o tome da se čovjek nalazi na dizalici i na njoj putuje do skladišnih lokacija kako bi vršio operaciju komisioniranja. U nastavku će se pobliže objasniti sustavi za male dijelove, njihove prednosti i primjena.

2.1. Opis

Automatizirani sustavi za male dijelove dizajnirani su za skladištenje proizvoda u malim spremnicima ili sanducima na način da ne zauzimaju veliku podnu površinu jer se sastoje od visokih regala između kojih se kreće dizalica. [1] Regali su dimenzionirani upravo za male spremnike kako bi iskoristivost skladišnih mjesta bila maksimalna. Međutim, izvedbe regala za male dijelove manjih su visina, između 3 i 15 m, te duljine od 12 do 60 m. Budući da su sustavi za male dijelove namijenjeni komisioniranju robe, neizbježan je utjecaj čovjeka na cijeli proces što je vidljivo na slici 1.



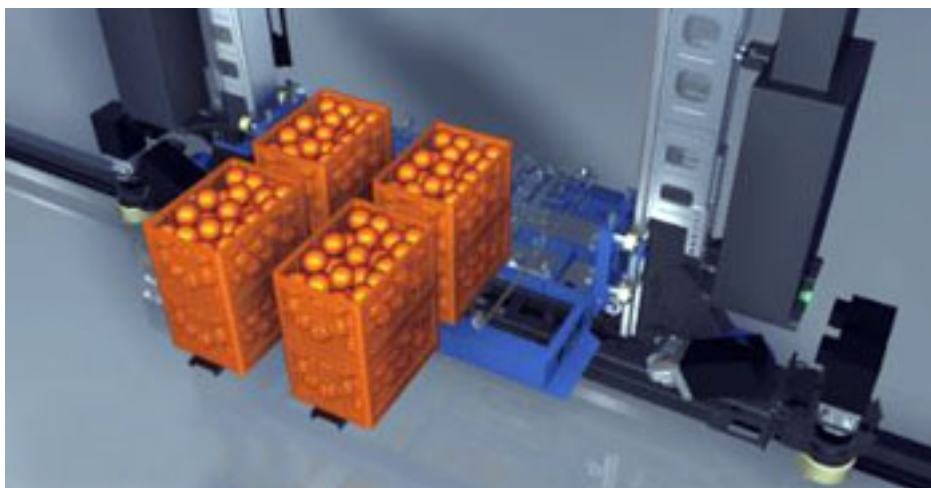
Slika 1. Automatizirani skladišni sustav za male dijelove [1]

Proces je većinski automatiziran, odnosno dizalica dohvati spremnik s proizvodom, transportira ga do mjesta komisioniranja te preostalu količinu proizvoda vraća natrag u skladišno mjesto, dok čovjek obavlja samo komisioniranje. Točnije, proces se odvija na način klijent naruči određene proizvode te dizalica donosi spremnik s prvim proizvodom na poziciju za komisioniranje, gdje čovjek izuzima traženu količinu proizvoda. Tijekom komisioniranja dizalica se vraća po spremnik s drugim proizvodom i dostavlja ga na drugu poziciju za komisioniranje. Nakon toga čovjek izuzima drugi proizvod, dok dizalica, nakon što je komisioner potvrdio da je gotov s prvim proizvodom, natrag odlaže spremnik s tim proizvodom. Na taj se način proces dalje odvija dok se ne skupe svi naručeni proizvodi, što znači da dizalica kontinuirano dovozi i odvozi spremnike, a čovjek stoji na mjestu. Taj princip komisioniranja naziva se „roba-čovjeku“ te je upravo automatizirani sustav s malim dijelovima reprezentativan primjer ovog principa.

Sustave s malim dijelovima moguće je podijeliti na različite izvedbe, primjerice korištenje regala dvostruke ili višestruke dubine, korištenje dizalice koja omogućuje transport više sanduka, izvedbe s ulaznim i izlaznim međuspremnikom, eng. *buffer*, na kraju svakog prolaza u obliku potkove, izvedbe s komisionerom na više prolaza te izvedbe s izdvojenim mjestom komisioniranja do kojih se sanduci prevoze sustavom konvejera. [1]

2.2. Prednosti korištenja

Brojne su prednosti automatiziranih skladišnih sustava za male dijelove. [2] Prvenstveno, njihova izvedba s regalima omogućuje korištenje vertikalne komponente prostora, što znači da je potrebna manja površina skladišta. Na taj način jedno skladište može imati više različitih sustava za skladištenje kako bi se maksimalno iskoristila površina skladišta, primjerice jedan dio s visokopaletnim regalima, a drugi s regalima za male dijelove. Time se lakše sakupi narudžba klijenta, ovisno treba li cijelu paletu proizvoda ili samo jedan komad. Nadalje, uz površinu skladišta vezani su i režijski troškovi, što znači da će za manje skladište biti manji troškovi vode, struje, grijanja i sl. Također, treba uzeti u obzir i investicijske troškove samog zemljišta za izgradnju skladišta pri čemu se opet vidi prednost gradnje u visinu. Nadalje, mini-load AS/RS u osnovnoj se izvedbi sastoji od regala i dizalica, a one se mogu modificirati te time povećati protok. Primjerice, mogu se koristiti regali dvostruke ili višestruke dubine što dovodi do povećanja broja skladišnih mjesta tj. gustoće skladišnih mjesta. Zatim, postoje dizalice za transport više sanduka, prikazano na slici 2., a time se istovremeno može prevesti više sanduka s različitim proizvodima što dovodi do smanjenja vremena ciklusa dizalice i povećanja protoka.



Slika 2. Dizalica za transport više sanduka [3]

Sustav se može modificirati dodavanjem bufera na kraju svakog prolaza u obliku potkove koji bi spriječili nepotrebne zastoje u ciklusu. Još jedan od mogućih načina je izraditi sustav s izdvojenim mjestom komisioniranja do kojih bi se sanduci dostavljali konvejerima, prikazano na slici 3.



Slika 3. Sustav s konvejerima Mecalux [4]

Sve su to moguće modifikacije osnovnog sustava i različiti načini rukovanja koji bi doprinijeli povećanju protoka. Sustave s malim dijelovima moguće je prilagoditi na način da se odabere brzina rada koja odgovara zahtjevima, odnosno, moguće je prilagoditi vertikalnu i horizontalnu brzinu dizalice. Budući da se proizvodi skladište u malim spremnicima u kojima se nalazi više istovrsnih proizvoda, lako ih je organizirati i pratiti stanje pomoću računala. Također, postoje zatvorene izvedbe regala koje omogućuju sigurno skladištenje, primjerice skupih proizvoda. Zaključno, laki su za održavanje i instalaciju te ergonomski za čovjeka jer ne uključuju saginjanje i istezanje, a i vrlo je jednostavno obučiti radnika za rad na takvom sustavu.

