

# Grupiranje narudžbi u komisioniranju s VLM sustavima

---

**Jakopić, Katarina**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:090951>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-13**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Katarina Jakopić**

Zagreb, 2019. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Goran Đukić, dipl. ing.

Student:

Katarina Jakopić

Zagreb, 2019. godina.

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

Zahvaljujem svom mentoru prof.dr.sc Goranu Đukiću na pomoći i strpljenju prilikom pisanja ovog rada.

Zahvaljujem svojoj majci na neizmjenoj podršci i ljubavi koju mi je iskazala, bez koje ovo ne bi bilo moguće.

Katarina Jakopić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



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

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

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Katarina Jakopić**

Mat. br.: 0035201252

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Grupiranje narudžbi u komisioniranju s VLM sustavima**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Orderbatching in order-picking with VLM systems**

Opis zadatka:

Vertikalni podizni moduli (eng. Vertical Lift Modules, VLM) primjer su automatiziranih skladišnih sustava koji se osim za prostorno učinkovito skladištenje materijala sve više koriste u funkciji komisioniranja. Kao i kod drugih (automatiziranih) skladišnih sustava, i kod njih je moguće primjeniti različite metode upravljanja. Metode grupiranja narudžbi kod komisioniranja potencijalno mogu smanjiti ukupno vrijeme komisioniranja, odnosno povećati produktivnost samog procesa.

U radu je potrebno:

- opisati VLM sustave u kontekstu prikaza automatiziranih skladišnih sustava,
- prikazati prednosti korištenja i primjere primjene ovih sustava,
- prikazati način određivanja vremena komisioniranja (model protoka),
- provesti analizu potencijala skraćivanja vremena komisioniranja skupa narudžbi primjenom metode grupiranja narudžbi.

Zadatak zadan:

29. studenog 2018.

Rok predaje rada:

**1. rok:** 22. veljače 2019.

**2. rok (izvanredni):** 28. lipnja 2019.

**3. rok:** 20. rujna 2019.

Predviđeni datumi obrane:

**1. rok:** 25.2. - 1.3. 2019.

**2. rok (izvanredni):** 2.7. 2019.

**3. rok:** 23.9. - 27.9. 2019.

Zadatak zadao:

Prof.dr.sc. Goran Đukić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

## SADRŽAJ

POPIS SLIKA .....	II
POPIS TABLICA.....	III
POPIS OZNAKA .....	IV
SAŽETAK.....	V
SUMMARY .....	VI
1. UVOD.....	1
2. AUTOMATIZIRANI SKLADIŠNI SUSTAVI .....	2
2.1. Automatizirani skladišni sustavi s dizalicama unutar prolaza .....	2
2.2. Dinamički sustavi skladištenja.....	3
2.3. Inovativne izvedbe AS/RS .....	4
3. VERTIKALNI PODIZNI MODUL .....	5
3.1. Pogonski sustavi.....	6
3.2. Upravljački sustavi.....	7
3.3. Konfiguracije VLM-a .....	8
3.4. Usporedba s drugim tehnologijama koje spadaju u istu klasu .....	10
3.4.1. Vertikalni okretni regal i VLM .....	10
3.4.2. Automatizirani skladišni sustav za male dijelove i VLM.....	11
3.5. Prednosti VLM-a.....	12
3.6. Nedostaci VLM-a.....	16
3.7. Primjena VLM-a .....	17
4. KOMISIONIRANJE .....	20
4.1. Metode odlaganja u automatiziranim skladišnim sustavima .....	21
4.2. Sekvenciranje .....	23
4.3. Metode organizacije komisioniranja .....	23
4.4. Komisioniranje u automatiziranim skladišnim sustavima .....	24
5. MODEL ODREĐIVANJA VREMENA KOMISIONIRANJA NA VLM-U.....	25
5.1. Model protoka za samostalni VLM .....	25
5.2. Model protoka za samostalni VLM s komisionerom.....	27
6. ANALIZA SKRAĆENJA VREMENA KOMISIONIRANJA PRIMJENOM GRUPIRANJA NARUDŽBI.....	30
6.1. Određivanje protoka za slučaj komisioniranja prema narudžbi.....	30
6.2. Određivanje protoka za slučaj grupiranja narudžbi .....	31
6.3. Usporedba podataka dobivenih proračunom.....	32
7. ZAKLJUČAK.....	35
LITERATURA.....	36
PRILOZI.....	38

**POPIS SLIKA**

Slika 1. Vertikalni podizni modul [2].....	5
Slika 2. VLM s označenim smjerovima gibanja ekstraktora [8].....	6
Slika 3. Radno sučelje VLM-a [3] .....	7
Slika 4. Različite konfiguracije VLM-a [3] .....	8
Slika 5. Izvedba VLM-a s više otvora [3] .....	9
Slika 6. Izvedba „dual-tray VLM“ sustava [2].....	9
Slika 7. Vertikalni okretni regal [2] .....	10
Slika 8. VLM-ovo skladištenje visoke gustoće [9] .....	11
Slika 9. Segment mini-load AS/RS sustava [2].....	12
Slika 10. Smanjenje potrebne podne površine primjenom jednog VLM-a [3] .....	13
Slika 11. Izvedba VLM uređaja s izvučenom radnom policom [7] .....	13
Slika 12. Svjetlom usmjereno komisioniranje na VLM-u [10].....	14
Slika 13. Tehnologija svjetlosne identifikacije lokacije [11].....	14
Slika 14. Spremnik s pregradama [3].....	15
Slika 15. Radna stanica s više modula i jednim ekstraktorom s mogućnošću uzdužnog pomicanja [8].....	18
Slika 16. Otvor za izuzimanje VLM-a s mjernim alatima TEH-CUT-a [2] .....	18
Slika 17. Instalirani VLM s dva otvora [2] .....	19
Slika 18. Operativni troškovi skladišta [12].....	20
Slika 19. Raspodjela vremena u komisioniranju [12] .....	21
Slika 20. Poprečni presjek VLM-a [16] .....	25
Slika 21. Prosječno vrijeme komisioniranja po narudžbi.....	33
Slika 22. Produktivnost iskazana u broju narudžbi po satu.....	34

---

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Vrijeme jednostrukog i dvostrukog ciklusa VLM-a .....	30
Tablica 2. Izračunate vrijednosti za jednu narudžbu.....	31
Tablica 3. Izračunate vrijednosti za dvije narudžbe .....	31
Tablica 4. Izračunate vrijednosti za tri narudžbe .....	32
Tablica 5. Izračunate vrijednosti za četiri narudžbe.....	32
Tablica 6. Usporedba rezultata.....	32



**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
AS/RS		Automatizirani skladišni sustavi
AVS/RS		Automatizirani skladišni sustavi s autonomnim vozilima
$E(DC)$	$s$	Očekivano vrijeme vožnje ekstraktora VLM-a u dvostrukom ciklusu
$E(SC)$	$s$	Očekivano vrijeme vožnje ekstraktora VLM-a u jednostrukom ciklusu
ERP		Enterprise Resource Planning
$E^V [P(n, m)]$	$s$	Očekivano vrijeme izuzimanja robe iz doveženih spremnika
$E^V [R(n, m)]$	$s$	Očekivano vrijeme dovoženja spremnika
$E^V [T(n, m)]$	$s$	Vrijeme komisioniranja $n$ proizvoda iz VLM uređaja s $m$ spremnika
$E [S(n, m)]$		Očekivani broj zaustavljanja (doveženih spremnika)
FIFO		First In First Out
$h$	$mm$	Visina lokacije jednog spremnika
$H$	$mm$	Visina VLM-a
$h_1, h_2, h_3$	$mm$	Visine pojedinih sekcija VLM-a
$m$		Broj spremnika u VLM-u
$n$		Broj stavki
$p$	$s$	Vrijeme izuzimanja jednog proizvoda (jedne stavke)
$p_1, p_2, p_3$		Vjerojatnosti odlaganja spremnika u odgovarajućim sekcijama
$p_{ij}$		Vjerojatnost da se dvostrukim ciklusom odlaže spremnik u sekciji $i$ te izuzima u sekciji $j$
$p_k(m, n)$		Vjerojatnost da se VLM neće zaustaviti na $k$ od ukupnih $m$ spremnika pri traženju $n$ stavki
SBS/RS		Automatizirani skladišni sustav s regalnim vozilima
SKU		Stock keeping unit
$t_{01}$	$s$	Očekivano vrijeme vožnje od/do prozora za izuzimanje
$t_{a/d}$	$s$	Dodatno vrijeme za ubrzavanje ili usporavanje ekstraktora
$t_{ij}$	$s$	Očekivano vrijeme vožnje od sekcije $i$ do sekcije $j$
$t_{p/d}$	$s$	Vrijeme odlaganja ili izuzimanja spremnika
$v$	$m/s$	Brzina ekstraktora
VBM		Vertical Buffer Module
VLM		Vertikalni podizni modul
$v_x$	$m/s$	Horizontalna brzina ekstraktora
$v_z$	$m/s$	Vertikalna brzina ekstraktora
WIP		Work in process
WMS		Warehouse Management System

**SAŽETAK**

Tema ovog rada je grupiranje narudžbi u komisioniranju s VLM sustavima. Radi lakšeg razumijevanja sadržaja, rad sadržava pregled automatiziranih skladišnih sustava i opis VLM sustava u kontekstu istih. Zatim se prikazuju glavne značajke vertikalnog podiznog modula te njegove prednosti i nedostaci, kao i primjena. S obzirom na sve veću primjenu VLM sustava u funkciji komisioniranja, daje se detaljan opis komisioniranja i metoda upravljanja. Na kraju rada prezentira se razvijeni model protoka i provodi se analiza potencijalnog skraćanja vremena komisioniranja primjenom metode grupiranja narudžbi na VLM-u.

Ključne riječi: vertikalni podizni modul, automatizirani skladišni sustav, komisioniranje, grupiranje narudžbi, model protoka

---

**SUMMARY**

The topic of this paper is order batching in order-picking with VLM systems. For better understanding of the content, the paper provides an overview of Automated Storage and Retrieval Systems and presentation of VLM systems in the context of them. Then, the main features of a Vertical Lift Module, its benefits and drawbacks, as well as its applications are presented. In view of the increasing use of VLM systems in order-picking, the paper offers a detailed description of order-picking and different types of its methods. In the final section of this paper, a developed throughput model for VLM is presented along with an analysis of the potential shortening of order-picking time using order batching in VLM.

Key words: VLM, AS/RS, order-picking, order batching, throughput model for VLM

## 1. UVOD

Automatizirani skladišni sustavi našli su široku primjenu u distribucijskoj i proizvodnoj okolini te se koriste već više od pola stoljeća. Sve veći zahtjevi za povećanjem protoka, gustoće skladištenja te fleksibilnosti omogućili su razvoj novih izvedbi koje mogu udovoljiti tim zahtjevima. Danas postoje različite izvedbe automatiziranih sustava sposobne za odlaganje i izuzimanje materijala i proizvoda različitih veličina. Jedna od tih izvedbi je i vertikalni podizni modul.

Na početku ovog rada definiraju se automatizirani skladišni sustavi i njihova podjela te se daje opis vertikalnog podiznog modula u kontekstu istih. Zatim se opisuje vertikalni podizni modul, kao glavna tema ovog rada. Prikazuju se prednosti korištenja, kao i nedostaci ovakvih sustava te se opisuje njihova primjena stavljajući naglasak na korištenje u komisioniranju. Stoga se u daljnjem tijeku rada definira komisioniranje te se objašnjavaju postojeće metode komisioniranja zbog boljeg razumijevanja grupiranja narudžbi na VLM sustavima.

Tema rada zahtijeva prikaz načina određivanja modela protoka za takve sustave. Potkrijepljena teorijom, na kraju rada provedena je analiza potencijala skraćenja vremena komisioniranja skupa narudžbi primjenom metode grupiranja narudžbi.

## 2. AUTOMATIZIRANI SKLADIŠNI SUSTAVI

Automatizirani skladišni sustavi (eng. Automated Storage and Retrieval Systems-AS/RS) su različite izvedbe sustava za automatizirano odlaganje (usklađivanje) i izuzimanje (isklađivanje). [1] Pojava sve većih količina zaliha u procesu proizvodnje i distribucije te potreba za pronalazanjem načina za efikasno skladištenje uz minimalne troškove bili su katalizator uvođenja novih skladišnih rješenja. Stoga su se AS/RS sustavi su se pojavili 1960-ih te su se do 90-ih godina prošlog stoljeća u te sustave ubrajale samo izvedbe s prolazima između regala kroz koje se kreću automatski uređaji za odlaganje i izuzimanje (eng. S/R machine). Napredak u tehnologiji i pojeftinjenje računalnih sustava omogućili su razvoj mnogobrojnih izvedbi automatiziranih skladišnih sustava. Tako je Danas je AS/RS postao općeniti naziv za sustave s dizalicama unutar prolaza kao i automatizirane okretne regale (karusele) i vertikalne podizne module, te najnovije sustave s automatski vođenim vozilima unutar regala. Različiti koncepti izvedbi AS/RS sustava nalaze se unutar skladišta stoga mora postojati veza između njih i ostalih dijelova skladišta koja se definira preko tri funkcije: skladištenje (eng. storage), ulaz/izlaz (eng. input/output) i izuzimanje (eng. retrieval). Ponekad se funkcija izuzimanja zamjenjuje riječju komisioniranje (eng. order-picking), ili se u nekim sustavima uz izuzimanje spremnika osigurava i funkcija komisioniranja (izuzimanja robe iz spremnika). U nastavku će biti ukratko objašnjena općenita podjela AS/RS sustava.

