

Automatizirani skladišni sustavi s regalnim vozilima

Begedin, Tomislav

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:714445>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Tomislav Begedin

Zagreb, 2015. godina

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Goran Đukić

Student:

Tomislav Begedin

Zagreb, 2015. godina

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

Zahvaljujem se ponajprije svojoj obitelji i svima koji su mi pružili veliku podršku tijekom dosadašnjeg studiranja. Također se zahvaljujem mentoru i svim profesorima koji su pokazali razumijevanje te svojim radom omogućili mi da preddiplomski studij privedem kraju.

Tomislav Begedin



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	24-02-2015. Prilog
Klasa:	602-04/15-6/3
Ur.broj:	15-1703-15-38

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Tomislav Begedin** Mat. br.: 0035186869

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Automatizirani skladišni sustavi s regalnim vozilima**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Automated Shuttle Based Storage and Retrieval Systems**

Opis zadatka:

U novije vrijeme proizvođači automatiziranih skladišnih sustava predložili su mnoga inovativna rješenja. Jednu grupu takvih rješenja čine izvedbe s vozilima u području regala (eng. shuttle based storage and retrieval system, SBS/RS, odnosno Autonomous vehicle storage and retrieval systems, AVS/RS). U takvim sustavima vozila u kombinaciji s liftovima zamjenjuju automatske dizalice koje su bile neizostavni dio dosadašnjih izvedbi automatiziranih skladišnih sustava.

U radu je potrebno:


- Dati pregled povijesnog razvoja i stanja automatiziranih skladišnih sustava (AS/RS).
- Objasniti princip rada i osnovne komponente tipičnih izvedbi AS/RS-a.
- Temeljem pregleda literature i glavnih proizvođača napraviti prikaz novih, inovativnih izvedbi automatiziranih skladišnih sustava.
- Detaljno pojasniti izvedbe automatiziranih skladišnih sustava s regalnim vozilima.
- Dati pregled modela oblikovanja takvih sustava.
- Temeljem spoznaja iz literature, kao i vlastitom analizom na odabranom primjeru, dati usporedbu sustava s regalnim vozilima i sustava s dizalicama.

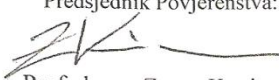
Zadatak zadan:
25. studenog 2014.

Rok predaje rada:
1. rok: 26. veljače 2015.
2. rok: 17. rujna 2015.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 2., 3., i 4. ožujka 2015.
2. rok: 21., 22., i 23. rujna 2015.

Zadatak zadao:


Izv.prof. dr.sc. Goran Đukić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Zoran Kunica

SADRŽAJ

SADRŽAJ	1
POPIS SLIKA	3
POPIS TABLICA.....	4
POPIS OZNAKA	5
SAŽETAK.....	7
SUMMARY	8
1. UVOD.....	9
2. AUTOMATIZIRANI SKLADIŠNI SUSTAVI	10
2.1. Povijest, stanje i trendovi automatiziranih skladišnih sustava.....	11
2.2. Osnovne izvedbe automatiziranih skladišnih sustava	14
2.2.1. Automatizirani skladišni sustavi s dizalicama	14
2.2.2. Horizontalni karuseli.....	19
2.2.3. Vertikalni karusel.....	21
2.2.4. Vertikalni podizni moduli	23
2.3. Inovativne izvedbe automatiziranih skladišnih sustava	25
2.3.1. DAI sustav	25
2.3.2. Automatizirani skladišni sustav višestruke dubine	26
2.3.3. DUOSYS sustav.....	26
2.3.4. Sinkronizirani automatizirani skladišni sustav	27
2.3.5. Aisle transfer cart (AFT).....	28
2.3.6. „Telescopic satellite“ skladišni sustav	29
3. AUTOMATIZIRANI SKLADIŠNI SUSTAV S TRAČNIM VOZILIMA	31
3.1. Povijest razvoja SBS/RS sustava	32
3.2. Princip rada automatiziranog skladišnog sustava s tračnim vozilima (SBS / RS).....	33
3.3. Dijelovi automatiziranog skladišnog sustava s tračnim vozilima.....	34
3.4. Primjeri postojećih izvedbi skladišnih sustava s tračnim vozilima.....	35
3.4.1. Stingray shuttle sustav tvrtke TGV	35
3.4.2. One level shuttle sustav (OLS) tvrtke INVATA.....	36
3.4.3. Multishuttle 2 sustav tvrtke DEMATIC	36
4. MODELI OBLIKOVANJA AUTOMATIZIRANIH SKLADIŠNIH SUSTAVA S TRAČNIM VOZILIMA	37
4.1. Teorijski model automatiziranog skladišnog sustava s tračnim vozilima.....	38
4.2. Proračun vremena i protoka za određene oblike i dimenzije skladišnih površina (regala) uz pretpostavku uskladištenja i iskladištenja jednostrukim ciklusom.....	44
4.3. Usporedba protoka i vremena jednostrukog i dvostrukog ciklusa.....	49
5. ANALIZA USPOREDBE	55
5.1. Proračun vremena i protoka za određene oblike i dimenzije skladišnih površina MINI-LOAD sustava uz pretpostavku uskladištenja i iskladištenja jednostrukim ciklusom.....	55

5.2. Proračun vremena i protoka za određene oblike i dimenzije skladišnih površina MINI-LOAD sustava uz pretpostavku uskladištenja i iskladištenja dvostrukim ciklusom.....	58
5.3. Usporedba protoka i vremena jednostrukih ciklusa sustava s tračnim vozilima i sustava s dizalicom	59
5.4. Usporedba protoka i vremena dvostrukih ciklusa sustava s tračnim vozilima i sustava s dizalicom	61
5.5. Oblikovanje optimalnog regala za jednostruki ciklus rada u sustavu s tračnim vozilima i dizalicom.....	63
5.6. Oblikovanje optimalnog regala za dvostruki ciklus rada u sustavu s dizalicom i tračnim vozilima	65
6. ZAKLJUČAK.....	66
LITERATURA.....	67
PRILOZI.....	69

POPIS SLIKA

Slika 1.	Prikaz automatiziranog skladišnog sustava	10
Slika 2.	MID-LOAD automatizirani skladišni sustav	13
Slika 3.	Unit-load automatizirani skladišni sustav	15
Slika 4.	Mini-load automatizirani skladišni sustav	15
Slika 5.	Person on board sustav	16
Slika 6.	Person on board sustav	16
Slika 7.	Pretovarne lokacije	17
Slika 8.	Sustav pomičnih regala	18
Slika 9.	Prikaz horizontalnog karusela	19
Slika 10.	Prikaz horizontalnog karusela (2)	20
Slika 11.	Prikaz vertikalnog karusela	21
Slika 12.	Prikaz vertikalnog karusela (2)	22
Slika 13.	Prikaz unutrašnjosti vertikalnog podiznog modula	23
Slika 14.	Prikaz vertikalnog podiznog modula s naznačenim dijelovima	24
Slika 15.	Inovativni Puzzle based sustav automatiziranog skladištenja	25
Slika 16.	Inovativni Multiple deep sustav automatiziranog skladištenja	26
Slika 17.	Inovativni Duosys sustav automatiziranog skladištenja	27
Slika 18.	Inovativni Sinkronizirani sustav automatiziranog skladištenja proizvođača Daifuku	28
Slika 19.	Aisle transfer cart sustav automatiziranog skladištenja	29
Slika 20.	Aisle transfer cart sustav automatiziranog skladištenja (2)	29
Slika 21.	Tlocrt inovativnog Telescopic satellite sustava automatiziranog skladištenja	30
Slika 22.	Vilice Telescopic satellite sustava	30
Slika 23.	Prikaz Telescopic satellite sustava	30
Slika 24.	Automatizirani skladišni sustav s tračnim vozilima	31
Slika 25.	Dijelovi automatiziranog skladišnog sustava s tračnim vozilima	34
Slika 26.	Stingray sustav s tračnim vozilima tvrtke TGV	35
Slika 27.	One level sustav s tračnim vozilima	36
Slika 28.	One level sustav s tračnim vozilima	36
Slika 29.	Multishuttle 2 sustav s tračnim vozilima	37
Slika 30.	Prikaz dijelova sustava s tračnim vozilima (2)	39
Slika 31.	Prikaz jedne od izvedbi tračnog vozila	43
Slika 32.	Mehanizam unutar tračnog vozila	43
Slika 33.	Osnovne dimenzije automatiziranog skladišnog sustava s tračnim vozilima	45
Slika 34.	Osnovni dijelovi i njihov smještaj u sustavu s tračnim vozilima	45
Slika 35.	Jednostruki ciklus dizalice	59
Slika 36.	Jednostruki ciklus tračnog vozila	59
Slika 37.	Dvostruki ciklus dizalice	61
Slika 38.	Dvostruki ciklus tračnog vozila	61

POPIS TABLICA

Tablica 1. Legenda oznaka korištenih pri određivanju vremena trajanja jednostrukog ciklusa	40
Tablica 2. Dimenzije različitih konfiguracija istog kapaciteta sustava s tračnim vozilima ...	46
Tablica 3. Vremena jednostrukog ciklusa za tri odabrane konfiguracije sustava	47
Tablica 4. Protok sustava uz korištenje jednostrukih ciklusa.....	48
Tablica 5. Legenda oznaka korištenih pri određivanju vremena trajanja dvostrukog ciklusa	50
Tablica 6. Vremena dvostrukih ciklusa za tri odabrane konfiguracije sustava	53
Tablica 7. Protok sustava s tračnim vozilima uz korištenje dvostrukih ciklusa.....	54
Tablica 8. Legenda oznaka korištenih pri određivanju vremena jednostrukog i dvostrukog ciklusa dizalice	56
Tablica 9. Dimenzije različitih konfiguracija istog kapaciteta mini-load sustava	57
Tablica 10. Vremena i protok jednostrukog ciklusa za tri odabrana mini-load sustava	57
Tablica 11. Vremena i protok dvostrukog ciklusa za tri odabrana mini-load sustava	58
Tablica 12. Usporedba vremena jednostrukh ciklusa sustava s dizalicom i sustava s tračnim vozilima	60
Tablica 13. Usporedba vremena dvostrukh ciklusa sustava s dizalicom i sustava s tračnim vozilima	62

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$T_{JEDNSTRUKI\ CIKLUS\ (T_{JC})}$	sekunda	trajanje jednostrukog ciklusa
$T_{JEDNSTRUKI\ CIKLUS\ LIFTA\ (T_{JCL})}$	sekunda	vrijeme vožnje lifta u jednostrukom ciklusu
$T_{JEDNSTRUKI\ CIKLUS\ TRAČNOG\ VOZILA\ (T_{JCTV})}$	sekunda	vrijeme vožnje tračnog vozila u jednostrukom ciklusu
t_{Kl}	sekunda	vrijeme komisioniranja lifta
t_{Vl}	sekunda	vrijeme vožnje lifta
v_y	metara/sekundi	brzina lifta
a_y	metara/sekundi ²	ubrzanje lifta
H	metar	visina regala
M	/	broj razina u regalu
t_{Ktv}	sekunda	vrijeme komisioniranja tračnog vozila
t_{Vtv}	sekunda	vrijeme vožnje tračnog vozila
v_x	metara/sekundi	brzina tračnog vozila
a_x	metara/sekundi ²	ubrzanje tračnog vozila
L	metar	duljina regala
c	/	broj kolona
Q	komada	kapacitet skladišta
q_{lifta}	komada/satu	protok lifta
N	/	broj liftova
k	/	koeficijent ciklusa (1 za jednostruki sustav)
$T_{DVOSTRUKI\ CIKLUS\ (T_{DC})}$	sekunda	trajanje dvostrukog ciklusa
$T_{DVOSTRUKI\ CIKLUS\ LIFTA\ (T_{DCL})}$	sekunda	vrijeme vožnje lifta u dvostrukom ciklusu
$T_{DVOSTRUKI\ CIKLUS\ TRAČNOG\ VOZILA\ (T_{DCTV})}$	sekunda	vrijeme vožnje tračnog vozila u dvostrukom ciklusu
t_{Vl0-1}	sekunda	vrijeme vožnje lifta do prve pozicije
t_{Vl1-2}	sekunda	vrijeme vožnje lifta od prve do druge pozicije
v_y	metara/sekundi	brzina lifta
a_y	metara/sekundi ²	ubrzanje lifta
H	metar	visina regala
M	/	broj razina u regalu

$t_{V_{tv} 0-1}$	sekunda	vrijeme vožnje tračnog vozila od buffer pozicije do pozicije uskladištenja (od pozicije 0 do pozicije 1)
$t_{V_{tv} 1-2}$	sekunda	vrijeme vožnje tračnog vozila od pozicije uskladištenja do pozicije iskladištenja (od pozicije 1 do pozicije 2)
$t_{V_{tv} 2-0}$	sekunda	vrijeme vožnje tračnog vozila od pozicije iskladištenja do buffer pozicije (od pozicije 2 do pozicije 0)
q tračnog vozila	komada/satu	protok tračnog (tračnih) vozila
q regala	komada/satu	protok sustava
t_{jc}	sekunda	trajanje jednostrukog ciklusa dizalice
T	sekunda	vrijeme vožnje
t_k	sekunda	vrijeme komisioniranja
Q	/	faktor oblika
t_{dc}	sekunda	trajanje dvostrukog ciklusa dizalice

SAŽETAK

Tema ovog rada je prikaz osnova, rada, dijelova, podjele i trendova u pogledu automatiziranih skladišnih sustava. Rad je orijentiran prema prikazu inovativnih sustava automatiziranog skladištenja, a posebna će pažnja biti posvećena sustavu s tračnim vozilima (engl. Shuttle based storage and retrieval system). Navedeni sustav će biti opisan i bit će napravljeni proračuni kako bi se sustav mogao usporediti s nekim od tradicionalnih automatiziranih skladišnih sustava. Analiza potonjeg sustava rezultirat će zaključcima koji će biti temelj za vrednovanje.

Ključne riječi:

automatizirano skladištenje, inovativni sustavi, tračna vozila, proračuni, tradicionalni automatizirani sustavi, analiza, zaključci

SUMMARY

This paper is about the basics, operation, parts, division and new trends in terms of automated storage and retrieval systems. Lead orientation will be one towards innovative systems of automated storage and biggest attention will be given to shuttle based system (Shuttle based storage and retrieval system). Shuttle based system will be described and some calculations will be made in order to compare it with some traditional automated storage and retrieval systems. Analysis will give us some conclusions which will help to properly evaluate mentioned system.

Key words:

automated storage, innovative systems, shuttle-based vehicles, calculations, traditional systems, analysis, conclusions

1. UVOD

U današnje vrijeme, kada je vrlo važno vrijeme protoka informacija i materijala odnosno proizvoda, automatizirani skladišni sustavi mogu stvoriti veliku konkurentsku prednost u odnosu na tradicionalne skladišne sustave. Stoga sve više poduzeća nastoji ubrzati svoju logistiku budući da ona u ukupnim troškovima poduzeća može doseći udio od čak 40 %. Automatizirani skladišni sustavi nisu velika novost u logističkim krugovima, ali neke njihove izvedbe jesu i vrlo su zanimljive iz aspekta smanjenja vremena odnosno troškova. Neke od tih izvedbi probat ću opisati i vrednovati u ovom radu i nadam se da će postojati određena korist, odnosno da će na neki način koristiti meni ili nekome tko ima konkretan problem vezan uz ovo područje. Pojava prvih automatiziranih sustava može se smjestiti u šezdesete godine prošlog stoljeća stoga bi netko mogao reći da je na ovom području većina toga već rečena. Ne bih se bilo dobro složiti s tom tvrdnjom budući da, kao i u svemu drugome, postoje mjesta za konstantno poboljšanje te stvaranje konkurentske prednosti, koja na globalnom tržištu može značiti razliku između uspješnog poslovanja ili moguće propasti. Također smatram da su na prostorima srednje i jugoistočne Europe, koji imaju veliku ulogu u protoku materijala i gotovih proizvoda „staroga svijeta“, automatizirani skladišni sustavi nažalost nepravedno zapostavljeni, uglavnom zbog svoje cijene i kompleksnosti, te često njihove prednosti padaju u drugi plan. Isto tako smatram da je za razvoj državnog gospodarstva važno razvijati nove sustave i tražiti nove načine da za izdizanje iznad konkurencije i stavljanje svoje djelatnosti u novi kontekst. Kritičari ovog područja naglašavaju problem otkaza i gubitka radnih mjesta koji su rezultat napretka u ovom području po principu: „Što će biti s ljudima odnosno zaposlenicima kada iz zamijene strojevi?“. Slažem se s tezom da postoji problem gubitka radnih mjesta, ali isto tako smatram da to može biti razlog za napredak i širenje te da se zaposlenici mogu premjestiti na druge pozicije gdje će biti korisni i pokretači razvoja i napretka te neće moći biti lako zamijenjeni. S obzirom na sve rečeno nadam se da ova tema i ovo područje neće biti olako shvaćeno te da će mu se pridati još veći značaj i važnost u bliskoj budućnosti. U idućem poglavlju bit će dan pregled automatiziranih skladišnih sustava, bit će riječi o povijesti, stanju i trendovima te će biti opisane i objašnjene osnovne i inovativne izvedbe automatiziranih skladišnih sustava. Tema trećeg poglavlja je konkretni problem ovog rada, tj. automatizirani skladišni sustav s tračnim vozilima. Razmotrit će se povijest razvoja, princip (principi) rada, osnovni dijelovi te primjeri postojećih sustava.

