

# Skladiščno-komisionirni sistemi

Tone Lerher







Univerza v Mariboru

---

Fakulteta za strojništvo

# **Skladiščno-komisionirni sistemi**

Avtor

**Tone Lerher**

Oktober 2021

<b>Naslov</b> <i>Title</i>	<b>Skladiščno-komisionirni sistemi</b> <i>Warehouses and Order-Picking Systems</i>	
<b>Avtor</b> <i>Author</i>	Tone Lerher (Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo)	
<b>Recenzija</b> <i>Review</i>	Boris Jerman (Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo)	
	Goran Đukić (Univerza v Zagrebu, Fakulteta za strojništvo in ladjardstvo)	
<b>Jezikovni pregled</b> <i>Language editing</i>	Nataša Belšak	
<b>Tehnični urednik</b> <i>Technical editor</i>	Jan Perša (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba)	
<b>Oblikovanje ovitka</b> <i>Cover designer</i>	Jan Perša (Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba)	
<b>Grafike na ovitku</b> <i>Cover graphics</i>	Skladišče, avtor: Ben_Kerckx, Pixabay.com (CC0)	
<b>Grafične priloge</b> <i>Graphic material</i>	Avtor	
<b>Založnik</b> <i>Published by</i>	<b>Univerza v Mariboru</b> <b>Univerzitetna založba</b> Slomškova trg 15, 2000 Maribor, Slovenija <a href="https://press.um.si">https://press.um.si</a> , <a href="mailto:zalozba@um.si">zalozba@um.si</a>	
<b>Izdajatelj</b> <i>Issued by</i>	<b>Univerza v Mariboru</b> <b>Fakulteta za strojništvo</b> Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija <a href="https://www.fs.um.si">https://www.fs.um.si</a> , <a href="mailto:fs@um.si">fs@um.si</a>	
<b>Izdaja</b> <i>Edition</i>	Prva izdaja	<b>Izdano</b> <i>Published at</i> Maribor, oktober 2021
<b>Vrsta publikacije</b> <i>Publication type</i>	E-knjiga	<b>Dostopno na</b> <i>Available at</i> <a href="https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/612">https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/612</a>

<p>CIP - Kataložni zapis o publikaciji Univerzitetna knjižnica Maribor</p> <p>LERHER, Tone Skladiščno-komisionirni sistemi [Elektronski vir] / Tone Lerher. - 1. izd. - E-knjiga. - Maribor : Univerzitetna založba Univerze, 2021</p> <p>Način dostopa (URL): <a href="https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/612">https://press.um.si/index.php/ump/catalog/book/612</a> ISBN 978-961-286-519-1 (brezplačno) doi: 10.18690/978-961-286-519-1 COBISS.SI-ID 79878659</p>
--



© Univerza v Mariboru, Univerzitetna založba  
/ University of Maribor, University Press  
**Besedilo** / *Text* © Lerher, 2021

To delo je objavljeno pod licenco Creative Commons Priznanje avtorstva 4.0 Mednarodna. / *This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License.*

Uporabnikom je dovoljeno tako nekomercialno kot tudi komercialno reproduciranje, distribuiranje, dajanje v najem, javna priobčitev in predelava avtorskega dela, pod pogojem, da navedejo avtorja izvirnega dela.

Vsa gradiva tretjih oseb v tej knjigi so objavljena pod licenco Creative Commons, razen če to ni navedeno drugače. Če želite ponovno uporabiti gradivo tretjih oseb, ki ni zajeto v licenci Creative Commons, boste morali pridobiti dovoljenje neposredno od imetnika avtorskih pravic.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**ISBN** 978-961-286-519-1 (pdf)

**DOI** <https://doi.org/10.18690/978-961-286-519-1>

**Cena**  
*Price* Brezplačni izvod

**Odgovorna oseba založnika**  
*For publisher* prof. dr. Zdravko Kačič,  
rektor Univerze v Mariboru

**Citiranje**  
*Attribution* Lerher, T. (2021). *Skladiščno-komisionirni sistemi*. Maribor: Univerzitetna založba. doi: 10.18690/978-961-286-519-1

# Kazalo

Predgovor .....	1
<b>1 Uvod .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Skladiščni procesi.....</b>	<b>7</b>
2.1 Proces sprejema blaga .....	8
2.2 Proces uskladiščenja blaga.....	9
2.3 Proces komisioniranja blaga.....	10
2.4 Proces sortiranja in pakiranja blaga.....	11
2.5 Proces odpreme .....	12
2.6 Navzkrižno pretovarjanje .....	13
<b>3 Komisioniranje .....</b>	<b>15</b>
3.1 Definiranje procesa komisioniranja .....	15
3.2 Komisionirne metode .....	16
3.2.1 Metoda samostojnega komisioniranja .....	17
3.2.2 Metoda komisioniranja v skladiščni coni .....	18
3.2.3 Metoda sočasnega komisioniranja več delovnih nalogov skupaj.....	18
3.2.4 Združena metoda komisioniranja.....	19
3.2.5 Metoda »valnega« komisioniranja .....	20
3.3 Komisionirne strategije.....	20
3.3.1 S-strategija komisioniranja.....	21
3.3.2 Strategija srednje točke .....	21
3.3.3 Povratna strategija .....	22
3.3.4 Strategija največje vrzeli .....	23
3.4 Skladiščne tehnologije za komisioniranje paletiziranega blaga (TSE).....	24
3.4.1 Tehnologija talnega skladiščenja TSE.....	24
3.4.2 Tehnologija skladiščenja TSE v paletne skladiščne regale.....	25
3.4.3 Tehnologija skladiščenja TSE v pretočnih paletnih skladiščnih regalih .....	28
3.4.4 Tehnologija skladiščenja TSE v stebrih paletnih skladiščnih regalih.....	31
3.4.5 Tehnologija skladiščenja TSE v mobilnem paletnem regalnem skladišču .....	33
3.4.6 Tehnologija skladiščenja TSE v avtomatiziranem paletnem regalnem skladišču.....	34
3.5 Skladiščne tehnologije za komisioniranje kartonov na paleto.....	36
3.5.1 Samostojno komisioniranje kartonov na paleto.....	37
3.5.2 Komisioniranje več delovnih nalogov skupaj.....	37
3.5.3 Komisioniranje kartonov na transportni trak.....	38
3.5.4 Komisioniranje kartonov s palet in s sortiranjem.....	38
3.6 Skladiščne tehnologije za komisioniranje artiklov .....	39
3.6.1 Komisioniranje artiklov v policih regalih.....	39
3.6.2 Komisioniranje artiklov iz pretočnih regalov za kartone.....	40
3.6.3 Komisioniranje artiklov iz vertikalnih avtomatov .....	41
3.6.4 Komisioniranje artiklov iz vodoravnih avtomatskih karuselov .....	42

3.6.5	Komisioniranje artiklov iz avtomatiziranih regalnih skladiščnih sistemov .....	43
3.7	Tehnologije vodenja in usmerjanja komisionarja pri procesu komisioniranja.....	44
3.8	Razdelitev procesa komisioniranja po strokovnih priporočilih VDI.....	46
<b>4</b>	<b>Transportna sredstva pri procesu komisioniranja .....</b>	<b>61</b>
4.1	Komisionirni viličarji.....	63
4.2	Regalni viličarji .....	64
<b>5</b>	<b>Avtomatizirani regalni skladiščni sistemi.....</b>	<b>67</b>
5.1	Fizikalno-matematični modeli vožnje regalnega dvigala.....	68
5.1.1	Fizikalno-matematični model vožnje regalnega dvigala, kadar je hitrost ustaljena ( $v = \text{konst.}$ )... .....	68
5.1.2	Fizikalno-matematični model vožnje regalnega dvigala, kadar hitrost ni ustaljena ( $v \neq \text{konst.}$ )... .....	70
5.2	Enojni in dvojni delovni cikel regalnega dvigala.....	79
5.2.1	Enojni delovni cikel.....	79
5.2.2	Dvojni delovni cikel .....	81
5.2.3	Analitični modeli za določitev manipulacijskega časa delovnega cikla in pretočne zmogljivosti regalnega dvigala .....	82
	<b>Literatura .....</b>	<b>95</b>

## Pogosteje uporabljene oznake

$T$	– čas
$t_x$	– čas v vodoravni smeri
$t_y$	– čas v navpični smeri
$t_{p/S}$	– čas za nalaganje/odlaganje TSE
$t_p$	– čas pospeševanja/zaviranja regalnega dvigala
$t_{praz}$	– čas prazne vožnje regalnega dvigala
$t_{delov(\delta)}$	– čas (polne) delovne vožnje regalnega dvigala
$t(s)$	– čas v odvisnosti od poti
$L$	– dolžina skladišča
$g$	– gravitacijski pospešek
$f(t)$	– hitrostno-časovna odvisnost vožnje regalnega dvigala
$v$	– hitrost transportno-skladiščnega sredstva (regalnega dvigala)
$v_x$	– hitrost regalnega dvigala v vodoravni smeri
$v_y$	– hitrost dvižne mize regalnega dvigala v navpični smeri
$w$	– koeficient kotalnega trenja
$m$	– masa
$v_{max}$	– maksimalna hitrost transportno-skladiščnega sredstva (regalnega dvigala)
$t_l$	– manipulacijski čas vožnje regalnega dvigala
$t_{SC}$	– manipulacijski čas enojnega delovnega cikla
$t_{DC}$	– manipulacijski čas dvojnega delovnega cikla
$\delta$	– naklonski kot