### 2.1. Automatizirani skladišni sustavi s dizalicama unutar prolaza

Automatizirani skladišni sustavi s dizalicama unutar prolaza (eng. Crane in aisle AS/RS) su sustavi s automatskim dizalicama za odlaganje i izuzimanje koje se kreću između regala odlažući i izuzimajući teret. S obzirom da se radi o jednom ili više dugačkih i uskih prolaza između regala, drugi naziv za ove sustave jest automatizirani sustavi odlaganja i izuzimanja s fiksnim prolazima (eng. Fixed-aisle (F/A) storage and retrieval systems). Automatske dizalice se horizontalno kreću unutar prolaza, odnosno dva regala te istovremeno podižu i spuštaju teret na određenu razinu regala čineći pritom vertikalni transport i funkciju odlaganja i izuzimanja. Dizalica svojom konstrukcijom i izvedbom omogućuje smanjenje širine prolaza te rukovanje materijalom na puno većim visinama (40-50 m) što ne bi bilo moguće kod klasičnih izvedbi s operaterom na viličaru. Uvođenjem dizalice unutar prolaza također se postiže bolja iskoristivost visine. Postoje tri izvedbe ovakvih sustava. Unit-load AS/RS izvedba za velike paletne terete, mini-load AS/RS za manje terete, te person-on-board AS/RS gdje se i operater nalazi na dizalici.

Unit-load AS/RS, odnosno automatizirano visokoregalno skladište je skladišni sustav koji primjenjuje visoke automatske dizalice između regala velike visine, ali najčešće oko 20 do 30 metara. Pojam unit-load predstavlja jedinični teret koji je težak 250 do 500 kg te je smješten na palete ili u plastične, drvene ili metalne sanduke paletnih dimenzija. S obzirom na različite potrebe koje sustavi moraju zadovoljiti, a uz minimizaciju troškova i prostora te maksimizaciju protoka, postoje razne varijacije osnovne izvedbe. Varijacije koje se mogu pojaviti odnose se na izvedbe regala, izvedbe s mogućnošću mijenjanja prolaza dizalicama, izvedbe dizalica, drugačije lokacije pretovarnih mjesta.

Mini-load AS/RS je automatizirani skladišni sustav za male dijelove. Sustav se primjenjuje za odlaganje i izuzimanje tereta koji su obično u malim spremnicima ili sanducima (eng. bin), s ukupnom težinom između 50 i 250 kg. [2] S obzirom da su i regali dimenzionirani za spremnike manjih dimenzija i izvedbe se manjih visina (3-15 m) i duljina (12-60 m).

Person-on-board AS/RS zapravo je modifikacija unit-load AS/RS i mini-load AS/RS sustava u kojem se čovjek nalazi na dizalici i s njom putuje do skladišnih lokacija. Osnovna primjena ovakvih sustava je komisioniranje robe iz skladišnih lokacija. Iako je to dio AS/RS sustava, nije svaka operacija automatizirana. Automatizirano je kretanje dizalice i odlaganje punih spremnika, a izuzimanje robe vrši komisioner kada ga dizalica pozicionira ispred lokacije. Suprotno od mini-load AS/RS sustava, kod kojih se komisioniranje događa na kraju prolaza i roba se dovodi čovjeku, u person-on-board AS/RS sustavu komisioniranje se događa unutar prolaza odnosno čovjek dolazi k robi. Takav princip komisioniranja naziva se komisioniranje po principu „čovjek-robi“ što je detaljnije objašnjeno u poglavlju 4.

## 2.2. Dinamički sustavi skladištenja

Vertikalni podizni moduli (eng. *Vertical Lift Modul-VLM*) spadaju u skupinu automatiziranih okretnih regala i vertikalnih podiznih modula. Ta skupina se češće naziva dinamički sustavi skladištenja (eng. *dynamic storage systems*) zbog toga što se skladišna lokacija ili uskladišteni spremnik s materijalom dovodi do mjesta za odlaganje i izuzimanje. [3] Ovakve manje izvedbe, kao što su dinamički sustavi skladištenja, svoju pojavu mogu zahvaliti razvoju koncepta „just in time“ proizvodnje i trenda smanjenja zaliha. Time su i svoju primjenu našle u skladištenju zaliha u procesu (eng. *work-in-process-WIP*) kao i dijelova za montažu. VLM sustavi se svrstavaju u sustave komisioniranja „roba čovjeku“ (eng. *part-to-picker*), odnosno „na kraju prolaza“ (eng. *end-of-the-aisle*). Detaljnije o ovoj skupini i međusobna usporedba njezinih predstavnika u nastavku rada.

### 2.3. Inovativne izvedbe AS/RS

AVS/RS (eng. *Autonomous vehicle storage and retrieval systems*) su sustavi s autonomnim vozilima s većim stupnjem slobode gibanja. Sustavi daju značajnu fleksibilnost uzimajući u obzir kretanje velikih jediničnih tereta u skladištima velike gustoće upravo zbog toga što daju mogućnost mijenjanja broja autonomnih vozila u sustavu. [4] Učinkovit AVS/RS sustav minimizira vrijeme ciklusa vožnje, kao i potrošnju energije uz maksimalno iskorištenje resursa sustava.

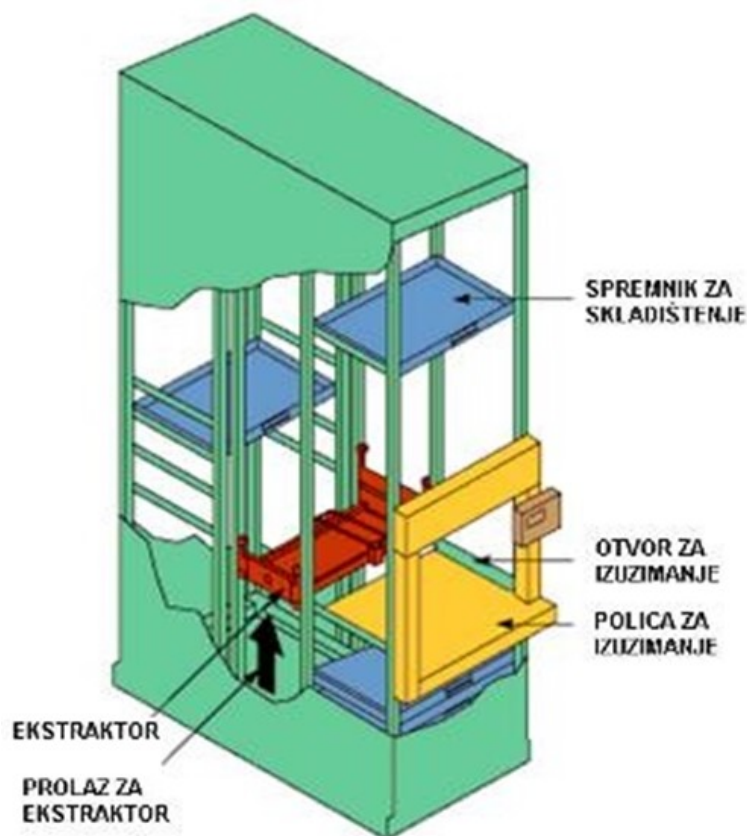
SBS/RS (eng. *Shuttle-based storage and retrieval system*) predstavlja posebnu vrstu mini-load AS/RS-a gdje se koriste regalna vozila za uskladištenje i izuzimanje tereta koji su u malim spremnicima u sustavu regala. Razlika između AS/RS-a i SBS/RS-a je u načinu kretanja tereta. Dok se kod dizalica istovremeno vrši transport u horizontalnom i vertikalnom smjeru, kod SBS/RS je transport podijeljen na dva S/R vozila. Tereti se transportiraju takozvanim regalnim vozilima (eng. *shuttles*) koja se horizontalno gibaju po tračnicama/šinama uzduž prolaza između sustava pravokutnih regala, dok vertikalno gibanje osiguravaju dizala koja se nalaze uglavnom na krajevima regala. [5]. Iako to rezultira duljem očekivanom vremenu vožnje, protok se ne smanjuje. Jedna dizalica u AS/RS sustavu ima efikasniju putanju gibanja, ali samo je jedna, dok kod SBS/RS postoji veći broj vozila koja istovremeno mogu izvršavati operacije skladištenja i izuzimanja.

Najnovije rješenje Kardex Remstar-a koje ispunjava buduće zahtjeve tržišta je Vertical Buffer Module-VBM koji ima jedan ili više otvora za izuzimanje, spremnike i police za manje terete kao i drugu opremu za spremanje, sustav polica s prolazom te integrirani softver. [6] Proizvod je napravljen kao odgovor na sve veće zahtjeve u pogledu smanjenja operativnih troškova, poboljšanja točnosti kod komisioniranja narudžbi, minimizacije potrebe za kretanjem, manje potrošnje energije i veće produktivnosti komisioniranja.

### 3. VERTIKALNI PODIZNI MODUL

Vertikalni podizni moduli uvedeni su početkom 1970-ih za skladišne i industrijske primjene. Prvotne verzije imale su mali kapacitet i bile su poprilično spore što je uvelike ograničavalo njihovu primjenu. Kako bi se prilagodilo novim potrebama industrije, razvile su se nove verzije većeg kapaciteta i brzina, integrirane pomoću inteligentnog korisničkog sučelja s cijelim skladišnim sustavom.

Vertikalni podizni modul, prikazan na slici 1, je potpuno zatvoreni sustav za skladištenje koji se sastoji od dvije paralelne kolone koje su podijeljene na police s fiksnim pozicijama. Na policama se nalaze uskladišteni spremnici kao što su ladice ili kutije. Odlaganje i izuzimanje uskladištenih spremnika, na ergonomski postavljen otvor za izuzimanje (eng. pick window), odvija se automatski pomoću ekstraktora (eng. shuttle ili extractor). Unosom broja potrebne police na ugrađeni upravljački uređaj ili zahtijevanjem dijela putem softvera rukovatelj pokreće ekstraktor. Ekstraktor se elevatorom kreće vertikalno između kolona i usmjeren je na točan položaj kako bi izvukao policu iz njezinog položaja i isporučio ju u otvoru za izuzimanje. Operator dohvaća robu i pritisne tipku kad završi. Ekstraktor zatim vraća policu u primarni položaj ili na neku drugu poziciju unutar VLM-a.



Slika 1. Vertikalni podizni modul [2]

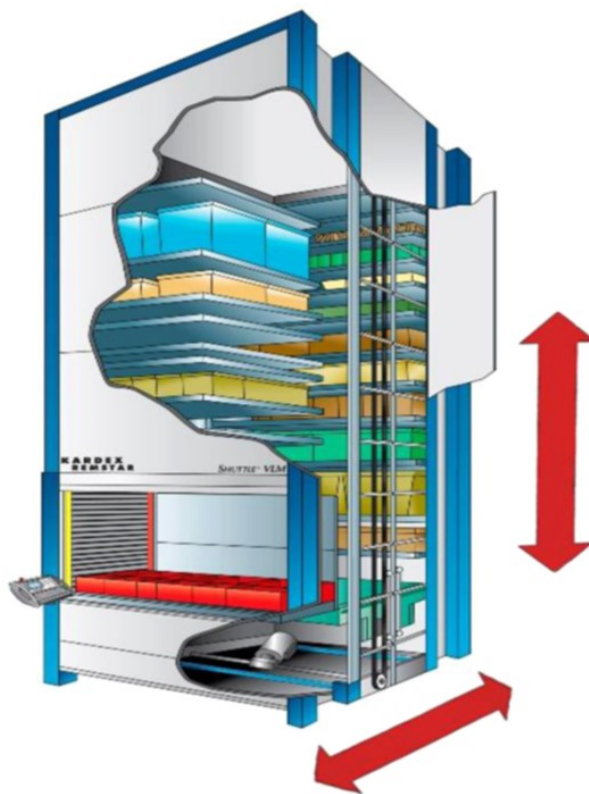


### 3.1. Pogonski sustavi

Današnji VLM-i imaju jednostruki pogon, DC ili AC motorne sustave. Oba sustava su sposobna za kontrolirano, linearno ubrzavanje i usporavanje tako osiguravajući zaštitu i sigurnost osjetljivih tereta tijekom procesa odlaganja i izuzimanja.[3] Veliki industrijski VLM-i (eng. heavy-duty), potpuno opterećeni, sposobni su nositi teret od preko 900 kg, a s tako tako preciznim pogonskim sustavima da prilikom testiranja kretanja ne proliju vodu iz pune čaše. Takva preciznost omogućuje rukovanje lomljivim materijalima bez oštećenja.

Sustav motornog pogona smješten je na platformi ekstraktora ili u podnožju uređaja. Konkretna pozicija motora nema utjecaja na performanse VLM-a. Veći utjecaj na karakteristike ima kapacitet samog modula i sposobnost lakog korištenja. U današnje vrijeme, proizvođači kao što je Modula, koriste motorni pogon s manjom potrošnjom energije i većom učinkovitošću u odnosu na slične pogone.[7] Time su i investicijski troškovi opravdani ako se uzme u obzir dugoročna ušteda u operativnim troškovima.

Središnji dio VLM-a je ekstraktorska platforma. Okomita strelica na slici 2 pokazuje vertikalnu putanju od/do lokacije kojom se ekstraktor kreće. Horizontalna linija pokazuje putanju kojom se ekstraktor kreće kod odlaganja/izuzimanja. Vertikalno gibanje platforme motorni sustav ostvaruje preko lanca, užeta, zupčanika ili zupčastog remena.