Međutim, postoje i određeni nedostaci automatiziranog sustava s malim dijelovima. Najčešće se poduzeća ne odlučuju za implementaciju ovog sustava zbog visokih investicijskih troškova opreme. Na početku se može činiti skupo, ali je dugoročno gledano isplativo jer se uštedi na radnoj snazi, a i sustav je točniji od čovjeka. Samim time će se smanjiti broj pogrešaka, ali i ubrzati čitav proces komisioniranja. Naravno da su i troškovi održavanja automatiziranih sustava viši od održavanja onih konvencionalnih, ali preventivnim održavanjem sprječava se mogućnost pojave kvara i zastoja u proizvodnji. Također je

potrebno obratiti pozornost na obuku radnika i pridržavati se pravila sigurnosti na radu. Mini-load AS/RS sustavi pogodni su za regularne, predvidive i ponavljajuće zadatke, što znači da nisu primjenjivi ako se planira svako malo mijenjati asortiman proizvoda koji zahtijeva adaptaciju sustava.

2.3. Primjeri primjene

U nastavku će se prikazati primjeri proizvođača automatiziranih skladišnih sustava za male dijelove te njihova implementacija u industriji.

2.3.1. Proizvođači

U današnje vrijeme postoje brojni proizvođači automatiziranih skladišnih sustava za male dijelove. Tablica 1. prikazuje najpoznatije proizvođače svih modela AS/RS pa tako i mini-load AS/RS.

Tablica 1. Proizvođači AS/RS [5]

AS/RS proizvođači							
Poduzeće	Web stranica	Unit-load AS/RS	Mini-load AS/RS	Horizontalni karuseli	Vertikalni karuseli	VLM	SBS/RS
AFT	asrs.net	+	+				
Daifuku	daifukuamerica.com	+	+				
Dematic	dematicus	+	+				
Henel Storage Systems	henel.us				+	+	
Interlake Mecalux	interlakemecalux.com	+	+	+	+	+	
KardexRemstar	kardexremstar.com			+	+	+	
Knapp Logistics & Automation	knapp.com		+				+
Lauyans and Co.	lauyans.com			+	+	+	
Murata Machinery	muratec-usa.com	+	+				
Sapient Automation	getsapient.com			+	+	+	

Schaefer Systems International	ssi-schaefer.us	+	+	+	+		
SencorpWhite	sencorpwhite.com			+	+	+	
Swisslog	swisslog.com	+	+	+			+
System Logistics	systemlogistics.com	+	+	+	+	+	
TGW Systems	tgwsystems.com	+	+				+
viastore	viastore.com	+	+				+
Westfalia Technologies	westfaliausa.com	+	+				
Witron	witron.com	+	+				

Popularni proizvođači mini-load AS/RS su AFT, Daifuku, Dematic, Interlake Mecalux, Knapp Logistics&Automation, Murata Machinery, Schaefer SystemsInternational, Swisslog, System Logistics, TGW Systems, viastore, Westfalia Technologies te Witron. Na slici 4. prikazan je mini-load AS/RS tvrtke Schaefer.



Slika 4. Schaefer mini-load AS/RS [6]

Ovaj sustav optimizira volumen skladišta i može se optimalno prilagoditi zahtjevima korisnika. Moguće je prevoziti teret do 100 kg i do visine od 18 m. Sustavi su pogodni za rad na temperaturama od -30°C do +45°C, a moguće je vršiti uskladištenje i izuzimanje spremnika na jednostrukoj ili višestrukoj dubini regala.

2.3.2. Implementacija

Primjer je mini-load sustava iz prakse poduzeće Polar iz Hoheima u Njemačkoj. Ovo poduzeće bavi se proizvodnjom visokokvalitetnih strojeva za rezanje papira te proizvode 20000 različitih dijelova. Za potrebe skladištenja odabrali su mini-load sustav tvrtke Westfalia, prikazan na slici 5.



Slika 5. Mini-load sistem implementiran u poduzeće Polar [7]

Na slici 6. prikazana je ulazno/izlazna stanica mini-load AS/RS. Ovaj mini-load sustav izrađen je od dva skladišna bloka, od kojih svaki ima 41 razinu i 41 skladišni kanal. Nakon implementacije ovog sustava prednosti su bile 40% povećanje kapaciteta skladištenja u odnosu na klasično skladište, volumenska se količina isporuke utrostručila, a logistički su se troškovi smanjili. Također je došlo do znatnih ušteda zbog smanjenja ljudskog rada i povećanja produktivnosti [7].



Slika 6. Ulazno/izlazna stanica [7]

Nadalje, hrvatsko poduzeće D.B.T. d.o.o., koje je usmjereno na veleprodaju okova i pribora za proizvodnju vrata, prozora i namještaja, implementiralo je automatizirani skladišni sustav za male dijelove proizvođača Viastore, prikazano na slici 7.



Slika 7. D.B.T. d.o.o. sustav za male dijelove [8]

Sustav se sastoji od 3 prolaza te se pomoću konvejera sanduci s proizvodima transportiraju do komisionera.