Nadalje, u četvrtom poglavlju bit će prikazana razrada modela oblikovanja sa svrhom boljeg shvaćanja i kao temelj za proračun i vrednovanje. Modeli su razvijeni uz neke osnovne prepostavke i bez konkretnog sustava za promatranje, ali uz nastojanje da budu što konkretniji i da ih je moguće primijeniti u praksi. Četvrto poglavlje je temelj i polazni materijal za peto poglavlje u kojemu će biti izvršena usporedba automatiziranih skladišnih sustava s tračnim vozilima i onih tradicionalnih s dizalicom. Na temelju saznanja i podataka u petom poglavlju bit će donesen zaključak (zaključci) i vrednovan ovaj inovativni automatizirani skladišni sustav.

2. AUTOMATIZIRANI SKLADIŠNI SUSTAVI

Automatski sustav za skladištenje i izuzimanje (engl. Automated Storage and Retrieval System) kombinacija je opreme i kontrolnih sustava koji rukuju, skladište i izuzimaju materijale, po potrebi, s velikom brzinom i preciznošću, radeći to s određenom razinom automatizacije. Sustavi variraju od jednostavnijih, ručno upravljanih u manjim skladištima do računalno–upravljanih sustava u velikim skladištima, koji su potpuno integrirani u proces proizvodnje i distribucije. Generalno govoreći AS/RS sustavi definiraju se kao raznovrsni računalno–upravljani sustavi za uskladištenje na unaprijed definiranu lokaciju te iskladištenje s iste. [1]



Slika 1: Prikaz automatiziranog skladišnog sustava

2.1. Povijest, stanje i trendovi automatiziranih skladišnih sustava

Pojava prvih automatiziranih skladišnih sustava smještena je u šezdesete godine prošlog stoljeća (1962., DEMAG, Njemačka). Do osmadesetih godina raste potražnja za novim sustavima zbog velikog povećanja zaliha, potrebe za povećanom kontrolom zaliha i povećanja skladišta kao takvih i sve to rezultira postavljanjem velikog broja novih automatiziranih sustava. Naravno, poglavito u razvijenijem svijetu, pretežito SAD-u. Na ovim prostorima automatizirani skladišni sustavi pojavit će se mnogo godina kasnije. U 1980-im dolazi do naglog smanjenja broja postavljenih novih sustava, poglavito zbog novih trendova u industriji (JIT model, pojava manjih serija). Također dolazi do odustajanja od projekata, čak i do deinstalacije sustava. Unatoč svemu vidimo da su danas automatizirana skladišta vrlo popularna i da pojedine tvrtke ulažu velike količine novaca u nove automatizirane skladišne sustave kako bi zadržale korak s konkurencijom ili ju prestigle. Vidimo i da proizvođači takvih sustava ulažu puno vremena i rada kako bi razvili nove sustave, poboljšali performanse te skratili kritična vremena. Važno je naglasiti da u ovome području struka još ima puno toga reći i pokazati i da je daljnji razvoj neminovan. Budući da postoji mnogo izvedbi automatiziranih skladišnih sustava i velik broj novih izvedbi koje su u procesu nastajanja ili razrade, teško je konkretno reći koliki je postotak poduzeća i kompanija koje ih koriste. Podatak o zastupljenosti, tj. razvoju takvih sustava možemo izvući iz njihove starosti.

Starost sustava:

manje od 1 godine	- 10 %	
1 - 3 godine	- 38 %	
3 - 5 godina	- 19 %	
5 - 10 godina	- 19 %	
više od 10 godina	- 14 %	[3]

Iz navedenih podataka vidljivo je da postoji velik broj novoinstaliranih sustava, ali vidljivo je i to da ih ima u velikom postotku starijih od 5 te 10 godina, što nije iznenađujuće budući da automatizirani skladišni sustavi postoje pola stoljeća. Također nema konkretnih podataka o broju sustava koji su ugašeni, promijenjeni ili unaprijeđeni. U Hrvatskoj, prema mom saznanju, postoji nekoliko automatiziranih skladišnih sustava koji se nalaze u tvrtci DBT iz Zaprešića (prvi u Hrvatskoj [10]), Narodnim novinama, Krašu, Podravci, Francku, Školskoj knjizi... Između 1994. i 2004. godine došlo je do značajnog porasta broja AS/RS sustava u Sjedinjenim Američkim Državama (Automated Storage Retrieval Systems Production Section of the Material Handling Industry of America, 2005.). Korištenje AS/RS sustava ima nekoliko prednosti u odnosu na ne automatizirane sustave: uštede u troškovima rada i uštede površine, povećana pouzdanost i smanjenje stope pogrešaka. Očigledni nedostaci su visoki troškovi ulaganja (oko 634.000 \$ za jedan red AS/RS sustava, Zollinger, 1999.), manja fleksibilnost i veća ulaganja u kontrolne sustave (oko 103.000 \$, Zollinger, 1999.) [4]

Automatizacija skladišta postala je vrlo tražena i sve više organizacija (poduzeća) želi uložiti u automatiziranje svojih skladišnih i transportnih procesa. 74 % ispitanika u istraživanju provedenom od strane The Automation Alliance of Material Handling Industry of America (MHIA) izjasnilo se da razmišlja i želi automatizirati svoje procese. Istraživanje je pokazalo da oko 22 % ispitanika planira ulagati u automatizirane skladišne sustave, 17 % u AGV vozila, 16 % u robote i oko 12 % u vertikalne podizne module i karusele. [5]

Četiri najzanimljivije i najčešće spominjane teme na području automatiziranih skladišnih sustava u zadnje vrijeme su [7]:

1. Korištenje varijabla protoka, gustoće skladištenja i cijene u postupcima odlučivanja;
2. Nova vrsta ASRS sustava pod nazivom MID-LOAD;
3. Automatizirani skladišni sustavi s tračnim vozilima;
4. Nove aplikacije ASRS sustava.

1. Budući da broj mogućih izvedbi automatiziranih skladišnih sustava raste iz dana u dan, njihov odabir postaje sve veći problem. Jedno od rješenja je zapošljavanje stručnog savjetnika, ali to nije uvijek najbolje rješenje i često ulagači sami žele pokrenuti i optimizirati

sustav. U tom pogledu bitno je da postoje neke informacije u vidu protoka, cijene i gustoće skladištenja koje će biti korisne za onoga tko planira novi sustav. Ukoliko, recimo, trebate veliki protok, vjerojatno ćete se odlučiti za sustav s tračnim vozilima. Javlja se problem tvrtki koje instaliraju inovativne i veoma skupe sustave ili one potpuno neprikladne bez da uzmu u obzir alternative, što rezultira nepotrebnim gubitcima i zato je ovaj alat koristan i preporučljiv.

2. Iduća novost je MID-LOAD sustav koji je zapravo prenosnica između MINI-LOAD i UNIT-LOAD sustava i nominiran je za nagradu Material Handling Institute-a u 2014. godini. Ovo je vrlo fleksibilan sustav kod kojega nosivost može biti 500 pa i više kilograma, a visine dohvata 35 metara. Moguće je baratanje nepravilnim profilima, paletama itd., a glavna prednost je ta što ne postoji sustav tračnica te je moguć rezervni sustav koji omogućava 100 % dostupnosti svih jedinica čak i za vrijeme održavanja.



Slika 2: MID-LOAD automatizirani skladišni sustav

3. Automatizirani skladišni sustavi s tračnim vozilima tema su ovoga rada tako da nema potrebe puno govoriti u njima budući da su iscrpan opis i analiza modela dani u četvrtom poglavlju.

4. Uz današnju potrebu za povećanjem konkurentnosti u kombinaciji s povećanom pouzdanosti i smanjenjem troškova dolazi do novih primjena automatiziranih skladišnih sustava. Neke od njih su visoko-brzinske isporuke pomoću komisioniranja u svakom redu sustava, odgođena isporuka zbog skupljanja većeg broja paleta, automatski red komisioniranja kutija...

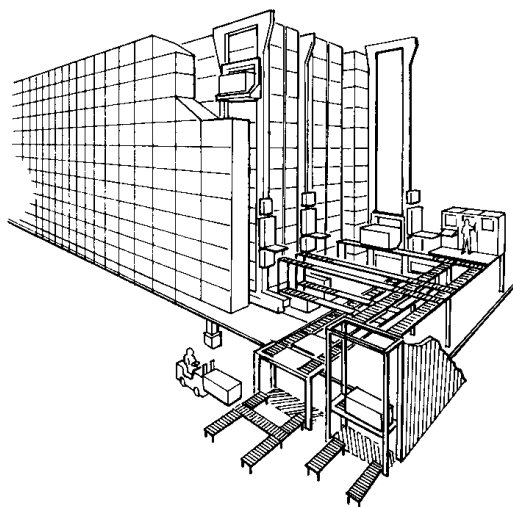
2.2. Osnovne izvedbe automatiziranih skladišnih sustava

Osnovna podjela automatiziranih skladišnih sustava je na one koji sadrže dizalicu u prolazu, podjela ove izvedbe automatiziranih skladišnih sustava je na unit-load sustave koji barataju s jediničnim teretom veće mase i dimenzija (npr. palete), na mini-load sustave koji su izvedbom i načinom rada slični unit-load sustavima, ali rukuju s manjim teretima, najčešće nekom vrstom spremnika, jedna od izvedbi je također micro-load koji je vrlo sličan dvama spomenutim sustavima, ali rukuje teretima vrlo malih dimenzija (knjige, male kutije...). Zadnja od izvedbi sustava s dizalicom je sustav person-on-board koji kombinira automatski pokretanu dizalicu i komisionera koji se nalazi na njoj i izvršava operacije skladištenja i iskladištavanja. Više o sustavu s dizalicama u poglavlju 2.2.1. Nadalje automatizirani skladišni sustavi se dijele na horizontalne karusele koji će biti opisani u poglavlju 2.2.2, vertikalne karusele o kojima će biti riječi u poglavlju 2.2.3, te na vertikalne podizne module (VLM-ovi) koji će biti definirani u poglavlju 2.2.4.

2.2.1 Automatizirani skladišni sustavi s dizalicama

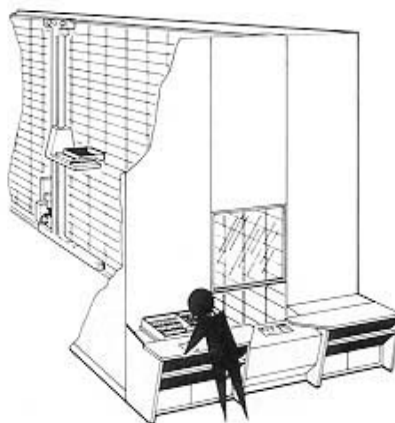
Razlikujemo više izvedbi sustava u kojima dizalica izvodi funkciju uskladištenja i iskladištenja između regala.

a) Unit load AS/RS - vrsta sustava automatiziranog odlaganja i izuzimanja za teže/veće terete (do 500 kg i više) smještene na paletama ili u plastičnim, drvenim ili metalnim sanducima paletnih dimenzija.



Slika 3: Unit-load automatizirani skladišni sustav

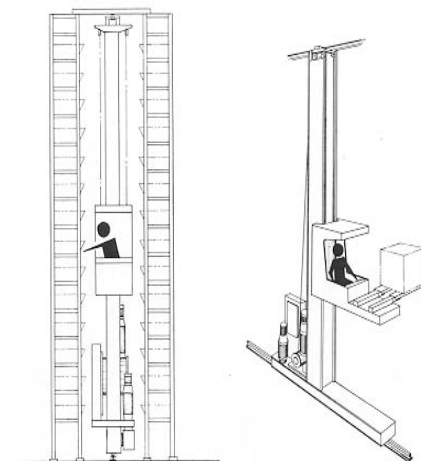
b) Mini-load AS/RS - vrsta sustava automatiziranog odlaganja i izuzimanja za terete koji su obično u malim spremnicima (kutijama), najčešće mase do 50 kg.



Slika 4: Mini-load automatizirani skladišni sustav

c) Micro-load AS/RS - sustav gotovo identičan mini-load sustavu, ali vrši se skladištenje vrlo malih jedinica

d) Person-on-board AS/RS - (polu)automatizirani sustav odlaganja i izuzimanja, s čovjekom na dizalici za ručno uskladištenje i izuzimanje unutar prolaza između visokih policičnih i paletnih regala, dok je kretanje među lokacijama automatizirano.



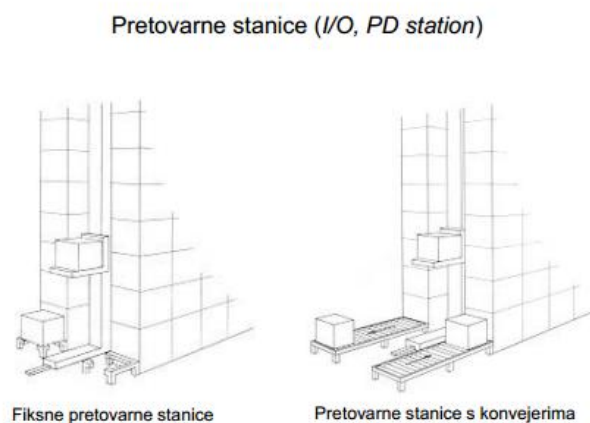
Slika 5 i 6: Person on board sustav

Kao osnovni dijelovi AS/RS sustava s dizalicom mogu se navesti:

1. ulazna pretovarna stanica;
2. a) dizalica
b) lift (dizalica) i neki od oblika radnog transportnog sredstva (shuttle) ovo je osobno viđenje smještaja sustava koji su tema ovoga rada budući da se ti sustavi (engl. shuttle based storage and retrieval system) ne mogu svrstati ni u jednu od navedenih kategorija, ali su načinom rada i konstrukcijom najbliži automatiziranim skladišnim sustavima s dizalicom;
3. sustav regala;
4. izlazna pretovarna stanica odnosno prostor za komisioniranje.

1. Ulazna pretovarna stanica može biti izvedena kao fiksna ili izvedena pomoću konvejera.

Fiksne pretovarne stanice su izvedene na način da se sredstvo za odlaganje pozicionira na fiksno mjesto odakle ga dizalica ili lift preuzima. Pretovarne stanice s konvejerima su izvedene tako da pomoću neke vrste konvejera (najčešće valjčani s pogonom ili bez pogona - gravitacijski) sredstvo za odlaganje dolazi do pretovarne stanice odakle ga dizalica ili lift preuzima.

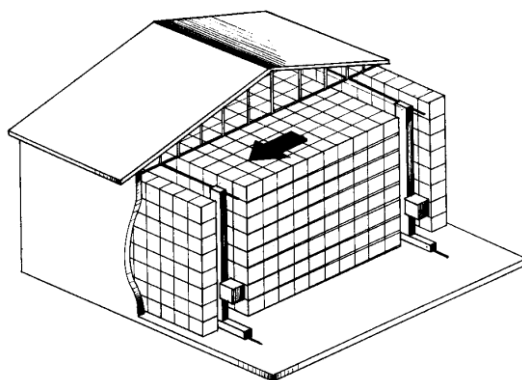


Slika 7: Pretovarne lokacije

2. a) Dizalica je sredstvo koje preuzima paletu ili neku drugu vrstu sredstva za odlaganje te ga transportira na zahtijevanu poziciju u regalu, odnosno na potrebno paletno mjesto. Kod dizalice su bitni podaci o nosivosti, vremenu komisioniranja te brzini po pojedinim osima.

b) U izvedbi koja uključuje dizalicu i neki drugi oblik sredstva za odlaganje, dizalica odnosno lift služi isključivo za podizanje tereta. Često postoje sustavi s ulaznim liftom za podizanje i izlaznim liftom za spuštanje. Podizanje i spuštanje tereta sve češće se izvodi po razinama. Sredstvo za odlaganje konkretno može biti shuttle, što će pobliže biti razrađeno u ovom radu, i bitna je njegova brzina po x osi, vrijeme komisioniranja te, naravno, nosivost.

3. Sustav regala je najčešće fiksna (postoje i pomični regali), a sastoji se od većeg broja paletnih mjesta na koje je moguće rasporediti mnogo jedinica na velik broj načina. Sredstva za izuzimanje i odlaganje obavljaju svoje funkcije u sustavu regala.



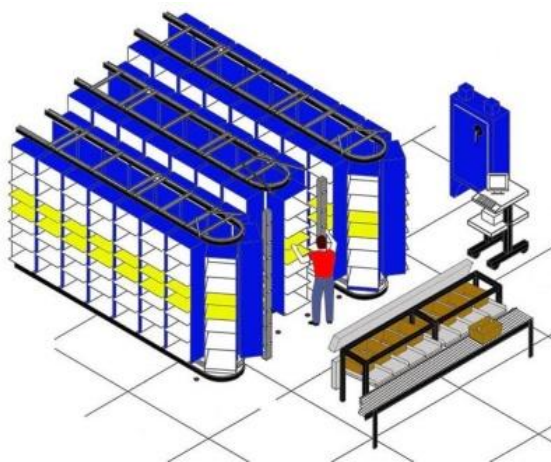
Slika 8: Sustav pomičnih regala

4. Izlazna pretovarna stanica također može biti fiksna i izvedena pomoću konvejera, a za nju vrijedi sve napisano u točki 1, vezano uz ulaznu pretovarnu stanicu, ali naravno u obrnutom smjeru toka materijala.