Slika 2. VLM s označenim smjerovima gibanja ekstraktora [8]

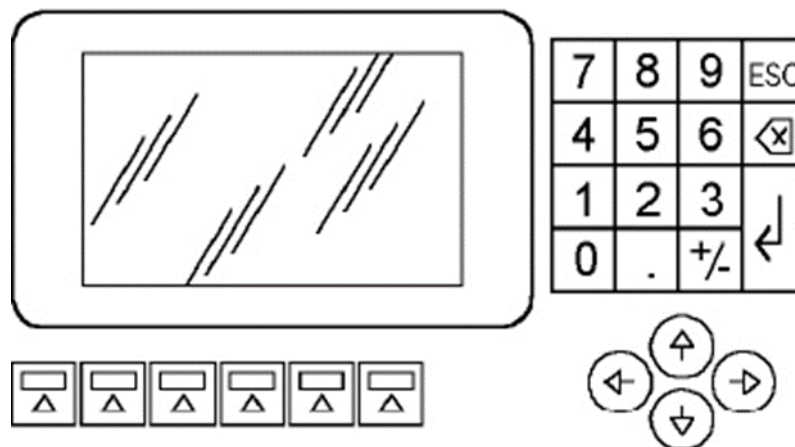
Brzine s kojima se susrećemo kod vertikalnog podiznog modula su vertikalna brzina ekstraktora ( $0,4 \leq v_z \leq 1,5$ ; m/s), te brzina izvlačenja spremnika iz lokacije ( $0,25 \leq v_x \leq 0,75$ ; m/s). [3]

Svaki sustav ima prednosti i nedostatke, ovisno o primjeni. Na korisniku, odnosno projektantu je da odluči kakav će pogon koristiti, ovisno o željenoj pouzdanosti, uvjetima upotrebe i potrebnom održavanju i sigurnosti djelatnika, kao i o količini buke koju određeni pogonski sustav proizvodi.

### 3.2. Upravljački sustavi

VLM-i su dostupni s raznolikim kontrolnim sistemima i softverskim paketima za upravljanje skladištenim sadržajem. U svojem najosnovnijem obliku, VLM može dohvatiti željeni artikl sa skladišne lokacije jednostavnim pritiskom željenog broja spremnika na upravljačkoj tipkovnici.

Suvremeni VLM-i dostupni su s potpuno samostalnim mikroprocesorskim jedinicama s kontrolom preko programabilnih logičkih kontrolera koji su dopunjeni ekranima osjetljivima na dodir i alfanumeričkim tipkovnicama kao što je prikazano na slici 3.



Slika 3. Radno sučelje VLM-a [3]

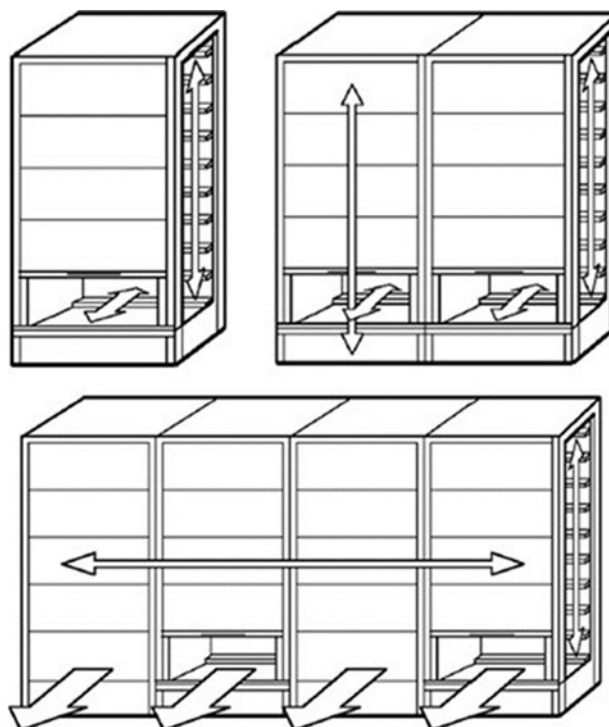
Ovi sustavi upravljanja imaju različite razine mogućnosti upravljanja zalihama, od osnovne provjere slobodnih skladišnih lokacija, preko mogućnosti upravljanja slobodnim lokacijama, određivanja skladišnih mjesta pojedinih artikala prema kriterijima (protok, dimenzije, potreban kapacitet), pa sve do mogućnosti naprednog izvješćivanja. Takva fleksibilnost sustava daje korisnicima sposobnost da zatraže artikl po njegovoj šifri i opisu, kao i po lokaciji na kojoj se nalazi. Ovakvim inteligentnim sustavima može se direktno upravljati radnim nalogima (grupiranje narudžbi, određivanje koji će nalog dobiti prednost za komisioniranje), kao i kreirati liste materijala na skladištu. Svi elementi kontrolnog sustava, od

tipkovnice i integriranih kontrola do PC kontrola i kontrola na ekranu osjetljivom na dodir, kao i cijela jedinica za upravljanje mogu se koristiti neovisno kao dio izolirane radne stanice, ali i kao dio sustava upravljanja skladištem (*Warehouse Management System-WMS*).

U današnje vrijeme, zahtjevi za boljim praćenjem zaliha i kontrolom procesa stvorili su potrebu povezivanja VLM-a sa sustavima kao što su ERP (eng. *Enterprise Resource Planning*) i WMS. Međutim, takvi sustavi rijetko su dizajnirani za upravljanje VLM-ima i optimiziranje njihovih performansi. Za to su potrebni posebni VLM softveri čiji je uobičajen naziv „middleware“ ili aplikacija za praćenje zaliha. Pojednostavljeno, to je međusoftver koji omogućuje međusobnu suradnju i kompatibilnost VLM-a i sustava upravljanja skladištem.[3] „Middleware“ aplikacija koristi se u slučaju kad se baza podataka glavnog sustava dinamički prati i osvježava novim stanjem u realnom vremenu. To je skup upravljačkih naredbi (eng. *drivera*) koje su ubačene u upravljanje glavnog sustava tako da on ima mogućnost micati i pozicionirati vertikalne podizne module. Ovisno o proizvođaču, načini izdavanja „middleware“-ova mogu biti različiti, od jednostavnog objavljivanja koda, preko osiguravanja upravljačkih naredbi do pružanja gotovog „middleware“ programa.

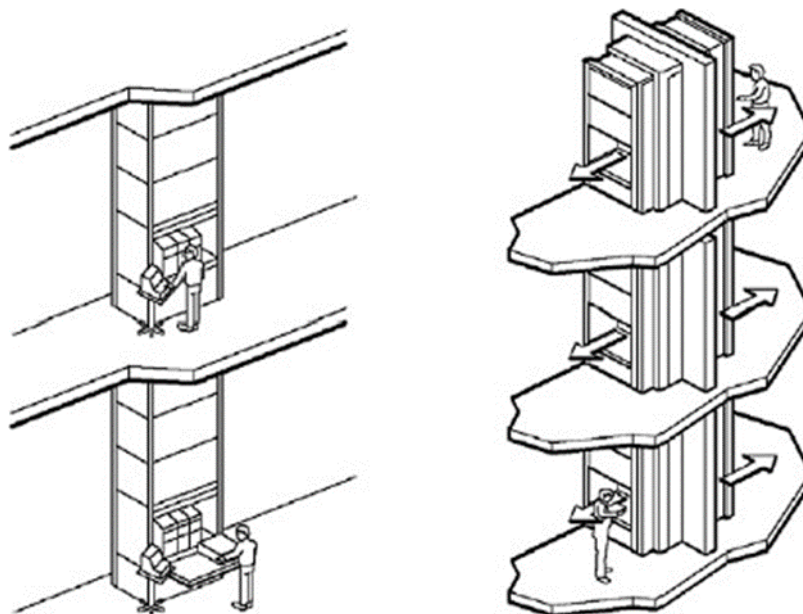
### 3.3. Konfiguracije VLM-a

Vertikalni podizni moduli raspoloživi su kao neovisni moduli s jednim ekstraktorom po modulu ili kao konfiguracije s više ulaza kao što je prikazano na slici 4.



Slika 4. Različite konfiguracije VLM-a [3]

Objekti koji nemaju naročito visok strop mogu iskoristiti sposobnost VLM-a da povezuje katove. Pa tako onda možemo u primjeni naći VLM-ove s više otvora, kao što prikazuje slika 5. Takva konfiguracija daje mogućnost povezivanja različitih odjela ili radnih zona, odnosno VLM sustav predstavlja skladišnu jedinicu koja opslužuje više odjela unutar jednog objekta.



Slika 5. Izvedba VLM-a s više otvora [3]

Uz izvedbe s prozorom za izuzimanje koji ima samo jedno mjesto (policu) za dostavljanje proizvoda (eng. *single-tray VLM*), postoje i izvedbe s dva mjesta, kao što je prikazano na slici 6.



Slika 6. Izvedba „dual-tray VLM“ sustava [2]

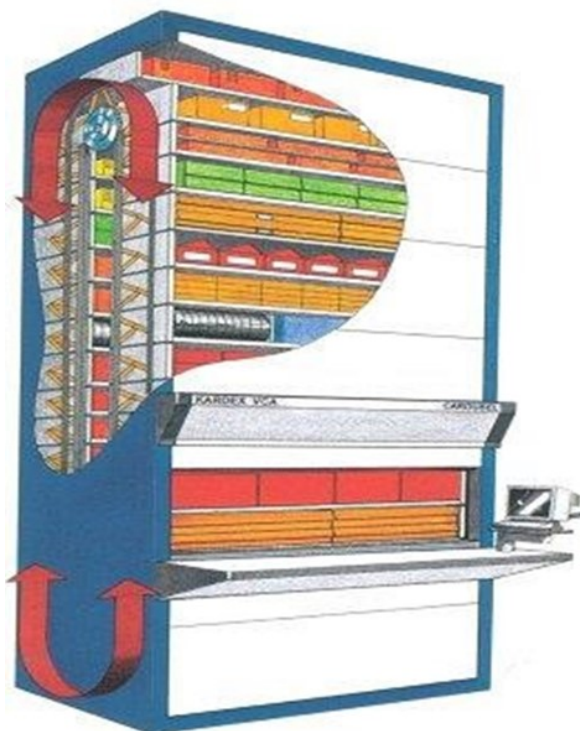
To su tzv. eng. *dual-tray VLM* ili *dual delivery configuration VLM*, ili *VLM with „double access handling“ option*. [2] Dok se jedna polica dostavlja na prvo mjesto na otvoru za izuzimanje te se roletna vrata zatvaraju radi sigurnosti, ekstraktor odlazi po iduću policu time značajno smanjujući vrijeme čekanja. Takvi sustavi također ostvaruju veće protoke jer ekstraktor obavlja ciklus dovođenja sljedećeg spremnika dok komisioner izuzima robu iz prethodno dostavljenog spremnika.

### 3.4. Usporedba s drugim tehnologijama koje spadaju u istu klasu

Kako je već spomenuto, vertikalni podizni moduli svrstavaju se u sustave komisioniranja „roba čovjeku“, odnosno „na kraju prolaza“, što ih svrstava u klasu sličnosti s vertikalnim karuselima i automatiziranim skladištima za male dijelove. U daljnjem tekstu detaljnije će se obraditi njihove sličnosti i razlike.

#### 3.4.1. Vertikalni okretni regal i VLM

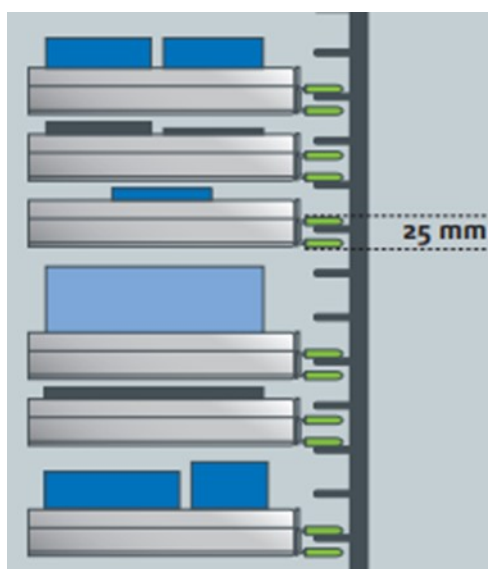
Vertikalni okretni regali ili vertikalni karuseli (eng. *vertical carousel*) sastoje se od fiksnog broja polica koje u zatvorenoj petlji rotiraju u vertikalnoj ravnini kao što je prikazano na slici 7. Police su ravnomjerno raspoređene unutar sustava i pozicija im je fiksirana. Visine polica mogu se podesiti, ali ne automatski. Podešavanje je zamoran zadatak koji iziskuje vrijeme i smanjuje produktivnost. Stoga su vertikalni karuseli bolji izbor za skladištenje proizvoda sličnih visina čije se dimenzije ne mijenjaju često.



Slika 7. Vertikalni okretni regal [2]

Iako su okretni regali povezani s grupnim komisioniranjem velikog protoka, VLM sustavi ih u toj primjeni nadmašuju. Prilagođavanjem brzine, korištenjem metoda odlaganja i pregrada na policama vertikalni podizni moduli daju veliki protok uz povećanu gustoću skladištenja.