3. AUTOMATIZIRANI SKLADIŠNI SUSTAVI S VOZILIMA UNUTAR REGALA

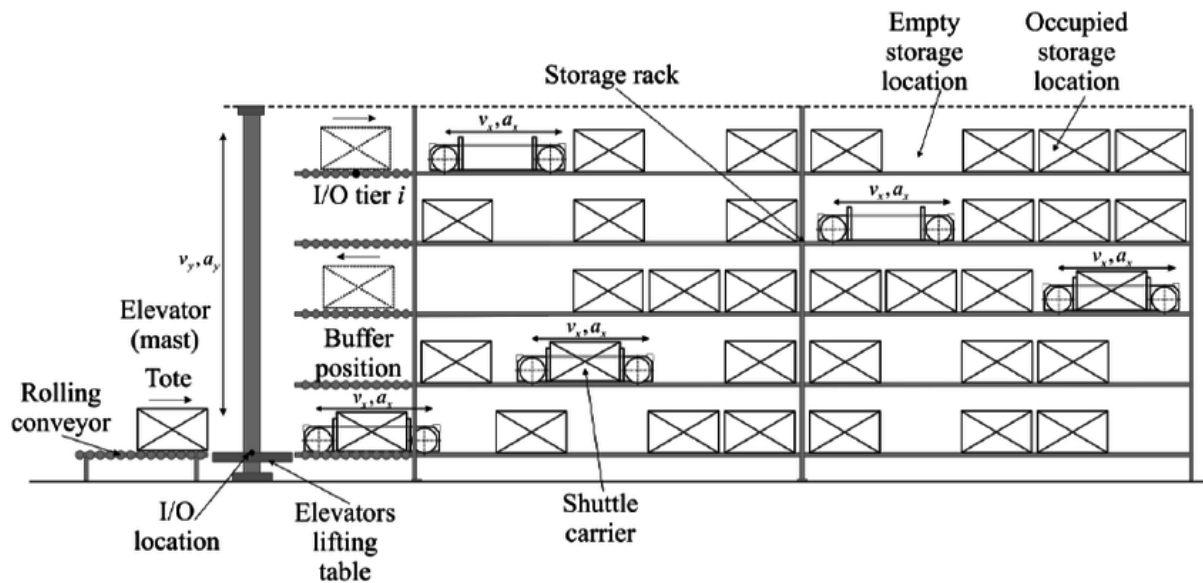
U ovom poglavlju se opisuju sutomatizirani skladišni sustavi s regalnim vozilima, njihove prednosti, proizvođači te primjena.

3.1. Opis

Automatizirani skladišni sustavi s vozilima unutar regala pojavljuju se u novije vrijeme te predstavljaju izvedbu u kojoj se materijal liftom podiže do određene razine regala, gdje vozilo preuzima teret i transportira ga do skladišnog mjesta na toj razini. Takve izvedbe nazivaju se eng. *Autonomus Veichle Storage and Retrieval Systems AVS/RS* ili *Shuttle-based Storage and Retrieval Systems SBS/RS*. U daljnjem tekstu koristit će se kratica SBS/RS. Pretpostavka je da će ovi sustavi zamijeniti sustave s malim dijelovima jer mogu ostvariti veći protok materijala. Odnosno, kod izvedbe s malim dijelovima postojala je jedna dizalica u prolazu s ograničenim protokom, dok u izvedbi s vozilima postoji lift s više vozila. SBS/RS radi na principu da se ispred svakog prolaza između visokih regala nalazi lift koji omogućuje vertikalno gibanje, dok se horizontalno gibanje ostvaruje vozilima unutar regala. Postoje dva načina kretanja vozila [1]:

- Na svakoj je razini regala jedno vozilo, eng. *Tier-captive AVS/RS*
- Vozila se liftom prebacuju na druge razine regala, eng. *Tier-to-tier AVS/RS*

Na slici 8. prikazana je skica SBS/RS na kojoj se najbolje vidi princip rada i sastavni dijelovi sustava. SBS/RS sadrži ulazno-izlazne točke kojima se ostvaruje veza s okolinom, a unutar sustava između vozila i lifta postoje bufferi, koji omogućuju da više skladišnih jedinica može čekati na transport vozilom što omogućuje bolji protok sustava. Na različitim razinama regala vozila transportiraju kutije do željene lokacije, a uz liftove se nalaze *bufferi*, koji služe za zadržavanje kutija dok lift ne dođe po njih. Na taj način kada vozilo ostavi kutiju na *bufferu*, ne mora čekati lift, nego je slobodno otići po novu kutiju. Time se bolje iskoristi vrijeme vozila, odnosno nema zastoja. Ispod lifta najčešće se nalazi konvejer koji prevozi kutije do komisionera. Primjer vozila prikazan je na slici 9. gdje se vidi da vozilo putuje između regala i može odložiti i izuzeti kutije sa svoje lijeve ili desne strane.



Slika 8. Skica SBS/RS [9]



Slika 9. Vozilo tvrtke Vanderlande [10]

Najnoviji je model ovog sustava ono s autonomnim vozilima koji se mogu kretati i horizontalno i vertikalno, eliminirajući time korištenje liftova. Taj princip rada naziva se eng. *PerfectPick* i on bi trebao zamijeniti sustav s malim dijelovima jer obavlja istu zadaću komisioniranja pojedinačnih proizvoda po principu roba-čovjeku, bez potrebe za liftovima i konvejerima. U daljnjem će se tekstu promatrati izvedba s liftovima jer je jednostavnija za proračun protoka.

3.2. Prednosti korištenja

Prednosti automatiziranih skladišnih sustava s regalnim vozilima dijelom se podudaraju s onima malih dijelova. Primjerice, iskoristivost prostora ponovno je velika prednost te sukladno tomu i smanjenje troškova režija i zemljišta. Ovom se izvedbom također štedi prostor jer su prolazi između regala uži, a samim time na istu površinu stane više skladišnih lokacija nego kod sustava s malim dijelovima. SBS/RS sastoji se od liftova i vozila koja se nalaze na razinama u regalu. Prednost je nad mini-load AS/RS sustavom ta što postoji više vozila koja transportiraju sanduke te je time protok veći. Naime, dostava proizvoda do lifta može se simultano odvijati na različitim nezavisnim razinama, a zbog postojanja *buffera*, koji je prikazan na slici 8., ne dolazi do zastoja. Ukoliko se na jednoj razini javi veća potreba za izuzimanjem i odlaganjem sanduka, utoliko se liftom mogu prevesti i vozila s neke od preostalih razina čime će se zadatak brže moći obaviti. Nadalje, postoje izvedbe s više liftova, primjerice jedan za uskladištenje, drugi za izuzimanje, čime se povećava protok. Tomu pridonose i liftovi koji mogu prevoziti dva sanduka istovremeno, prikazano na slici 10.



Slika 10. Lift za transport više kutija istovremeno [11]

Novitet su sustavi s vozilima bez liftova u kojima vozila imaju horizontalnu i vertikalnu komponentu te time eliminiraju potrebu za liftovima i konvejerima, a transportiraju materijal izravno do komisionera. SBS/RS povoljan je za radnika isto kao i mini-load AS/RS zbog toga što se sanduci s proizvodom dostavljaju čovjeku, odnosno radi na principu roba-čovjek te radnik ne mora hodati i dizati teške kutije. Odabirom ovog sustava ostavlja se prostor za daljnje širenje jer se lako može adaptirati i proširiti u svim smjerovima.