$w$	– parameter oblike regalnega skladišča
$T_{shape}$	– parameter oblike skladišča
$b$	– parameter oblike skladišča
$a$	– pospešek/pojemek transportno-skladiščnega sredstva (regalnega dvigala)
$a_x$	– pospešek/pojemek regalnega dvigala v vodoravni smeri
$a_y$	– pospešek/pojemek dvižne mize regalnega dvigala v navpični smeri
$s$	– pot
$s(t)$	– pot v odvisnosti od časa
$F_{ij}(t)$	– porazdelitvena funkcija s hitrostno-časovno odvisnostjo ( $i$ ) v smeri ( $j$ )
$F_x(t)$	– porazdelitvena funkcija za vožnjo regalnega dvigala v vodoravni ( $x$ ) smeri
$F_y(t)$	– porazdelitvena funkcija za pomik dvižne mize regalnega dvigala v navpični ( $y$ ) smeri
$\lambda_{SC}$	– pretočna zmogljivost enojnega delovnega cikla
$\lambda_{DC}$	– pretočna zmogljivost dvojnega delovnega cikla
$\lambda(AT_r)$	– pretočna zmogljivost kombiniranega delovnega cikla v odvisnosti od manipulacijskega časa kombiniranega delovnega cikla $AT_r$
$E(SC)$	– pričakovana vrednost manipulacijskega časa enojnega delovnega cikla
$E(DC)$	– pričakovana vrednost manipulacijskega časa dvojnega delovnega cikla
$E(SA)$	– pričakovana vrednost manipulacijskega časa vožnje regalnega dvigala med dvema lokacijama
$E(t_i)$	– pričakovana vrednost manipulacijskega časa vožnje regalnega dvigala
$E(t_{SC})$	– pričakovana vrednost manipulacijskega časa enojnega delovnega cikla
$E(t_{DC})$	– pričakovana vrednost manipulacijskega časa dvojnega delovnega cikla
$E(t)_{ij}$	– pričakovana vrednost manipulacijskega časa vožnje regalnega dvigala med dvema lokacijama
$E_k(AP_1)$	– pričakovana vrednost časa vožnje regalnega dvigala za eno smer v skladiščnem regalu
$E_k(SC)$	– pričakovana vrednost manipulacijskega časa enojnega delovnega cikla glede na pogoj ( $k = 1 \dots 3$ )
$E_k(P_1P_2)$	– pričakovana vrednost časa vožnje regalnega dvigala med skladiščno in odpremno lokacijo v skladiščnem regalu
$E_k(DC)$	– pričakovana vrednost manipulacijskega časa dvojnega delovnega cikla glede na pogoj ( $k = 1 \dots 3$ )
$E(AT_r)$	– pričakovana vrednost manipulacijskega časa kombiniranega delovnega cikla v odvisnosti od razmerja ( $r$ ) enojnega (SC) in dvojnega (DC) delovnega cikla
$F$	– sila
$F_k$	– sila (odpor) kotalnega trenja



- $p_i$  – verjetnost naključno izbrane  $i$ -te lokacije v regalnem skladišču
- $p_{ij}$  – verjetnost naključne izbire  $i$ -te skladiščne in  $j$ -te odpreme lokacije
- $H$  – višina skladišča
- $\lambda$  – zmogljivost skladišča



## Predgovor

Učbenik Skladiščno-komisionirni sistemi je namenjen študentom in inženirjem študijskega programa strojništvo.

Vsebina učbenika Skladiščno-komisionirni sistemi je podana celovito. Za lažje razumevanje posameznih skladiščno-komisionirnih tehnologij je razlaga dopolnjena s slikovnim gradivom. Za razumevanje podane vsebine učbenika je potrebno osnovno znanje tehnologij transportno-skladiščnih sistemov ter znanje matematike, kinematike in dinamike na ravni univerzitetnega študijskega programa strojništvo.

V uvodnem poglavju so opisani pomen (intra)logistike, sodobni trendi v intralogistiki in pametni skladiščno-distribucijski centri prihodnosti. Sledi poglavje opredelitve temeljnih skladiščnih procesov z dodatnim procesom navzkrižnega pretovarjanja (ang. *Cross-docking*). Temu sledi osrednje poglavje o komisioniranju, ki podrobneje obravnava komisionirne metode in strategije ter skladiščne tehnologije za komisioniranje paletiziranega blaga, kartonov in artiklov. Prav tako so v obstoječem poglavju navedene tehnologije vodenja in usmerjanja komisionarja pri procesu komisioniranja ter razdelitev procesa komisioniranja glede na priporočila združenja nemških inženirjev VDI. V nadaljevanju so prikazana transportna sredstva pri procesu komisioniranja s poudarkom na komisionirnih in regalnih viličarjih. Zadnje poglavje v učbeniku obravnava avtomatizirane regalne skladiščne sisteme, ki se zaradi avtomatskega delovanja in visoke zalogovne velikosti ter pretočne zmogljivosti pogosto uporabljajo v praksi. Navedeni so fizikalno-matematični modeli vožnje regalnega dvigala pri različnih pogojih ter enojni in dvojni delovni cikel vožnje

regalnega dvigala. V zaključku navedenega poglavja so predstavljeni analitični modeli za določitev manipulacijskega časa delovnega cikla in pretočne zmogljivosti regalnega dvigala.

Na tem mestu bi se zahvalil vsem, ki so kakorkoli pripomogli pri nastanku tega učbenika, še posebej pa recenzentoma prof. dr. Goranu Đukiću s Fakultete za strojništvo in ladjedelništvo Univerze v Zagrebu in prof. dr. Borisu Jermanu s Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani.

Vsem uporabnikom gradiva želim, da bi ga s pridom uporabljali med študijem transportnih sistemov in logistike.

# 1 Uvod

Logistika je del oskrbovalne verige (ang. *supply Chain*) in dandanes predstavlja pomembno gospodarsko dejavnost. Eno izmed področij logistike zavzema intralogistika ali notranja logistika. Gre za vejo logistike, ki se ukvarja s transportom, skladiščenjem in komisioniranjem ter manipuliranjem z materiali znotraj proizvodnih in skladiščno-distribucijskih centrov. Intralogistika z uporabo sodobnih tehničnih sistemov in storitev zagotavlja optimalen tok materiala za oskrbo proizvodnih in skladiščno-distribucijskih centrov. Dodatno k materialnemu toku pa intralogistika preučuje še informacijski tok, ki omogoča sledljivost materiala, kar je še posebej pomembno v posameznih branžah industrije. Številne investicije v intralogistiki se navezujejo na področje skladiščenja in komisioniranja ter notranjega transporta.

Razvoj skladiščenja in komisioniranja v različnih industrijskih panogah temelji na razvoju novih sodobnih tehnologij, kot so: internet stvari (ang. *Internet Of Things, IoT*), digitalizacija procesov, robotizacija (industrijski in kolaborativni roboti), obogatena in virtualna resničnost, pametne palete in zaboji, umetna inteligenca (3D-strojni vid), avtomatsko vodena vozila (AGV), avtonomni mobilni roboti (AMR), koncept delovnega mesta s kolaborativnim robotom »Operator 4.0« in uporaba digitalnega dvojčka (ang. *Digital Twin*) kot virtualnega modela, ki simulira fizični proces, storitev ali sistem. Trend razvoja in integracija navedenih sodobnih tehnologij sta v praksi izrazita, saj se podjetja vse bolj zavedajo velikega potenciala navedenih tehnologij in posledično njihove konkurenčne prednosti na tržišču.

S pojavom e-trgovine se skladišča soočajo z obdelavo izrazito velikega števila sorazmerno majhnih naročil, kratkim pretočnim časom obdelave individualnih naročil, z zagotavljanjem velikega asortimenta artiklov, kratkimi dostavnimi roki in vpeljavo dodatnega procesa vračanja (ang. *Returns*) napačnih ali poškodovanih artiklov. Zaradi navedenega so se pojavile nove generacije skladišč, ki so specializirana za posebne potrebe spletnih prodajalcev v segmentu podjetje-stranka (ang. *Business-to-consumer; B2C*). Sodobna skladišča so organizirana tako, da so aktivneje vključena v dobavno oz. logistično verigo in da zagotavljajo izrazito hiter pretok blaga, za kar skrbijo visokoavtomatizirane in robotizirane tehnološke rešitve skladiščnih procesov.

Običajna skladišča imajo težave z izpolnjevanjem zahtev naraščajoče e-trgovine, pri čemer enega izmed najbolj delovno intenzivnih in zahtevnih procesov v skladiščih predstavlja proces komisioniranja, ki se v veliki meri še vedno izvaja ročno ali samo delno avtomatizirano. Komisionar je tako izpostavljen težkim pogojem dela, slabim ergonomskim rešitvam pri svojem delu, zahtevi po visoki natančnosti dela in delovnemu času v več izmenah. Zaradi navedenega sta avtomatizacija in robotizacija skladiščnih procesov ključna dejavnika skladišč prihodnosti; na tem področju obstajajo velike možnosti napredka in boljših pogojev dela, in sicer predvsem pri procesu komisioniranja. Osnovni namen avtomatizacije in robotizacije ni zmanjšanje števila zaposlenih v skladiščih. Z uporabo teh tehnologij želimo zaposlene razbremeniti težjih, ponavljajočih in ergonomsko neugodnih opravil.

V zadnjem desetletju se je avtomatizacija skladišč hitro razvijala. Velik napredek je bil dosežen z avtomatskimi (ang. *Shuttle-Based Storage and Retrieval Systems; SBS/RS*) in avtonomnimi vozički (ang. *Autonomous Vehicle-Based Storage and Retrieval Systems; AVS/RS*) za delo v avtomatiziranih regalnih skladiščnih sistemih. V primerjavi s klasičnimi avtomatiziranimi regalnimi skladiščnimi sistemi (ang. *Automated Storage and Retrieval Systems; AS/RS*), ki temeljijo na regalnem dvigalu, imajo SBS/RS in AVS/RS številne prednosti, kot so: visoka pretočna zmogljivost, visoka fleksibilnost in prilagodljivost, majhna poraba energije itn. Navedene prednosti so glavni vzroki za izbiro in uporabo SBS/RS in AVS/RS v praksi.

Logistika in posledično intralogistika se bo izrazito razvijala tudi v prihodnosti v okviru pametnih skladiščno-distribucijskih centrov, kjer je izrazit trend uporabe avtomatizacije in robotizacije ter umetne inteligence med drugim tudi pri zagotavljanju avtonomne mobilnosti (avtonomni roboti in droni).

Omenjena tehnologija (avtonomna vožnja) je povezana s prenosom velike količine podatkov, za kar je nujna uporaba 5G-tehnologije. Koncept Industrije 4.0 omogoča prehod iz mehaniziranih in delno avtomatiziranih skladišč v izrazito pametna skladišča. Glavne tehnologije, ki bodo transformirale obstoječa skladišča v pametna skladišča, so naslednje: umetna inteligenca, robotizacija, internet stvari, virtualna in obogatena resničnost, podatkovno rudarjenje in sistemska analitika ter spletna varnost (vir: Statista). Seveda pa je stanje doseganja stopnje pametnega skladišča odvisno od gospodarske razvitosti posameznega okolja ter izdatnega investiranja v inovacije, patente in razvoj novih tehnologij za doseganje inteligentnih skladišč prihodnosti.