Iako je automatizirani sustav za skladištenje i izuzimanje veoma složena i dobro usklađena cjelina, moguće je u osnovnim crtama opisati način rada takvog sustava. Početak ciklusa je doprema materijala odnosno jedinice koja se skladišti sustavom konvejera ili nekom od izvedbi podnih vozila do ulazne pretovarne stanice. Naredba za pozicijom skladištenja može biti izdana ulaskom u sustav dopreme ili se zadaje kada jedinica stigne na ulaznu pretovarnu stanicu. Nakon što sustav dobije informaciju o poziciji skladištenja, dizalica ili lift preuzimaju jedinicu te je transportiraju do mjesta gdje treba biti odložena. Isti proces, ali u obrnutom smjeru obavlja se ukoliko je zadan zahtjev za iskladištenjem. Kod rada dizalice razlikujemo dvostruki i jednostruki radni ciklus. Jednostruki ciklus se sastoji samo od skladištenja ili izuzimanja, brži je, zahtijeva jednostavniji sustav te niža ulaganja, ali veliki je nedostatak manji protok sustava u jedinici vremena. Dvostruki ciklus sastoji se od skladištenja i izuzimanja, dugotrajniji je, ali često doprinosi znatno većem protoku u jedinici vremena. Kod dimenzioniranja skladišnog sustava vrlo je važno uz vrstu sustava odrediti koju vrstu ciklusa trebamo jer krivo dimenzionirani sustav može stvoriti velike probleme. Kašnjenja, ukoliko je poddimenzioniran, odnosno prevelike troškove ukoliko je predimenzioniran. Važno je spomenuti da je kod ovakvih sustava na upravljačkoj jedinici moguće vidjeti podatak o položaju svake jedinice, također vidljiva je zaliha te je puno lakše planirati proces popunjavanja zaliha.

2.2.2. Horizontalni karuseli

Horizontalni karusel (optočni/okretni regal) sustav je koji se sastoji od fiksnog broja skladišnih kolona (odjeljaka), mehanički povezanih s pogonskim mehanizmom u zatvorenoj petlji. Svaka kolona dodatno je podijeljena na fiksni broj skladišnih lokacija (polica). Odlaganje i izuzimanje je ručno ili automatsko. Okretanje karusela je u većini slučajeva automatizirano. Horizontalni karuseli postali su jedan od najpopularnijih uređaja za skladištenje i izuzimanje, a od pojave početkom 1960-ih nisu se značajno mijenjali. Prvi industrijski horizontalni karusel razvio se od konfekcijskih konvejera kakvi se danas najčešće viđaju u kemijskim čistionicama. Glavne prednosti su ušteda vremena jer komisioner može obavljati druge djelatnosti dok se karusel okreće (papirologija, brojanje...) te ušteda prostora koja može znatno doći do izražaja ako se više karusela posloži jedan do drugoga. Još su neke od prednosti trajnost izvedbe, niski troškovi održavanja, mirni rad, a važan je faktor smanjenja ljudske aktivnosti, tj. komisioner se mora manje kretati i samim time mu je olakšan rad.

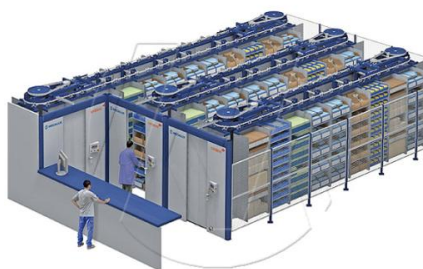


Slika 9: Prikaz horizontalnog karusela

Kao osnovni dijelovi karusela mogu se navesti:

1. fiksni broj skladišnih odjeljaka koji su podijeljeni u fiksni broj skladišnih lokacija;
2. pogonski mehanizam za okretanje karusela;
3. konstrukcija sustava (tijelo karusela);
4. upravljačka jedinica.

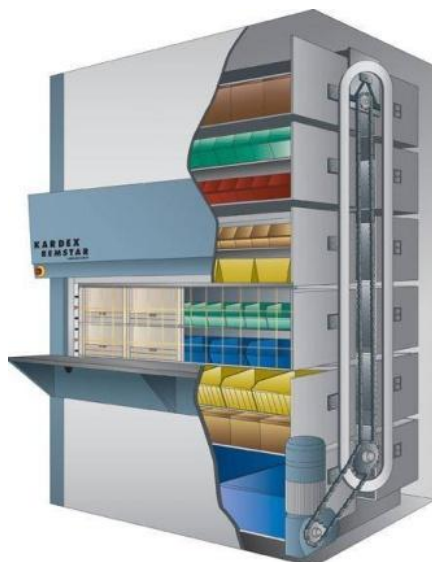
1. Horizontalni karuseli su podijeljeni na odjeljke čije su dimenzije prilagođene što jednostavnijem pokretanju (okretanju) sustava. Svaki odjeljak podijeljen je na skladišne lokacije koje ovise o dimenzijama jedinica koje se u njima skladište, najčešće u plastične ili žičane spremnike. Često su lokacije nakošene prema unutra da ne bi došlo do ispadanja robe pri centrifugalnoj sili koja se javlja uslijed rotacije sustava.
2. Pogonski mehanizam, koji je najčešće automatiziran, uglavnom se sastoji od elektromotora i lanca koji okreću odjeljke. Postoje i vrste koje su ručno pogonjene, ali takvih je vrlo malo u praksi. Pogonski sustav se nalazi na jednom ili na oba kraja karusela, a prosječne brzine vrtnje su između 0.15 i 0.45 m/s.
3. Konstrukcija sustava je fiksni dio na koji su postavljeni odjeljci te pogonski mehanizam. To je jednostavna metalna konstrukcija čiji je jedini zadatak nošenje tereta sustava.
4. Upravljačka jedinica omogućava pokretanje sustava, upravljana je od strane komisionera jer se kod ovakvih sustava komisioniranje uglavnom izvodi ručno, ali moguće su i automatizirane varijante.



Slika 10: Prikaz horizontalnog karusela (2)

2.2.3. Vertikalni karusel

Vertikalni karusel je sustav koji se sastoji od fiksnog broja polica koje u zatvorenoj petlji rotiraju u vertikalnoj ravnini. Okretanje sustava je gotovo isključivo automatizirano, a odlaganje i izuzimanje najčešće ručno, iako su moguće i postoje izvedbe s automatskim odlaganjem. Vertikalni karuseli uvedeni su u ranim 1950-ima primarno kao sredstvo za skladištenje rolane robe, primjerice tepiha. Kada su proizvođači u njima prepoznali priliku za pohranjivanje robe, dijelova i zaliha, vertikalni karuseli postali su popularni zbog mogućnosti skladištenja dijelova prilično velikog volumena na relativno malenoj površini. Artikli se dovode operateru koji ne mora hodati da bi ih izuzimao kao kod uobičajenih statičnih poličnih regala. Moguće je da vertikalni karuseli imaju više od jednog pristupnog prozora odnosno otvora za odlaganje i izuzimanje. U nekim slučajevima korisno je imati visoki uređaj koji povezuje više katova kao, primjerice, u objektima gdje se poslužuju mnogobrojni odjeli. Karuseli mogu imati pristup i sprijeda i straga ako se koriste kao protočni skladišni uređaji.



Slika 11: Prikaz vertikalnog karusela

Kao osnovni dijelovi vertikalnih karusela mogu se navesti:

1. određeni broj polica koje mogu biti podijeljene na skladišne lokacije;
2. tijelo odnosno vanjski oklop karusela;
3. pogonski mehanizam;
4. upravljačka jedinica.

1. Police mogu biti organizirane tako da služe za skladištenje većih i širih predmeta, ali i podijeljene za skladištenje više manjih.

2. Tijelo karusela je metalni pravokutni oklop koji nosi police i pogonski mehanizam te štiti od raznih utjecaja. S prednje strane je otvor za komisioniranje koji može biti i zaštićen vratima da bi se spriječila krađa te zaštitio sustav od ostalih vanjskih utjecaja. U današnje vrijeme se razvijaju sustavi koji imaju dva ili čak više otvora za komisioniranje. Dimenzije variraju i ovise o dimenzijama i broju polica u sustavu.

3. Pogonski mehanizam je sličan kao kod horizontalnih karusela, sastoji se od elektromotora koji pomoću lanca u vertikalnoj razini pomiče police. Komisioniranje je gotovo uvijek ručno.

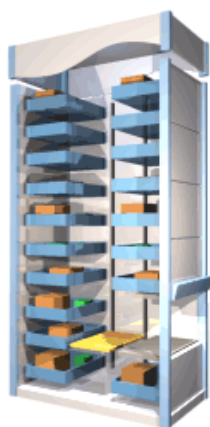
4. Upravljačka jedinica upravlja radom karusela i može biti tako izvedena da zahtijeva šifru za otvaranje vrata te tako štiti od krađe.



Slika 12: Prikaz vertikalnog karusela (2)

2.2.4. Vertikalni podizni moduli

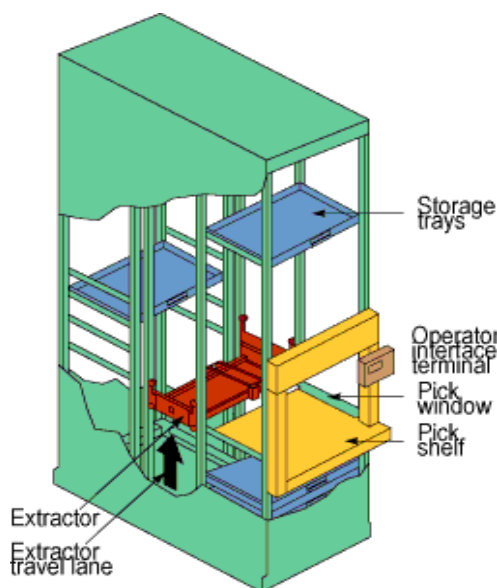
Vertikalni podizni modul (eng. Vertical Lift Module) su skladišni sustavi koji se sastoje od dviju paralelnih kolona s fiksnim policama, u kojima su uskladišteni spremnici (kutije ili ladice). Odlaganje, izuzimanje i transport (vertikalni) spremnika obavlja automatski uređaj (shuttle/extractor). Vertikalni podizni modul omogućuje velike uštede skladišne površine i postoje izvedbe visine do 20 m koje mogu povezivati više katova. Takva izvedba rezultira većom produktivnošću komisionera koji se ne treba kretati i brže obavlja zadatke. Postoje i izvedbe s čak 4 ulaza/izlaza za još bolji protok, a moguće su izvedbe s više extractora. U početku su postojale izvedbe za rukovanje s manjim teretima i dimenzijama, a danas konstantnim razvojem od 1970-ih postoje izvedbe nosivosti do 50-ak pa i više tona s nosivošću extractora do otprilike jedne tone.



Slika 13: Prikaz unutrašnjosti vertikalnog podiznog modula

Kao osnovni dijelovi vertikalnih podiznih modula mogu se navesti:

1. postolja za odlaganje;
2. lift (shuttle, extractor) i vodilice;
3. otvor (prozor) za komisioniranje;
4. tijelo VLM-a;
5. upravljačka jedinica.



Slika 14: Prikaz vertikalnog podiznog modula s naznačenim dijelovima

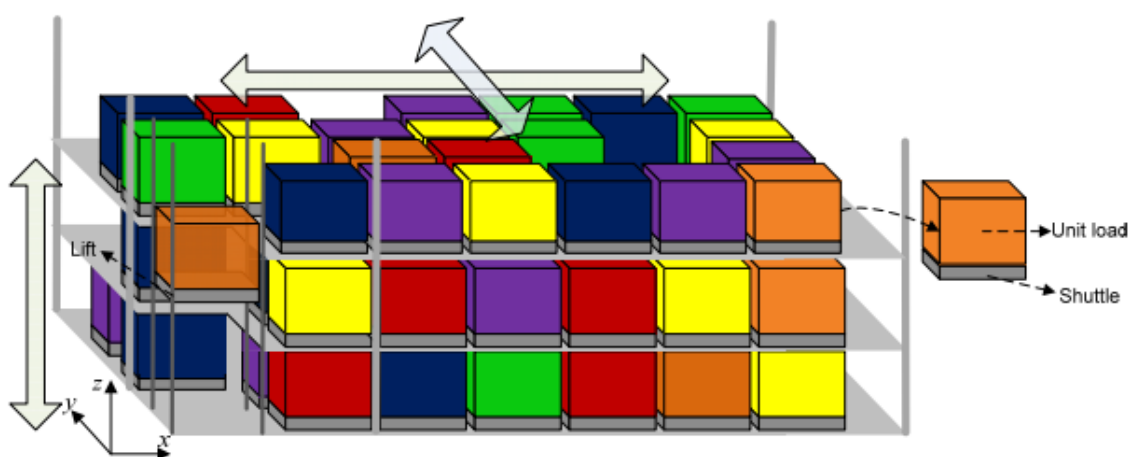
1. Postolja ili police za odlaganje su postavljene jedna iznad druge u dva stupca između kojih se kreće lift. Prednost ovakvog sustava je mogućnost mijenjanja visine pojedine police. Na taj način dobivamo prostor za predmete raznih dimenzija, slično kao npr. u garderobnom ormaru.
2. Lift pokretan električnom energijom kreće se po vodilicama i vrši izuzimanje i skladištenje jedinica na police.
3. Zona za komisioniranje odnosno prozor za komisioniranje je mjesto na koje lift dostavlja traženu jedinicu, a komisioner ručno vrši komisioniranje.
4. Tijelo VLM-a je kostur sačinjen od šipki i zadaća mu je nošenje težine sustava. Na šipke su postavljeni zaštitni limovi koji štite od vanjskih utjecaja i krađa te eliminiraju povrede ljudstva.
5. Putem upravljačke jedinice komisioner pokreće sustav te je česta izvedba koja zahtijeva lozinku djelatnika kako bi se izbjegle krađe.

2.3. Inovativne izvedbe automatiziranih skladišnih sustava

U ovom poglavlju biti će naznačene neke nove izvedbe i načini funkcioniranja inovativnih automatiziranih skladišnih sustava. Kako raste potražnja za automatiziranim skladišnim sustavima, tako proizvođači i zainteresirani stručnjaci traže nove i efikasnije načine automatiziranog skladištenja. Cilj i misao vodilja svih zainteresiranih je smanjenje troškova, potrebne površine i, naravno, povećanje protoka materijala. Proizvođači automatiziranih skladišnih sustava gotovo svakog dana pronalaze načine za poboljšanje postojećih sustava i istražuju nove izvedbe. Tema ovog rada također je jedan inovativni skladišni sustav-automatizirani skladišni sustav s tračnim vozilima, a temeljito će biti opisan u idućem poglavlju.

2.3.1. DAI sustav

Sustav pod nazivom DAI (eng. dense, autonomous and intelligent) sustav (punog naziva, engl. puzzle based automatic storage system) jedan je od novorazvijenih sustava automatiziranog skladištenja, a koncipiran je na principu dugo poznate igre za djecu s jednim slobodnim poljem za omogućivanje preslagivanja elemenata i otuda naziv puzzle sustav. Jedinice se skladište na lokacije koje se mogu pomicati u smjeru x i y osi dokle god je pored njih slobodno mjesto te na taj način svaka jedinica može doći do ulazne ili izlazne pozicije u sustavu. Rezultat je velika iskoristivost skladišnog prostora, a iskoristivost može doseći postotak od $n/(n - 1)$, gdje n označava broj skladišnih pozicija. Ukoliko je skladište građeno na više razina, dobivamo veliku gustoću skladištenja koja je donedavno bila nezamisliva. [12]



Slika 15: Inovativni DAI sustav automatiziranog skladištenja

2.3.2. Automatizirani skladišni sustav višestruke dubine

Sustav višestruke dubine (engl. Multiple deep AS/RS) sustav je kod kojega je u red moguće skladištiti desetak pa i više jedinica. Njegova velika prednost je velika gustoća skladištenja, tj. potreban je manji skladišni prostor, a to znači manje režijske troškove. Pogodan je za skladišta koja moraju biti hladena zbog uštede energije. Ovakva izvedba pogodna je za skladišta u kojima je očekivan manji protok jer dizalica, odnosno shuttle, može izravno doći do prve jedinice u redu te, da bi došla do neke od stražnjih jedinica, mora pomaknuti sve koje se nalaze ispred nje. [22]



Slika 16: Inovativni Multiple deep sustav automatiziranog skladištenja

2.3.3 DUOSYS sustav

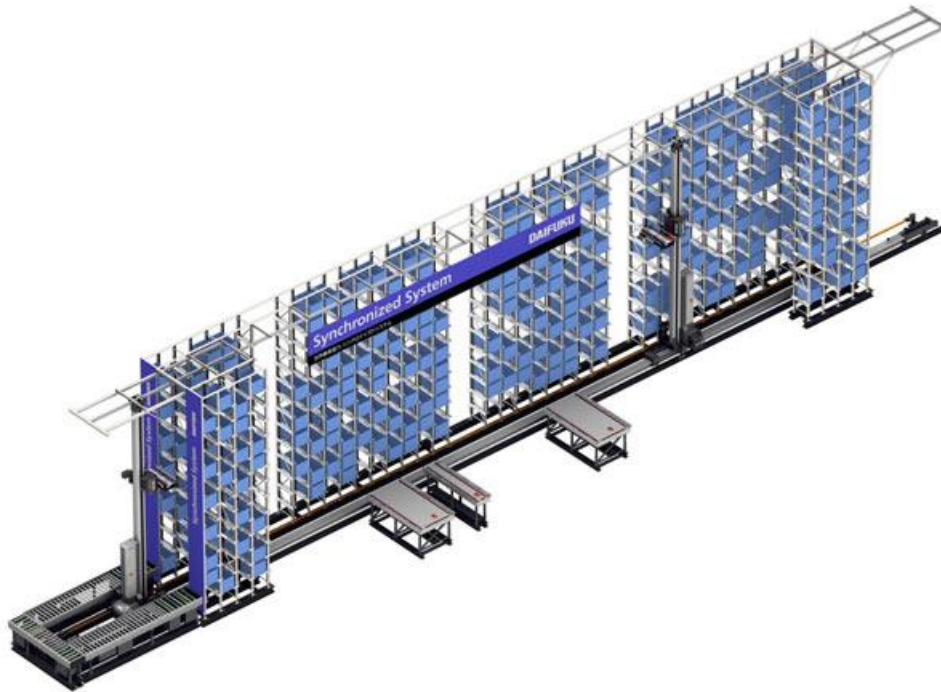
Duosys je inovativna izvedba automatiziranog skladišnog sustava proizvođača Daifuku koju karakterizira prisutstvo dviju dizalica u jednom prolazu regala. Dizalice rade simultano te znatno povećavaju protok sustava u odnosu na sustav s jednom dizalicom. Prednost ovog sustava je mogućnost održavanja pojedine dizalice dok ona druga nastavlja obavljati svoj rad te na taj način smanjujemo kašnjenja uzrokovana održavanjem. Zbog modularnosti gradnje (slaganja uvis) proširenje sustava je vrlo jednostavno. [13]