Nedostaci su isti kao kod automatiziranih skladišnih sustava za male dijelove, ali uzimajući u obzir da su investicijski troškovi opreme i održavanja još skuplji.

3.3. Primjeri primjene

U nastavku će se prikazati primjeri proizvođača automatiziranih skladišnih sustava s regalnim vozilima te njihova implementacija u industriji.

3.3.1. Proizvođači

Iako je SBS/RS jedan od novijih automatiziranih skladišnih sustava, većina poduzeća je razvila i ovaj model, poput Swissloga, TGW-a, Knappa i ostalih, navedenih u tablici 1. Primjerice, tvrtka TGW proizvela je regalno vozilo Stingray, prikazano na slici 11.



Slika 11. Regalno vozilo *Stingray* tvrtke TGW [12]

Posebnost je ovog regalnog vozila to što može prevoziti spremnike različitih dimenzija u uvjetima niskih temperatura do -30°C . Također, može izuzimati i odlagati spremnike u regale jednostruke ili višestruke dubine. Zbog malih razmaka između regala moguće je postići visoku gustoću spremnika u regalima. Još jedan primjer proizvođača je Knapp, prikazan na slici 12. U njihovom SBS/RS sistemu na svakoj razini regala nalazi se jedno vozilo, a vozila se gibaju neovisno jedno o drugome čime se jamči maksimalna dostupnost. Također mogu odlagati i izuzimati spremnike u više dubina i laki su za održavanje.



Slika 12. SBS/RS tvrtke Knapp [13]

3.3.2. Implementacija

Njemačko poduzeće Alnatura, koje je vodeći lanac organskih supermarketa, implementiralo je SBS/RS tvrtke Swisslog, prikazano na slici 13.



Slika 13. SBS/RS implementiran u poduzeće Alnatura [14]

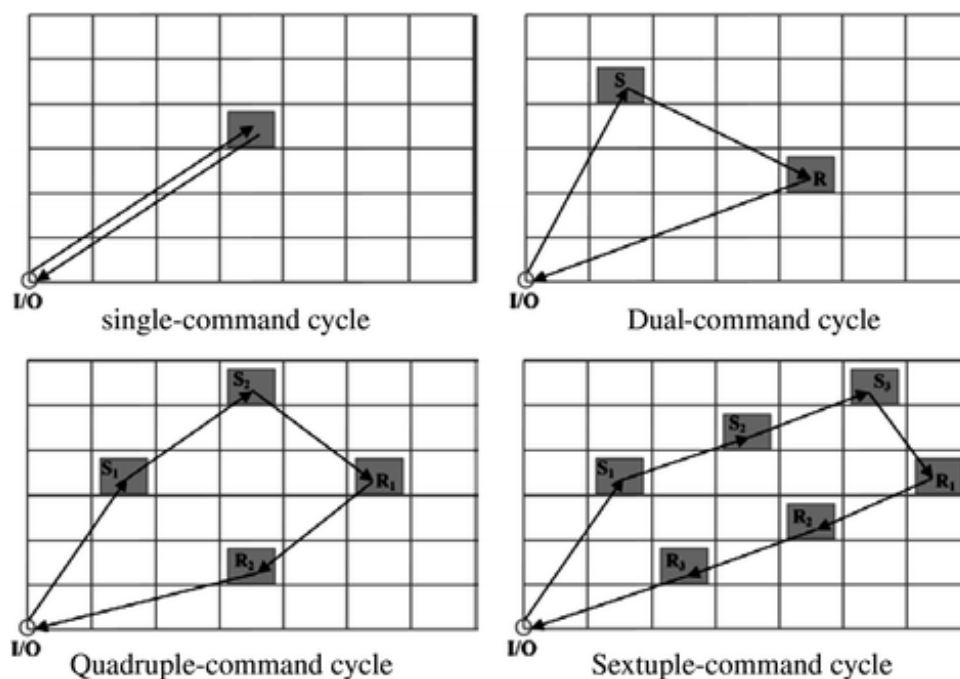
Prvotno su 2014. godine izgradili visokoregalno skladište u potpunosti od drva jer posluju uz moto smisljeno za čovjeka i prirodu, odnosno zagovaraju održivi razvoj i očuvanje prirode. Dvije godine poslije ukazala se potreba za širenje skladišta za male dijelove koje je dovršeno 2017. godine. Implementirali su skladište s 2 prolaza, 4 regala i 19 razina, što znači da ukupno imaju 32 regalna vozila. Trenutno imaju 13480 skladišnih lokacija, ali i dovoljno mjesta za širenje u budućnosti.

4. MODELI OBLIKOVANJA

Modeli oblikovanja služe za matematički prikaz proračuna određenih parametara automatiziranih sustava. U nastavku slijedi prikaz modela oblikovanja za automatizirane skladišne sustave s malim dijelovima i regalnim vozilima.

4.1. Automatizirani skladišni sustavi s dizalicama

Proračun automatiziranih skladišnih sustava s malim dijelovima temelji se na proračunu radnog ciklusa dizalice. Dizalica vrši cikličku radnju odlaganja i izuzimanja, odnosno jedan ciklus čine radnje prihvata materijala, transporta do skladišne lokacije, uskladištenja i povratka dizalice do početne točke. Isto tako bi se vršio proces izuzimanja, a kada ciklus sadrži samo jedno odlaganje ili samo jedno izuzimanje, tada se radi o jednostrukom radnom ciklusu, eng. *single command* SC. Međutim, češća je pojava dvostrukog radnog ciklusa, eng. *dual command* DC, koji se sastoji od preuzimanja materijala, transporta do skladišne lokacije, uskladištenja, vožnje do sljedeće skladišne lokacije, izuzimanje novog materijala te transporta to početne točke. Na isti način dizalica može raditi i višestruke cikluse, što je prikazano na slici 14.