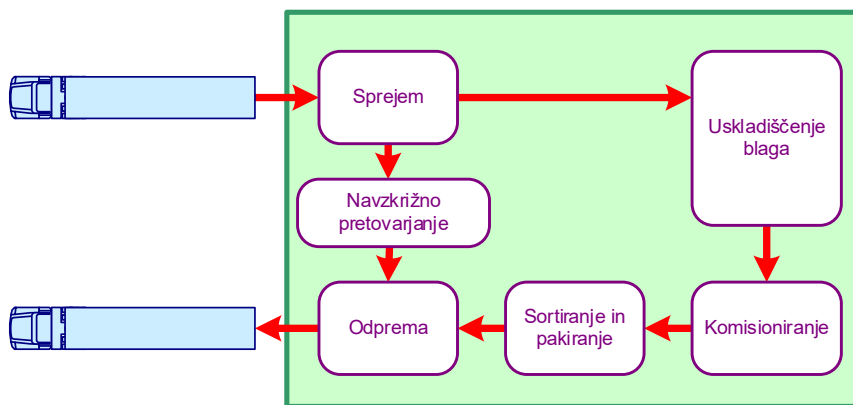


## 2 Skladiščni procesi

Blago (vhodni material, polproizvodi ali gotovi proizvodi), ki prihaja v skladišče z zunanjim ali notranjim transportom, prehaja skozi različne faze, ki jih imenujemo skladiščni procesi.

Tok blaga (proizvodov) skozi skladišče je ponazorjen z naslednjimi glavnimi procesi (slika 1):

- sprejem,
- uskladiščenje,
- komisioniranje,
- sortiranje in pakiranje,
- odprema in
- navzkrižno pretovarjanje.



Slika 1: Osnovni skladiščni procesi

Vir: lasten

Za izvajanje navedenih procesov potrebujemo transportno skladiščna sredstva, kot so palete, viličarji, RF-terminali, WMS ipd., ki zagotavljajo učinkovito izvajanje skladiščnih procesov in skladiščnega poslovanja.

## 2.1 Proces sprejema blaga

Proces sprejema blaga predstavlja izhodiščni proces pri katerem prihaja blago v skladišče z zunanjim (cestni ali železniški transport) ali z notranjim transportom (transportni viličarji, zvezni transporterji). Po navadi se v tej fazi hkrati izvede tudi vhodna kontrola, ali blago ustreza zahtevam skladišča glede količine in kakovosti. Po izvedeni kontroli sledi premik blaga v naslednji skladiščni proces.

Proces sprejema blaga se izvaja po naslednjem zaporedju:

- prihod tovornega vozila na lokacijo razkladanja blaga v skladišču,
- sprejem in pregled dokumentov,
- razkladanje tovornega vozila,
- grobi količinski in kakovostni prevzem blaga,
- zapisnik in fotografiranje v primeru poškodbe blaga,
- podpis in vračilo dokumentov vozniku tovornega vozila,
- priprava/sortiranje blaga za prevzem,
- posredovanje prevzemnih datotek na ročne RF-terminale,
- prevzem blaga v računalniškem (WMS) sistemu.
- Primer nakladalno/razkladalnih ploščadi skladiščnega objekta (slika 2).



Slika 2: Nakladalno/razkladalne skladiščne ploščadi

Vir: ©/Adobe Stock

## 2.2 Proces uskladiščenja blaga

Po prevzemu blaga sledi uskladiščenje blaga v zalogovni del skladišča, ki je po navadi predstavljen kot regalni skladiščni sistem (slika 3). Zalogovno skladišče je razdeljeno na dva osnovna dela. To sta (i) vhodni zalogovnik, v katerem je blago uskladiščeno na najcenejši možni način, in (ii) izhodni zalogovnik, pri katerem je blago hitro dostopno za potrebe komisioniranja in odpreme. Vhodni zalogovnik predstavlja v osnovni obliki regalno skladišče, medtem ko je izhodni zalogovnik del komisionirnega skladišča. Premik blaga iz vhodnega v izhodni zalogovnik imenujemo popolnjevanje (ang. *replenishment*).



Slika 3: Uskladiščenje paletiziranega blaga z regalnim viličarjem

Vir: ©/Adobe Stock

Proces uskladiščenja blaga se izvaja po naslednjem zaporedju:

- prevzem blaga v obliki transportno skladiščnih enot (TSE) s strani skladiščnika (viličarista),
- skeniranje črtne kode z RF-terminalom,
- iskanje prostega skladiščnega mesta v sistemu za upravljanje skladišča (ang. *Warehouse Management Systems*; WMS),
- transport TSE do (prostega) skladiščnega mesta,
- uskladiščenje TSE,
- skeniranje črtne kode skladiščne lokacije,
- vnos skladiščne lokacije v WMS,
- transport viličarista do prevzemnega mesta za izvedbo nadaljnjih skladiščnih operacij.

### 2.3 Proces komisioniranja blaga

Proces komisioniranja pomeni nabiranje posameznega blaga (TSE, kartonov, artiklov) glede na vsebino delovnega naloga (slika 4). Proces komisioniranja se lahko izvaja ročno, mehanizirano ali avtomatizirano.

Proces komisioniranja blaga se izvaja po naslednjem zaporedju:

- prejem delovnega naloga in pregled posameznih postavk delovnega naloga,
- priprava komisionirnega vozička ali komisionirnega viličarja,
- skeniranje števila naročila,
- premik komisionarja do izbrane skladiščne lokacije,
- kontrola skladiščne lokacije z RF-terminalom,
- manipulacija (nalaganje) blaga iz skladiščne lokacije v zabojček na vozičku (artikli) ali na paleto na viličarju (kartoni),
- skeniranje kartona/artikla in potrditev količine,
- transport zaključenega komisiona z ( $n$ ) kartoni/artikli do odpremnega mesta.

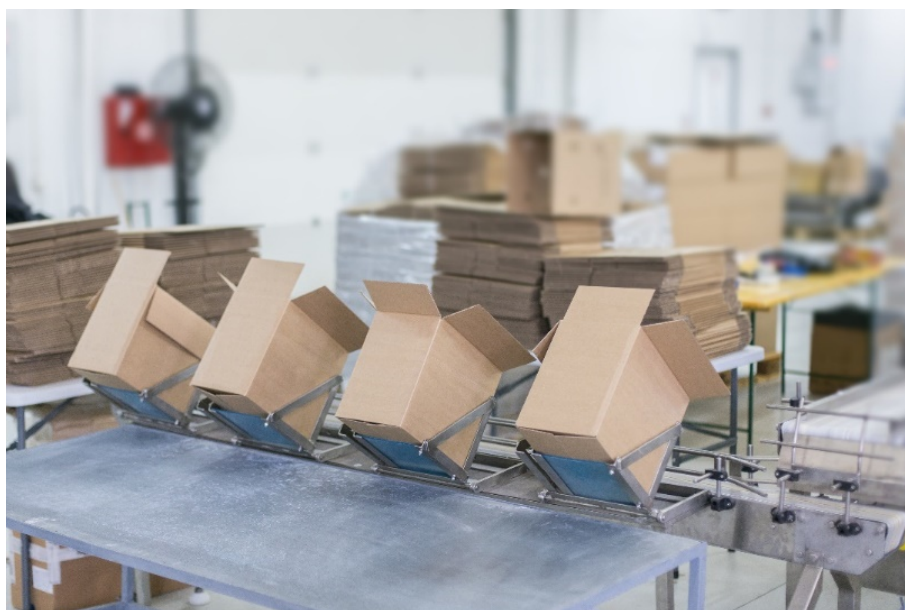


Slika 4: Proces komisioniranja kartonov z ročnim paletnim viličarjem

Vir: ©/Adobe Stock

## 2.4 Proces sortiranja in pakiranja blaga

Proces sortiranja in pakiranja blaga se navezuje na metodo komisioniranja več delovnih nalogov hkrati (ang. *batch picking*), pri čemer moramo kasneje kartone/artikle sortirati glede na podan delovni nalog. V primeru dimenzijsko manjših kartonom in artiklov se le-ti zapakirajo v večje embalažne enote za proces odpreme h končnemu odjemalcu (slika 5).



Slika 5: Delovno mesto v procesu sortiranja in pakiranja artiklov v skladišču

Vir: ©/Adobe Stock

## 2.5 Proces odpreme

Proces odpreme blaga se navezuje na pripravo transportno-skladiščnih enot v izhodnem zalogovniku za nakladanje na tovorno vozilo.

V primeru paletiziranega blaga se na vlečno tovorno vozilo naloži največ 33 TSE.

Proces odpreme blaga se izvaja po naslednjem zaporedju:

- ovijanje transportno-skladiščnih enot,
- popis dimenzij transportno skladiščnih enot,
- vračilo dobavnice v sprejemno pisarno,
- izdelava logistične nalepke,
- naklad transportno-skladiščnih enot na tovorno (vlečno) vozilo.



**Slika 6: Proces odpreme TSE s čelnim viličarjem**

Vir: ©/Adobe Stock

Naklad transportno skladiščnih enot na tovorno (vlečno) vozilo se še vedno v večini primerov izvaja z uporabo viličarjev (slika 6). V sodobnih skladiščih se naklad transportno skladiščnih enot izvaja z uporabo posebnih avtomatskih transportnih sistemov (slika 7).

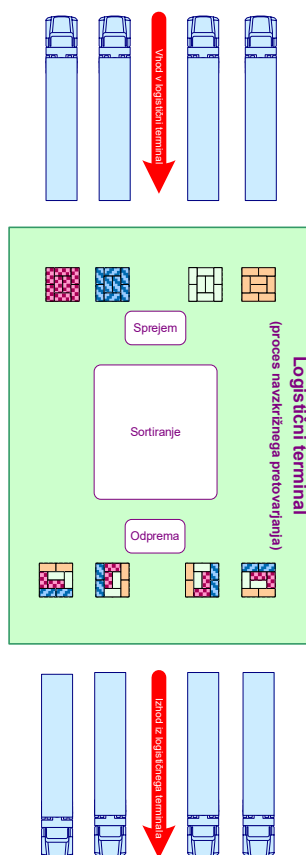


Slika 7: Proces avtomatskega nakladanja transportno skladiščnih enot

Vir: Ancra Systems B.V.

## 2.6 Navzkrižno pretovarjanje

Navzkrižno pretovarjanje je proces hitrega prerazporejanja blaga znotraj skladišča oziroma distribucijskega centra, od mesta sprejema blaga v distribucijski center do mesta odpreme blaga. Od procesa sprejema do procesa odpreme se blago ustrezno prerazporedi glede na zahteve odjemalcev, kot je prikazano na sliki 8.