Slika 17: Inovativni Duosys sustav automatiziranog skladištenja

2.3.4 Sinkronizirani automatizirani skladišni sustav

Sinkronizirani sustav (engl. Synchronized system) još je jedna inovativna izvedba automatiziranog skladišnog sustava proizvođača Daifuku koju također karakterizira prisutstvo dviju dizalica u jednom prolazu regala. Dizalice rade simultano te povećavaju protok sustava u odnosu na sustav s jednom dizalicom, ali s razlikom u odnosu na Duosys sustav ne mogu se mimoći. Nemogućnost mimoilaska se ne može okarakterizirati manom budući da je svaka dizalica zadužena za komisioniranje na polovici regala i na taj način mogu raditi potpuno simultano. Velika prednost sustava je to što dizalice mogu raditi simultano pri transportu većih i težih predmeta na način da se približe jedna drugoj i zajedno vrše transport i komisioniranje. Kao i kod Duosys sustava, ukoliko se pokvari jedna od dizalica ili je u postupku održavanja, druga nastavlja nesmetano obavljati svoj posao. Zbog modularnosti gradnje (slaganja uvis) proširenje sustava je vrlo jednostavno. Moguć protok sustava je do 800 jedinica u satu te se dizalice kreću velikim brzinama (do 7 m/s horizontalno te 2 m/s vertikalno). [14]



Slika 18: Inovativni sinkronizirani sustav automatiziranog skladištenja proizvođača Daifuku

2.3.5 Aisle transfer cart (AFT)

AFT je verzija sustava u kojemu za više prolaza imamo samo jednu ili više dizalica i sustav za pomicanje dizalice do bilo kojeg prolaza. Ovo je potpuno automatizirani sustav koji samostalno vrši skladištenje prema procjeni o najpovoljnijem mjestu skladištenja. Ukoliko treba skladištiti ili izuzeti jedinicu koja se nalazi u nekom drugom prolazu, dizalica odlazi na sustav za pomicanje koji ju vodi do potrebnog prolaza. Ovakav sustav je dizajniran za skladišta manjeg protoka i znatno može smanjiti ulaganje zbog jedne ili manjeg broja dizalica na velik broj prolaza te povećati gustoću skladištenja.



Slika 19: Aisle transfer cart sustav automatiziranog skladištenja



Slika 20: Aisle transfer cart sustav automatiziranog skladištenja (2)

2.3.6. „Telescopic satellite“ skladišni sustav

Telescopic satellite sustav za skladištenje je jedna od novijih izvedbi automatiziranih skladišnih sustava. Posebnost je u tome što se transport skladišnih jedinica vrši jednom dizalicom (naravno, može ih biti i više) te jednim shuttleom, tj. tračnim vozilom po dizalici. Redovi su postavljeni okomito na dizalicu i sustav je građen na više razina. Dizalica koja se nalazi na sredini reda giba se po x osi okomito na redove te uvis po y osi. Kada dođe do reda iz kojeg je potrebno izuzeti ili u koji je potrebno skladištiti, shuttle se odvaja od dizalice te odlazi u red gdje izvršava komisioniranje. Ovakav sustav može pridonijeti znatnijim uštedama kod ulaganja i instalacije te kod održavanja zbog manjeg broja pokretnih dijelova. Česta primjena ovakvog sustava je u skladištima koja moraju biti hladena jer zbog manje površine osigurava uštede u potrošnji energije do 30 %.



Slika 21: Tlocrt inovativnog Telescopic satellite sustava automatiziranog skladištenja



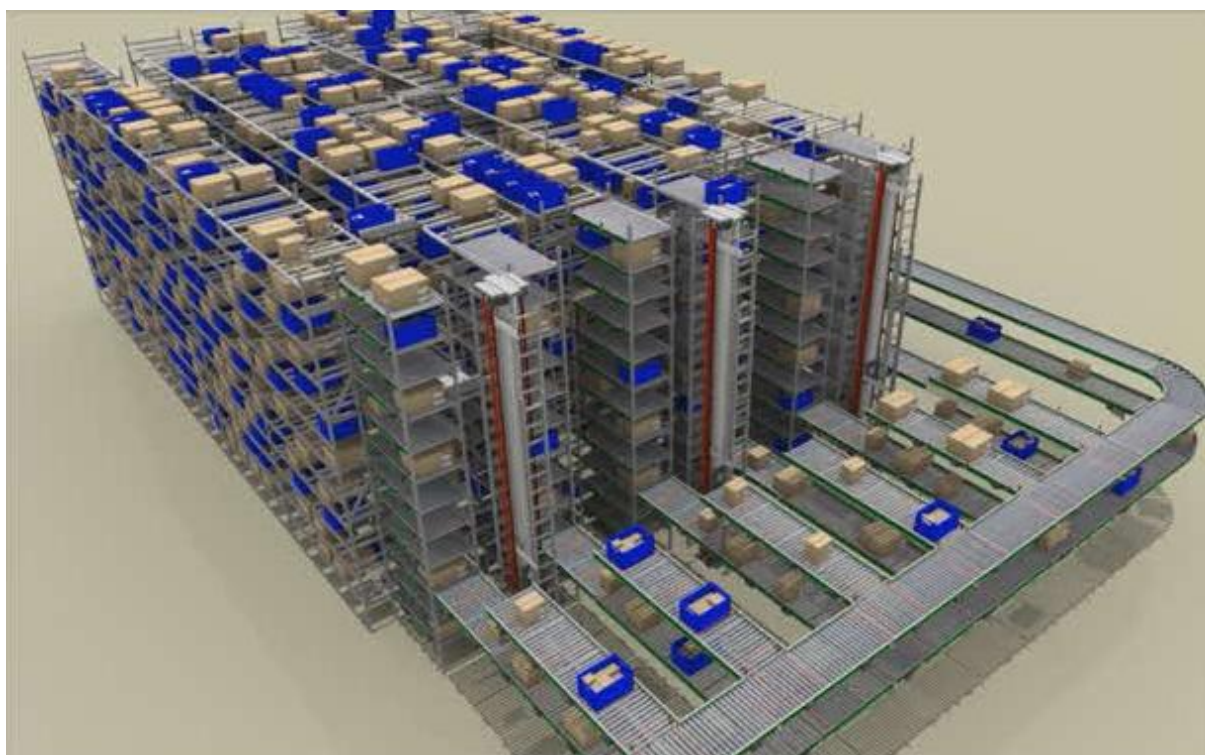
Slika 22: Vilice Telescopic satellite sustava



Slika 23: Prikaz Telescopic satellite sustava

3. AUTOMATIZIRANI SKLADIŠNI SUSTAV S TRAČNIM VOZILIMA

Automatizirani skladišni sustav s tračnim vozilima još je jedan od inovativnih sustava automatiziranog skladištenja, a budući da je namjera rada sustav pobliže pokazati i razraditi model te ga usporediti s već postojećim „starim“ sustavima, cijelo će iduće poglavlje biti posvećeno konkretnom sustavu. U poglavlju 3.1 bit će rečeno ponešto o povijesti sustava i njegovom razvoju i važno je naglasiti da su podatci u navedenom poglavlju u potpunosti preuzeti iz navedenih izvora. Poglavlja 3.2 i 3.3 bavit će se načinom rada i dijelovima konkretnog sustava, a u poglavlju 3.4 bit će prikazane neke već postojeće izvedenice automatiziranog skladišnog sustava s tračnim vozilima.



Slika 24: Automatizirani skladišni sustav s tračnim vozilima

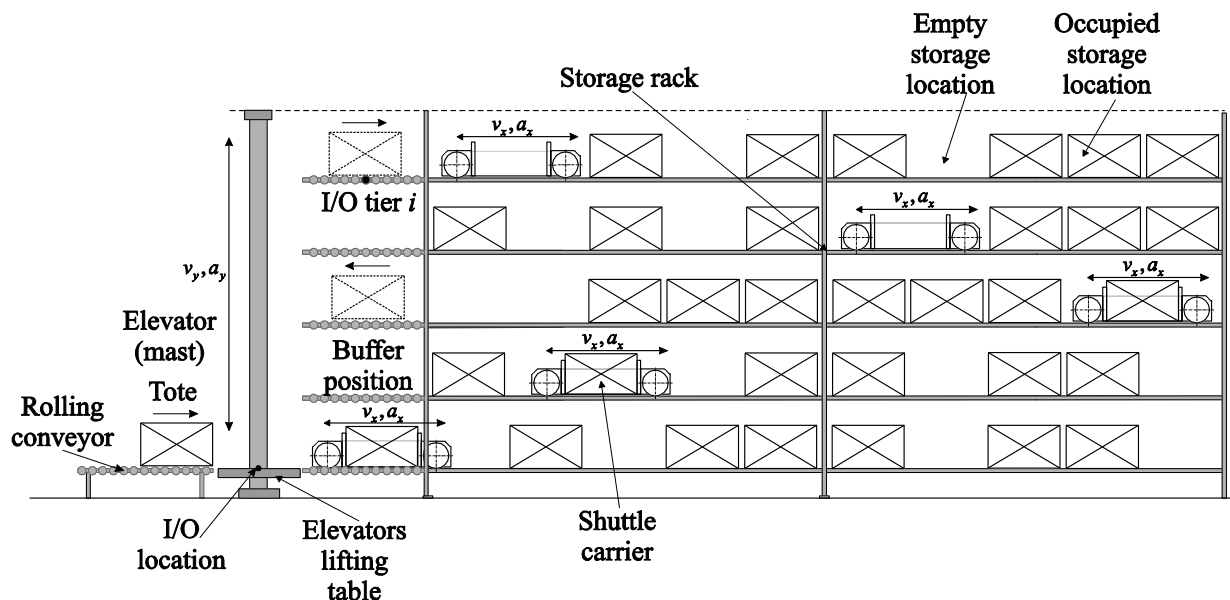
3.1. Povijest razvoja SBS/RS sustava

Automatizirani skladišni sustav s tračnim vozilima (SBS/RS - shuttle based storage and retrieval system) bio je predmet vrlo malog broja istraživanja tijekom zadnjih desetak godina. Bez obzira na to intenzivan razvoj počinje početkom 21. stoljeća. Prvo se pojavljuje u kontekstu AVS/RS, tj. kao autonomus vehicle storage and retrieval system, te je većina radova napisana o ovom konceptu. AVS/RS prvi je proučavao Malmborg 2002. godine, a 2003. je napravio model za predviđanje udjela dvostrukog ciklusa (DCC) u AVS/RS. Fukunari i Malmborg su 2008. godine razvili učinkovit model za izračun vremena ciklusa modela AVS/RS te usporedili ovu izvedbu s klasičnim automatiziranim sustavom baziranim na dizalici. Kuo et al. su 2007. godine su riješili 12 različitih scenarija te pokazati učinkovitost modela. Iako model pokazuje neke značajne pogreške, model može pružiti određenu razina točnost pri procjeni iskoristivosti vozila i troškova sustava. Kasnije je Kuo et al. razvijao model skladištenja po klasama koji se može koristiti za skraćivanje ciklusa uskladištenja i iskladištenja. Nedavno su Ekren et al. (2010.), Ekren (2011.) i Ekren i Heragu (2011.) proučavali optimalan broj regala u sustavu i konfiguraciju sustava s obzirom na unaprijed definirani broja vozila i liftova. Roy et al. (2012.) predložio je polu-otvorene mreže s čekanjem (SOQN). Model uzima u obzir položaj vozila unutar reda i broja vozila te naglašava korisnost rasporeda po klasama u vidu smanjenja vremena vožnje unutar reda. Ekren et al. (2013., 2014.) pokazali su da se sustav može uspješno i učinkovito modulirati SOQN metodom. Marchet et al. (2013.) napravili su studiju za nekoliko rasporeda skladišnih sustava upotrebom dviju vrsta AVS/RS konfiguracija: fiksnih vozila u redu i vozilima koja mijenjaju redove. Nedavno su Lerher i suradnici proučavali regeneraciju energije i modele energetske učinkovitosti za SBS/RS sustav. Predloženi modeli omogućuju smanjenje potrošnje energije i smanjenje emisije CO₂, što je bitno s ekonomske i ekološke točke gledišta automatiziranih skladišnih sustava i može biti od velikog značaja pri pogledu na automatizirane skladišne sustave. [8] [9]

3.2. Princip rada automatiziranog skladišnog sustava s tračnim vozilima (SBS / RS)

Tipični automatizirani sustav s tračnim vozilima sastoji se od skladišnih jedinica, odnosno sustava regala i polica, lifta u svakom prolazu i tračnih vozila na svakoj razini. Također česta je izvedba s jednim ulaznim i jednim izlaznim liftom odnosno dvama neovisnim liftovima pomoću kojih može biti postignut veći protok u sustavu. Mogu se postići visine regala od oko 20 metara pa i više, a primjerena i očekivana širina operativnog prolaza među regalima je oko 0.5 metara. Sustav upravljanja skladištem prati stanje svih komponenti u sustavu: lift (liftovi), tračna vozila, buffer pozicije itd. te s obzirom na zalihe skladišta i potreban ulazni i izlazni tok jedinica planira redosljed i izvodi sve potrebne operacije. Dizalo se sastoji od vertikalnog jarbola ili para stupova koji podržavaju podizni stol. Na početku svakog reda nalaze se buffer pozicije na koje se dizalom dopremaju jedinice za skladištenje ili odakle se otpremaju iskladištene jedinice. Na svakoj razini odnosno u svakom redu sustava nalazi se tračno vozilo, tj. shuttle. Njegova uloga je uskladištenje i/ili iskladištenje u što kraćem vremenu, a budući da se na svakoj razini nalazi jedno takvo vozilo, dizalo je najčešće usko grlo takvog sustava. Veličina skladišta ovisi o zahtjevima za količinom uskladištenih jedinica, a oblik skladišta se određuje na temelju podataka o kretanju tračnog vozila u jedinici vremena. Velika prednost leži u činjenici da je moguće jednostavno proširivati skladišni sustav ukoliko se s vremenom ukaže potreba za time.

3.3. Dijelovi automatiziranog skladišnog sustava s tračnim vozilima



Slika 25: Dijelovi automatiziranog skladišnog sustava s tračnim vozilima

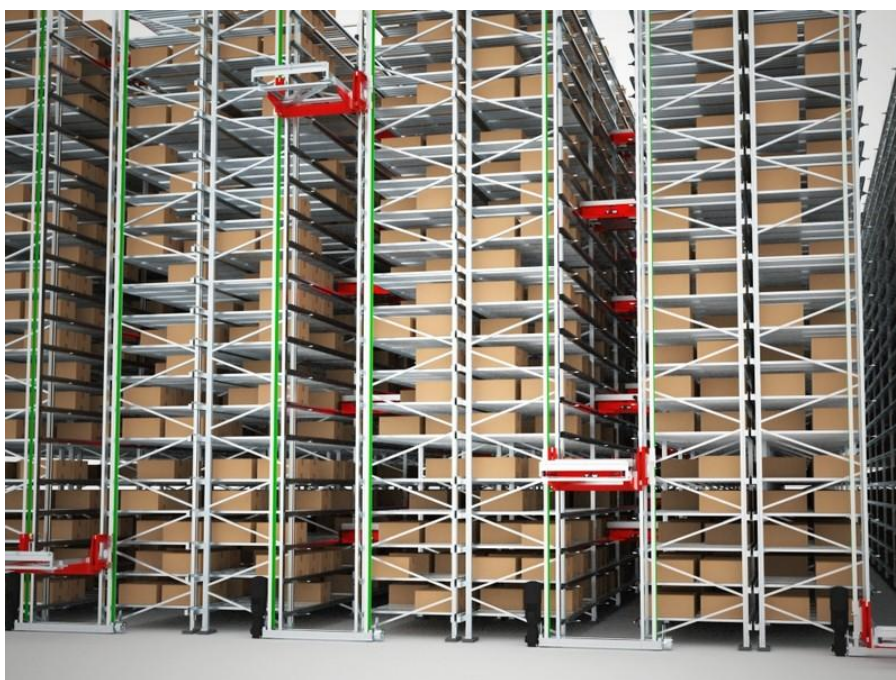
- 1. Ulazni konvejer** (rolling conveyor) najčešće je valjkasti konvejer s pogonom ili gravitacijski, ali moguće su i trakaste te člankaste izvedbe. Svrha mu je transport jedinice za skladištenje do dizala (lifta).
- 2. Dizalo** (lift) služi za vertikalno podizanje jedinice na potrebu razinu te njezino odlaganje na buffer poziciju. Dizalo se sastoji od jarbola i platforme za podizanje. Za veći protok formiraju se sustavi s ulaznim i izlaznim dizalom.
- 3. Buffer pozicija** (buffer position) lokacija je na kojoj lift odlaže jedinicu kod uskladištenja ili prihvaća kod iskladištenja.
- 4. Tračno vozilo** (shuttle carrier) naprava je za transport jedinice s buffer pozicije na skladišnu lokaciju kod uskladištenja te obrnuto kod iskladištenja. Tračna vozila se nalaze na svakoj razini sustava i električno su pokretana.
- 5. Sustav stalaka** (storage rack) konstrukcija je na koju se skladište jedinice i sastoji se od određenog broja skladišnih lokacija (storage location)
- 6. Upravljačka jedinica** (control unit) softverska je podrška automatiziranom skladišnom sustavu i upravlja svim pokretnim dijelovima sustava, tj. svim uskladištenjima i iskladištenjima.