Slika 14. Radni ciklusi dizalice [15]

Postoji više modela proračuna radnih ciklusa automatiziranih skladišnih sustava s dizalicom, a najzastupljeniji je Bozer&White model. Taj model pretpostavlja regal dimenzija L i H pri čemu se za proračun prvo definira faktor skaliranja T, a zatim faktor oblika Q, prema formulama (1) i (2) u nastavku. [1]

$$T = \max \left\{ \frac{L}{v_x}, \frac{H}{v_y} \right\} \quad (1)$$

$$Q = \min \left\{ \frac{L}{v_x \times T}, \frac{H}{v_y \times T} \right\} \quad (2)$$

T – faktor skaliranja

Q – faktor oblika

L – duljina regala

H – visina regala

v_x – brzina u smjeru osi x

v_y – brzina u smjeru osi y

Faktor oblika Q važan je za odrađivanje optimalnog oblika regala, odnosno ako je Q=1, regal je optimalan i naziva se SIT, eng. *square-in-time rack*. [1]

Bozer&White su u svom radu [izvor] pomoću izvoda za očekivanje došli do izraza za izračun prosječnog vremena vožnje jednostrukog radnog ciklusa (3), koji glasi:

$$E(SC) = \left[1 + \frac{Q^2}{3} \right] \times T \quad (3)$$

E(SC) – vrijeme jednostrukog radnog ciklusa, eng. single command

Zatim su dali izraz za prosječno vrijeme vožnje između dvije točke (4):

$$E(TB) = \frac{1}{30} [10 + 5 \times Q^2 - Q^3] \times T \quad (4)$$

E(TB) – prosječno vrijeme vožnje između dvije točke u regalu, eng. travel between

Pomoću ove dvije formule (3) i (4), dobije se izraz za prosječno vrijeme vožnje dvostrukog radnog ciklusa (5) i (6).

$$E(DC) = E(SC) + E(TB) \quad (5)$$

$$E(DC) = \frac{1}{30} [40 + 15Q^2 - Q^3] \times T \quad (6)$$

E(DC) – vrijeme dvostrukog radnog ciklusa, eng. dual command

Budući da prethodne formule pretpostavljaju samo vožnju dizalice, potrebno je uzeti u obzir i vrijeme odlaganja, odnosno izuzimanja u (7) i (8).

$$E(SC) = \left[1 + \frac{Q^2}{3}\right] \times T + 2T_{P/D} \quad (7)$$

$$E(DC) = \frac{1}{30} [40 + 15Q^2 - Q^3] \times T + 4T_{P/D} \quad (8)$$

$T_{P/D}$ – vrijeme odlaganja ili izuzimanja spremnika

Međutim, niti jedan model izračuna radnog ciklusa ne uzima u obzir realna ubrzanja i usporenja dizalice, a svakako ih je potrebno uzeti u obzir zbog točnije usporedbe sa SBS/RS. U nastavku slijedi opis proračuna mini-load modela.

4.1.1. *Automatizirani skladišni sustavi s malim dijelovima*

Proračun vremena radnog ciklusa automatiziranih skladišnih sustava s malim dijelovima temelji se na izvedbi sustava koji sadrži dizalicu, dva regala i čovjeka komisionera. U poglavlju 2. opisan je princip rada mini-load sustava, koji počiva na dvostrukom radnom ciklusu. Realan proračun bio bi iznimno složen za riješiti, stoga je potrebno uvesti određene pretpostavke kako bi model bio jednostavniji.

Pretpostavke [1]:

- Nasumičan raspored odlaganja
- Jedno izuzimanje po spremniku (ako se izuzima više komada, potrebno uzeti u obzir prosječnim vremenom komisioniranja)
- Komisioner radi u jednom prolazu
- Regal je kontinuirana površina
- Ubrzanja i usporenja su zanemareni (u sklopu ovog rada će se dodati kao dodatno vrijeme ciklusa vožnje dizalice)
- U sustavu s više prolaza, i komisionera, svi su identični
- Vrijeme vožnje dizalice aproksimirano je uniformnom razdiobom
- Vrijeme komisioniranja je determinističko ili po eksponencijalnoj razdiobi

Budući da ovaj model pripada automatiziranim skladišnim sustavima s dizalicom, očekivano vrijeme vožnje dvostrukog radnog ciklusa računa se prema formulama iz poglavlja 4.1. Međutim, potrebno je uzeti u obzir akceleraciju kako bi usporedba sa SBS/RS bila što točnija i to na način da se dodaje kao dodatno vrijeme ciklusa vožnje dizalice prema izrazima (9), (10) i (11):

$$T = \max \left\{ \frac{L}{v_x} + \frac{v_x}{a_x}, \frac{H}{v_y} + \frac{v_y}{a} \right\} \quad (9)$$

$$Q = \min \left\{ \frac{L}{v_x \times T - \frac{v_x^2}{a_x}}, \frac{H}{v_y \times T - \frac{v_y^2}{a_y}} \right\} \quad (10)$$

$$E(DC) = \frac{1}{30} [40 + 15Q^2 - Q^3] \times T + 4T_{P/D} \quad (11)$$

Zatim se računa standardna devijacija vremena vožnje dvostrukog radnog ciklusa, koja se aproksimira izrazom (12):

$$S(DC) = (0,3588 - 0,1321 \times Q) \times E(DC) \quad (12)$$

S(DC) – standardna devijacija vremena vožnje dvostrukog radnog ciklusa

Kako je vrijeme vožnje aproksimirano uniformnom razdiobom, granice su sljedeće (13) i (14):

$$k_1 = E(DC) - 1,7321 \times S(DC) \quad (13)$$

$$k_2 = E(DC) + 1,7321 \times S(DC) \quad (14)$$

k_1, k_2

– granice uniformne razdiobe vremena vožnje dvostrukog radnog ciklusa dizalice

Prema tome, granice uniformne razdiobe vremena dvostrukog radnog ciklusa, uključujući vrijeme odlaganja i izuzimanja, iznose (15) i (16):

$$t_1 = k_1 + C \quad (15)$$

$$t_2 = k_2 + C \quad (16)$$

t_1, t_2 – granice uniformne razdiobe vremena dvostrukog radnog ciklusa

C – ukupno vrijeme rukovanja spremnicima u dvostrukom ciklusu ($4 T_{P/D}$)

Pod pretpostavkom da je vrijeme komisioniranja po spremniku determinističko, očekivano vrijeme ciklusa sustava računa se prema izrazu (17):

$$E(CT) = \begin{cases} E(DC) + C & \text{za } 0 < p \leq t_1 \\ \frac{p^2 - 2pt_1 + t_2^2}{2(t_2 - t_1)} & \text{za } t_1 < p \leq t_2 \\ p & \text{za } t_2 < p \end{cases} \quad (17)$$

$E(CT)$ – očekivano vrijeme ciklusa sustava

p – prosječno vrijeme komisioniranja po spremniku

Međutim, ako se vrijeme komisioniranja pretpostavlja po eksponencijalnoj razdiobi, očekivano vrijeme ciklusa određuje se sljedećim izrazom (18):

$$E(CT) = E(DC) + C + \frac{p^2}{t_2 - t_1} \left[e^{-\frac{t_1}{p}} - e^{-\frac{t_2}{p}} \right] \quad (18)$$