Slika 8: Terminal navzkrižnega pretovarjanja

Vir: lasten



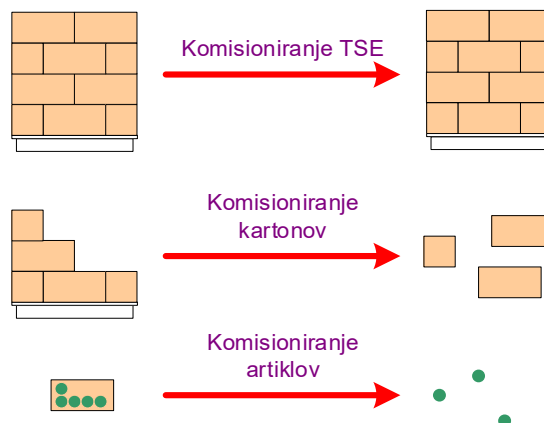


## 3 Komisioniranje

### 3.1 Definiranje procesa komisioniranje

Komisioniranje je proces nabiranja blaga (artiklov) iz skladišča glede na vsebino in obseg delovnega naloga. Proces komisioniranja velja kot delovno najbolj intenziven in stroškovno najdražji proces v skladišču in obsega kar 55 % vseh logističnih stroškov v skladišču. Proces komisioniranja se lahko izvaja ročno ali pa je v celoti avtomatiziran in robotiziran. V večini primerov je proces komisioniranja kombiniran s komisionarji, ki pri svojem delu uporabljajo transportno-skladiščna sredstva (komisionirne vozičke in viličarje) ter naprave, kot so RF-terminali in drugi sodobni sistemi (glasovno in vizualno usmerjeno komisioniranje ipd.). V zadnjem času se vedno več uporablja robotizacija procesa komisioniranja z uporabo avtomatskih vozičkov ter avtonomnih mobilnih robotov (ang. *autonomous mobile robots*, AMR), kar omogoča doseganje visoke pretočne zmogljivosti skladišča ter hkrati zahteva višji nivo znanja logističnih inženirjev, ki sodelujejo v sodobnih skladiščih kot upravljalci mobilnih robotov ter druge transportno-skladiščne tehnike.

Komisioniramo lahko zaključene transportno-skladiščne enote (TSE), kartone ali posamezne artikle (slika 9).



**Slika 9: Ravni procesa komisioniranja**

Vir: Kay, 2016: slika 6.24, str. 154 (predelava)

Glede na stroške procesa komisioniranja je najcenejši način komisioniranje zaključenih TSE, ki se z uporabo viličarjev ali valjčnih transporterjev ali kombinacije obeh tipov transportnega sistema odpremijo iz zalogovnega dela skladišča direktno na področje za odpremo blaga.

Naslednja raven komisioniranja je komisioniranje posameznih kartonov, kar se še vedno najpogosteje izvaja ročno in je izrazito delovno intenzivno. Najpogosteje komisionar z viličarjem nabira posamezne kartone in jih zlaga na paleto na vozičku.

Poleg komisioniranja zaključenih TSE in kartonov poznamo še komisioniranje posameznih artiklov, kar je najprimernejše za avtomatizacijo in robotizacijo procesa komisioniranja artiklov.

### 3.2 Komisionirne metode

V osnovi poznamo štiri komisionirne metode (slika 10) v odvisnosti od (*i*) števila komisionarjev glede na število naročil in (*ii*) števila naročil glede na število komisionarjev (Kay, 2016).

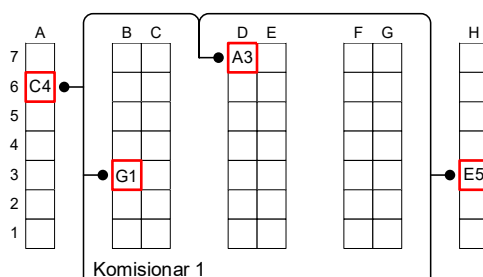


Slika 10: Razdelitev komisionirnih metod

Vir: lasten

### 3.2.1 Metoda samostojnega komisioniranja

Metodo samostojnega komisioniranja uporabimo v primeru sorazmerno majhnega števila izrazito obsežnih delovnih nalogov (naročil) v manjših skladiščih (slika 11). Ker po tej metodi komisioniranja posameznih naročil ne združujemo, lahko že v fazi procesa komisioniranja zapakiramo komisijo za odpremo do končnega odjemalca. V primerjavi z drugimi komisionirnimi metodami so komisionirne poti daljše. Prav tako lahko nastane blokada v primeru komisioniranja več komisionarjev v eni delovni izmeni.



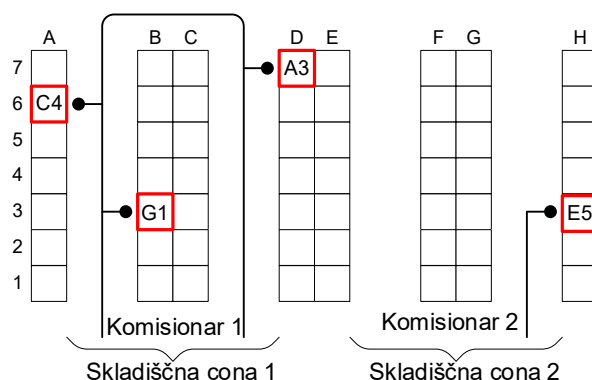
Komisionar	Naročilo	TSE	Št. artiklov	Lokacija
1	1	G	1	B3
		C	4	A6
		A	3	D7
		E	5	H3

Slika 11: Metoda samostojnega komisioniranja

Vir: Kay, 2016: slika 6.44, Pick-to-paper (predelava)

### 3.2.2 Metoda komisioniranja v skladiščni coni

Metodo komisioniranja v skladiščni coni uporabimo v primeru izrazito obsežnih delovnih nalogov (naročil) pri večjih skladiščno-distribucijskih centrih (slika 12). Delovni nalog (naročilo) razdelimo na dva ali več delov, ki jih komisionarji samostojno obdelajo. V primerjavi z metodo samostojnega komisioniranja so komisionirne poti krajše. Po zaključenem procesu komisioniranja je treba naročilo združiti in zapakirati. Pri tej metodi komisioniranja je treba ustrezno planirati obremenitev komisionarjev v vsaki posamezni skladiščni coni. Prav tako lahko nastane blokada v primeru komisioniranja več komisionarjev v posamezni skladiščni coni v eni delovni izmeni.



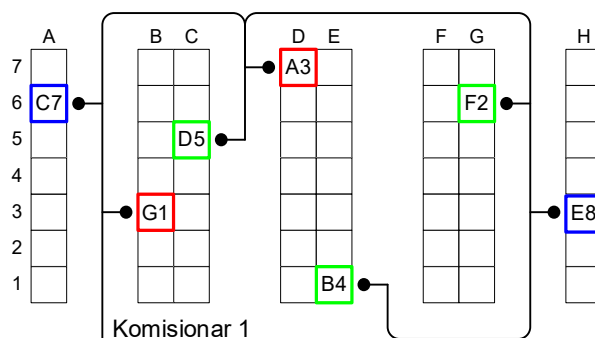
Komisionar	Naročilo	TSE	Št. artiklov	Lokacija
1	1	G	1	B3
		C	4	A6
		A	3	D7
2	1	E	5	H3

Slika 12: Metoda komisioniranja v skladiščni coni

Vir: Kay, 2016: slika 6.44, Pick-to-paper (predelava)

### 3.2.3 Metoda sočasnega komisioniranja več delovnih nalogov skupaj

Z metodo sočasnega komisioniranja več delovnih nalogov skupaj (ang. *batching*) povečamo učinkovitost procesa komisionarja (slika 13). V primeru velikih skladiščno-distribucijskih centrov je smiselno združevati posamezna naročila (delovne naloge) pri samostojnem obhodu komisionarja skozi skladišče. Pri tej metodi je treba poskrbeti za pravilno razvrščanje artiklov glede na posamezna naročila pri zaključku procesa komisioniranja. Prav tako lahko nastane blokada v primeru komisioniranja več komisionarjev v eni delovni izmeni.



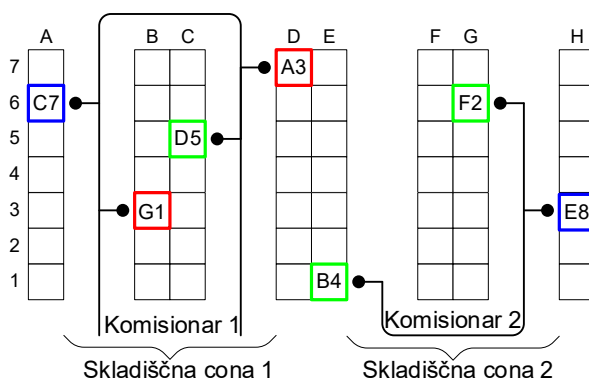
Komisionar	TSE	Št. artiklov	Lokacija	Naročilo
1	G	1	B3	1
	C	7	A6	1, 2
	A	3	D7	1
	D	5	C5	2
	F	2	G6	2
	E	8	H3	1, 2
	B	4	E1	2

Slika 13: Metoda sočasnega komisioniranja več delovnih nalogov skupaj

Vir: Kay, 2016

### 3.2.4 Združena metoda komisioniranja

Združena metoda komisioniranja omogoča doseganje maksimalne učinkovitost procesa komisioniranja zaradi združevanja posameznih naročil (delovnih nalogov) v posamezni skladiščni coni (slika 14). Pri tej metodi je treba poskrbeti za pravilno razvrščanje artiklov glede na posamezna naročila pri zaključku procesa komisioniranja. Prav tako je treba ustrezno planirati obremenitev komisionarjev v vsaki posamezni skladiščni coni. Zaradi dela več komisionarjev v posamezni skladiščni coni lahko nastane blokada.



Komisionar	TSE	Št. artiklov	Lokacija	Naročilo
1	G	1	B3	1
	C	7	A6	1, 2
	A	3	D7	1
	D	5	C5	2
2	E	8	H3	1, 2
	F	2	G6	2
	B	4	E1	2

**Slika 14: Združena metoda komisioniranja**

Vir: Kay, 2016: slika 6.44, Pick-to-paper (predelava)

### 3.2.5 Metoda »valnega« komisioniranja

Pri metodi valovnega komisioniranja se naročila oz. delovni nalogi izvajajo v valovih (vsako uro v dopoldanskem ali popoldanskem času), ki so usklajeni s procesom odpreme blaga.

### 3.3 Komisionirne strategije

Poleg navedenih komisionirnih metod imamo v literaturi in v praksi komisionirne strategije (slika 15), na osnovi katerih komisionarji ročno nabirajo blago (kartone in artikle) v skladišču (Roodbergen, 2001). Komisionirne strategije se navezujejo na določena pravila, ki omogočajo, da komisionarji skozi obhod skladišča opravijo čim krajše poti. Minimalna dolžina poti komisionarja je zagotovljena z optimalno komisionirno strategijo, ki temelji na posebnih algoritmih za iskanje minimalne poti komisionarja za izbrano skladiščno situacijo (tloris skladišča z enim ali več bloki, porazdelitev komisionirnih lokacij ipd.).