3.4 Primjeri postojećih izvedbi skladišnih sustava s tračnim vozilima

Budući da je ovo područje u stalnom razvoju, proizvođači nastoje biti konkurentni i poboljšati stare te razviti nove sustave automatiziranog skladištenja. Jedini problem predstavlja činjenica da je vrlo teško doći do podataka o tome koliko je takvih inovativnih sustava u primjeni, kolika je njihova cijena te koja je konkretno prednost u odnosu na neke jednostavnije ili starije sustave. Odnosno jesu li ti sustavi isplativi i treba li ulagati u njih.

3.4.1 Stingray shuttle sustav tvrtke TGV

Stingray shuttle sustav tvrtke TGV je moguće personalizirati prema zahtjevima pojedinog skladišta. Moguća je koncepcija po kojoj na svakoj razini postoji shuttle koji vrši uskladištenje i iskladištenje (za maksimalni protok), ali je moguće i da imamo manji broj shuttlova nego razina i da shuttlovi mijenjaju razinu pomoću lifta.



Slika 26: Stingray sustav s tračnim vozilima tvrtke TGV

3.4.2 One level shuttle sustav (OLS) tvrtke INVATA

OLS Shuttle sustav za pohranu sastoji se od više razina skladištenja s regalnim vozilom za svaku razinu ili s regalnim vozilima koja se prevoze liftom između pojedinih razina. Ukoliko na svakoj razini imamo regalno vozilo, protok će biti maksimalan, tj. zahtjevi našeg skladišta određuju koja je od ovih dviju varijanta primjerena. [16]



Slika 27: One level sustav s tračnim vozilima



Slika 28: One level sustav s tračnim vozilima proizvođača Invata

3.4.3 Multishuttle 2 sustav tvrtke DEMATIC

Multishuttle 2 sustav sastoji se od dvaju liftova (ulaznog i izlaznog) te shuttleoveova na svakoj razini koji se mogu prilagoditi mnogo različitih veličina spremnika i kartonskih kutija. Fleksibilnost sustava omogućuje da se lako ugradi u svaki oblik i veličinu zgrade, uključujući i postojeće zgrade s nižim stropom. [17]



Slika 29: Multishuttle 2 sustav s tračnim vozilima

4. MODELI OBLIKOVANJA AUTOMATIZIRANIH SKLADIŠNIH SUSTAVA S TRAČNIM VOZILIMA

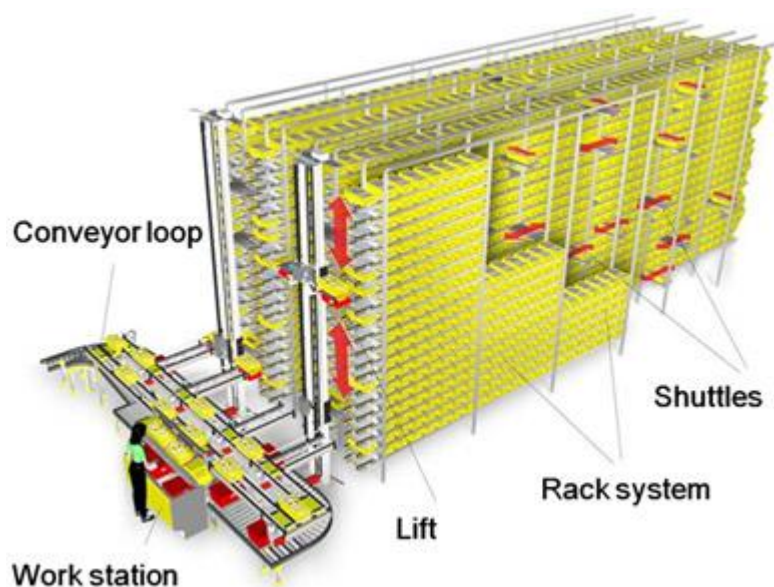
Kako bismo mogli ocijeniti, tj. vrednovati automatizirani skladišni sustav s tračnim vozilima, te ga usporediti s nekim drugim sustavima (sustav s dizalicom), moramo razviti model koji će moći približno opisivati i pomoći u računu prosječnih vremena i protoka. Izrada modela je vrlo važna za usporedbu jer na taj način vidimo isplati li se uložiti i razvijati sustav s tračnim vozilima. Više o tome reći će iduće poglavlje. Budući da postoje neka ograničenja u vidu nedovoljno dugog razdoblja za istraživanje, nepostojanja konkretnog sustava za promatranje i kompleksnosti proračuna, biti će korištena neka pojednostavljena i aproksimacije. Također, vrlo je važno odrediti vremena jednostrukih i dvostrukih ciklusa te protoka ovisno o postotku zastupljenosti dvostrukog radnog ciklusa. Vrlo važno će biti odrediti koja su uska grla u sustavu, te kako se može "izaći na kraj" s uskim grlima i osigurati veći protok sustava. Ukoliko bi došlo do problema uskog grla na ulaznom ili izlaznom liftu, moglo bi se razmotriti rješenje da nemamo na svakoj razini tračno vozilo, nego da su ta vozila u mogućnosti mijenjati razinu. Za izračun i usporedbu prosječnih vremena i protoka koristit će se nekoliko oblika i dimenzija regala kako bi se poslije moglo usporediti s klasičnim sustavom s dizalicom. Podatke o brzinama i vremenima komisioniranja probat će se dobiti od proizvođača, odnosno temeljiti ih na konkretnim sustavima koji su već možda u primjeni, a ako to nikako ne bude moguće, probat će se razriješiti uzimanjem okvirnih i vjerojatnih

vrijednosti kako bi se došlo do pojedinih rezultata i zaključaka. Postoji vjerojatnost da će takvi izračuni u nekoj mjeri odstupati od onih koji bi bili dobiveni mjerenjem, ali bit će vrlo važni da bi se došlo do određenih zaključaka i kako bi cijela aproksimacija modela imala neku "težinu" te bila korisna za daljnje ispitivanje. U točki 4.1. bit će razvijen teorijski model, dok će u točki 4.2. za zadane oblike skladišta (regala) biti određene konkretne vrijednosti protoka i vremena potrebnog za uskladištenje ili iskladištenje. U točki 4.3. bit će govora o jednostrukim i dvostrukim ciklusima, a točka 4.4. je rezervirana za mogućnosti poboljšanja modela.

4.1. Teorijski model automatiziranog skladišnog sustava s tračnim vozilima

Kod razrade modela podrazumijevat će se da paleta odnosno jedinica za uskladištenje čeka na buffer poziciji te nije potrebno čekati da se ona pojavi. Pojednostavljenje je uvedeno iz razloga što buffer pozicija zasigurno neće biti jedno od uskih grla u sustavu. Do buffer pozicije jedinica za uskladištenje može dolaziti sustavom konvejera ili može biti fizički odlagana na nju. Lift odnosno dizalo tada dolazi po jedinicu i preuzima je te podiže na zahtijevanu razinu, brzina lifta može doseći 1.5 m/s, teoretski i više, a liftovi su najčešće usko grlo sustava i određuju performanse cijelog sustava (Lehrer, 2013.). Za proračun bit će predviđena brzina lifta od 2 m/s. Prosječno vrijeme vožnje lifta u daljnjem proračunu bit će naznačeno prema legendi u nastavku. Shuttle, tj. tračno vozilo je zatvoreno u regalu na jednoj razini i posjeduje teleskopske vilice kako bi moglo što lakše manipulirati jedinicama za uskladištenje i iskladištenje. Početak ciklusa tračnog vozila počinje s preuzimanjem jedinice s buffer pozicije koja se također nalazi na svakoj razini. Tračno bi se vozilo trebalo kretati teoretskom brzinom od oko 4 m/s, dok će za potrebe proračuna predviđena brzina tračnog vozila biti 3 m/s, a prosječno vrijeme vožnje tračnog vozila bit će naznačeno prema legendi. Također, bitno je vrijeme komisioniranja koje će u nastavku biti naznačeno kao t_k . Kod liftova i tračnih vozila u obzir će biti uzeta akceleracija, tj. vrijeme potrebno za ubrzanje na maksimalnu razinu i smatrat će se da liftovi i vozila u svakom kretanju dostižu maksimalnu brzinu. Akceleraciju je potrebno uzeti u obzir kako bi sustav bio što bliži stvarnom i na taj način pogodan za usporedbe. Akceleracije kod ubrzanja i usporenja su jednake. Akceleracija lifta je 1.5 m/s^2 , a akceleracija tračnog vozila je 3 m/s^2 . Početna točka za analiziranje vremena

ciklusa bit će sustav s isključivo jednostrukim ciklusima, a naknadno će, u jednom od idućih poglavlja, biti razrađen model sustava s isključivo dvostrukim ciklusima i bit će uspoređena ta dva sustava. Sve oznake korištene pri određivanju vremena trajanja jednostrukog ciklusa naznačene su i objašnjene u tablici 1.



Slika 30: Prikaz dijelova sustava s tračnim vozilima (2)

LEGENDA:

Oznaka	Jedinica	Opis
$T_{JEDNSTRUKI\ CIKLUS\ (T_{JC})}$	sekunda	trajanje jednostrukog ciklusa
$T_{JEDNSTRUKI\ CIKLUS\ LIFTA\ (T_{JCL})}$	sekunda	vrijeme vožnje lifta u jednostrukom ciklusu
$T_{JEDNSTRUKI\ CIKLUS\ TRACNOG\ VOZILA\ (T_{JCTV})}$	sekunda	vrijeme vožnje tračnog vozila u jednostrukom ciklusu
t_{Kl}	sekunda	vrijeme komisioniranja lifta
t_{Vl}	sekunda	vrijeme vožnje lifta
v_y	metara/sekundi	brzina lifta
a_y	metara/sekundi ²	ubrzanje lifta
H	metar	visina regala
M	/	broj razina u regalu
t_{Ktv}	sekunda	vrijeme komisioniranja tračnog vozila
t_{Vtv}	sekunda	vrijeme vožnje tračnog vozila
v_x	metara/sekundi	brzina tračnog vozila
a_x	metara/sekundi ²	ubrzanje tračnog vozila
L	metar	duljina regala
c	/	broj kolona
Q	komada	kapacitet skladišta
q_{lifta}	komada/satu	protok lifta
N	/	broj liftova
k	/	koeficijent ciklusa (1 za jednostruki sustav)
$q_{tračnog\ vozila}$	komada/satu	protok tračnog vozila
q_{regala}	komada/satu	protok jedinica u regalu po satu

Tablica 1: Legenda oznaka korištenih pri određivanju vremena trajanja jednostrukog ciklusa

Vrijeme trajanja jednostrukog ciklusa u sekundama:

$$T_{\text{JEDNSTRUKI CIKLUS}} = T_{\text{JEDNSTRUKI CIKLUS LIFTA}} + T_{\text{JEDNSTRUKI CIKLUS TRAČNOG VOZILA}}$$

a)

$$T_{\text{JEDNSTRUKI CIKLUS LIFTA}} = 2 t_{\text{Kl}} + 2 t_{\text{Vl}} \quad [\text{s}]$$

$$t_{\text{Vl}} = \frac{v_y}{a_y} + \frac{H \cdot (M-1)}{M} * \frac{1}{2 v_y} \quad [\text{s}]$$

$$T_{\text{JEDNSTRUKI CIKLUS LIFTA}} = 2 t_{\text{Kl}} + 2 \frac{v_y}{a_y} + \frac{H \cdot (M-1)}{M} * \frac{1}{v_y} \quad [\text{s}]$$

b)

$$T_{\text{JEDNSTRUKI CIKLUS TRAČNOG VOZILA}} = 2 t_{\text{Ktv}} + 2 t_{\text{Vtv}} \quad [\text{s}]$$

$$t_{\text{Vtv}} = \frac{v_x}{a_x} + \frac{L}{2 v_x} \quad [\text{s}]$$

$$T_{\text{JEDNSTRUKI CIKLUS TRAČNOG VOZILA}} = 2 t_{\text{Ktv}} + 2 \left(\frac{v_x}{a_x} + \frac{L}{2 v_x} \right) \quad [\text{s}]$$

Ukupno vrijeme jednostrukog ciklusa je:

$$T_{\text{JEDNSTRUKI CIKLUS}} = 2 t_{\text{Kl}} + 2 \frac{v_y}{a_y} + \frac{H \cdot (M-1)}{M} * \frac{1}{v_y} + 2 t_{\text{Ktv}} + 2 \left(\frac{v_x}{a_x} + \frac{L}{2 v_x} \right) \quad [\text{s}]$$

Idući važan podatak je protok takvog sustava u nekom vremenskom periodu, recimo jednom satu i protok (q) će se nadalje računati u vremenskoj jedinici od jednog sata. Protok je razlučen na protok lifta (liftova) i protok tračnog vozila (tračnih vozila) te ukupni protok koji je izražen po regalu i manja je vrijednost od dvaju gore navedenih.

Protok jednostrukog ciklusa lifta:

$$q_{\text{lifta}} = \frac{3600}{T_{JCL}} * k * N \frac{[s]}{[s]} = \text{broj dvostrukih ciklusa lifta u periodu od jednog sata}$$

Protok jednostrukog ciklusa tračnog vozila:

$$q_{\text{tračnog vozila}} = \frac{3600}{T_{JCTV}} * k * M \frac{[s]}{[s]} = \text{broj jednostrukih ciklusa tračnog vozila u periodu od jednog sata}$$

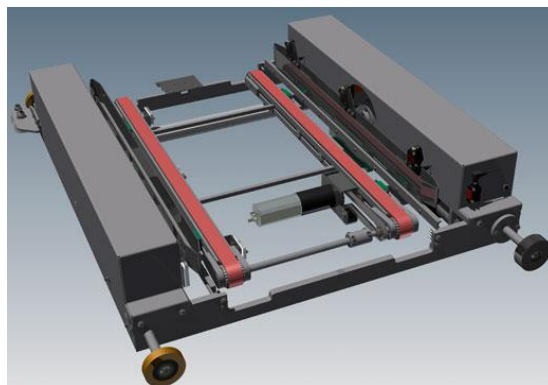
Protok po regalu sustava:

$$q_{\text{regala}} = \min \{q_{\text{lifta}}, q_{\text{tračnog vozila}}\} \frac{[s]}{[s]} = \text{broj jednostrukih ciklusa u regalu}$$

Vrlo je važno reći nešto više o tračnim vozilima (shuttle), tj. o njihovim dimenzijama, izgledu, pogonu, nosivosti i ostalim karakteristikama koje su na bilo koji način relevantne. Neki izvori navode da masa skladišne jedinice ne bi trebala biti veća od 50 kg, a iz primjera navedenih u prošlom poglavlju vidimo da su postojeći sustavi izvedeni za baratanje s kutijama ili raznim oblicima malih spremnika. Tu se nameće pitanje mogućnosti izvedbe sustava s tračnim vozilima koja će moći prevoziti i komisionirati palete. Smatram da je to izvedivo, ali uz određeni gubitak brzine i potrebu za ojačanjem konstrukcije tračnog vozila. U izvorima su navedene neke okvirne dimenzije tračnih vozila koje bi trebale varirati od minimalno (150 x 200 x 80) mm do maksimalno (600 x 400 x 250) mm. [2]



Slika 31: Prikaz jedne od izvedbi tračnog vozila



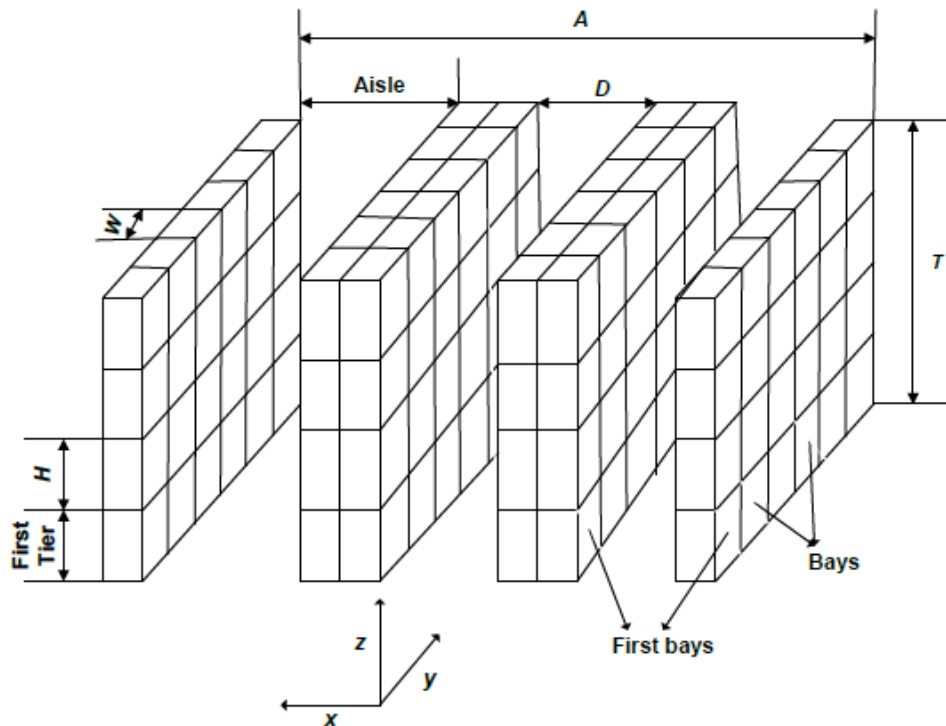
Slika 32: Mehanizam unutar tračnog vozila