Nadalje, iskoristivost komisionera računa se pomoću izraza (19):

$$E(PU) = \frac{p}{E(CT)} \quad (19)$$

$E(PU)$ – očekivana iskoristivost komisionera

Zaključno se dolazi do protoka sustava kao (20):

$$R = \frac{3600}{E(CT)} = \frac{3600 \times E(PU)}{p} \quad (20)$$

R – protok sustava

Ovaj proračun služi za određivanje protoka sustava i pomoću njega se lakše određuje koliki je potreban broj dizalica i komisionera za zadani kapacitet i protok. Iz proračuna je vidljivo da najveći utjecaj ima iskoristivost komisionera, a da ne ovisi o iskoristivosti S/R dizalice koja radi dvostruki ciklus. Proračun bi bio točniji da se uz akceleraciju uzme u obzir i periodično dopunjavanje robom dodavanjem određene količine u spremnik ili zamjenom cijelog spremnika. Ako se popunjavanje vrši u drugoj smjeni, odnosno nakon komisioniranja, neće imati utjecaj na model proračuna. Međutim, ako je popunjavanje spojeno s ciklusima izuzimanja na način da se novi spremnici uskladištavaju ili ako komisioner popunjava spremnike novom robom, svakako je potrebno uzeti u obzir dodatak na vrijeme komisioniranja. U ovom se radu neće uzeti u obzir vrijeme dopune kod mini-load sustava, niti kod SBS/RS. [1]

4.2. Automatizirani skladišni sustavi s regalnim vozilima

Model oblikovanja SBS/RS za izračun vremena radnog ciklusa i protoka opisan je u [16]. Prema ovom modelu vozilo na jednoj razini regala izuzima spremnik i prevozi ga do buffer pozicije odakle ga preuzima lift za izuzimanje. Budući da je vozilo ostavilo spremnik na buffer poziciji, ponovno je slobodno za vožnju do druge skladišne lokacije i izuzimanje novog spremnika. U ovom modelu lift radi jednostruki ciklus, dok vozilo radi dvostruki ciklus.

Pretpostavke [16]:

- Na svakoj razini regala nalazi se jedno vozilo koje se giba samo horizontalno
- Postoje dva lifta, jedan za odlaganje, drugi za izuzimanje, početna točka $z=0$
- Bufferi se nalaze između lifta i vozila
- Vozila mogu odlagati spremnike u regale dvostruke dubine
- Skladišne lokacije mogu biti jednostruke i višestruke dubine, do peterostruke
- Dimenzije regala duljine između 10 i 150 m te visine između 2 i 30 m
- Analiza se vrši za jednu razinu regala te se množi s brojem razina za iskoristivost cijelog sustava
- Proračun vrijedi za $\rho > 1$

Proračun modela opisan je kao M|M|1|K-model teorije čekanja. Oznaka M predstavlja Markovo svojstvo, a to znači da sve što se dogodilo u prošlosti utječe na trenutno stanje, a trenutno stanje će utjecati na neko buduće stanje. Za proračun je važno znati što se događalo, kako bi se mogao predvidjeti matematički model. Oznaka 1 znači da u proračunu postoji samo 1 vozilo, a oznaka K da je čekanje određenog kapaciteta. Odnosno, broj spremnika u ciklusu ograničen je na vrijednost K. U ovom slučaju K će iznositi 2 budući da se jedan spremnik nalazi na buffer poziciji, a drugi na vozilu. Za takav model protok se računa kao (21):

$$\vartheta = \frac{1}{t_a} \times \frac{1-\rho^K}{1-\rho^{K+1}} \quad (21)$$

ϑ – protok sustava

t_a – vrijeme dolaska

ρ – stopa iskorištenosti sustava

K – broj spremnika u ciklusu

Stopa iskorištenosti računa se kao kvocijent stope dolaska i stope usluge ili kao omjer vremena rada i vremena dolaska (22):

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{t_o}{t_a} \quad (22)$$

λ – stopa dolaska

μ – stopa usluge

t_o – očekivano vrijeme rada dvostrukog ciklusa

Očekivano vrijeme rada dvostrukog ciklusa računa se uniformnom razdiobom (23):

$$t_o = t_{vozila} = \frac{4}{3} \times \frac{L}{v_v} + 3 \frac{v_v}{a_v} + 4T_{P/D} + w \times t_{dopuna} \quad (23)$$

v_v – brzina vozila

a_v – ubrzanje vozila

$w \times t_{dopuna}$ – vrijeme dopune, zanemaruje se

Vrijeme dolaska računa se iz očekivanog vremena ciklusa lifta za jednostruki ciklus (24):

$$t_{lift} = \frac{H}{v_l} + 2 \frac{v_l}{a_l} + 2T_{P/D} \quad (24)$$

v_l – brzina lifta

a_l – ubrzanje lifta

Kako bi se izračunalo vrijeme dolaska, potrebno je očekivano vrijeme ciklusa lifta pomnožiti s brojem razina regala (25):

$$t_a = t_{lift} \times n \quad (25)$$

n – broj razina sustava

Zaključno, protok cijelog sustava s više razina računa se kao (26):

$$\vartheta_s = \vartheta \times n \quad (26)$$

Međutim, u SBS/RS nije uzeto u obzir vrijeme komisioniranja te će se pretpostaviti da je vrijeme komisionera isto kao kod mini-load sustava.

5. USPOREDBA PROTOKA

U ovom poglavlju usporedit će se mini-load AS/RS i SBS/RS na konkretnom proračunu i realnim vrijednostima.

5.1. Odabrani primjeri iz prakse

Iz prakse su odabrana dva primjera čije će se specifikacije koristiti u proračunu. Za mini-load AS/RS odabran je proizvođač Schaefer, a podaci su prikazani u tablici 2.

Tablica 2. Specifikacije Schaefer mini-load AS/RS [17]

Specifikacije Schaefer mini-load AS/RS	
Nosivost	do 100 kg
Visina S/R	do 18 m
Vertikalna brzina	do 4 m/s
Horizontalna brzina	do 5 m/s
Ubrzanje	do 4 m/s ²

Za SBS/RS koristit će se model poduzeća Swisslog, čije su specifikacije prikazane u tablici 3., a približno odgovaraju onima Schaefer mini-load AS/RS.