Opremljeni sa senzorom visine koji mjeri visinu svakog proizvoda na svim uskladištenim spremnicima, vertikalni podizni moduli su sofisticiraniji od vertikalnih karusela. Integrirani softver na VLM-u uzima u obzir izmjerenu visinu i daje ekstraktoru upute na koji način uskladištiti proizvod kako bi se maksimizirala gustoća skladištenja, kao što je prikazano na slici 8. VLM ima sposobnost pohranjivanja spremnika s robom uz samo 25 mm razmaka među spremnicima, što je pogodno za skladištenje kako malih i laganih dijelova, tako i teških i velikih sirovina, poluproizvoda i gotovih proizvoda.

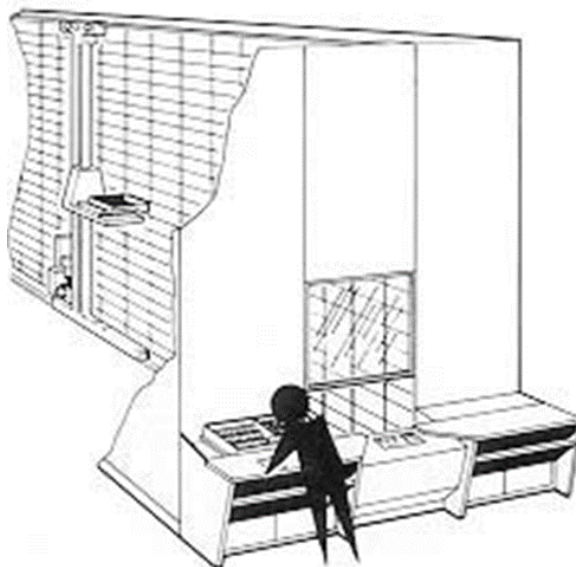


Slika 8. VLM-ovo skladištenje visoke gustoće [9]

### 3.4.2. Automatizirani skladišni sustav za male dijelove i VLM

Kako je već objašnjeno u potpoglavlju 2.1., automatizirani skladišni sustav za male dijelove služe za odlaganje i izuzimanje tereta koji su obično u malim spremnicima s ukupnom težinom između 50 i 250 kg. Na slici 9 prikazan je jedan segment mini-load AS/RS sustava, iz kojeg je vidljiva sličnost s vertikalnim podiznim modulima. Oba koriste dizalo za skladištenje, odnosno izuzimanje. Kod automatiziranih skladišnih sustava za male dijelove radi se o sustavu s dizalicom unutar prolaza koja se kreće između dva regala. Međutim, ta se dva sustava razlikuju po tome što se kod vertikalnog podiznog modula dizalo kreće samo u vertikalnom smjeru, osim kod VLM-a s dodatnom osi. Također postoji i dio gdje se obavlja manualni rad. Mini-load sustavi su zapravo sustavi komisioniranja, te se manje količine proizvoda ručno

izuzimanju iz dovezenih spremnika, a preostala količina u spremniku se vraća na skladišnu lokaciju u regalu. Osnovna izvedba pretpostavlja da čovjek komisionira robu na ulazno/izlaznom mjestu (eng. *input/output*), koje je u tom slučaju ujedno i mjesto komisioniranja (eng. *pick position*).

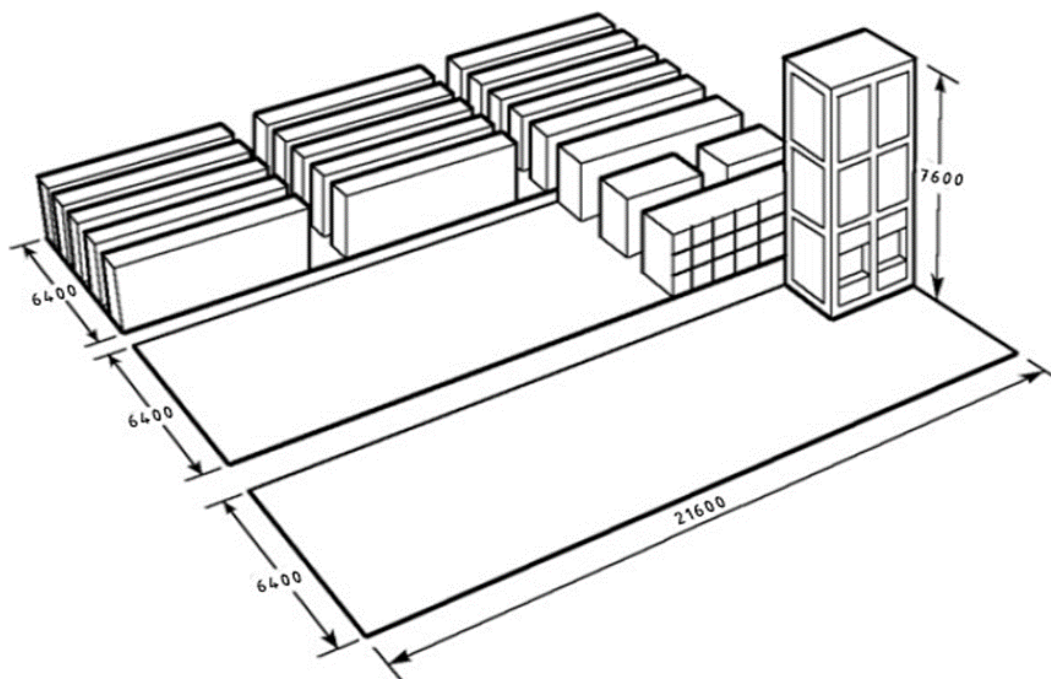


**Slika 9. Segment mini-load AS/RS sustava [2]**

Također valja zamijetiti kako kod vertikalnog podiznog modula postoji samo jedna stanica za izuzimanje, dok se kod automatiziranih skladišnih sustava za male dijelove radi o dvije komisione lokacije. Dakako ta razlika postoji samo kod usporedbe sa single tray VLM-om. Usporedbom s dual tray VLM-om uočljiva je sličnost u principu rada.

### **3.5. Prednosti VLM-a**

Postoje brojne prednosti VLM-a. Prvenstveno, njihova dobra iskoristivost prostora. Vertikalni podizni moduli dostupni su u različitim visinama i širinama kako bi se prilagodili raznovrsnim primjenama i maksimalno iskoristiti visinu dostupnog prostora što čini 80% uštede na prostoru od klasičnih načina skladištenja. [3] Modularni dizajn omogućuje prilagođavanje visine i otvora za izuzimanje dimenzijama prostora u koji se VLM implementira dajući time maksimalni skladišni kapacitet uz minimalno zauzimanje prostora. S obzirom da je većina objekata građena s visokim stropovima. VLM sustav nudi mogućnost popunjavanja i iskorištenja visinskog prostora sve do stropa, koji bi u suprotnom ostao neiskorišten. Tako se smanjuje potreba za zauzećem podne površine, kao što je prikazano na slici 10.



**Slika 10. Smanjenje potrebne podne površine primjenom jednog VLM-a [3]**

Kao što je već spomenuto u poglavlju 2, vertikalni podizni moduli konstruirani su na principu roba čovjeku, te time automatski isporučuju operateru uskladištene predmete eliminirajući nepotreban hod te potrebu za sagibanjem, čučanjem ili dosezanjem. Otvor za izuzimanje pozicioniran je na visini koja spada u zlatnu zonu ergonomije (eng. *golden zone of ergonomics*) što znači da je u optimalnom položaju i smanjuje mogućnost ozljeda zaposlenika pri radu. Radna polica prozora može biti unutar samog uređaja ili može biti izvučena radi lakšeg, ergonomski prihvatljivijeg izuzimanja, kao što je na slici 11.



**Slika 11. Izvedba VLM uređaja s izvučenom radnom policom [7]**



Poduzeća ostvaruju kratkoročne i dugoročne benefite u osiguranju ergonomske učinkovitosti jer se minimiziraju ozljede na radu, jednostavnija je obuka privremeno zaposlenih, poboljšana je moral i manji je protok zaposlenika, a time i troškovi po zaposlenom.

Sama primjena računala za upravljanje procesom odlaganja i izuzimanja dovodi do veće točnosti operacija, manjeg oštećivanja robe i opreme te smanjenja mogućnosti nesreća i ozljeda na radu (eliminacijom ljudi iz procesa), a s obzirom da je eliminiran nepotreban hod, kao i vrijeme traženja, produktivnost je povećana.

Opremljeni s tehnologijom svjetlom usmjerenog komisioniranja (eng. *light-directed picking* ili *pick-to-light*), prikazanog na slici 12, VLM sustavi mogu još više povećati produktivnost i točnost.



**Slika 12. Svjetlom usmjerenom komisioniranju na VLM-u [10]**

Kao što je prikazano na slici 13, svjetlosna identifikacija lokacije (proizvoda) na otvoru za izuzimanje usmjerava komisionera, dok se na upravljačkom računalu nalaze informacije o lokaciji i količini koja se treba izuzeti, a potvrda o obavljenom izuzimanju daje se pritiskom tipke. Dodatno, preko sofisticiranih upravljačkih sustava mogu se povezati s korisnikovim sustavom upravljanja skladištem-WMS.

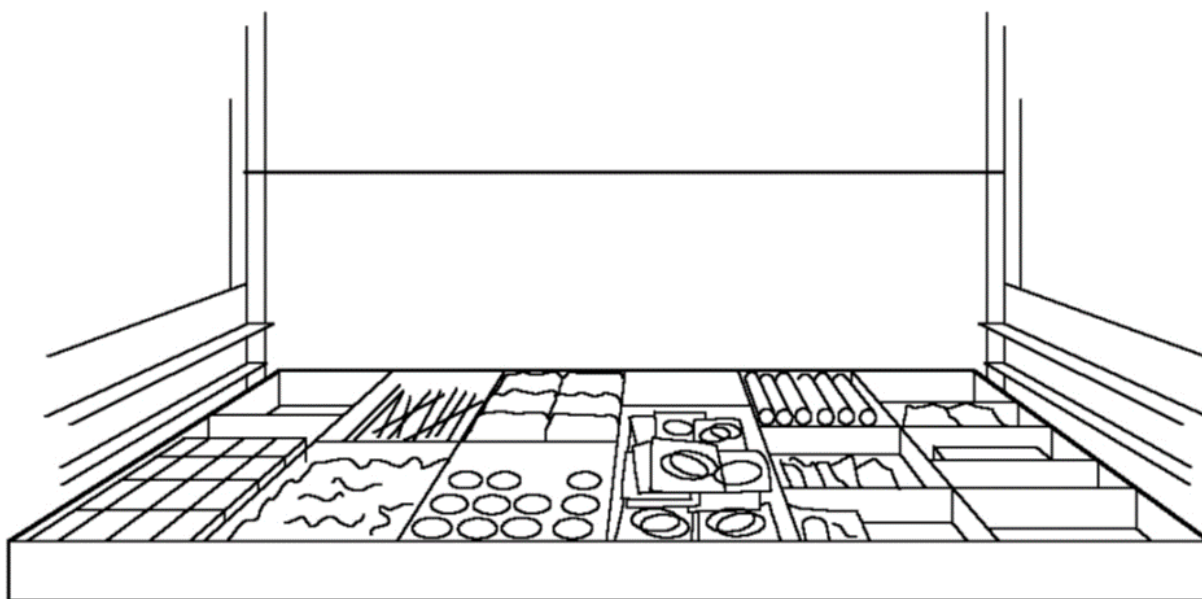


**Slika 13. Tehnologija svjetlosne identifikacije lokacije [11]**

Vertikalni podizni modul potpuno je zatvoren sa svih šest strana nudeći izuzetnu sigurnost i čisto skladištenje robe. Za maksimalnu zaštitu skladištene robe i operatera, svaki VLM opremljen je nizom sigurnosnih elemenata poput sigurnosnih vrata na otvoru za izuzimanje i sigurnosne svjetlosne zavjese koja se nalazi ispred radnog pulta te nadgleda cijelo područje rada i štiti operatera. Nakon što se sigurnosna vrata otvore, kako bi uskladišteni spremnik isporučio potreban proizvod ili ga vratio natrag, aktivira se sigurnosna svjetlosna zavjesa. Ako je sigurnosna barijera ispred pristupnog otvora prekinuta, svako kretanje uređaja odmah se zaustavlja zbog sigurnosti operatera. Sigurnost je poboljšana i mehaničkim i elektroničkim metodama, uključujući lozinke koji ograničavaju pristup određenim skladišnim lokacijama ili VLM-u u potpunosti te praćenjem svake djelatnosti rukovatelja putem softvera.

Danas, VLM-i su dizajnirani da budu fleksibilni. Svaka polica može se programirati tako da zadovolji potrebe kao što su manja brzina za osjetljive predmete, pozicioniranje polica s predmetima velikog protoka bliže otvoru za izuzimanje za brzo pretraživanje i ograničeni pristup pojedinim ladicama.

Police mogu biti prilagođene svim vrstama uskladištenih dijelova pomoću kutija i ladic te pregrada i razdjelnika unutar istih, kao što i prikazuje slika 14. Time se može dobiti točan broj skladišnih lokacija potreban na svakoj polici. Pregrade je moguće izmijeniti kako bi se prilagodilo promjenama u veličini ili količini pohranjenog inventara te se osigurava lakše i brže odlaganje i izuzimanje istog. Razdjelnici u policama pomažu u pojednostavljivanju poslovanja, štede prostor i omogućuju neposredan pregled i brz pristup pohranjenoj robi.