4.2. Proračun vremena i protoka za određene oblike i dimenzije skladišnih površina (regala) uz pretpostavku uskladištenja i iskladištenja jednostrukim ciklusom

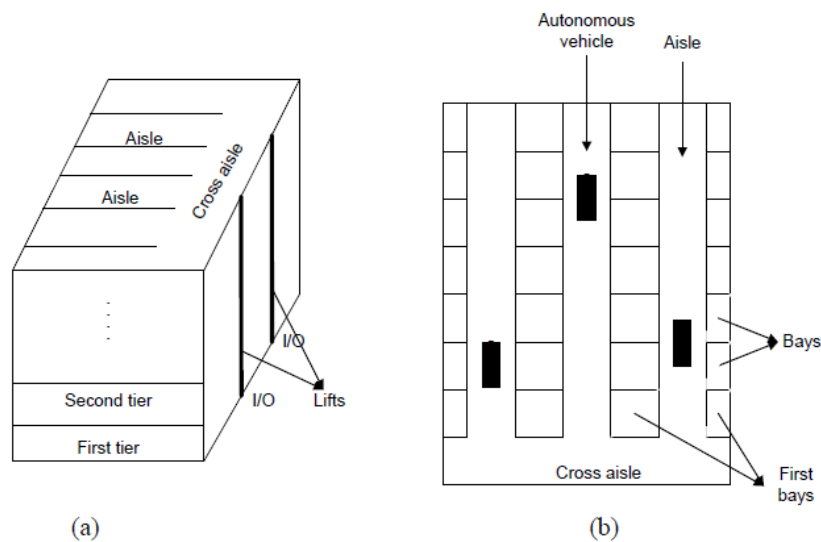
Postoji nekoliko analiza rasporeda automatiziranih skladišnih sustava s tračnim vozilima te principa formiranja istih. Broj regala, visina regala i duljina regala ovise o traženom kapacitetu skladišta. Jedan od radova sugerira da su najbolje dimenzije (odnosno dimenzije koje rezultiraju najkraćim prosječnim vremenom ciklusa) sljedeće: najpovoljniji broj dvostrukih regala je 65, najpovoljniji broj razina je 6 te najpovoljniji broj skladišnih lokacija po svakoj razini u regalu iznosi 18 uz naznaku da svaka skladišna lokacija može sadržavati tri jedinična tereta. Prosječno vrijeme ciklusa u toj situaciji dobiveno je određenim matematičkim metodama i proračunima i iznosi 2.75 minuta. Važno je naglasiti da je konkretno skladište podijeljeno u 7 skladišnih zona te postoji isti broj liftova, a broj tračnih vozila je 21, tj. po 3 za svaku dizalicu. Naime, vidimo da se sustav razlikuje od onog prvotno zamišljenog u ovome radu, ali bit će koristan za usporedbu i uvid u mogućnosti poboljšanja zamišljenog sustava u poglavlju 4.4. nakon što se provede proračun i dođe do nekih konkretnih podataka i zaključaka. [6]

Pojednostavljenja i pretpostavke rada su:

- početna pozicija tračnog vozila je na mjestu prošlog uskladištenja ili iskladištenja;
- početna pozicija lifta je na mjestu završetka gibanja po osi z;
- sustav koristi slučajni model skladištenja;
- udaljenost među regalima, širina i visina skladišne lokacije prilagođeni su dimenzijama tračnog vozila;
- ulazna i izlazna lokacija u neposrednoj je blizini svake zone;
- broj operacija uskladištenja i iskladištenja jednak je i ponaša se prema Poissonovoj razdiobi;
- proces trajanja premještanja tračnih vozila je zanemariv;
- skladište mora imati više od 42000 skladišnih lokacija za jedinične terete.



Slika 33: Osnovne dimenzije automatiziranog skladišnog sustava s tračnim vozilima



Slika 34 a i 34 b: Osnovni dijelovi i njihov smještaj u sustavu s tračnim vozilima

Koliko god bio koristan navedeni proračun, proučavani model u ovome radu posjeduje drugačije karakteristike i ima drugačije zahtjeve u pogledu protoka, konstrukcije i potrebnog broja skladišnih lokacija. Konkretno pretpostavke zamišljenog modela su:

- broj liftova je dvostruko veći od broja prolaza (postoji ulazni i izlazni lift) i oni rade neovisno jedan o drugome;
- regali su dvostruki i operacija skladištenja i iskladištenja može biti obavljena s jedne ili druge strane;
- tračno vozilo nalazi se na svakoj razini u regalu;
- ubrzanja i usporenja liftova i tračnih vozila uzimaju se u obzir i pretpostavka je da postižu maksimalnu brzinu;
- kod jednostrukih ciklusa jednak je broj uskladištenja i iskladištenja;
- raspored odlaganja je slučajan i nema podjele u zone;
- dimenzije lokacije su: dubina 0.6 metara, širina 0.5 metara i visina 0.35 metara;
- dimenzije skladišne jedinice su: dubina 0.6 metara, širina 0.4 metara i visina 0.24 metara;
- protok će biti određen za jedan regal (ukupni protok je protok regala pomnožen s brojem regala)

Proračun će biti izvršen na temelju pretpostavke rada sustava samo jednostrukim ciklusom za tri oblika skladišta istog kapaciteta čije su dimenzije i karakteristike dane u tablici 2. Vrijednosti dimenzija su iskustvene i izuzete su iz izvora. [9]

Konfiguracija	Broj razina (M)	Broj regala (A)	Broj kolona (C)	Duljina regala (L)	Visina regala (H)	Kapacitet skladišta (Q)
1.	10	6	84	42	3.50	10 080
2.	15	6	56	28	5.25	10 080
3.	20	6	42	21	7.00	10 080

Tablica 2: Dimenzije različitih konfiguracija istog kapaciteta sustava s tračnim vozilima

Proračun će biti detaljno raspisan za konfiguraciju pod rednim brojem jedan, a vrijednosti svih pojedinačnih članova bit će dane u tablici 3. Predviđeni smještaj jedinice je na središtu regala (polovici visine i polovici duljine) budući da se radi o modelu slučajnog odlaganja.

a)

$$T_{\text{JEDNSTRUKI CIKLUS LIFTA}} = 2 t_{\text{Kl}} + 2 t_{\text{Vl}} = 2 * 5 + 2 * 2.12 = 14.24 \quad [\text{s}]$$

$$t_{\text{Vl}} = \frac{v_y}{a_y} + \frac{H * (M-1)}{M} * \frac{1}{2 v_y} = \frac{2}{1.5} + \frac{3.5 * (10-1)}{10} * \frac{1}{2 * 2} = 2.12 \quad [\text{s}]$$

b)

$$T_{\text{JEDNSTRUKI CIKLUS TRAČNOG VOZILA}} = 2 t_{\text{Ktv}} + 2 t_{\text{Vtv}} = 2 * 5 + 2 * 8 = 26 \quad [\text{s}]$$

$$t_{\text{Vtv}} = \frac{3}{3} + \frac{42}{2 * 3} = 8 \quad [\text{s}]$$

Ukupno vrijeme jednostrukog ciklusa je:

$$\begin{aligned} T_{\text{JEDNSTRUKI CIKLUS}} &= T_{\text{JEDNSTRUKI CIKLUS LIFTA}} + T_{\text{JEDNSTRUKI CIKLUS TRAČNOG VOZILA}} \\ &= 14.24 + 26 = 40.24 \quad [\text{s}] \end{aligned}$$

Konfiguracija	T_{JCL} [s]	t_{Kl} [s]	t_{Vl} [s]	T_{JCTV} [s]	t_{Ktv} [s]	t_{Vtv} [s]	T_{JC} [s]
1.	14.26	5	2.13	26	5	8	40.26
2.	15.12	5	2.56	21.34	5	5.67	36.46
3.	16	5	3	19	5	4.50	35

Tablica 3: Vremena jednostrukog ciklusa za tri odabrane konfiguracije sustava

Radi bolje usporedbe jednostrukog i dvostrukog ciklusa i usporedbe s alternativnim sustavima (rješenjima) poželjno je promatrati vremena vožnje bez vremena uskladištenja i iskladištenja zato što to vrijeme nije dobiveno od proizvođača sličnih sustava ili izmjereno nego je pretpostavljena okvirna vrijednost. Kod razmatranja protoka sustava navedena vremena bit će uzeta u obzir.

Protok jednostrukog ciklusa lifta:

$$q_{\text{lifta}} = \frac{3600}{T_{JCL}} * k * N = \frac{3600}{14.26} * 1 * 2 \frac{[s]}{[s]} = 504 \text{ jedinica/h}$$

Protok jednostrukog ciklusa tračnog vozila:

$$q_{\text{tračnog vozila}} = \frac{3600}{T_{JCTV}} * k * M = \frac{3600}{26} * 1 * 10 \frac{[s]}{[s]} = 1384 \text{ jedinica/h}$$

Protok po regalu sustava:

$$q_{\text{regala}} = \min \{q_{\text{lifta}}, q_{\text{tračnog vozila}}\} \frac{[s]}{[s]} = 504 \text{ jedinica/h}$$

Konfiguracija	q_{lifta}	$q_{\text{tračnog vozila}}$	q_{regala}	Usko grlo
1.	504	1384	504	Lift
2.	476	2530	476	Lift
3.	450	3789	450	Lift

Tablica 4: Protok sustava uz korištenje jednostrukih ciklusa

(Napomena: Svi protoci navedeni u tablici su u izraženi u broju iskladištenih/uskladištenih jedinica po satu)

Vidljivo je da se vrijeme ciklusa smanjuje povećanjem visine sustava odnosno razina, a razlog tome je mala visina pojedine razine. Jedna vrlo zanimljiva činjenica nazire se u ukupnom protoku po regalu, a to je da skraćivanjem ciklusa zapravo dolazi do smanjenja potoka zbog toga što lift usko grlo sustava. Naime povećanjem broja razina sve je veći protok tračnih vozila jer im se smanjuje put i povećava broj, dok se liftu (dvama liftovima) povećava put, a njihovo broj je fiksno. Zaključak je da je optimalan broj razina manji od 10, analiza i poboljšanja, te više o tome poglavlju 5.3.

4.3. Usporedba protoka i vremena jednostrukog i dvostrukog ciklusa

Dvostruki ciklus skladištenja gotovo uvijek donosi veću protočnost sustava, iako vremenski dulje traje, dvostruko je učinkovitiji od jednostrukog ciklusa. Kod klasičnih automatiziranih sustava s dizalicom postoje određeni teorijski algoritmi za izračunavanje prosječnog vremena trajanja ciklusa (Boser and White, MHI, FEM). Dvostruki ciklus kod sustava s tračnim vozilima izvodi se na principu simultanog uskladištenja i iskladištenja. Ulaznim liftom jedinica dolazi na uskladištenje i tračno vozilo čeka je na buffer poziciji. Za to vrijeme drugo tračno vozilo iskladištjuje drugu jedinicu i izlaznim liftom ona napušta sustav. Proračun će se vršiti pomoću modela FEM 9.851, a vrijede pretpostavke kao za model s isključivo jednostrukim ciklusima. Budući da se radi o sustavu slučajnog odlaganja po modelu FEM 9.851, pretpostavka je da je pozicija uskladištenja na jednoj petini duljine regala, a uskladištenja na dvije trećine regala. Sve oznake korištene pri određivanju vremena trajanja dvostrukog ciklusa naznačena su u tablici 5.

Oznaka	Jedinica	Opis
$T_{DVOSTRUKI\ CIKLUS} (T_{DC})$	sekunda	trajanje dvostrukog ciklusa
$T_{DVOSTRUKI\ CIKLUS\ LIFTA} (T_{DCL})$	sekunda	vrijeme vožnje lifta u dvostrukom ciklusu
$T_{DVOSTRUKI\ CIKLUS\ TRAČNOG\ VOZILA} (T_{DCTV})$	sekunda	vrijeme vožnje tračnog vozila u dvostrukom ciklusu
t_{Kl}	sekunda	vrijeme komisioniranja lifta
$t_{V1\ 0-1}$	sekunda	vrijeme vožnje lifta do prve pozicije
$t_{V1\ 1-2}$	sekunda	vrijeme vožnje lifta od prve do druge pozicije
v_y	metara/sekundi	brzina lifta
a_y	metara/sekundi ²	ubrzanje lifta
H	metar	visina regala
M	/	broj razina u regalu
t_{Ktv}	sekunda	vrijeme komisioniranja tračnog vozila

$t_{V_{tv} 0-1}$	sekunda	vrijeme vožnje tračnog vozila od buffer pozicije do pozicije uskladištenja (od pozicije 0 do pozicije 1)
$t_{V_{tv} 1-2}$	sekunda	vrijeme vožnje tračnog vozila od pozicije uskladištenja do pozicije iskladištenja (od pozicije 1 do pozicije 2)
$t_{V_{tv} 2-0}$	sekunda	vrijeme vožnje tračnog vozila od pozicije iskladištenja do buffer pozicije (od pozicije 2 do pozicije 0)
v_x	metara/sekundi	brzina tračnog vozila
a_x	metara/sekundi ²	ubrzanje tračnog vozila
L	metar	duljina regala
c	/	broj kolona
Q	komada	kapacitet skladišta
q lifta	komada/satu	protok lifta (liftova)
N	/	broj liftova
k	/	koeficijent ciklusa (2 za dvostruki)
q tračnog vozila	komada/satu	protok tračnog (tračnih) vozila
q regala	komada/satu	protok sustava

Tablica 5: Legenda oznaka korištenih pri određivanju vremena trajanja dvostrukog ciklusa

Vrijeme trajanja dvostrukog ciklusa u sekundama:

$$T_{DVOSTRUKI\ CIKLUS} = T_{DVOSTRUKI\ CIKLUS\ LIFTA} + T_{DVOSTRUKI\ CIKLUS\ TRAČNOG\ VOZILA}$$

a)

$$T_{DVOSTRUKI\ CIKLUS\ LIFTA} = 4 t_{Kl} + 2 t_{Vl0-1} + 2 t_{Vl1-2} \quad [s]$$

$$t_{Vl0-1} = \frac{v_y}{a_y} + \frac{H*(M-1)}{M} * \frac{1}{2 v_y} \quad [s]$$

$$t_{Vl1-2} = \frac{v_y}{a_y} + \frac{H*(M-1)}{M} * \frac{1}{3 v_y} \quad [s]$$

$$T_{DVOSTRUKI\ CIKLUS\ LIFTA} = 4 t_{Kl} + 2 \frac{v_y}{a_y} + \frac{H*(M-1)}{M} * \frac{1}{v_y} + 2 \frac{v_y}{a_y} + \frac{H*(M-1)}{M} * \frac{2}{3 v_y}$$

b)

$$T_{DVOSTRUKI\ CIKLUS\ TRACNOG\ VOZILA} = 4 t_{Ktv} + t_{Vtv0-1} + t_{Vtv1-2} + t_{Vtv2-0} \quad [s]$$

$$t_{Vtv0-1} = \frac{v_x}{a_x} + \frac{L}{5 v_x} \quad [s]$$

$$t_{Vtv1-2} = \frac{v_x}{a_x} + \frac{7 L}{15 v_x} \quad [s]$$

$$t_{Vtv2-0} = \frac{v_x}{a_x} + \frac{2 L}{3 v_x} \quad [s]$$

$$T_{DVOSTRUKI\ CIKLUS\ TRACNOG\ VOZILA} = 4 t_{Ktv} + \frac{v_x}{a_x} + \frac{L}{5 v_x} + \frac{v_x}{a_x} + \frac{7 L}{15 v_x} + \frac{v_x}{a_x} + \frac{2 L}{3 v_x} \quad [s]$$

Ukupno vrijeme dvostrukog ciklusa je:

$$T_{DVOSTRUKI\ CIKLUS} = 4 t_{Kl} + 2 \frac{v_y}{a_y} + \frac{H*(M-1)}{M} * \frac{1}{v_y} + 2 \frac{v_y}{a_y} + \frac{H*M}{(M+1)} * \frac{2}{3 v_y} + 4 t_{Ktv} + \frac{v_x}{a_x} + \frac{L}{5 v_x} + \frac{v_x}{a_x} + \frac{7 L}{15 v_x} + \frac{v_x}{a_x} + \frac{2 L}{3 v_x} \quad [s]$$

Protok dvostrukog ciklusa lifta:

$$q_{lifta} = \frac{3600}{T_{DCL}} * k * N \frac{[s]}{[s]} = \text{broj dvostrukih ciklusa lifta u periodu od jednog sata}$$

Protok dvostrukog ciklusa tračnog vozila:

$$q_{tračnog\ vozila} = \frac{3600}{T_{DCTV}} * k * M \frac{[s]}{[s]} = \text{broj dvostrukih ciklusa tračnog vozila u periodu od jednog sata}$$

Ukupan protok skladišnih jedinica u sustavu s dvostrukim ciklusom je manji od dvaju protoka (protok lifta i protok tračnog vozila), tj. usko grlo određuje stvarni protok sustava.

$$q_{regala} = \min \{q_{lifta}, q_{tračnog\ vozila}\} \frac{[s]}{[s]} = \text{broj dvostrukih ciklusa u regalu}$$

Proračun vremena trajanja dvostrukog ciklusa bit će napravljen za 3 konfiguracije sustava definirana u točki 4.2 i koristit će za usporedbu tih dvaju načina rada sustava. Podatci za pojedine konfiguracije dani su u tablici 2.