Tablica 3. Specifikacije Swisslog SBS/RS [18]

Specifikacije Swisslog SBS/RS	
Nosivost	35-50 kg
Brzina vozila	do 4 m/s
Ubrzanje vozila	do 2m/s ²
Brzina lifta	do 4 m/s
Ubrzanje lifta	do 7 m/s ²
Visina lifta	max. 25 m

Podaci iz tablica 2. i 3. koristit će se u proračunu protoka na način da će se računati s istim vrijednostima za mini-load AS/RS i SBS/RS, koji se nalaze u zadanim rasponima.

5.2. Proračun s istim vrijednostima brzine i ubrzanja

Prvo će se napraviti proračun s identičnim vremenima za mini-load AS/RS i SBS/RS. Za proračun će se približno pretpostaviti vrijeme odlaganja/izuzimanja, a u tablici 4. su prikazani korišteni podaci. Također, protoci i vremena trajanja ciklusa bit će izračunati na regalima iste površine, ali različite duljine i visine. Dimenzije regala su odabrane proizvoljno. Iako proračun za mini-load AS/RS uzima u obzir vrijeme komisioniranja, za potrebe usporedbe će se računati isključivo protok koji ostvari dizalica dvostrukim ciklusom.

Tablica 4. Podaci za proračun

	Dizalica	Lift+vozilo
v_x [m/s]	3	3
v_y [m/s]	3	3
a [m/s ²]	2	2

5.2.1. Regal 10,8×30 m

Za regal 10,8×30 m podaci za računanje uzimaju se iz tablica 4. i 5. Pretpostavljeno vrijeme izuzimanja/odlaganja je 5s. Faktor K iznosi 2 jer se u ciklusu nalaze 2 spremnika, jedno na regalnom vozilu, drugo u međuspremniku.

Tablica 5. Podaci za regal 10,8×30 m

L [m]	10,8
H [m]	30
$T_{P/D}$ [s]	5
K	2

Prvo se računa vrijeme ciklusa i protok za mini-load AS/RS prema formulama iz potpoglavlja 4.1.1. Izračunati podaci prikazani su u tablici 6.

Tablica 6. Mini-load AS/RS za 10,8×30 m

Mini-load AS/RS za 10,8×30 m	
T [s]	11,5
Q	0,36
E(DC) [s]	36,06
E(CT) [s]	36,06
R [spremnika/h]	99,83

Za iste dimenzije regala i iste brzine vožnje, izračunato je vrijeme radnog ciklusa i protok za SBS/RS prema formulama iz potpoglavlja 4.2. Rezultati su prikazani u tablici 7. Broj razina n računa se kao omjer visine regala i visine razine, tj. skladišne lokacije. Proizvoljno je odabrana visina 0,3 m.

Tablica 7. SBS/RS za 10,8×30 m

SBS/RS za 10,8×30 m	
$n=H/0,3$	100
t_0 [s]	29,3
t_1 [s]	23
t_a [s]	230
ρ	0,01274
ϑ [spremnika/h]	156

Iz dobivenih rezultata prikazanih u tablicama 7. i 8. vidi se da SBS/RS ostvaruje znatno veći protok u odnosu na mini-load AS/RS.

5.2.2. Regal 18×18 m

Za regal 18x18 m potrebni podaci prikazani su u tablici 8. Vrijeme izuzimanja i odlaganja ostalo je isto.

Tablica 8. Podaci za regal 18×18 m

L [m]	18
H [m]	18
$T_{P/D}$ [s]	5
K	2

Prema formulama iz 4.1.1. izračunati su podaci u tablici 9.

Tablica 9. Mini-load AS/RS za 18×18 m

Mini-load AS/RS za 18×18 m	
T [s]	7,5
Q	1
E(DC) [s]	33,5
E(CT) [s]	33,5
R [spremnika/h]	107,46

Prema formulama iz 4.2. izračunati su podaci u tablici 10. Ponovno je vidljivo da je protok za SBS/RS veći, nego kod mini-load AS/RS.

Tablica 10. SBS/RS za 18×18 m

SBS/RS za 18×18 m	
$n=H/0,3$	60
t_0 [s]	32,5
t_1 [s]	19
t_a [s]	1140
ρ	0,0285
ϑ [spremnika/h]	189

5.2.3. Regal 54×6 m

Posljednji proračun provodi se na regalu dimenzija 54×6 m, a korišteni podaci prikazani su u tablici 11.

Tablica 11. Podaci za regal 54×6 m

L [m]	54
H [m]	6
$T_{P/D}$ [s]	5
K	2

Za mini-load AS/RS ponovno su korištene formule iz potpoglavlja 4.1.1., a rezultati su prikazani u tablici 12.

Tablica 12. Mini-load AS/RS za 54×6 m

Mini-load AS/RS za 54×6 m	
T [s]	19,5
Q	0,11
E(DC) [s]	46,12
E(CT) [s]	46,12
R [spremnika/h]	78,06

Za SBS/RS ponovno su korištene formule iz potpoglavlja 4.2., a rezultati su prikazani u tablici 13. Ponovno je vidljivo da je protok za SBS/RS veći, nego kod mini-load AS/RS.

Tablica 13. SBS/RS za 54×6 m

SBS/RS za 54×6 m	
$n=H/0,3$	20
t_0 [s]	48,5
t_1 [s]	15
t_a [s]	300
ρ	0,162
ϑ [spremnika/h]	234,72

5.3. Usporedba izračunatih protoka

Tablica 14. prikazuje usporedbu izračunatih podataka.

Tablica 14. Usporedba podataka

Dimenzije regala	Mini-load AS/RS	SBS/RS
10,8×30 m	99,83	156
18×18 m	107,46	189
54×6 m	78,06	234,72

U sva tri slučaja se pokazalo da SBS/RS ima veći protok u odnosu na mini-load AS/RS. Kao najbolji oblik regala za mini-load AS/RS s dizalicom pokazao se SIT regal, odnosno 18×18 m. Za SBS/RS najboljim se pokazao regal koji ima dimenzije 54×6 m. Rezultati su očekivani budući da dizalica u ovom slučaju ima istu vertikalnu i horizontalnu brzinu te je najefikasniji put da se giba po dijagonali regala 18×18 m. Kod SBS/RS usko grlo je uobičajeno lift. Ako je skladište niže, lift neće morati prelaziti velike udaljenosti i samim time radni ciklus će biti kraći, a protok veći.