Slika 14. Spremnik s pregradama [3]

Modularni dizajn omogućava promjenu visine jedinice u skladu s promjenama u toku rada i količinom zaliha. Time se dodatno povećava gustoća skladištenja, odnosno iskoristivost prostora. Modularnost isto tako omogućuje integriranje raznovrsnih dizalica, hvataljka i manipulatora koji pružaju dodatno ergonomsno rukovanje materijalom.

Ekstraktor, koji automatski izuzima i odlaže robu, ima visoku razinu srednjeg vremena između kvara (eng. *mean time between failure*) što mu garantira veliku pouzdanost.

U automatizirani sustavima skladištenja kao što su vertikalni podizni moduli ljude zamjenjuju računala i automatizirani uređaji time smanjujući troškove ljudskog rada. Čest rezultat uvođenja VLM sustava je smanjenje broja radnika potrebnih za odlaganje i izuzimanje te njihova preorijentacija na druge poslove. VLM sustavi su kompaktniji i, za razliku od klasičnih izvedbi, jako dobro iskorištavaju visinu dostupnog prostora. Sve to dovodi do smanjenih operativni troškova grijanja, hlađenja i rasvjete skladišta, kao i do smanjenih investicijskih troškova zemljišta.

### 3.6. Nedostaci VLM-a

Automatizirani skladišni sustavi su relativno skupi u odnosu na najčešće primijenjene klasične izvedbe. Implementacija tipičnog vertikalnog podiznog modula za rukovanje materijalom traje 3-4 dana. Provode ju izučeni i certificirani tehničari koje angažira proizvođač VLM-a. Dodatni zahtjevi su određeni u samom početku kako bi se proces instalacije obavio što brže i bez ikakvih poteškoća i nepredviđenih zastoja. Korisnik mora sam pripremiti prostor za ugradnju uključujući i sve potrebne priključke (el. energija i sl.). Također treba pripremiti i opremu za podizanje. Dakako tu su i povećani troškovi održavanja VLM sustava. Ovisno o proizvođaču i uvjetima rada, održavanje se obavlja po unaprijed utvrđenom rasporedu. Planirani zastoji preventivnog održavanja traju nekoliko sati i izvode se dvaput godišnje. S obzirom na visoku razinu pouzdanosti neplanirani zastoji su svedeni na minimum. Međutim, treba napomenuti kako promjenjivi uvjeti rada i različiti zahtjevi to mogu narušiti.

Kod korištenja VLM sustava za komisioniranje robe treba se uzeti u obzir i potrebu za popunjavanjem inventara. Popunjavanje se može vršiti kada je aktivnost izuzimanja niska, primjerice rano ujutro ili periodički tijekom dana, ili u drugoj smjeni kada se ne obavlja komisioniranje. Operaterov princip rada kod popunjavanja sličan je onome kod izuzimanja, samo obrnut. Izradi se serija proizvoda koje treba zamijeniti. Na zaslonu svjetla označavaju artikle koje treba zamijeniti te policu i skladišnu lokaciju gdje ih treba smjestiti.

Danas popunjavanje ne predstavlja takav problem. Pogotovo uz primjenu WMS softvera i mogućnosti da sustav upravljanja VLM-om osigurava potrebnu količinu artikala na skladištu (pomoću analize prethodnih narudžbi). Automatsko javljanje signalne količine zaliha i potrebu za nadopunjavanjem pridonosi boljem upravljanju zalihama.

### 3.7. Primjena VLM-a

Inicijalno, VLM sustavi bili su konstruirani za pohranu lakših artikla kao što su elektroničke komponente, mali rezervni dijelovi koji se često mogu naći u odjelu održavanja te za pohranu dokumenta potrebnih za proizvodni ciklus. I danas imaju sličnu ulogu u proizvodnim i montažnim odjelima. VLM se često koristi kao skladište dijelova potrebnih nadohvat ruke za proizvodnju ili montažu. Ponekad se dodjeljuju i određenoj radnoj ćeliji za pohranu dijelova alatnih strojeva.

Primjene VLM-a su široke i raznovrsne koliko i industrije u kojima se koriste. VLM se može implementirati u bilo koju granu industrije. Od proizvodnje i skladištenja dijelova za montažu do pohrane parfema ili nekih drugih artikla za poduzeća s e-trgovinom. Čak i pojedine uprave na državnoj, regionalnoj i lokalnoj razini koriste ovakve uređaje za pohranu raznih dosjea (porezne uprave, banke, osiguravateljske kuće i dr.).

VLM sustavi u skladištima najčešće se primjenjuju kao sustavi za komisioniranje i pripremu narudžbi ili u sustavu logistike povrata za vraćenu robu. U proizvodnji su našli primjenu u pohrani dijelova potrebnih za montažu ili za skladištenje zaliha u nekom procesu proizvodnje (eng. work-in-process-WIP) gdje VLM privremeno prihvaća stvari dok se suše, hlade ili ih jednostavno pohranjuje dok ne zatrebaju u kasnijem postupku proizvodnje, distribucije ili otpreme.

Prikladni su i za specijalizirane uporabe kao što su rad u hladnjačama, hlađenim, vrućim i ostalim neugodnim okolišnim uvjetima. Također mogu biti opremljeni tako da ispunjavaju stroge standarde sterilnih uvjeta (eng. clean room) te su stoga pogodni za skladištenje lijekova i kemijskih supstanci. S obzirom da je vertikalni podizni modul potpuno zatvoren sa svih šest strana nudeći izuzetnu sigurnost koja je poboljšana i mehaničkim i elektroničkim metodama kao što su lozinke, idealan je za skladištenje nakita, vrijednih kovina te drugog vrijednog sadržaja.

Posebnu primjenu imaju radne stanice s više povezanih modula i jednim ekstraktorom s mogućnošću uzdužnog pomicanja unutar stanice. Takvi sustavi koje nudi Kardex Remstar, kao što je prikazano na slici 15, našli su primjenu kod skladištenja robe manjeg protoka sa svrhom većeg iskorištenja rada ekstraktora, u kojem jedan ekstraktor ima sposobnost opskrbiti

više otvora za izuzimanje. Naime, ekstraktor u sustavu ostavlja sadržaj jedne lokacije na jednom otvoru za izuzimanje, a za vrijeme izuzimanja dostavlja sljedeći artikl prema narudžbi. Samim uvođenjem uzdužnog pomicanja ekstraktora povećavaju se troškovi ugradnje dodatne osi (upravljanje, motor, pogonski sustav), no ti se troškovi opravdavaju povećanjem kapaciteta i do nekoliko puta.



**Slika 15. Radna stanica s više modula i jednim ekstraktorom s mogućnošću uzdužnog pomicanja [8]**

Unazad nekoliko godina sve više poduzeća na području Republike Hrvatske implementiralo je vertikalni podizni modul kao dio sustava skladištenja.

TEH-CUT, tvrtka koja proizvodi prototipne i serijske alate za tlačno lijevanje aluminija, u proizvodnom pogonu instalirala je Kardex Shuttle, kao što je prikazano na slici 16.



**Slika 16. Otvor za izuzimanje VLM-a s mjernim alatima TEH-CUT-a [2]**

Uređaj je približne visine 7500 mm koja je ograničena visinom hale. U modulu su uskladišteni vrijedni mjerni i rezni alati za potrebe proizvodnje. U ovom slučaju glavna primjena, na slici 16 prikazanog VLM-a, nije skladištenje robe visokog protoka, nego se primarni zahtjev odnosi na sigurnost tijekom skladištenja i u samom procesu rukovanja materijalom.

Podravka, prehrambena tvrtka sa sjedištem u Koprivnici, integrirala je automatizirani skladišni uređaj s dva otvora-po jedan na svakom katu. Kao što je prikazano na slici 17, VLM se nalazi između stepeništa koji spaja prizemlje i prvi kat, a primijenjen je za skladištenje koluta s naljepnicama za proizvode Podravke. Kapacitet VLM-a je oko 23m<sup>3</sup> ili oko 45t, dok je prosječno vrijeme dohvata približno 33 sekunde.

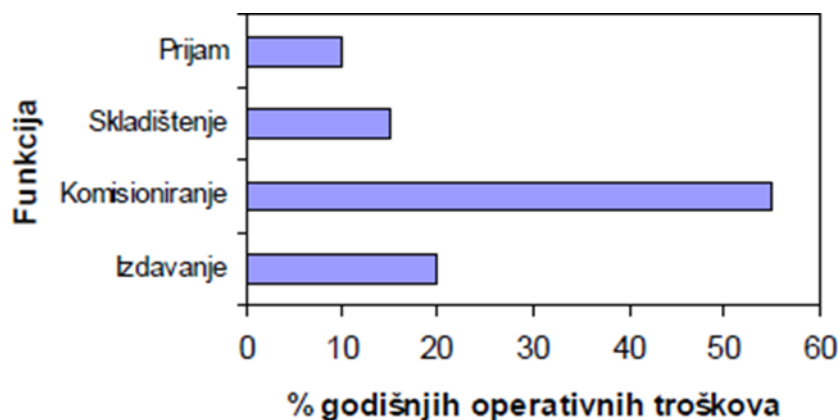


Slika 17. Instalirani VLM s dva otvora [2]

## 4. KOMISIONIRANJE

Komisioniranje je proces izuzimanja robe iz skladišnih lokacija na temelju zahtjeva korisnika [12] te je, uz prijem, uskladištenje i izdavanje robe, jedan od četiri osnovna skladišna potprocesa. Izuzimanje robe iz skladišnih lokacija može se događati u različito izvedenim sustavima i primjenom različitih metoda komisioniranja stoga je često potrebna konsolidacija, sortiranje i/ili pakiranje robe prije samog izdavanja. Iz tog razloga proces komisioniranja može se definirati i kao širi proces – proces pripreme materijala za izdavanje [13]

Proces komisioniranja je proces s najvećim udjelom u ukupnom vremenu svih aktivnosti u skladištu (i do 90%). [12] Kao što je prikazano na slici 18, proces komisioniranja čini oko 55% operativnih troškova u skladištu što je i za očekivati s obzirom da je to proces s najvećim udjelom ljudskog rada. Komisioniranje ima i direktan utjecaj na točnost i brzinu odgovara. Reklamacije zbog krivo dostavljene robe i njezine količine upravo su posljedica grešaka u komisioniranju.



Slika 18. Operativni troškovi skladišta [12]

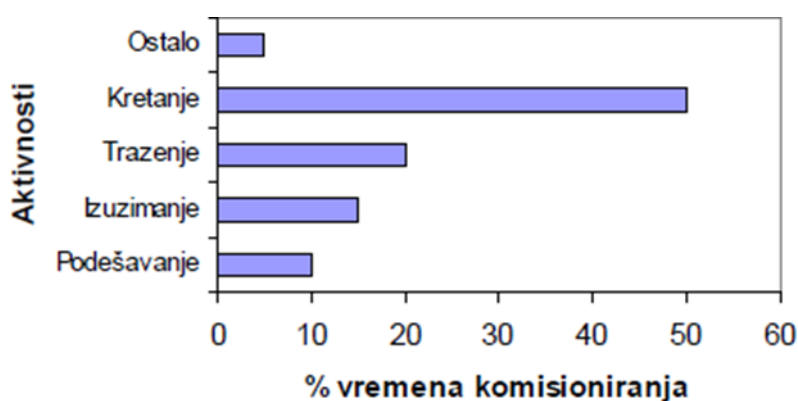
Jednoznačna definicija sustava za komisioniranje ne nalazi se tako često. Razlog tome je da je komisioniranje kao jedan od skladišnih potprocesa zastupljen u svakom skladišnom procesu, a da se pri tome ne osniva podsustav komisioniranja jer iste komponente, tj. sredstva obavljaju aktivnosti u različitim potprocesima. Stoga je, s ciljem sistematizacije, u većini radova opis sustava za komisioniranje temeljen na vrsti sredstva za skladištenje. Isto tako se sustavi komisioniranja mogu podijeliti prema kriteriju kretanja na dvije osnovne grupe: sustavi komisioniranja po principu „čovjek robi“ i sustavi komisioniranja po principu „roba čovjeku“.

U komisioniranju prema principu "čovjek robi" (eng. *picker-to-part*) komisioner se kreće, hodajući ili vozeći se na transportnom sredstvu, do lokacije(a) s koje treba izuzeti materijal. Kako se aktivnost izuzimanja najčešće obavlja u prolazima između regala, ova grupa

sustava vrlo se često naziva i sustavi komisioniranja "u prolazima" (eng. *in-the-aisle order-picking systems*).

U sustavima komisioniranja prema principu "roba-čovjeku" (eng. *part-to picker*) materijal koji treba izuzeti kreće se do komisionera. Mjesto izuzimanja nalazi se na kraju prolaza, pa se ovi sustavi još nazivaju i sustavi komisioniranja "na kraju prolaza" (eng. *end-of-aisle order-picking systems*).

Slika 19 prikazuje da najviše vremena pri komisioniranju robe iziskuje kretanje komisionera i traženje robe. To dovodi do zaključka da sustavi komisioniranja prema principu "roba-čovjeku", odnosno sustavi gdje je potrebno manje kretanje komisionera poboljšavaju proces komisioniranja povećavajući produktivnost i ostvarujući uštedu vremena.