a)

$$T_{DVOSTRUKI\ CIKLUS\ LIFTA} = 4 t_{Kl} + 2 t_{v10-1} + 2 t_{v11-2} = 4 * 5 + 2 * 2.12 + 2 * 1.86 = 27.96 \quad [s]$$

$$t_{V10-1} = \frac{v_y}{a_y} + \frac{H*(M-1)}{M} * \frac{1}{2 v_y} = \frac{2}{1.5} + \frac{3.50*(10-1)}{10} * \frac{1}{2*2} = 2.12 \text{ [s]}$$

$$t_{V11-2} = \frac{v_y}{a_y} + \frac{H*(M-1)}{M} * \frac{1}{3 v_y} = \frac{2}{1.5} + \frac{3.50*(10-1)}{10} * \frac{1}{3*2} = 1.86 \text{ [s]}$$

b)

$$\begin{aligned} T_{DVOSTRUKI \text{ CIKLUS TRAČNOG VOZILA}} &= 4 t_{Ktv} + t_{Vtv 0-1} + t_{Vtv 1-2} + t_{Vtv 2-0} \\ &= 4 * 5 + 3.80 + 7.53 + 10.33 = 41.66 \text{ [s]} \end{aligned}$$

$$t_{Vtv 0-1} = \frac{v_x}{a_x} + \frac{L}{5 v_x} = \frac{3}{3} + \frac{42}{5*3} = 3.8 \text{ [s]}$$

$$t_{Vtv 1-2} = \frac{v_x}{a_x} + \frac{7L}{15 v_x} = \frac{3}{3} + \frac{7*42}{15*3} = 7.53 \text{ [s]}$$

$$t_{Vtv 2-0} = \frac{v_x}{a_x} + \frac{2L}{3 v_x} = \frac{3}{3} + \frac{2*42}{3*3} = 10.33 \text{ [s]}$$

$$T_{DVOSTRUKI \text{ CIKLUS}} = 27.96 + 41.66 = 69.62 \text{ [s]}$$

Konf.	T_{DCL}	t_{Kl}	t_{V10-1}	t_{V11-2}	T_{DCTV}	t_{Ktv}	$t_{Vtv 0-1}$	$t_{Vtv 1-2}$	$t_{Vtv 2-0}$	T_{DC}
1.	27.96	5	2.12	1.86	41.66	5	3.80	7.53	10.33	69.62
2.	29.42	5	2.56	2.15	35.45	5	2.87	5.36	7.22	64.87
3.	30.88	5	3	2.44	32.34	5	2.40	4.27	5.67	63.22

Tablica 6: Vremena dvostrukih ciklusa za tri odabrane konfiguracije sustava

(Napomena: Sva vremena navedena u tablici su u sekundama)

Protok dvostrukog ciklusa lifta:

$$q_{\text{lifta}} = \frac{3600}{T_{DCL}} * k * N \frac{[s]}{[s]} = \frac{3600}{27.96} * 2 * 2 = 515 \text{ jedinica/h}$$

Protok dvostrukog ciklusa tračnog vozila:

$$q_{\text{tračnog vozila}} = \frac{3600}{T_{DCTV}} * k * M \frac{[s]}{[s]} = \frac{3600}{41.66} * 2 * 10 = 1728 \text{ jedinica/h}$$

$$q_{\text{regala}} = \min \{q_{\text{lifta}}, q_{\text{tračnog vozila}}\} \frac{[s]}{[s]} = 515 \text{ jedinica/h}$$

Konfiguracija	q_{lifta}	$q_{\text{tračnog vozila}}$	q_{regala}	Usko grlo
1.	515	1728	515	Lift
2.	489	3046	489	Lift
3.	466	4452	466	Lift

Tablica 7: Protok sustava s tračnim vozilima uz korištenje dvostrukih ciklusa

(Napomena: Svi protoci navedeni u tablici izraženi su u broju iskladištenih/uskladištenih jedinica po satu)

Kao i u primjeru s jednostrukim ciklusom rada dobivamo manje vrijeme ciklusa povećanjem visine sustava, ali vidljivo je da se podizanjem sustava vrijeme ciklusa sve manje skraćuje do trenutka kada će se početi povećavati. Vremena cilusa dizalice i tračnog vozila približavaju se. Protok prve konfiguracije sustava (prvog sustava) je 515 jedinica po satu, drugog 489 jedinica, a trećeg 466 jedinica. Vidljivo je da je s obzirom na sustav s jednostrukim ciklusom postignuto neznatno povećanje protoka te vidimo da je lift opet usko grlo sustava i da diktira protok. Razlika između teoretskog protoka tračnog vozila i lifta još je značajnija i vidi se da su tračna vozila u stanju osigurati čak do 10 puta veći protok u odnosu na liftove. Svi modeli za računanje kritičnih vremena su preuzeti iz literature. [9] Problem nastaje kad sustav počne rasti u visinu (pretpostavka je prostorno ograničenje), tj. skraćuje se put tračnih vozila i povećava njihov broj, što rezultira lošom iskoristivošću tračnih vozila.

5. ANALIZA USPOREDBE

Kod razvoja svakoga novoga modela važno je usporediti ga s postojećim i iz toga izvući neke zaključke. U ovom slučaju model sustava s tračnim vozilima (shuttle based system) bit će uspoređen s mini-load sustavom s dizalicom i bit će doneseni određeni zaključci koji će proizići iz usporedbe. Mini-load sustav je izabran za usporedbu zbog toga što se barata s skladišnim jedinicama sličnih svojstava (masa i dimenzije). Pretpostavka je da su dimenzije i oblik skladišne površine potpuno jednaki za oba sustava s tom razlikom da postoji različito sredstvo za uskladištenje i iskladištenje. Kod sustava s tračnim vozilima bili su to liftovi i tračna vozila, a kod mini-load sustava to će biti dizalica. U poglavlju 5.1 promatrat će se jednostruki ciklus dizalice, a u poglavlju 5.2 dvostruki ciklus dizalice. Poglavlje 5.3 rezervirano je za izravnu usporedbu dvaju sustava i njihovo vrednovanje.

5.1. Proračun vremena i protoka za određene oblike i dimenzije skladišnih površina MINI-LOAD sustava uz pretpostavku uskladištenja i iskladištenja jednostrukim ciklusom

Skladištenje se izvršava prema slučajnom rasporedu, a za računanje vremena jednostrukog i dvostrukog ciklusa i položaja jedinica koristit će se model Boser and White. Brzina dizalice je preuzeta iz specifikacija mini-load sustava proizvođača DAIFUKU, (prosječna) horizontalna brzina je 3 m/s, a vertikalna brzina je 2 m/s. Budući da nisu dani podaci o akceleraciji, bit će korišteni oni o akceleraciji sustava s tračnim vozilima. Horizontalna akceleracija će prema tome biti 3 m/s², a vertikalna će biti 1.5 m/s². Pozicija jedinice kod jednostrukog ciklusa pretpostavljat će se na sredini regala i vrijeme vožnje dizalice će biti veće između vremena vožnje po x i y osi. Dimenzije i kritična vremena za jednostruki i dvostruki ciklus s dizalicom naznačena su u tablici 8.

Oznaka	Jedinica	Opis
t_{jc}	sekunda	trajanje jednostrukog ciklusa dizalice
T	sekunda	vrijeme vožnje
L	metar	duljina regala
H	metar	visina regala
t_k	sekunda	vrijeme komisioniranja
Q	/	faktor oblika
v_y	metara/sekundi	brzina lifta
v_x	metara/sekundi ²	ubrzanje lifta
a_x	metara/sekundi ²	horizontalno ubrzanje
a_y	metara/sekundi ²	vertikalno ubrzanje
t_{dc}	sekunda	trajanje dvostrukog ciklusa dizalice
q regala	komada/satu	protok sustava

Tablica 8: Legenda oznaka korištenih pri određivanju vremena jednostrukog i dvostrukog ciklusa dizalice

Vrijeme trajanja jednostrukog ciklusa:

$$t_{jc} = \left[1 + \frac{Q^2}{3} \right] * T + 2 t_k \text{ [s]}$$

$$T = \max \left\{ \frac{L}{v_x}, \frac{H}{v_y} \right\} + \max \left\{ \frac{v_x}{a_x}, \frac{v_y}{a_y} \right\} \text{ [s]}$$

Faktor oblika:

$$Q = \min \left\{ \frac{L}{v_x * T}, \frac{H}{v_y * T} \right\}$$

Protok sustava je:

$$q \text{ regala} = \frac{3600 \text{ [s]}}{t_{jc} \text{ [s]}} = \text{broj jednostrukih ciklusa u periodu od jednog sata}$$

U tablici 9 zadane su dimenzije tri konfiguracije mini-load sustava.

Konfiguracija	Broj razina (M)	Broj regala (A)	Broj kolona (C)	Duljina regala (L)	Visina regala (H)	Kapacitet skladišta (Q)
1.	10	6	84	42	3.50	10 080
2.	15	6	56	28	5.25	10 080
3.	20	6	42	21	7.00	10 080

Tablica 9: Dimenzije različitih konfiguracija istog kapaciteta mini-load sustava

Vrijeme trajanja jednostrukog ciklusa:

$$t_{jc} = \left[1 + \frac{Q^2}{3} \right] * T + 2 t_k = 1.01 * 15.33 + 2 * 5 = 25.41 \quad [s]$$

$$T = \max \left\{ \frac{L}{v_x}, \frac{H}{v_y} \right\} + \max \left\{ \frac{v_x}{a_x}, \frac{v_y}{a_y} \right\} = \max \left\{ \frac{42}{3}, \frac{3.50}{2} \right\} + 1.33 = 15.33 \quad [s]$$

Faktor oblika:

$$Q = \min \left\{ \frac{L}{v_x * T}, \frac{H}{v_y * T} \right\} = \min \left\{ \frac{42}{3 * 14}, \frac{3.50}{2 * 14} \right\} = \min \{ 1, 0.125 \} = 0.125$$

Protok po regalu sustava je:

$$q_{regala} = \frac{3600}{25.41} \frac{[s]}{[s]} = 141 \text{ ciklusa/h}$$

Konfiguracija	T [s]	t_k [s]	Q	t_{jc} [s]	q sustava
1.	15.33	5	0.125	25.41	141
2.	10.66	5	0.281	20.94	171
3.	8.33	5	0.5	19.02	189

Tablica 10: Vremena i protok jednostrukog ciklusa za tri odabrana mini-load sustava

5.2. Proračun vremena i protoka za određene oblike i dimenzije skladišnih površina MINI-LOAD sustava uz pretpostavku uskladištenja i iskladištenja dvostrukim ciklusom

Vrijeme trajanja dvostrukog ciklusa:

$$t_{dc} = \frac{1}{30} [40 + 15 * Q^2 - Q^3] * T + 4 * t_k = 40.56 \text{ [s]}$$

$$T = \max \left\{ \frac{L}{v_x}, \frac{H}{v_y} \right\} + \max \left\{ \frac{v_x}{a_x}, \frac{v_y}{a_y} \right\} = \max \left\{ \frac{42}{3}, \frac{3.50}{2} \right\} + 1.33 = 15.33 \text{ [s]}$$

Faktor oblika:

$$Q = \min \left\{ \frac{L}{v_x * T}, \frac{H}{v_y * T} \right\} = \min \left\{ \frac{42}{3 * 14}, \frac{3.50}{2 * 14} \right\} = \min \{1, 0.125\} = 0.125$$

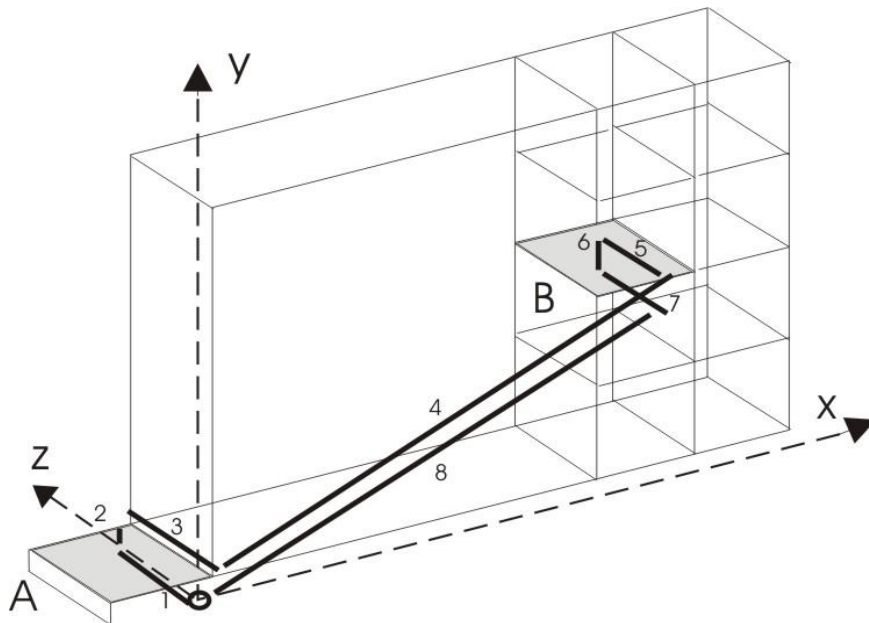
Protok sustava je:

$$q_{regala} = \frac{3600}{40.56} \frac{[s]}{[s]} = 88 \text{ ciklusa/h (176 jedinica/h)}$$

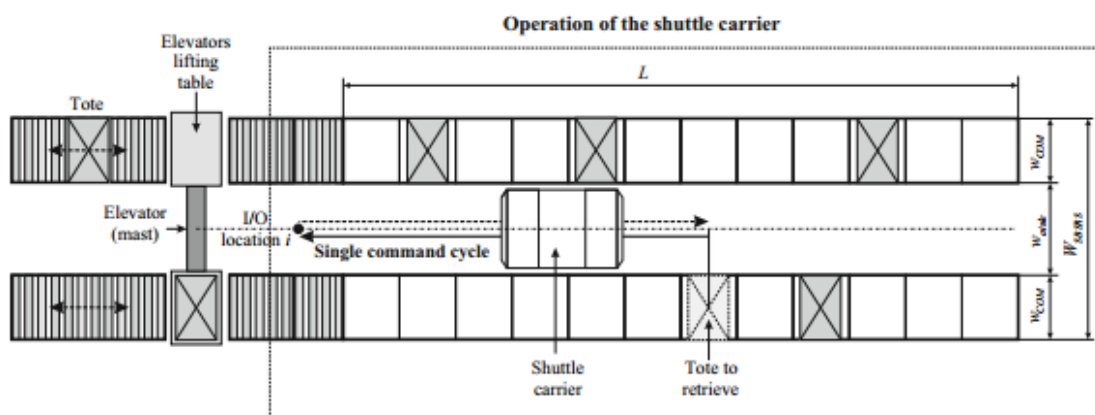
Konfiguracija	T [s]	t_k [s]	Q	t_{dc} [s]	q sustava
1.	15.33	5	0.125	40.56	176
2.	10.66	5	0.281	34.63	207
3.	8.33	5	0.5	32.11	224

Tablica 11: Vremena i protok dvostrukog ciklusa za tri odabrana mini-load sustava

5.3. Usporedba protoka i vremena jednostrukih ciklusa sustava s tračnim vozilima i sustava s dizalicom



Slika 35: Jednostruki ciklus dizalice



Slika 36: Jednostruki ciklus tračnog vozila

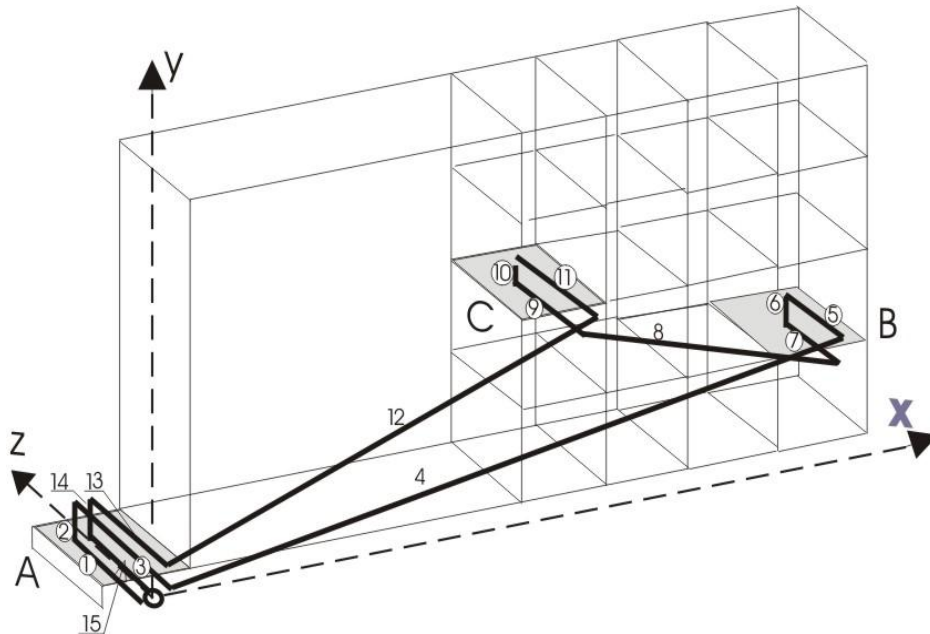
U tablici 12 bit će uspoređena vremena vožnje (bez vremena uskladištenja i iskladištenja) kako bi se bolje vidjela razlika u vremenima između dvaju sustava budući da vrijeme uskladištenja/iskladištenja može znatno utjecati na ukupno vrijeme ciklusa, a teško je doći do konkretnih vrijednosti. Također će biti prikazano vrijeme ciklusa s okvirnim procijenjenim vremenom od 5 sekundi te protok s procijenjenim vremenom uskladištenja/iskladištenja za oba sustava.