5.4. Proračun s maksimalnim vrijednostima brzine i ubrzanja

Budući da je ubrzanje vozila u prethodnom primjeru bilo usko grlo, u tablici 15. su prikazani rezultati proračuna s maksimalnim vrijednostima regalnih sustava odabranih proizvođača. Korišteni su maksimalni podaci brzine i ubrzanja iz tablica 2. i 3.

Tablica 15. Rezultati s maksimalnim vrijednostima

Dimenzije regala	Protok mini-load AS/RS [spremnika/h]	Protok SBS/RS [spremnika/h]
10,8×30 m	113,54	193,05
18×18 m	123,26	229,89
54×6 m	99,49	277,58

Ovime je dokazano da je za SBS/RS opisan u ovom radu najbolji oblik regala onaj koji ima veću duljinu u odnosu na visinu. Očekivani su rezultati da je SBS/RS bolji, odnosno da ostvaruje veći protok. Međutim, primjećuje se povećanje protoka u oba slučaja zbog toga što su se u ovom proračunu koristile maksimalne vrijednosti brzine i ubrzanja propisane od proizvođača. Time se zapravo vidi koliki bi maksimalni protok mogla ostvariti odabrana dizalica u mini-load AS/RS, a koliki lift i vozila u SBS/RS.

6. ZAKLJUČAK

Automatizirani skladišni sustavi predstavljaju znatno unaprjeđenje u odnosu na konvencionalne oblike skladištenja. Njihovom implementacijom moguće je bolje iskoristiti površinu skladišta te povećati produktivnost, ali i točnost narudžbi. Automatizirani skladišni sustavi za male dijelove značajno su olakšali proces komisioniranja za radnika. Naime, radi na principu roba-čovjeku što znači da komisioner stoji na mjestu i čeka sanduk s proizvodima. Time je povećana točnost narudžbi, smanjen je napor radnika, a najvažnije je povećanje produktivnosti, što za poduzeće znači veći prihod. Mini-load AS/RS se sastoji od regala i dizalice koja izuzima i odlaže spremnike. Razvojem automatiziranih skladišnih sustava dolazi do pojave SBS/RS koji su još više unaprijedili proces komisioniranja malih dijelova. Sanduci se prevoze regalnim vozilima i liftovima, a budući da svaka razina regala ima bar po jedno vozilo, sanduci se istovremeno mogu izuzimati na više razina. Također, u odnosu na mini-load AS/RS, SBS/RS imaju uže prolaze između regala, čime je površina skladišta bolje iskorištena. Dolazi se do zaključka da je vrijeme radnog ciklusa SBS/RS kraće, a protok veći. To je dokazano i proračunom na više oblika regala s istim brojem skladišnih lokacija, ako se računa s jednakim vrijednostima brzine i ubrzanja. Nadalje, prema izračunu najbolji oblik regala za mini-load AS/RS je SIT, a za SBS/RS onaj koji ima dimenziju duljine veću u odnosu na visinu. Međutim, uz protok je potrebno uzeti u obzir i cijene ovih automatiziranih skladišnih sustava. Ako će se u budućnosti često mijenjati asortiman proizvoda poduzeća, ovi sustavi se neće pokazati isplativima. Početne investicije su visoke te treba voditi računa o tome hoće li se dugoročno isplatiti uvođenje AS/RS.

LITERATURA

- [1] Đukić, G.: Posebna poglavlja tehničke logistike, nastavni materijal, FSB, 2017.
- [2] Prednosti mini-load sustava:
<https://www.bastiansolutions.com/solutions/technology/asrs/mini-load/>
(datum pristupa: 6.9.2019.)
- [3] Dizalica za transport više sanduka: https://www.cisco-eagle.com/material-handling-systems/asrs-systems/mini_load (datum pristupa: 6.9.2019.)
- [4] Sustav s konvejerima Mecalux: <https://www.interlakemecalux.com/automated-storage-retrieval-systems-asrs/arsr-boxes-miniload> (datum pristupa: 6.9.2019.)
- [5] Proizvođači AS/RS:
<http://www.scmsummit.org/resources/common/userfiles/file/2014%20Presentations/MRC4%20Breakout%203%20Pimental%20Next%20Technology.pdf> (datum pristupa: 7.9.2019.)
- [6] Schaefer: https://www.schaefer shelving.com/t-warehouse_small_parts_miniload.aspx
(datum pristupa: 16.9.2019.)
- [7] Poduzeće Polar: <https://www.polar-mohr.com/en/company/108160.html> (datum pristupa: 7.9.2019.)
- [8] DBT: <https://dbt.hr> (datum pristupa: 16.9.2019.)
- [9] Skica SBS/RS:
https://www.researchgate.net/publication/273380170_Simulation_Analysis_of_Shuttle_Based_Storage_and_Retrieval_Systems (datum pristupa: 7.9.2019.)
- [10] Vozilo tvrtke Vanderlande: <https://www.youtube.com/watch?v=Szt20xNxB5M> (datum pristupa: 7.9.2019.)
- [11] Viastore.com lift: <https://www.viastore.com/en-us/warehouse-systems/asrs-systems/>
(datum pristupa: 7.9.2019.)
- [12] Stingray: <https://www.tgw-group.com/en/products/storage-solution/shuttle-systems/shuttle-systems> (datum pristupa: 16.9.2019.)
- [13] Knapp: <https://www.knapp.com/en/solutions/technologies/storage/> (datum pristupa: 16.9.2019.)
- [14] SBS/RS u Alnaturi: <http://warehousenews.co.uk/2016/03/swisslogs-cyclonecarrier-is-the-natural-choice-for-alnatura/> (datum pristupa: 16.9.2019.)

- [15] Radni ciklus dizalice: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4471-2274-6_8 (datum pristupa: 7.9.2019.)
- [16] Eder, M., Kartnig, G.: Throughput Analysis of S/R Shuttle Systems and Ideal Geometry for High Performance, FME Transactions (2016) 44, 174-179
- [17] Specifikacije Schaefer mini-load AS/RS: https://www.schaefer shelving.com/t-warehouse_small_parts_miniload.aspx (datum pristupa: 16.9.2019.)
- [18] Specifikacije Swisslog SBS/RS: <https://www.swisslog.com/en-us/warehouse-logistics-distribution-center-automation/products-systems-solutions/asrs-automated-storage--a--retrieval-systems/boxes-cartons-small-parts-items/cyclonecarrier-shuttle-system-logistics> (datum pristupa: 16.9.2019.)

PRILOZI

I. CD-R disc