Slika 19. Raspodjela vremena u komisioniranju [12]

Općenito se kod oblikovanja sustava za komisioniranje naglasak stavlja na ciljeve koji su povezani s osnovnim značajkama procesa komisioniranja, a to su produktivnost, vrijeme ciklusa (brzina) i točnost.[14] Nadalje, oblikovanje sustava za komisioniranje mora biti u skladu s postavljenim ciljevima projektiranja i oblikovanja skladišta. Stoga povećanje efikasnosti komisioniranja primjenom nekog od sustava komisioniranja "roba-čovjeku" nije uvijek opravdano. Ponajviše ako se radi o znatnijim financijskim ulaganjima koja nemaju prihvatljivo vrijeme povrata investicije. Zato se ciljevi kao što su povećana efikasnost komisioniranja i smanjenje vremena komisioniranja mogu ostvariti primjenom različitih metoda komisioniranja i tehnologijama koje smanjuju vrijeme potrebno za izvršavanje pojedinih komponenti komisioniranja, a najčešće je to smanjenje potrebe za kretanjem komisionera.

#### 4.1. Metode odlaganja u automatiziranim skladišnim sustavima

Metode odlaganja (eng. *storage methods, storage assignments*) je naziv za metode dodjeljivanja mjesta skladištenja pojedinim skladišnim jedinicama s ciljem minimizacije



radnog ciklusa dizalice u automatiziranim skladišnim sustavima za komisioniranje. Postoje tri vrste metoda odlaganja, a to su nasumično odlaganje, dodijeljeno odlaganje i odlaganje po zonama. [2]

Metoda nasumičnog odlaganja (eng. random storage) je metoda po kojoj svaka skladišna jedinica, odnosno svaki artikl (eng. stock keeping unit, SKU) može biti odložen na bilo koju slobodnu lokaciju. Obično se koristi pravilo „potpuno slučajno odabrana lokacija“ (eng. pure randomized storage), ili pravilo „prva slobodna lokacija“ (eng. closest open location). U slučaju potonje, uz uvjet veće popunjenosti skladišta i FIFO (eng. First In First Out) principa, ista se ponaša kao i metoda potpuno slučajne lokacije. Karakteristike ove metode su da je vjerojatnost posjećivanja svake lokacije jednaka, neovisno o vrsti i popularnosti (obrtaju) pojedine robe.

Automatizirani skladišni sustavi najčešće skladište više različitih SKU-a koji se međusobno razlikuju po obrtaju. Popularne artikle koji se često traže, tzv. „brzi“ artikli (eng. fast movers) teži se skladištiti blizu ulaza/izlaza, dok se artikle koji se rijetko traže (eng. slow movers) skladišti dalje od ulaza/izlaza te se time utječe na smanjenje vremena radnog ciklusa dizalice. Na tom principu radi i metoda dodijeljenog odlaganja (eng. dedicated storage, slotting). Osim kriterija popularnosti za dodjeljivanja mjesta odlaganja pojedinim artiklima, način dodjeljivanja može ovisiti o vrsti robe, dobavljaču, korisnicima, masi i volumenu. Kada je kriterij protok, ova metoda naziva se dodijeljeno odlaganje prema protoku (eng. full turnover method).

Metoda odlaganja po zonama, ili metoda odlaganja po klasama (eng. class-based storage) kombinacija je prethodnih metoda. Osnovna prednost dodijeljene metode odlaganja prema protoku u odnosu na nasumično odlaganje je u mogućnosti minimizacije vremena radnih ciklusa. No istovremeno metoda odlaganja prema protoku može rezultirati i većim potrebnim kapacitetom jer se svakom artiklu mora osigurati skladišni prostor za maksimalnu količinu zaliha, a u slučajevima kada tog artikla nema u skladištu prazne lokacije ne mogu se koristiti za skladištenje drugih artikala. Također se s vremenom može promijeniti popularnost pojedinih artikala, te bi bilo potrebno raditi preinake. Zbog toga se odlaganjem po zonama proizvodi klasificiraju u grupe prema kriteriju te se svakoj klasi dodijeli zona unutar regala automatiziranog sustava onog kapaciteta koji odgovara maksimalnoj količini zaliha te grupe u vremenu. Artikli iz pojedine grupe (klase) se u dodijeljenoj zoni skladište na bilo koju slobodnu lokaciju (nasumično).

## 4.2. Sekvenciranje

Sekvenciranje (eng. sequencing) je metoda koja pokušava odrediti redoslijed obavljanja zahtjeva na način da se minimizira ukupno vrijeme. Ovo nije jednostavan problem za riješiti, pogotovo ako postoji više zahtjeva za odlaganjem i izuzimanjem te više slobodnih lokacija. Optimalne rute, odnosno one s minimalnim udaljenostima tj. vremenima vožnje rješavaju se kao problem putujućeg trgovca. Sam taj problem je složen za riješiti, a situacija s postojanjem više slobodnih lokacija još je složenija i praktički nerješiva optimalno. Iz tog razloga su dostupne različite heuristike za generiranje rješenja.[1] Najkraći put se može izračunati za jednostruki, dvostruki ili višestruki ciklus, ali ako više vozila mogu pristupiti istom prolazu u isto vrijeme može doći do blokiranja što naravno treba minimizirati.

## 4.3. Metode organizacije komisioniranja

Najčešća metoda organizacije komisioniranja je komisioniranje prema narudžbi ili diskretno komisioniranje (eng. single order picking ili discrete picking). Time svaka narudžba kupca predstavlja jedan nalog za komisioniranje. Tako se svakim ciklusom komisioniranja prikuplja sva roba kupca te je nakon završetka procesa komisioniranja narudžba gotova, a roba spremna za pakiranje i izdavanje. Metoda je pogodna za skladišne sustave s malim količinama srednjih i velikih narudžbi.

Grupiranje narudžbi (eng. batch picking) je metoda spajanja dviju ili više narudžbi kupca u jedan nalog za komisioniranje. Kod komisioniranja prema narudžbi, u slučaju da dvije narudžbe zatraže isti artikl, lokacija s tim artiklom trebala bi se posjetiti dvaput. Implementirajući grupno komisioniranje, u jednoj ruti, tj. ciklusu posjećuju se sve lokacije artikla iz naloga prikupljajući artikle iz više narudžbi. Time bi se lokacija s istim artiklom iz različitih narudžbi posjetila samo jednom izuzimajući ukupnu količinu artikla iz obje narudžbe. Samim time smanjuje se broj dovoženja spremnika i skraćuje rute dizalice po narudžbi što smanjuje ukupno vrijeme vožnje, a povećava protok, odnosno produktivnost. Međutim, ova primjena ove metode ovisi o veličini narudžbe i pogodna je za komisioniranje velike količine malih narudžbi. Također je potrebno sortiranje jer se u jednom ciklusu prikupljaju artikli iz više narudžbi.

Komisioniranje po zonama (eng. zoning ili zone picking) je metoda kod koje se područje komisioniranja podijeli u zone. U svakoj zoni jedan komisioner prikuplja artikle iz dijela narudžbe, odnosno one artikle koji se nalaze u njegovoj zoni. Postoje dva tipa komisioniranja po zonama. Sekvencijalno komisioniranje po zonama je način rada kada se artikli prikupljaju po zonama jednu po jednu, odnosno nakon što je dio narudžbe gotov u jednoj zoni predaje se

komisioneru u sljedećoj zoni za nastavak. Drugo ime za sekvencijalno komisioniranje po zonama je eng. „pick and pass“. Drugi način jest da se artikli po zonama prikupljaju istovremeno, dakle simultano komisioniranje po zonama (eng. simultaneous zone picking), te se nakon prikupljanja u svim zonama roba konsolidira (spaja) u jedinstvenu narudžbu za otpremu [15]. S obzirom da bolje poznavanje svog područja rada komisionera dovodi do smanjenja vremena traženja i grešaka, komisioniranje po zonama se koristi u velikim skladištima. Time se ujedno smanjuje i vrijeme kretanja. Također je pogodno za implementaciju gdje se želi izbjeći pojava više komisionera u određenom području kako bi se spriječio njihov međusobni negativan utjecaj (npr. kolizija između ruta).

#### **4.4. Komisioniranje u automatiziranim skladišnim sustavima**

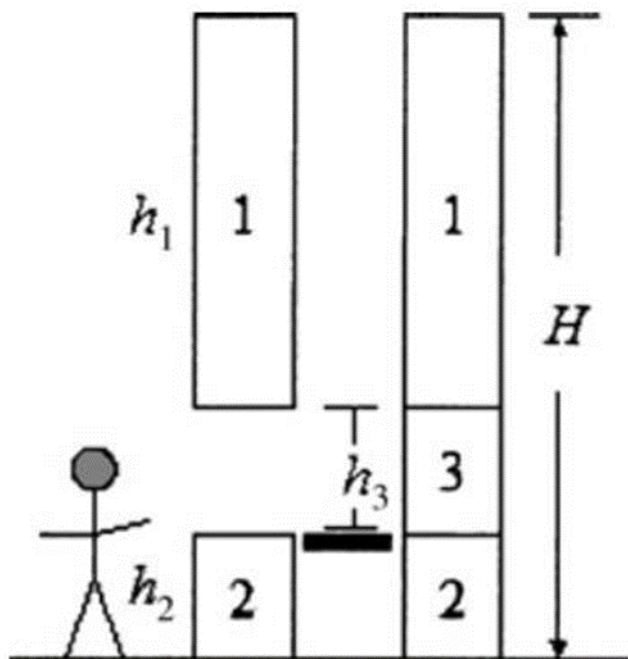
Kao što je navedeno u potpoglavlju 2.2., dinamički sustavi skladištenja, kao i automatizirana skladišta za male dijelove, spadaju u sustave komisioniranja "roba-čovjeku". Automatizirana vozila koja odlažu, odnosno izuzimaju robu mogu raditi u jednostrukim ili dvostrukim radnim ciklusom. Jednostruki radni ciklus (eng. single command cycle) podrazumijeva ili izuzimanje artikla s njegove lokacije i dopremanje na pretovarnu stanicu (eng. input/output station) ili uzimanje artikla s pretovarne stanice i odlaganje na skladišnu lokaciju. Dvostruki radni ciklus (eng. dual command cycle) sastoji se od uzimanja artikla s pretovarne stanice te odlaganja na skladišnu lokaciju i izuzimanja drugog artikla i njegovog odlaganja na pretovarnu stanicu.

Online trgovina i potreba za ispunjavanjem malih narudžbi iziskivala je nova rješenja za komisioniranje u pogledu efikasnog korištenja prostora i skraćenog vremena komisioniranja. Tu su svoju primjenu našli i vertikalni podizni moduli. Komisioniranje VLM sustavima eliminira kretanje i traženje robe. Štoviše, VLM sustavi svojom dobrom iskoristivosti prostora i maksimizacijom gustoće skladištenja smanjuju put koji ekstraktor treba proći da bi došao do robe, a samim time smanjuju i vrijeme čekanja. Vrijeme čekanja komisionera dok ekstraktor donosi novu policu s artiklima za komisioniranje može se eliminirati korištenjem dual tray VLM-a. Samim time može se i maksimizirati produktivnost. Točnost komisioniranja na VLM-u je povećana jer komisioner uvijek ima samo jednu policu iz koje mora izuzeti tražene artikle. Razvoj softvera je omogućio je vertikalnim podiznim modulima značajnu primjenu u procesima komisioniranja visokim protocima. U sustavima za izuzimanje po narudžbi, više VLM-a povezano je zajedno sa softverom za procesuiranje narudžbi, a moguća je i primjena dodatnih uređaja za bržu identifikaciju lokacija. Jedno računalo dovoljno je za upravljanje radnom stanicom VLM-a ili sustavom VLM-a s više lokacija za izuzimanje.

## 5. MODEL ODREĐIVANJA VREMENA KOMISIONIRANJA NA VLM-U

Model određivanja vremena komisioniranja  $n$  artikla na VLM-u uzima u obzir određivanje očekivanog vremena radnog ciklusa ekstraktora. U nastavku prikazan model protoka pretpostavlja da VLM radi stalno s dvostrukim ciklusima (osim prvog izuzimanja i zadnjeg uskladištenja). [16]

Zbog manjih dimenzija vertikalnog podiznog modula, u model protoka mora se uračunati postojanje otvora za izuzimanje. Kao što je prikazano na slici 20, svaki se vertikalni podizni modul dijeli na tri dijela. Može se vidjeti kako dio označen s brojem 3 s prednje strane vertikalnog podiznog modula služi kao otvor i taj se dio mora oduzeti od ukupnog mjesta za pohranu. Uobičajene visine  $h_2 = 914\text{mm}$  (36") i  $h_3 = 762\text{mm}$  (30"), pa će te dimenzije biti korištene kao pretpostavke u modelu protoka. [16] U konstrukcijskim rješenjima smanjena je visina  $h_2$  kako bi se omogućilo upravljanje uređajem. Svaki dio za pohranu u vertikalnom podiznom module pretpostavlja se kao kontinuirana površina s više uskladištenih spremnika, s time da je broj spremnika  $i$  u svakom dijelu proporcionalan s visinom  $h_i$ .