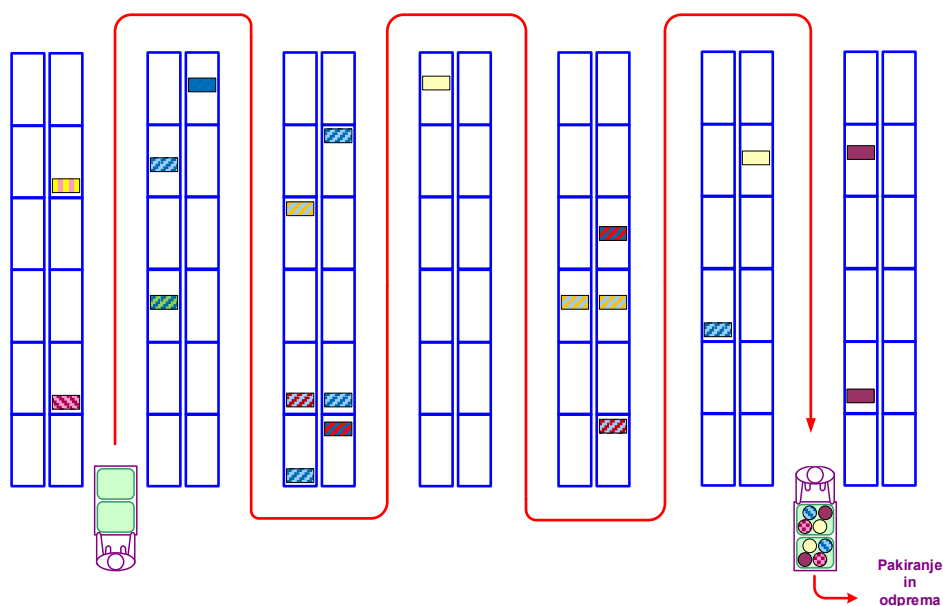
**Slika 15: Proces ročnega načina komisioniranja (nabiranja) blaga**

Vir: ©/Adobe Stock

V nadaljevanju bodo navedene najbolj prepoznavne komisionirne strategije za komisioniranje naključno izbranih artiklov v poličnem regalnem skladišču z enim blokom.

### 3.3.1 S-strategija komisioniranja

Pri uporabi S-strategije komisioniranja komisionar pri nabiranju artiklov prečka regalne hodnike v njihovi celotni dolžini (slika 16). Komisionar začne svojo pot na vhodno/izhodni (V/I) lokaciji, ki je po navadi na začetku prvega regalnega hodnika in se prek spodnjega in zgornjega prečnega hodnika pomika iz leve smeri v desno smer ter izvaja zavoje v obliki črke S. Na koncu zadnjega regalnega hodnika lahko komisionar zaključi proces komisioniranja ali pa se prek spodnjega prečnega hodnika premakne nazaj na V/I-lokacijo. Če v posameznem regalnem hodniku ni zahtevanega artikla, definiranega v naročilu delovnega naloga, se komisionar izogne temu regalnemu hodniku.



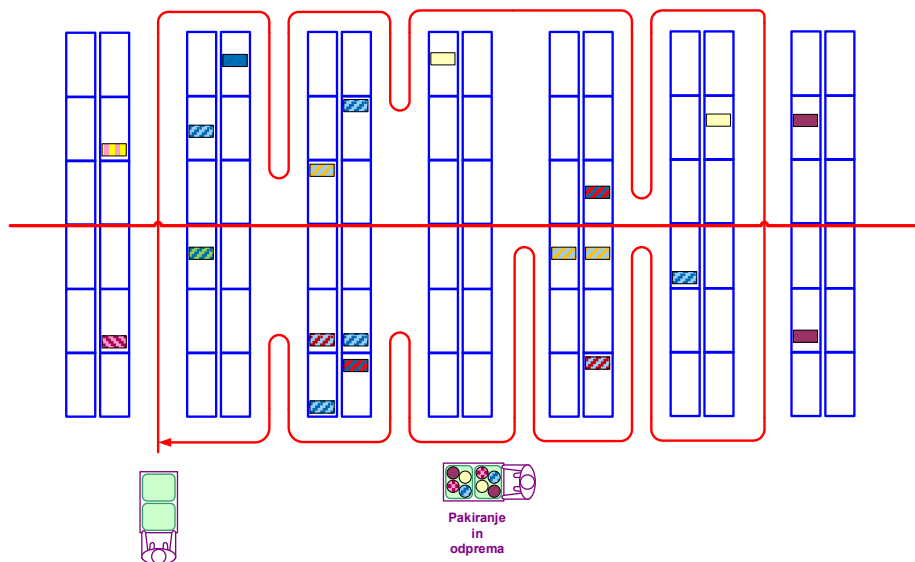
Slika 16: S-strategija komisioniranja

Vir: lasten

### 3.3.2 Strategija srednje točke

Pri strategiji srednje točke tloris skladišča navidezno razdelimo na dva enaka dela, in sicer na spodnji in na zgornji del skladišča (slika 17). Komisionar začne svojo pot na V/I-lokaciji in se prek prvega regalnega hodnika premakne v zgornji del skladišča. Ko je komisionar v zgornjem delu skladišča, nikoli ne prečka navidezne središčne črte in se pri nabiranju artiklov pomika prek zgornjega prečnega hodnika iz leve smeri v desno smer. V zadnjem

regalnem hodniku se komisionar pomakne v spodnji del skladišča in se pri nabiranju artiklov prek spodnjega prečnega hodnika pomika iz desne smeri v levo smer proti V/I-lokaciji. Če v posameznem regalnem hodniku ni zahtevanega artikla, definiranega v naročilu delovnega naloga, se komisionar izogne temu regalnemu hodniku.



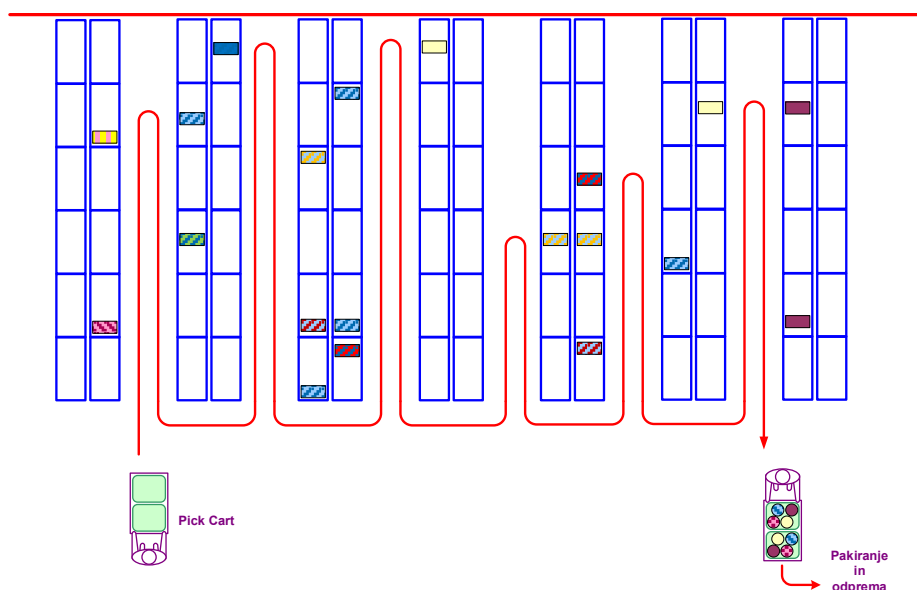
Slika 17: Strategija srednje točke

Vir: lasten

### 3.3.3 Povratna strategija

Povratna strategija je podobna strategiji srednje točke pri čemer je navidezna črta pomaknjena na zgornji del tlorisa skladišča (slika 18). Komisionar začne svojo pot na vhodno/izhodni (V/I) lokaciji in se pri nabiranju artiklov pomika po regalnem hodniku navzgor do skrajno ležeče skladiščne lokacije, kjer se obrne in se vrne v izhodiščno lokacijo regalnega hodnika. Prek spodnjega prečnega hodnika se pomika iz leve smeri v desno smer do vsakega posameznega regalnega hodnika. Na koncu zadnjega regalnega hodnika lahko komisionar zaključi proces komisioniranja ali pa se prek spodnjega prečnega hodnika premakne nazaj na V/I-lokacijo. Če v posameznem regalnem hodniku ni zahtevanega artikla, definiranega v naročilu delovnega naloga, se komisionar izogne temu regalnemu hodniku.





Slika 18: Povratna strategija

Vir: lasten

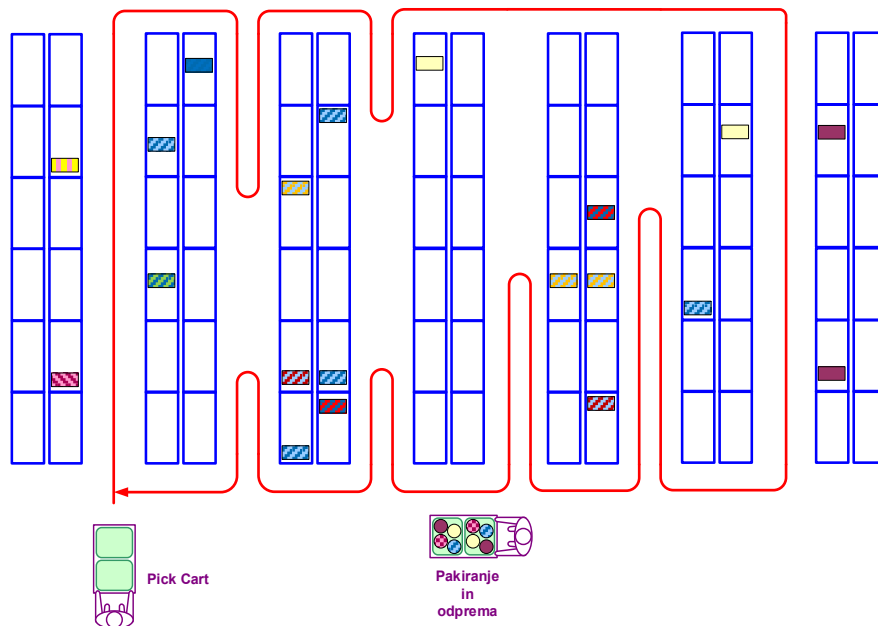
### 3.3.4 Strategija največje vrzeli

Strategija največje vrzeli je posebna oblika komisionirne strategije, pri čemer se za vsak regalni hodnik posebej izvede izračun minimalne zahtevane poti za nabiranje artiklov v skladišču. Komisionar začne svojo pot na V/I-lokaciji in se prek prvega regalnega hodnika premakne v zgornji del sledišča ter prek zgornjega prečnega hodnika zavije desno. Nadalje se za vsak posamezni regalni hodnik izvede izračun minimalne zahtevane poti pri komisioniranju artiklov (slika 19).