Sustav s dizalicom				
Konfiguracija [m]	Vrijeme vožnje [s]		Vrijeme ciklusa [s]	Protok regala [komada/satu]
42 x 3.50	15.41		25.41	141
28 x 5.25	10.94		20.94	171
21 x 7	9.02		19.02	189
Sustav s tračnim vozilima				
Konfiguracija [m]	Vrijeme vožnje lifta [s]	Vrijeme vožnje tračnog vozila [s]	Vrijeme ciklusa [s]	Protok regala [komada/satu]
42 x 3.50	4.16	16	40.26	504
28 x 5.25	5.12	11.34	36.46	476
21 x 7	6	9	35	450

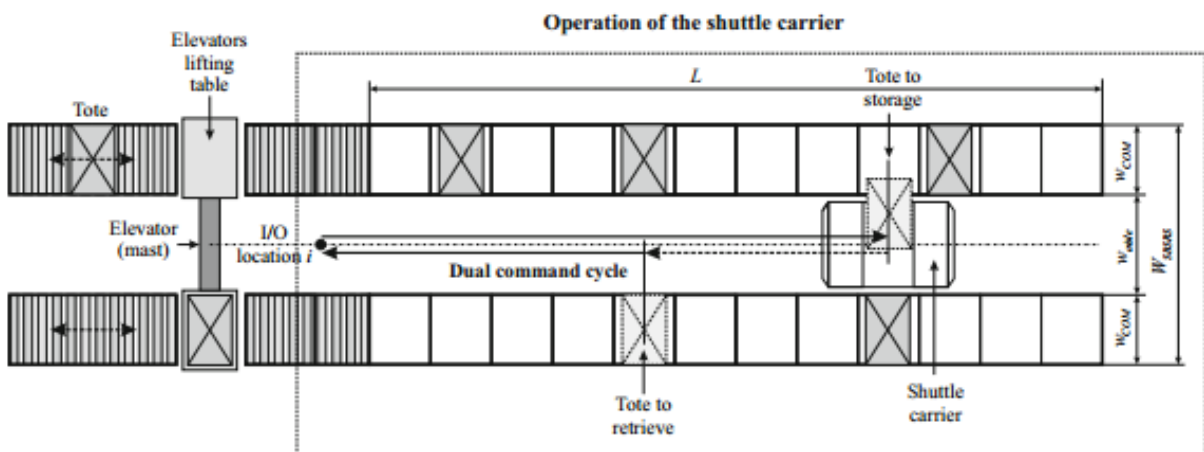
Tablica 12: Usporedba vremena jednostrukh ciklusa sustava s dizalicom i sustava s tračnim vozilima

Uvidom u vrijeme trajanja jednostrukog ciklusa vidljivo je da je trajanje jednostrukog ciklusa dizalice gotovo upola manje od trajanja jednostrukog ciklusa sustava s tračnim vozilima. Naime priloženo bi moglo zbuniti i poručiti da je sustav s dizalicom gotovo dvostruko brži i dvostruko većeg protoka od sustava s tračnim vozilima koji promatramo kao inovativan i jedan od sustava budućnosti, ali kada pogledamo protok po regalu, uviđamo da je protok za sve konfiguracije sustava više od dvostruko veći za sustav s tračnim vozilima, a razlog tome su veći broj tračnih vozila i dva lifta.

5.4. Usporedba protoka i vremena dvostrukih ciklusa sustava s tračnim vozilima i sustava s dizalicom



Slika 37: Dvostruki ciklus dizalice



Slika 38: Dvostruki ciklus tračnog vozila

U tablici 14 bit će uspoređena vremena vožnje dvostrukog ciklusa (bez vremena uskladištenja i iskladištenja) kako bi se bolje vidjela razlika u vremenima između dva sustava budući da vrijeme uskladištenja/iskladištenja može znatno utjecati na ukupno vrijeme ciklusa, a teško je doći do konkretnih vrijednosti. Također će biti prikazano vrijeme ciklusa s okvirnim procijenjenim vremenom od 5 sekundi te protok s procijenjenim vremenom uskladištenja/iskladištenja za oba sustava.

Sustav s dizalicom				
Konfiguracija [m]	Vrijeme vožnje [s]		Vrijeme ciklusa [s]	Protok regala [komada/satu]
42 x 3.50	20.56		40.56	176
28 x 5.25	14.63		34.63	207
21 x 7	12.11		32.11	224
Sustav s tračnim vozilima				
Konfiguracija [m]	Vrijeme vožnje lifta [s]	Vrijeme vožnje tračnog vozila [s]	Vrijeme ciklusa [s]	Protok regala [komada/satu]
42 x 3.50	7.96	21.66	69.62	515
28 x 5.25	9.42	15.45	64.87	489
21 x 7	10.88	12.34	63.22	466

Tablica 13: Usporedba vremena dvostrukih ciklusa sustava s dizalicom i sustava s tračnim vozilima

Kod usporedbe dvostrukih ciklusa sustava vidljivo je da je dvostruki ciklus skoro dva puta većeg trajanja, ali protok je više nego duplo veći zbog većeg broja tračnih vozila i dvaju liftova u odnosu na jednu dizalicu u klasičnom sustavu.

5.5. Oblikovanje optimalnog regala za jednostruki ciklus rada u sustavu s tračnim vozilima i dizalicom

Uvidom u dobivene vrijednosti protoka dolazi se do pitanja: "Koji je optimalan oblik regala za zadani kapacitet?" Vrlo je bitno optimalno iskoristiti sustav, a u svim dobivenim podacima protoka lift je bio usko grlo sustava. Isto tako, regal dizalice nije bio SIT (square in time) oblika. U nastavku će biti određen optimalan izgled regala i bit će uspoređena vremena i protoci takvih sustava. Iz tablica 2 i 9 vidljivo je da je ukupan kapacitet skladišta 10080 jedinica te da je skladište podijeljeno u 6 dvostrukih regala. Iz tih brojeva dobivamo podatak da je traženi kapacitet dvostrukog regala 1680 jedinica, odnosno 840 jedinica po svakom licu regala. Širina skladišne jedinice je 0.5 metara, a visina je 0.35 metara. Iz tih podataka bit će određene optimalna visina i širina regala.

a) Sustav s dizalicom

$$t_{jc} = \left[1 + \frac{Q^2}{3} \right] * T + 2 t_k = \left[1 + \frac{0.774^2}{3} \right] * 6.33 + 2 * 5 = 17.59 \text{ [s]}$$

$$T = \max \left\{ \frac{L}{v_x}, \frac{H}{v_y} \right\} + \max \left\{ \frac{v_x}{a_x}, \frac{v_y}{a_y} \right\} = \max \left\{ \frac{15}{3}, \frac{9.8}{2} \right\} + \max \left\{ \frac{3}{1.5}, \frac{2}{1.5} \right\} = 6.33 \text{ [s]}$$

Faktor oblika:

$$Q = \min \left\{ \frac{L}{v_x * T}, \frac{H}{v_y * T} \right\} = \min \left\{ \frac{15}{3 * 6.33}, \frac{9.8}{2 * 6.33} \right\} = 0.774$$

Najbliže što možemo doći do SIT oblika je za dimenziju duljine 15 m i dimenziju visine 9.8 m, što bi, ukoliko ubrzanje ne bi bilo uzeto u obzir, gotovo tvorilo traženi oblik, ali zbog ubrzanja najpovoljniji je navedeni oblik.

Protok sustava je:

$$q_{regala} = \frac{3600}{t_{jc}} \frac{[s]}{[s]} = \frac{3600}{17.59} \frac{[s]}{[s]} = 204 \text{ jedinica/satu}$$

Protok sustava s jednostrukim ciklusom gotovo dostiže protok s dvostrukim ciklusom!

b) Sustav s tračnim vozilima

Kod sustava s tračnim vozilima bitno je uskladiti protoke liftova i tračnih vozila.

Protok jednostrukog ciklusa lifta:

$$q_{lifta} = \frac{3600}{T_{JCL}} * k * N = \frac{3600}{13.54} * 1 * 2 \frac{[s]}{[s]} = 531 \text{ jedinica/h}$$

Protok jednostrukog ciklusa tračnog vozila:

$$q_{tračnih\ vozila} = \frac{3600}{T_{JCTV}} * k * M = \frac{3600}{35.33} * 1 * 6 \frac{[s]}{[s]} = 611 \text{ jedinica/h}$$

Dobiveni rezultati pokazuju da se najveći protok može ostvariti uz 6 razina sustava ($M = 6$), tj. najmanja je razlika između protoka lifta i tračnih vozila. I u ovom slučaju je lift usko grlo te određuje protok sustava od 531 jedinice po satu, dok za broj razina manji od 6 usko grlo postaje tračno vozilo. Potvrđuje se teza da sustav s tračnim vozilima ima više nego dvostruko veći protok u odnosu na sustav s dizalicom.

5.6. Oblikovanje optimalnog regala za dvostruki ciklus rada u sustavu s dizalicom i tračnim vozilima

Za dvostruki ciklus vrijede jednake pretpostavke kao i za jednostruki.

a) Sustav s dizalicom

U slučaju sustava s dizalicom optimalni faktor oblika i vrijeme vožnje ostaju isti zbog istih dimenzija sustava i brzina dizalice te daju vrijeme dvostrukog ciklusa od **30.24** sekunde što rezultira ukupnim protokom od **238** jedinica po satu i to je neznatno više od ranije promatranih oblika.

b) Sustav s tračnim vozilima

Na isti način kao u prošlom poglavlju dobiven je optimalan oblik regala u sustavu s tračnim vozilima uz upotrebu dvostrukog ciklusa. Optimalan broj razina regala je **5** ($M = 5$) i tada protok liftova iznosi **543** jedinice po satu, a protok tračnih vozila **596** jedinica po satu. Opet je lift usko grlo i definira protok sustava. To je maksimalan protok po regalu sustava s tračnim vozilima za zadani kapacitet, ali uvelike ovisi o vremenu uskladištenja i iskladištenja koje je u ovom slučaju okvirno određeno te male korekcije istog mogu dovesti do velikih promjena u vremenu trajanja ciklusa i protoku.

Izvor [2] navodi drugačija vremena trajanja komisioniranja za isti broj regala istog kapaciteta kao i regal proučavan u ovom poglavlju, ali nema proračuna optimalnog oblika te ću stoga odrediti optimalan broj razina u regalu pomoću formula i izraza navedenih u poglavlju broj 4. Vremena uskladištenja/iskladištenja u izvoru su 3 sekunde za tračno vozilo i 1.5 sekundi za lift. Proračun (nema ga potrebe prikazivati) pokazuje da je u tom slučaju optimalan broj razina za jednostruki ciklus **8** i da je protok u tom slučaju **1044** jedinice po satu što je **dvostruko** više u odnosu na sustav s predviđenim vremenom uskladištenja/iskladištenja od 5 sekundi za lift i tračno vozilo. Lift je uvijek usko grlo. Optimalan broj razina za dvostruki ciklusa skladištenja je **7** i u tom slučaju protok je **1100** jedinica po satu. Navedeno je dokaz koliko vremena uskladištenja/iskladištenja imaju velik utjecaj na ukupni protok.

6. ZAKLJUČAK

O prednostima instalacije automatiziranih skladišnih sustava ne treba puno govoriti jer su one očigledne. Ugradnja jednog takvog sustava rezultirat će skraćanjem vremena potrebnog za uskladištenje ili iskladištenje, povećanim protokom, smanjenjem emisije stakleničkih plinova, smanjenjem potrebne radne snage u poslu skladištenja, ali i uz negativnu stranu velike cijene jednog takvog sustava. Pri odabiru izvedbe automatiziranog skladišnog sustava važno je voditi brigu o više faktora kao što su potrebni protok, mogućnost proširenja sustava, ukupni kapacitet, postupci održavanja i mnogi drugi. Također, vrlo je važno pravilno dimenzionirati sustav kako ne bi došlo do problema nedovoljnog kapaciteta ili predimenzioniranosti sustava koja rezultira nepotrebnim gubitcima. Vrlo je važno odrediti koji su traženi zahtjevi sustava kako ne bi došlo do instalacije sustava koji će biti neprimjeren i stvarati probleme u radu ili sadržavati neke stavke i posjedovati mogućnosti koje neće biti iskorištene odnosno stupanj iskorištenja bit će manji. Tema rada je bio inovativni sustav skladištenja s tračnim vozilima koji se sve više i više počeo spominjati kao alternativa drugim sustavima automatiziranog skladištenja te ga u različitim varijacijama nekoliko poduzeća nudi. Naime postoji velik broj inovativnih (novih) sustava o kojima se zapravo vrlo malo zna: postoje specifikacije, ali vrlo je malo konkretnih vrijednosti te to stvara nedoumicu kod potencijalnog kupca/korisnika. Nedavno je napisano nekoliko radova koji se bave navedenim sustavom, ali ima još jako puno mogućnosti za poboljšanja. Naprimjer, postoji zanimljiva izvedba u kojoj bi postojalo manje tračnih vozila nego razina te bi se oni podizali i spuštali liftovima po potrebi. Još jedna zanimljiva tema za proučavanje bi bilo zonsko odlaganje kod navedenih sustava. Znači ima puno prostora i smjerova za daljnje poboljšanje i pretpostavka je da će biti još podosta govora i istraživanja u području automatiziranog skladištenja s tračnim vozilima. Srž rada je proračun vremenskih ciklusa za jednostruki i dvostruki ciklus te određivanje protoka sustava. Samim time ne bi se postigao nekakav značajan efekt i iz tog razloga napravljena je usporedba s automatiziranim skladišnim sustavom s dizalicom te je dobiveno da sustav s tračnim vozilima ostvaruje znatno veći protok. Nakon toga došlo je do pitanja za koji bi oblik (visina i širina) neki zamišljeni sustav postojećeg kapaciteta imao najveći protok i koji bi on bio. Zaključak je da je najveći protok moguće postići u trenutku kada su protok lifta i tračnih vozila najbližijih vrijednosti. Lift je problem sustava i gotovo u svakoj konfiguraciji sustava tvori usko grlo te smanjuje iskoristivost tračnih vozila.

LITERATURA

- [1] www.mhi.org – Material Handling Institute of America, [11.10.2014.]
- [2] Lehrer, T., Rosi, B. (2012.). A model for throughput performance calculations of shuttle based storage systems. *Tehnički vjesnik*. 19/2012/4, str. 709-715.
- [3] www.mhi.org/downloads/industrygroups/as-rs/technicalpapers/whitepaper3.pdf, [11.10.2014.]
- [4] <http://www.roodbergen.com/publications/EJOR2009.pdf>, [16.10.2014.]
- [5] <http://www.mhi.org/media/news/11858>, [17.10.2014.]
- [6] Banu Y. Ekren, Sunderesh S. Heragu, Simulation based regression analysis for rack configuration of autonomous vehicle storage and retrieval system, 2009.
- [7] <http://www.isddd.com/content/automated-storage-and-retrieval-systems-asrs-trends-modex-2014>, [03.11.2014.]
- [8] Warehousing in the global supply chain: Advanced models, Tools and Applications for Storage Systems, Riccardo Manzini, [07.11.2014.]
- [9] Lehrer, T., Ekren, B.Y., Đukić, G., Rosi, B. (2015.) Travel time model for shuttle based storage and retrieval systems. Springer-Verlag.
- [10] <http://www.poslovni.hr/mobile/automatizirani-skladisni-sustavi-164018>, [10.11.2014.]
- [11] [http://www.bastiansolutions.com/automation/automated-storage-retrieval-systems-\(asrs\)/mini-load-asrs/daifuku-mini-load-asrs](http://www.bastiansolutions.com/automation/automated-storage-retrieval-systems-(asrs)/mini-load-asrs/daifuku-mini-load-asrs), [11.11.2014.]
- [12] http://rstrail.nl/sites/default/files/Zaerpour_0.pdf, [17.11.2014.]
- [13] <http://daifukuna.com/Products/Automated-Storage-Retrieval-System-AS-RS/DUOSYS-Automated-Storage-Retrieval-System>, [05.12.2014.]
- [14] <http://www.daifukueurope.com/products/9/44/115/Manufacturing-Distribution/Automated-Storage-Retrieval-System-AS-RS/Synchronized-System-AS-RS>, [13.12.2014.]
- [15] <http://www.tgw-group.com/at-en/services-solutions/order-fulfillment/storage-solutions/stingray-shuttle-solutions-by-tgw/technical-data/>, [15.12.2014.]
- [16] <http://www.invata.com/warehouse-automation/automated-storage-and-retrieval-systems-asrs/shuttle-asrs/>, [18.12.2014.]
- [17] <http://www.dematic.com/en/Supply-Chain-Solutions/By-Technology/Storage-Systems/Dematic-Multishuttle-2>, [20.12.2014.]

- [18] <http://www.mhi.org/downloads/industrygroups/as-rs/technicalpapers/whitepaper3.pdf>, [27.12.2014.]
- [19] http://www.directindustry.com/industrial-manufacturer/automatic-storage-system-74002-_2.html, [07.01.2015.]
- [20] <http://www.isddd.com/storage-retrieval-systems>, [14.01.2015.]
- [21] <http://www.roodbergen.com/publications/EJOR2009.pdf>, [20.01.2015.]
- [22] <http://www.westfaliausa.com/products/automated-storage-retrieval-systems/storage-density/>, [02.02.2015.]
- [23] Đukić, G., Posebna poglavlja tehničke logistike, podloge za predavanja, 2014.-2015.

PRILOZI

I. CD-R disc