Slika 20. Poprečni presjek VLM-a [16]

### 5.1. Model protoka za samostalni VLM

Notacija modela protoka je sljedeća:

$H$  –visina VLM-a

$h_1, h_2, h_3$  – visine pojedinih sekcija VLM-a

$v$  – brzina ekstraktora

$t_{a/d}$  – dodatno vrijeme za ubrzanje ili usporavanje ekstraktora

$t_{p/d}$  – vrijeme odlaganja ili izuzimanja spremnika

$t_{0i}$  – očekivano vrijeme vožnje od/do prozora za komisioniranje do/od sekcije  $i$

$t_{ij}$  – očekivano vrijeme vožnje sekcije  $i$  do sekcije  $j$

$p_1, p_2, p_3$  – vjerojatnosti odlaganja spremnika u odgovarajućim sekcijama

$p_{ij}$  – vjerojatnost da se dvostrukim ciklusom odlaže spremnik u sekciji  $i$  te izuzima u sekciji  $j$

$E(SC)$  – očekivano vrijeme vožnje ekstraktora VLM-a u jednostrukom ciklusu

$E(DC)$  – očekivano vrijeme vožnje ekstraktora VLM-a u dvostrukom ciklusu

Uz pretpostavku metode nasumičnog odlaganja unutar VLM-a, očekivana vremena vožnje od/do prozora za komisioniranje do/od sekcija 1,2 i 3 su sljedeća:

$$t_{01} = (h_3 + h_1/2)/v \quad (1)$$

$$t_{02} = (h_2/2)/v \quad (2)$$

$$t_{03} = (h_3/2)/v \quad (3)$$

Očekivana vremena vožnje između lokacija u sekcijama uz pretpostavku o nasumičnom odlaganju slijede jednadžbe:

$$t_{11} = (h_1/3)/v \quad (4)$$

$$t_{12} = (h_1/2 + h_3 + h_2/2)/v \quad (5)$$

$$t_{13} = (h_1/2 + h_2/2)/v \quad (6)$$

$$t_{21} = t_{12} \quad (7)$$

$$t_{22} = (h_2/3)/v \quad (8)$$

$$t_{23} = (h_2/2 + h_3/2)/v \quad (9)$$

$$t_{31} = t_{13} \quad (10)$$

$$t_{32} = t_{23} \quad (11)$$

$$t_{33} = (h_3/3)/v \quad (12)$$

Kada se opisuju gibanja pod pretpostavkom nasumičnog rasporeda odlaganja vjerojatnost da će se u dvostrukom ciklusu spremnik skladištiti u sekciju  $i$ , a nakon toga izuzimati sa sekcije  $j$  jednaka je  $p_i p_j$ , pri čemu je:

$$p_1 = 2h_1/(2H - h_3) \quad (13)$$

$$p_2 = 2h_2/(2H - h_3) \quad (14)$$

$$p_3 = h_3/(2H - h_3) \quad (15)$$

Sada se može odrediti očekivano vrijeme vožnje ekstraktora u jednostrukom i dvostrukom ciklusu :

$$E(SC) = \sum_{i=1}^3 2 t_{0i} p_i \quad (16)$$

$$E(DC) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 (t_{0i} + t_{ij} + t_{0j}) \cdot p_i p_j \quad (17)$$

Konačno se određuju očekivana vremena jednostrukog i dvostrukog radnog ciklusa i to uvećana za vrijeme ubrzavanja i usporavanja te vrijeme odlaganja i izuzimanja spremnika, prema jednadžbama:

$$T[SC] = E[SC] + 2 \cdot t_{a/d} + 2 \cdot t_{p/d} \quad (18)$$

$$T[DC] = E[DC] + 3 \cdot t_{a/d} + 4 \cdot t_{p/d} \quad (19)$$

## 5.2. Model protoka za samostalni VLM s komisionerom

U ovom modelu protoka pretpostavlja se da se samostalni vertikalni podizni modul koristi kao sustav za komisioniranje po principu "roba-čovjeku" te se sastoji od dvije komponente-komisionera i VLM-a. Uzima se pretpostavka kako je jedan komisioner dodijeljen jednom VLM-u. Kako bi se modelirao ovakav sustav pretpostavlja se da VLM ima točno određeni broj spremnika, odnosno lokacija  $m$  iz kojih treba izuzeti artikle u određenoj narudžbi, a koji ovisi o vrijednostima  $H$  i  $h_3$ , kao i o  $h$ . Također se pretpostavlja da svako vrijeme između zaustavljanja i ponovnog pokretanja, kako bi se omogućilo komisioneru da izuzme stavke, traje određeno vrijeme  $t$  te da svaki artikl zahtjeva određeno vrijeme  $p$  da bi ga se izuzelo iz spremnika.

Za model vremena komisioniranja na VLM-u s komisionerom notacija je sljedeća:

$E^V [T(n, m)]$ -vrijeme komisioniranja  $n$  proizvoda (stavki) iz VLM uređaja s  $m$  spremnika,

gdje je

$$m = (H / h) + [(H - h_3) / h] - \text{broj spremnika u VLM-u}$$

$h$  – visina lokacije jednog spremnika

$E^V [R(n, m)]$ - očekivano vrijeme dovoženja spremnika

$E^V [P(n, m)]$  - očekivano vrijeme izuzimanja robe iz doveženih spremnika

$E [S(n, m)]$ - očekivani broj zaustavljanja (doveženih spremnika)

$p$  - vrijeme izuzimanja jednog proizvoda (jedne stavke), pretpostavljeno determinističko vrijeme

Ukupno vrijeme potrebno da se obavi komisioniranje  $n$  proizvoda iz VLM uređaja s ukupno  $m$  spremnika sastoji se od dvije gore navedene komponente

$$E^V [T(n, m)] = E^V [R(n, m)] + E^V [P(n, m)] \quad (20)$$

Vrijeme potrebno da se dovezu spremnici za  $n$  proizvoda u VLM uređaju s ukupno  $m$  spremnika određeno je očekivanim brojem spremnika koje treba dovesti. Kao što je već navedeno na početku poglavlja, VLM radi stalno s dvostrukim ciklusima. Uz izuzetak prvog izuzimanja i zadnjeg uskladištenja. Proračun se vrši na sljedeći način:

$$E^V [R(n, m)] = T[SC] + (E [S(n, m)] - 1) \cdot T[DC] + T[SC] \quad (21)$$

Vrijeme  $T[SC]$  u jednadžbi (21) nije uvijek relevantno za određivanje protoka jer tu radnju VLM može izvršiti samostalno dok komisioner priprema iduću narudžbu.

Očekivani broj zaustavljanja  $E [S(n, m)]$ , odnosno očekivani broj spremnika u kojem je barem jedan proizvod koji se treba izuzeti računa se prema sljedećem izrazu:

$$E[S(n, m)] = \sum_{k=0}^{m-1} (m - k) \cdot p_k(m, n) \quad (22)$$

pri čemu je

$p_k(m, n)$  vjerojatnost da se VLM neće zaustaviti na  $k$  od ukupnih  $m$  spremnika pri traženju  $n$  stavki

$$P_k(m, n) = \binom{m}{n} \sum_{j=0}^{m-k} (-1)^j \binom{m-k}{j} \left(1 - \frac{j+k}{m}\right)^n \quad (23)$$

Naime, prema jednadžbi (23) uzima se u obzir da na jednoj lokaciji  $m_i$  može biti uskladišteno više različitih artikala iz narudžbe. Dok jednadžba (22) pretpostavlja da sljedeće izuzimanje iz spremnika može isto tako biti iz trenutne lokacije, što znači da ekstraktor ne morati raditi ciklus.

Druga komponenta jednadžbe (20), očekivano vrijeme izuzimanja  $n$  proizvoda, računa se prema jednadžbi:

$$E^V[P(n, m)] = np \quad (24)$$

Jednadžba (24) pretpostavlja da je vrijeme izuzimanja neovisno o samoj konfiguraciji VLM-a i ovisi samo o broju artikala  $n$  koje treba izuzeti.

Konačan izraz za komisioniranje  $n$  proizvoda iz VLM uređaja s ukupno  $m$  spremnika, uz sređivanje početnog izraza (20)

$$E^V[T(n, m)] = 2T[SC] + (E[S(n, m)] - 1) \cdot T[DC] + np \quad (25)$$



## 6. ANALIZA SKRAĆENJA VREMENA KOMISIONIRANJA PRIMJENOM GRUPIRANJA NARUDŽBI

U nastavku će biti proračunato vrijeme komisioniranja na VLM-u za slučaj komisioniranja prema narudžbi i za slučaj grupiranja narudžbi. Zatim će se napraviti analiza i usporedba ta dva slučaja.

Prije izračuna vrijednosti uvode se sljedeće pretpostavke koje vrijede za oba slučaja:

- proračun se vrši za jedan VLM s jednim komisionerom
- koristi se metoda nasumičnog odlaganja
- radi se s malim narudžbama (kako bi ih bilo moguće grupirati).

Ulazni podaci za proračun oblikovani su prema prosječnim vrijednostima za VLM prema [16] redom iznose:

$$H = 5000 \text{ mm}$$

$$h_2 = 800 \text{ mm}$$

$$h_3 = 1000 \text{ mm}$$

$$h_1 = H - h_2 - h_3 = 5000 - 800 - 1000 = 3200 \text{ mm}$$

$$v = 1 \text{ m/s}$$

$$h = 200 \text{ mm (prosječna visina spremnika)}$$

$$t_{d/a} = t_{d/a} = 2 \text{ s}$$

$$p = 10 \text{ s}$$

$$m = (H / h) + [(H - h_3) / h] = \left(\frac{5000}{200}\right) + \frac{5000 - 1000}{200} = 45 \text{ spremnika}$$

$$n = 15$$

### 6.1. Određivanje protoka za slučaj komisioniranja prema narudžbi

Vrijeme jednostrukog i dvostrukog ciklusa VLM-a prema jednadžbama iz poglavlja 5 prikazano je u tablici 1.

**Tablica 1. Vrijeme jednostrukog i dvostrukog ciklusa VLM-a**

$T[SC]$	11,95 s
$T[DC]$	19,66 s

S obzirom da je prema jednadžbi (22) izračun složen i zahtjeva neki od proračunskih alata kao što je Mathcad, očekivani broj spremnika je za potrebe ovog zadatka proračunat koristeći izraz za izračun približnog broja spremnika koji daje zanemarivu razliku u odnosu na jednadžbu (22).

$$E[S(n, m)] \approx m \left( 1 - \left( 1 - \frac{1}{m} \right)^n \right) \quad (26)$$

U tablici 2 prikazane su izračunate vrijednosti očekivanog broja spremnika, očekivanog vremena izuzimanja  $n$  proizvoda te ukupno vrijeme komisioniranja 15 proizvoda iz VLM uređaja s ukupno 45 spremnika.

**Tablica 2. Izračunate vrijednosti za jednu narudžbu**

$E[S(n, m)]$	12,88
$E^V[P(n, m)]$	45 s
$E^V[T(n, m)]$	302,46 s

## 6.2. Određivanje protoka za slučaj grupiranja narudžbi

Kako je objašnjeno u potpoglavlju 4.2., grupiranje narudžbi spaja dvije ili više narudžbi kupca u jedan nalog za komisioniranje. U nastavku će biti prikazani rezultati izračuna vremena komisioniranja za grupiranje dvije, tri i četiri narudžbe. S obzirom da se broj stavki  $n$  mijenja, odnosno povećava, promijenit će se i očekivano vrijeme izuzimanja  $n$  proizvoda, kao i očekivani broj spremnika  $E[S(n, m)]$ . Međutim, vrijeme jednostrukog i dvostrukog ciklusa VLM-a ostaje nepromijenjeno jer ovisi o dimenzijama VLM-a i brzini ekstraktora koje su iste kao i kod proračuna u potpoglavlju 6.1.

Za grupiranje dvije narudžbe rezultati su prikazani u tablici 3.

**Tablica 3. Izračunate vrijednosti za dvije narudžbe**

$E[S(n, m)]$	22,07
$E^V[P(n, m)]$	90 s
$E^V[T(n, m)]$	528,14 s

Prema formulama iz potpoglavlja 5.2. izračunati su podaci u tablici 4.

**Tablica 4. Izračunate vrijednosti za tri narudžbe**

$E[S(n, m)]$	28,63
$E^V[P(n, m)]$	135 s
$E^V[T(n, m)]$	702,11 s

Za grupiranje četiri narudžbe ponovno su korištene formule iz potpoglavlja 5.2., a rezultati su prikazani u tablici.