Obstajajo trije različni načini, kako lahko dosežemo minimalno pot v izbranem regalnem hodniku ob pogoju, da poberemo vse zahtevane artikle, in sicer:

- vse artikle poberemo z vstopom v regalni hodnik z zgornje strani tlorisa skladišča;
- vse artikle poberemo z vstopom v regalni hodnik s spodnje strani tlorisa skladišča;
- vse artikle poberemo s kombiniranim vstopom v regalni hodnik, in sicer z zgornje in s spodnje strani tlorisa skladišča.

Glede na navedene pogoje komisionar pobira artikle v vsakem posameznem regalnem hodniku in se pri zaključku procesa komisioniranja vrne nazaj na V/I-lokacijo.



Slika 19: Strategija največje vrzeli

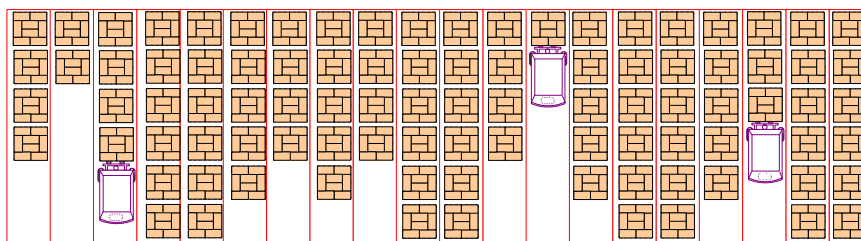
Vir: lasten

V literaturi in praksi obstaja tudi združena strategija komisioniranja, ki združuje zakonitosti zgoraj naštetih komisionirnih strategij. Kot najučinkovitejša strategija pa je optimalna skladiščna strategija, ki na osnovi uporabe zmogljivih algoritmov omogoča doseganje najboljših rezultatov oz. najkrajših poti komisionarja.

### 3.4 Skladiščne tehnologije za komisioniranje paletiziranega blaga (TSE)

#### 3.4.1 Tehnologija talnega skladiščenja TSE

Tehnologija talnega skladiščenja TSE je najenostavnejša skladiščna tehnologija in omogoča talno odlaganje TSE na označena mesta v pasovih (slika 20). V večini primerov se v posameznih pasovih odlagajo TSE enakega tipa po načelu skladiščne metode LIFO (ang. *Last-in-First-out*), razen kadar je na obeh straneh omogočen prehod za transportno skladiščno sredstvo (viličar). Ta tehnologija skladiščenja je z vidika zahtevnosti najenostavnejša, saj se TSE istega tipa zlagajo po konceptu druga-vrh-druge v označene pasove. Pri uporabi te tehnologije je treba paziti, da TSE na višjih nivojih s svojo lastno težo ne poškodujejo TSE na nižjih nivojih in da se TSE na višjih nivojih ne prekucne (zagotavljanje ustrezne varnost). Uporaba te skladiščne tehnologije ne zahteva večje investicije v dodelavo skladiščnega prostora (slika 21).



Slika 20: Odlaganje TSE v označene pasove pri uporabi tehnologije talnega skladiščenja TSE

Vir: lasten



Slika 21: Prikaz uporabe tehnologije talnega skladiščenja TSE

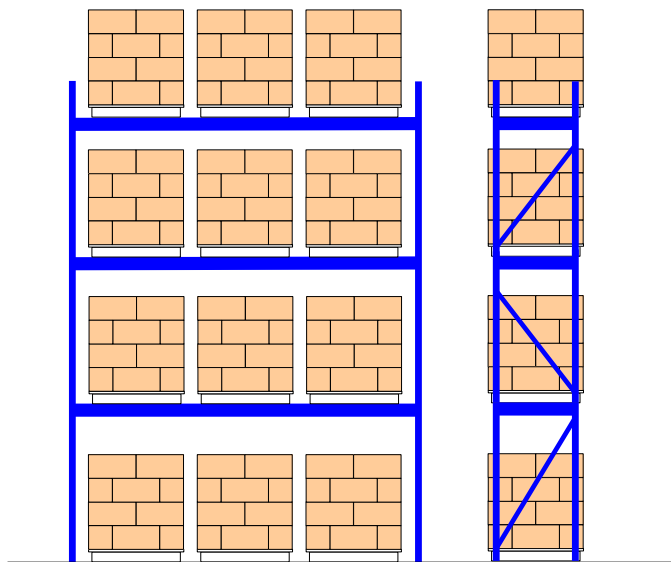
Vir: ©/Adobe Stock

### 3.4.2 Tehnologija skladiščenja TSE v paletne skladiščne regale

Tehnologija skladiščenja TSE v paletnih skladiščnih regalih je v praksi najbolj razširjena in najpogosteje uporabljena, saj omogoča boljši izkoristek skladiščnega prostora. Skladiščni regal je sestavljen iz stebrov in veznikov, ki tvorijo regalna okna. Stebri so izdelani iz jeklenih C-profilov in jeklenih omega profilov različnih debelin in dolžin. Vezniki so prav tako izdelani iz jeklenih profilov pravokotne oblike ter različnih dimenzij in debelin. Dva stebra, povezana s prečnimi profili, imenujemo stranica. Vezniki so na stranico nameščeni montažno z nosilnimi in varnostnimi zatiči. Izbira tipa stranice in veznikov je odvisna od dimenzij in nosilnosti regalnega skladišča.

Na sliki 22 je prikazan skladiščni regal z enojno globino. Osnovo skladiščnega regala predstavlja regalno okno; le-to lahko sprejme tri TSE, ki temeljijo na evropaleti dimenzij 1200 x 800 mm. TSE odlagamo v skladiščni regal v globino po dolžini  $l = 1200$  mm. Širina regalnega okna je vsota treh ( $n = 3$ ) TSE po širini  $w = 800$  mm ter ( $n + 1$ ) varnostnih

dodatkov. Višina regalnega okna je odvisna od višine TSE, ki pa ni standardizirana, kot sta dolžina in širina palete. Skladiščni regal sestavljajo regalna okna v vodoravni (stolpci) in v navpični smeri (etaže).

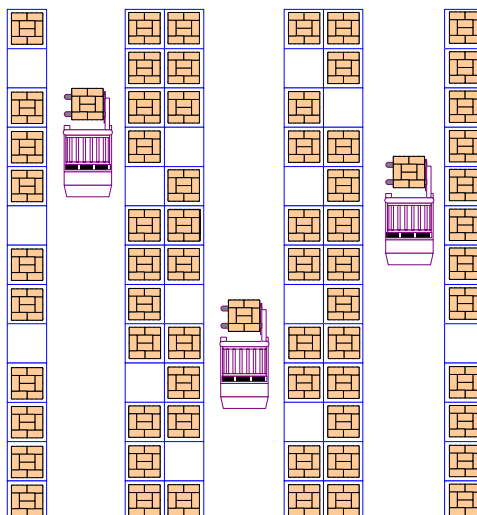


Slika 22: Enoglobinski (paletni) skladiščni regal

Vir: lasten

V praksi se uporablja sistem enoglobinskega regalnega skladišča s skladiščnim regalom na levi in na desni strani ter regalnim hodnikom za transport regalnega viličarja ali tudi regalnega dvigala. Širina regalnega hodnika mora biti prilagojena širini regalnega viličarja, da so zagotovljene varne manipulacije TSE v regalnem skladišču. Poleg izkoristka višine je prednost uporabe enoglobinskega regalnega skladišča v dostopnosti do katerekoli TSE v regalnem skladišču.

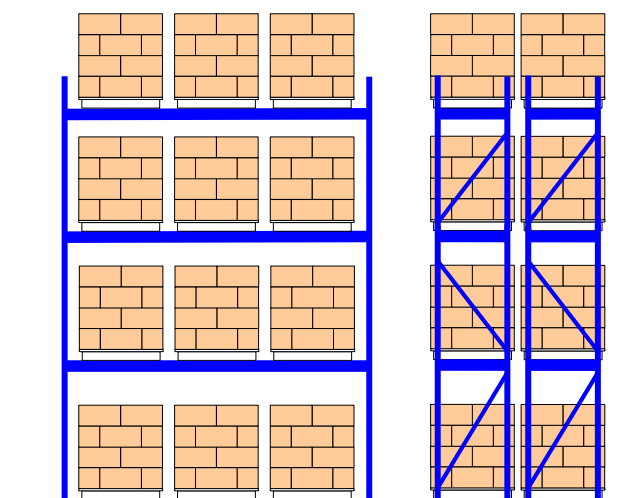
Tehnologijo skladiščenja TSE v enoglobinskem (paletnem) regalnem skladišču uporabljamo, kadar se zahteva visoka pretočna zmogljivost skladišča (slika 23). Za manipulacijo TSE se uporabljajo regalni viličarji s pomičnim drogom, visokoregalni viličarji in regalna dvigala. Metoda, po kateri se skladiščijo TSE v enoglobinskem regalnem skladišču, je FIFO (ang. *First-in-First-out*).



**Slika 23: Tehnologija skladiščenja TSE v enoglobinskem (paletnem) regalnem skladišču**

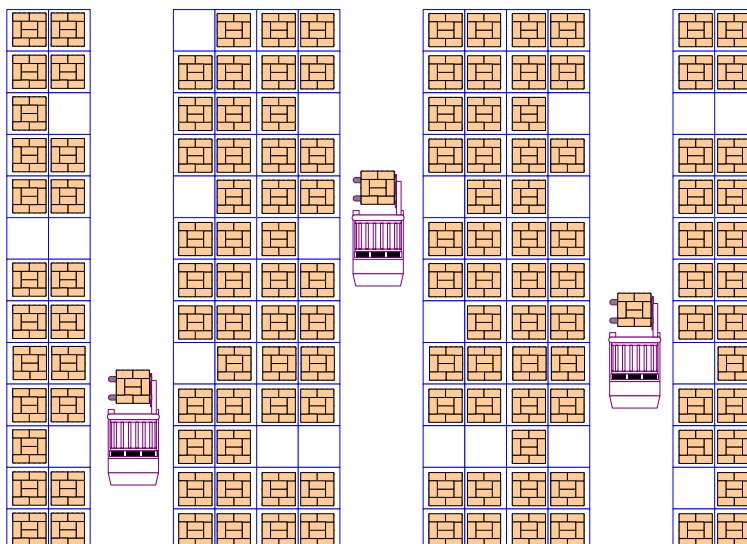
Vir: lasten

S ciljem po večji izkoriščenosti skladiščnega prostora se v praksi uporabljajo dvoglobinska regalna skladišča (slika 24), kjer lahko iz regalnega hodnika oskrbujemo kar štiri skladiščne regale (dva regala na levi in dva regala na desni strani skladišča). Takšna skladišča se uporabljajo za namen zalogovnika, kjer je zahtevan pogoj o izrazito visoki zalogovni velikosti skladišča napram pretočni zmogljivosti skladišča (slika 25). Slabost dvoglobinskih regalnih skladišč je možnost blokiranja TSE v prvi globini glede na TSE v drugi globini, ki je predvidena za odpremo. V tem primeru moramo uporabiti posebno skladiščno strategijo premestitve blokirane TSE na najbližjo (prosto) skladiščno lokacijo. Zaradi zahtevane togosti dvižnega mehanizma za manipulacijo TSE na drugi globini skladiščnega regala se za takšen tip skladišča uporabljajo v praksi večinoma avtomatska regalna dvigala.



**Slika 24: Dvoglobinski (paletni) skladiščni regal**

Vir: lasten



Slika 25: Tehnologija skladiščenja TSE v dvoglobinskem (paletnem) regalnem skladišču

Vir: lasten

Na sliki 26 je prikazan primer enoglobinskega (paletnega) regalnega skladišča v praksi.



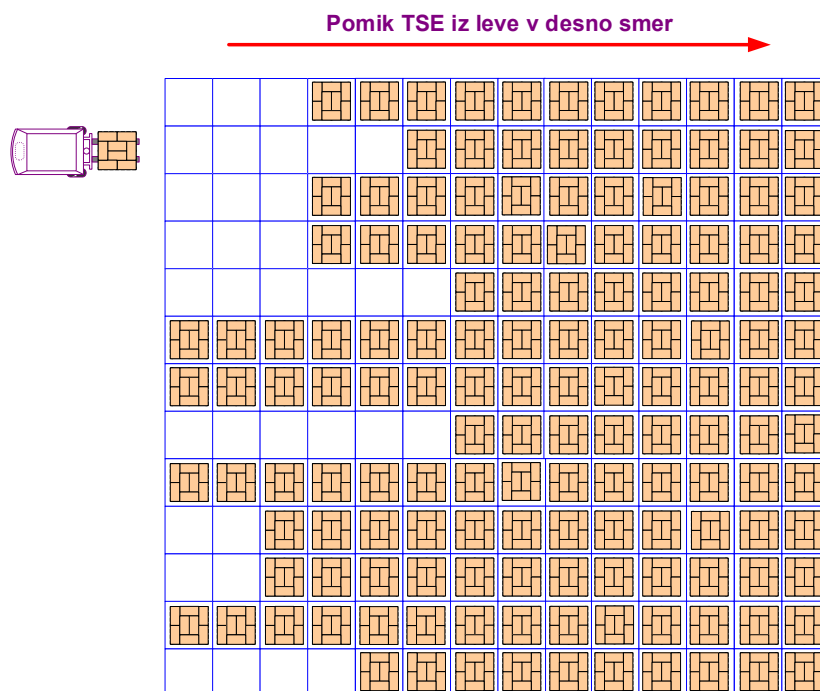
Slika 26: Prikaz tehnologije skladiščenja TSE v enoglobinskem (paletnem) regalnem skladišču

Vir: ©/Adobe Stock

### 3.4.3 Tehnologija skladiščenja TSE v pretočnih paletnih skladiščnih regalih

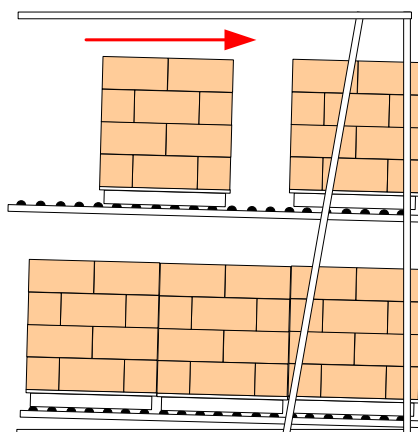
Pretočni paletni skladiščni regali omogočajo zgoščeno skladiščenje TSE na sorazmerno majhnem prostoru v skladišču (slika 27). Pretočni paletni skladiščni regal je razdeljen na posamezne kanale z (negnana) valjčno progo, ki je (rahlo) nagnjena pod kotom ( $\delta$ ). Proces skladiščenja se izvaja tako, da na eni strani skladišča polnimo TSE v pretočni skladiščni regal, ki se zaradi lastne teže in nagnjenosti valjčne proge pod kotom ( $\delta$ ) premikajo v vodoravni smeri (slika 28). Hitrost pomikanja TSE vzdolž valjčne proge je nadzorovana z

zaviralnimi valjčki na izbranih mestih valjčne proge, ki onemogočajo previsoko hitrost TSE na valjčni progi.



Slika 27: Tloris paletnega pretočnega regalnega skladišča

Vir: lasten



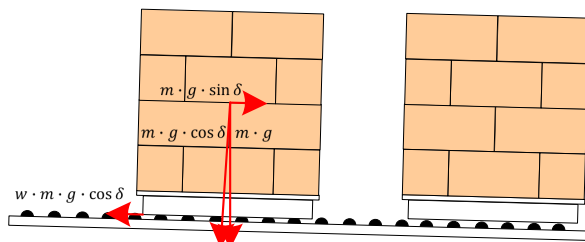
Slika 28: Stranski pogled paletnega pretočnega regalnega skladišča z dvema kanaloma

Vir: lasten

V nadaljevanju je izpeljan izraz za pogoj transporta TSE znotraj pretočnega paletnega skladiščnega regala.

## Izpeljava pogoja transporta TSE

Pogoj transporta po valjčni progi v kanalu pretočnega skladiščnega regala je izpeljan iz ravnotežnih pogojev, kadar je vsota vseh sil v vodoravni ( $\Sigma F_{ix} = 0$ ) in v navpični ( $\Sigma F_{iy} = 0$ ) smeri enaka nič (slika 29).



Slika 29: Transport TSE po valjčni progi v kanalu pretočnega skladiščnega regala

Vir: lasten

Ravnotežni pogoj – vsota vseh sil v navpični smeri je enaka nič ( $\Sigma F_{iy} = 0$ )

$$\begin{aligned} \sum F_{(iy)} &= 0 \\ N - m \cdot g \cdot \cos \delta &= 0 \\ N &= m \cdot g \cdot \cos \delta \end{aligned} \quad (3.1)$$

Izraz za silo kotalnega trenja  $F_k$  je enak izrazu (3.2):

$$\begin{aligned} F_k &= N \cdot w \\ F_k &= m \cdot g \cdot \cos \delta \cdot w \end{aligned} \quad (3.2)$$

Ravnotežni pogoj – vsota vseh sil v vodoravni smeri je enaka nič ( $\Sigma F_{ix} = 0$ )

$$\begin{aligned} \sum F_{(ix)} &= 0 \\ m \cdot g \cdot \cos \delta \cdot w - m \cdot g \cdot \sin \delta &= 0 \\ w &= \sin \delta / \cos \delta \\ w &= \tan \delta \end{aligned} \quad (3.3)$$

Da bo izpolnjen pogoj transporta TSE, mora biti izpolnjen izraz (3.4):

$$\tan \delta \geq w \quad (3.4)$$



Metoda, po kateri se skladiščijo TSE v pretočnih paletnih skladiščnih regalih, je FIFO (ang. *First-in-First-out*).

Uporaba sistema pretočnih paletnih skladiščnih regalov se velikokrat uporablja kot izhodni zalogovnik (ang. *Output Buffer*), kar daje dobre rezultate glede doseganja visoke zalogovne velikosti skladišča in hkrati sorazmerno dobre pretočne zmogljivosti skladišča (slika 30).



Slika 30: Prikaz tehnološke rešitve skladiščenja TSE v pretočnem paletnem skladiščnem regalu

Vir: ©/Adobe Stock

#### 3.4.4 Tehnologija skladiščenja TSE v stebrnih paletnih skladiščnih regalih

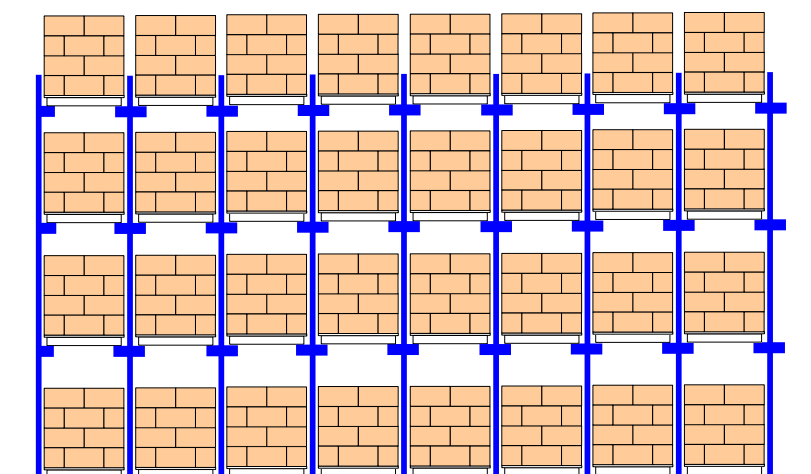
Tehnologija skladiščenja TSE v stebrnih paletnih skladiščnih regalih razdelimo na naslednje izvedenke:

- klasični stebrni paletni skladiščni regali (ang. *drive in rack* in ang. *drive through rack*);
- potisni stebrni paletni skladiščni regali (ang. *push-back rack*);
- stebrni paletni skladiščni regali z mobilnim vozičkom.

Klasični stebrni paletni skladiščni regali (ang. *drive in rack*) omogočajo transport z viličarjem znotraj skladiščnega regala, pri čemer mora biti širina viličarja s TSE prilagojena širini hodnika oz. širini skladiščnega regala (slika 31). V večini primerov se v posameznih hodnikih odlagajo TSE enakega tipa po načelu skladiščne metode LIFO (ang. *Last-in-first-out*), razen kadar je na obeh straneh omogočen prehod za viličarja (ang. *drive through rack*). V tem primeru uporabimo skladiščno metodo FIFO (ang. *First-in-first-out*). Stebrni paletni

skladiščni regali zagotavljajo veliko zalogovno velikost na sorazmerno majhnem tlorisu skladišča in nizko pretočno zmogljivost skladišča.