**Tablica 5. Izračunate vrijednosti za četiri narudžbe**

$E[S(n, m)]$	33,32
$E^V[P(n, m)]$	180 s
$E^V[T(n, m)]$	839,31 s

### 6.3. Usporedba podataka dobivenih proračunom

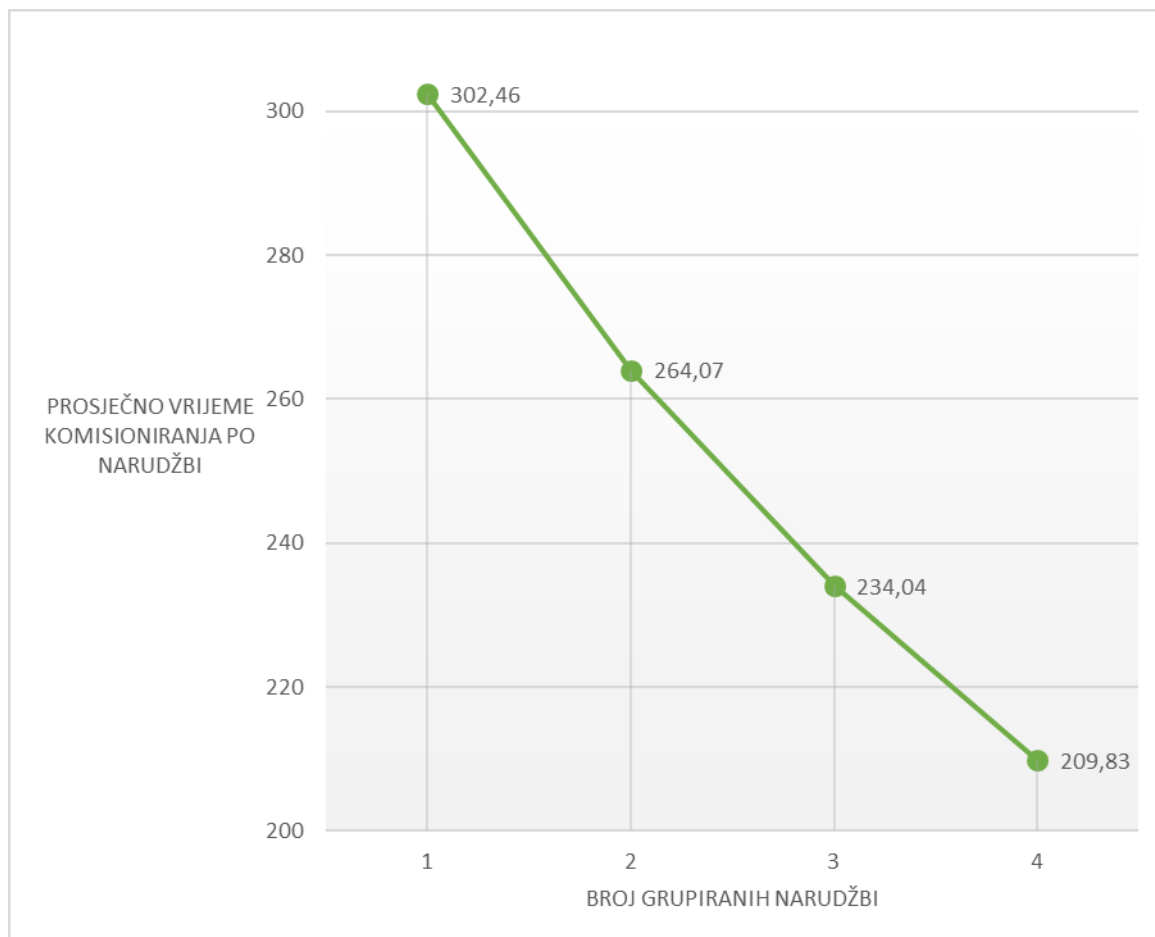
U prethodna dva potpoglavlja prikazani su rezultati izračuna vremena komisioniranja prema narudžbi, odnosno za grupno komisioniranje narudžbi. Tablica 6 prikazuje da se grupiranjem narudžbi povećava ukupno vrijeme komisioniranja što je i za očekivati jer se povećava broj stavki koje se izuzimaju.

**Tablica 6. Usporedba rezultata**

n	15	30	45	60
$E^V[T(n, m)]$	302,46 s	528,14 s	702,11 s	839,31 s
$\bar{t}_{\text{komisioniranja po narudžbi}}$	302,46 s/narudžba	264,07 s/narudžba	234,04 s/narudžba	209,83 s/narudžba
Postotak smanjenja vremena	-	13%	23%	31%
Produktivnost	11,9 narudžbi/h	13,63 narudžbi/h	15,38 narudžbi/h	17,16 narudžbi/h

Međutim, grupiranjem se dobije smanjenje prosječnog vremena komisioniranja po narudžbi kupca, kao što je prikazano dijagramom na slici 21. Dolazi do smanjenja od 13% za grupiranje dvije narudžbe, odnosno još i većeg smanjenje u slučaju većih grupa narudžbi. S

obzirom da se kod grupnog komisioniranja artikli moraju sortirati, bilo to u samom procesu prikupljanja ili nakon, mora se uzeti u obzir da će postotak uštede vremena biti nešto manji nego što je proračunato u tablici 6.

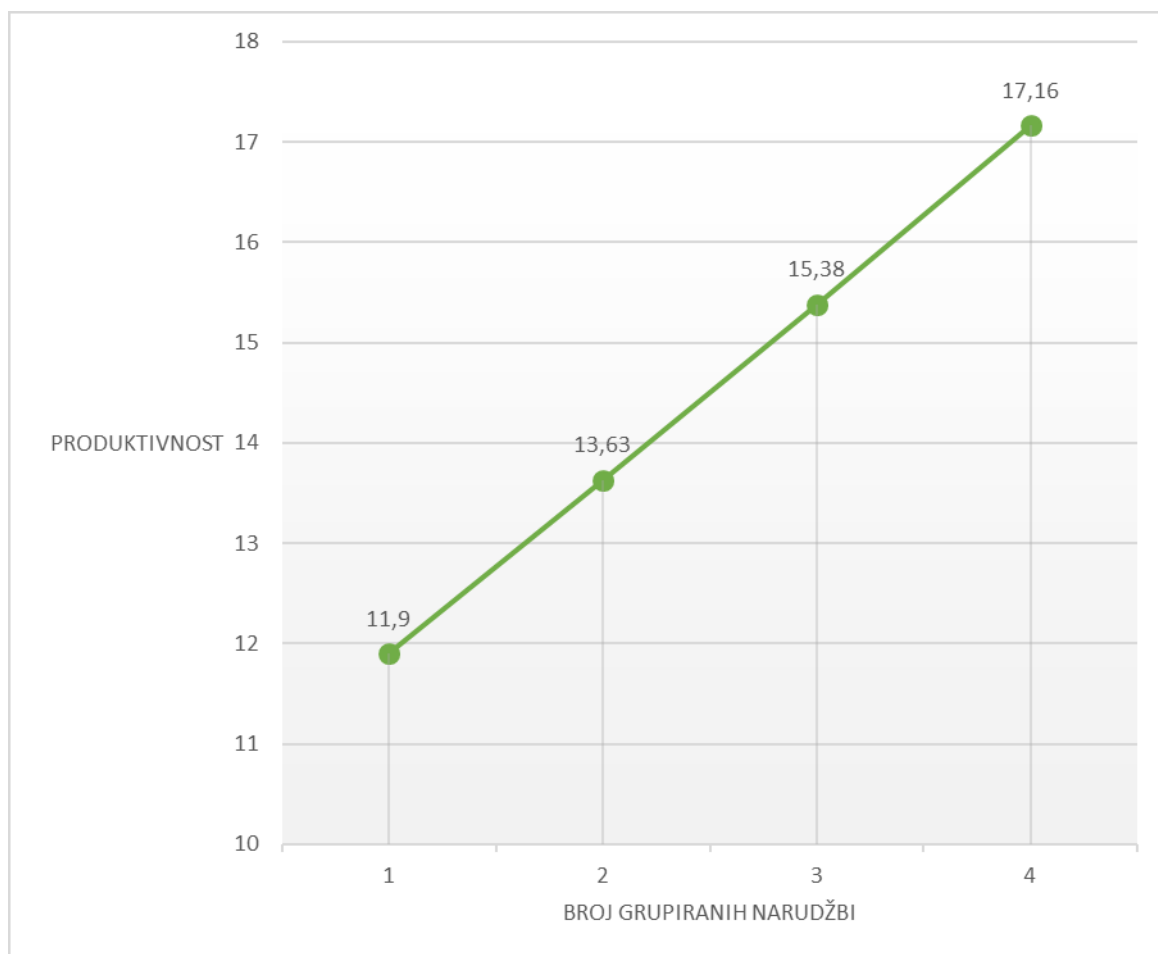


**Slika 21. Prosječno vrijeme komisioniranja po narudžbi**

Također je vidljivo da je broj spremnika  $m$  ovisan o visini samog VLM-a i visini lokacije koja je u ovom slučaju konstantna te se može zaključiti da u VLM-u manje visine postoji manji broj spremnika. Kako se broj artikala u grupi narudžbi povećava, veća je vjerojatnost da će se više proizvoda komisionirati iz jednog spremnika. Sukladno tome, VLM će raditi manji broj ciklusa sa skraćenom rutom ekstraktora, što će rezultirati manjim vremenom komisioniranja te povećanom produktivnošću koja je dobivena prema izrazu

$$q = \frac{3600}{\bar{t}_{\text{komisioniranja po narudžbi}}} \quad (27)$$

Točan iznos produktivnosti prikazan je u tablici 6, kao i na slici 22.



**Slika 22. Produktivnost iskazana u broju narudžbi po satu**

Nadalje, ako se umjesto metode nasumičnog odlaganja implementira odlaganje po zonama i sekvenciranje još će se dodatno minimizirati vrijeme komisioniranja, ali za točan proračun ne bi se mogao koristiti analitički model nego bi bilo potrebno provesti simulaciju. Smanjenje vremena komisioniranja isto tako je moguće korištenjem dual- tray VLM-a jer se korištenjem dva otvora za izuzimanje smanjuje, odnosno eliminira vrijeme čekanja.

---

## 7. ZAKLJUČAK

Suvremenoj industriji, koja se bazira na ekonomičnoj proizvodnji (eng. Lean Manufacturing), odnosno koja teži minimizaciji troškova uz zadovoljenje potreba kupca, nameće se skladištenje kao ključan faktor za ostvarivanje zadanih ciljeva. S obzirom na trendove komisioniranja sve manjih narudžbi te smanjivanja skladišnih zaliha u proizvodnji i distribuciji, da se zaključiti kako klasična skladišna rješenja nisu konkurentna računalom upravljanim skladišnim sustavima. Iz tog razloga, sve veći broj skladišta i industrijskih postrojenja okreću se automatiziranim rješenjima za poboljšanje svog poslovanja. Jedno takvo rješenje je i skladišni sustav vertikalnih podiznih modula. Konstruirani za skladištenje uz uštedu prostora uz dodatne pogodnosti poboljšane produktivnosti, točnosti, ergonomije i sigurnosti., nailaze na široku primjenu u području rukovanja materijalom. VLM sustavi mogu se implementirati u niskoprotočna, ergonomska i sigurna skladišta, zone komisioniranja u distributivnim centrima, kao i u proizvodne radne ćelije. Modularnost i fleksibilnost VLM sustava, kao i opremljenost sofisticiranim softverom koji je jednostavan za upotrebu neki su od glavnih razloga sve veće primjene vertikalnih podiznih modula kao dinamičkih sustava skladištenja. Uvijek iznova, pronalaze se nove primjene VLM sustava koji su kvalitetno i efikasno rješenje pri komisioniranju. Analiza, provedena pomoću modela protoka, je pokazala kako se korištenjem metode grupiranja narudžbi u komisioniranju s VLM sustavima postiže skraćanje vremena komisioniranja te povećanje produktivnosti što su i glavni ciljevi pri komisioniranju. Daljnje poboljšanje moguće je postići implementacijom drugih metoda, kao što je odlaganje po zonama i sekvenciranje.

---

**LITERATURA**

- [1] Roodbergen K.J., Vis F.A.I.: *A survey of literature on automated storage and retrieval systems*, European Journal of Operational research 194, 2009., 343-362
- [2] Đukić, G.: *Predavanja iz kolegija Posebna poglavlja tehničke logistike*, FSB, Zagreb, 2017.
- [3] Romaine E.: *Dynamic Storage Systems: Vertical Lift Modules*, The Essentials of Material Handling, Material Handling Institute, 2004.
- [4] Aknupar A., Ekren B.Y., Lerher T.: *Energy efficient design of autonomous vehicle based storage and retrieval system*, Journal of Applied Engineering Science, 2017
- [5] Marchet G., Melacini M., Perotti S., Tappia E.: *Development of a framework for the design of autonomous vehicle storage and retrieval systems*, International Journal of Production Research, 2013.
- [6] Vertical Buffer Module: <https://www.kardex-remstar.com/en/storage-retrieval-systems/vertical-buffer-module.html> (datum pristupa: 16.09.2019.)
- [7] Modula Lift: <https://www.modula.eu/products/automatic-vertical-storage-system-modula-lift.html> (datum pristupa: 07.08.2019.)
- [8] Kardex Remstar VLM: <https://www.kardexremstar.com/us/materials-handling-storage-solutions/vertical-lift-modules.html> (datum pristupa: 07.08.2019.)
- [9] Shuttle XP Vertical Lift Module Automated Storage & Retrieval System: [https://d3u1resh95s4rf.cloudfront.net/wp-content/uploads/KR\\_1108\\_ShuttleVLM\\_US\\_Jan12.pdf](https://d3u1resh95s4rf.cloudfront.net/wp-content/uploads/KR_1108_ShuttleVLM_US_Jan12.pdf) (datum pristupa: 10.08.2019.)
- [10] Svjetlom usmjereno komisioniranje na VLM-u: <http://www.mhi.org/solutions-community/solutions-guide/vertical-lift> (datum pristupa: 16.08.2019.)
- [11] Tehnologija svjetlosne identifikacije lokacije: <https://us.blog.kardex-remstar.com/vertical-lift-modules-vs-vertical-carousels> (datum pristupa: 16.08.2019.)
- [12] J.A. Tompkins et al.: *Facilities Planning – Second edition*, J. Wiley and Sons, New York, 1996.
- [13] Oluić, Č.: *Skladištenje u industriji: rukovanje materijalom*, FSB Zagreb, 1997.
- [14] Piasecki D.: *Order Picking: Methods and Equipment for Piece Pick, Case Pick, and Pallet Pick Operations* [http://www.inventoryops.com/order\\_picking.htm](http://www.inventoryops.com/order_picking.htm) (datum pristupa: 07.09.2019.)
- [15] Tompkins J.A., Smith J.D.: *Warehouse Management Handbook*, Tompkins Press, 1998.

- 
- [16] Meller R.D., Klote J.F.: *A throughput model for carousel/VLM*, IIE Transactions 36:8, 2004., 725-741



---

**PRILOZI**

I. CD-R disc