Potisni stebrni paletni skladiščni regali delujejo na principu nameščenih vodil pod kotom, na katerih z uporabo viličarja potiskamo TSE v globino. Takšen sistem omogoča uskladiščenje do štiri TSE v globino. Pri uskladiščenju večjega števila TSE v globino uporabimo stebrne paletne skladiščne regale z mobilnim vozičkom, ki omogoča transport TSE v večje globine skladiščnega regala. Mobilni voziček lahko premikamo z viličarjem na poljubno mesto stebrnega skladiščnega regala (slika 32, slika 33).



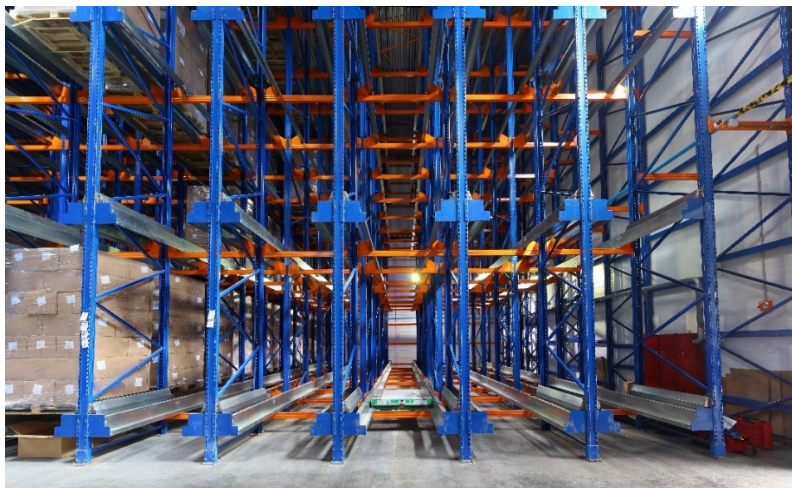
**Slika 31: Tehnologija skladiščenja TSE v stebrni paletni skladiščni sistem  
– klasični stebrni paletni skladiščni sistem**

Vir: lasten



**Slika 32: Stebrni paletni skladiščni sistem z mobilnim vozičkom 1/2**

Vir: ©/Adobe Stock

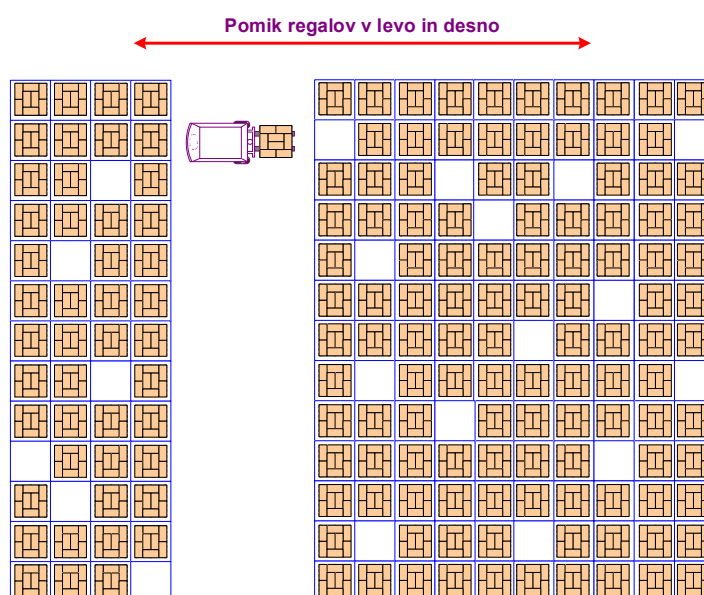


Slika 33: Stebrni paletni skladiščni sistem z mobilnim vozičkom 2/2

Vir: ©/Adobe Stock

### 3.4.5 Tehnologija skladiščenja TSE v mobilnem paletnem regalnem skladišču

Mobilno paletno regalno skladišče uporabimo, kadar imamo zahtevo za doseganje visoke zalogovne velikosti in izrazito majhno pretočno zmogljivost skladišča. Izkoristek skladiščnega prostora je velik, saj ta tehnologija skladiščenja zaradi mobilnih (gnanih) skladiščnih regalov zagotavlja samo en hodnik (slika 34). Skladiščni regali na tirnicah se glede na zahtevano naročilo delovnega naloga premikajo v desno ali v levo smer. Treba je poudariti, da se premik regalov izvaja izrazito počasi zaradi velike teže skladiščnih regalov z vsemi uskladiščenimi TSE (slika 35).



Slika 34: Tloris paletnega mobilnega regalnega skladišča

Vir: lasten



Slika 35: Prikaz tehnološke rešitve mobilnega regalnega skladišča

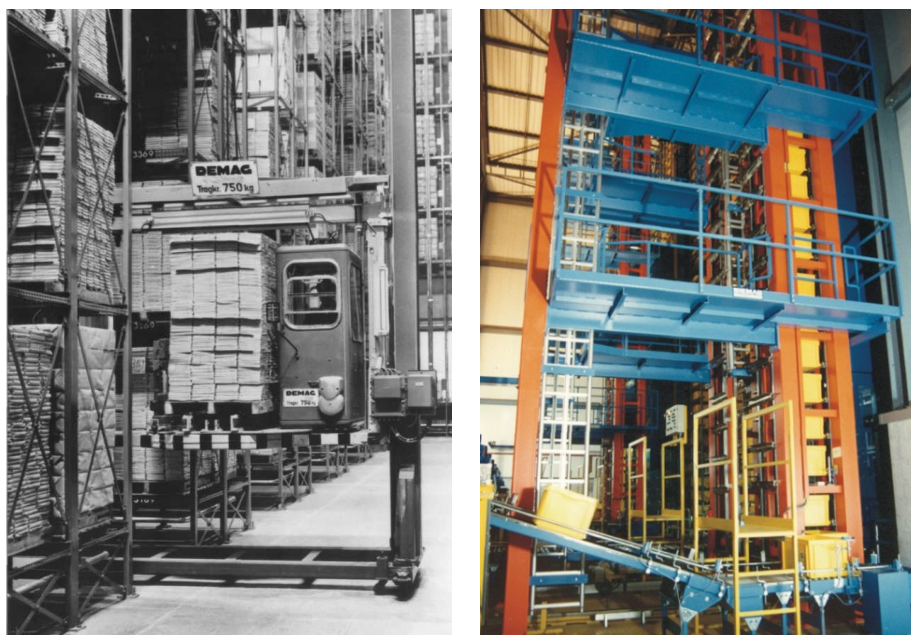
Vir: ©/Adobe Stock

### 3.4.6 Tehnologija skladiščenja TSE v avtomatiziranem paletnem regalnem skladišču

Avtomatizirano paletno regalno skladišče omogoča z uporabo paletnega regalnega dvigala avtomatsko vodenje procesa uskladiščenja in odpreme TSE na večjih višinah skladiščnega regala (od 20 do 40 m).

Leta 1962 je podjetje DEMAG izdelalo prvo avtomatizirano paletno visokoregalno skladišče v Evropi, ki je obsegalo 4500 skladiščnih mest (slika 36). Omenjeno skladišče je bilo prvo avtomatizirano paletno visokoregalno skladišče višine  $H = 20$  metrov, kar je v Evropi zaznamovalo novo obdobje v razvoju transportno-skladiščne tehnike.

Za razliko od regalnih viličarjev je avtomatsko paletno regalno dvigalo vodeno na tirnicah v regalnem hodniku, ki prevzemajo glavno obremenitev in z dodatnimi vodili na vrhu skladišča zagotavljajo potrebno togost sistema (slika 37). Paletno regalno dvigalo je sestavljeno modularno; sestoji iz enega ali v primeru večjih obremenitev dveh nosilnih stebrov, podvozja in dvižne mize. Pri izvedbi skladiščne operacije enojnega in dvojnega delovnega cikla se paletno regalno dvigalo in dvižna miza premikata sočasno v vodoravni ( $x$ ) in v navpični ( $y$ ) smeri. Paletna regalna dvigala so popolnoma avtomatizirana in imajo visokozmogljive pogonske motorje, ki omogočajo vožnjo regalnega dvigala v vodoravni smeri s hitrostjo  $v_x = 4$  m/s in pomik dvižne mize regalnega dvigala v navpični smeri s hitrostjo  $v_y = 2$  m/s.



Slika 36: Začetki uvajanja avtomatiziranih regalnih skladiščnih sistemov

Vir: Scheid, 2002

V praksi obstajajo različne izvedbe paletnih regalnih dvigal, in sicer paletna regalna dvigala, ki lahko sprejmejo na dvižno mizo dve ali tri TSE hkrati (ang. *multi-shuttle AS/RS*) ter paletna regalna dvigala za vožnjo v enem regalnem hodniku (ang. *single-aisle AS/RS*) in več regalnih hodnikih (ang. *multi-aisle AS/RS*).



Slika 37: Avtomatizirano paletno regalno skladišče z regalnim dvigalom

Vir: ©/Adobe Stock

### 3.5 Skladiščne tehnologije za komisioniranje kartonov na paleto

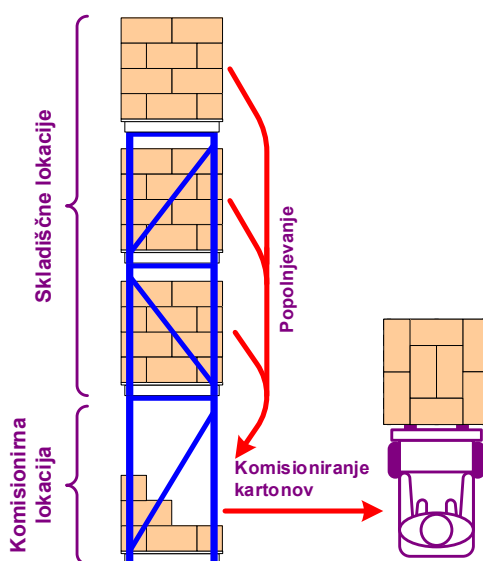
Komisioniranje kartonov na paleto je pogost način komisioniranja v skladiščno-distribucijskih centrih (slika 38). Glede na transportno skladiščno enoto (karton) se za proces komisioniranja uporabljajo različne skladiščne tehnologije v kombinaciji s transportnim sredstvom (viličarjem, komisionirnim vozičkom).



Slika 38: Primer komisioniranja kartonov v regalnem skladišču

Vir: ©/Adobe Stock

Komisioniranje kartonov na paleto se lahko izvaja enonivojsko (ang. *one-dimensional*) ali dvonivojsko (ang. *two-dimensional*) in samostojno (ang. *discrete picking*) ali na osnovi več delovnih nalogov skupaj (ang. *batch picking*) (Kay, 2016).



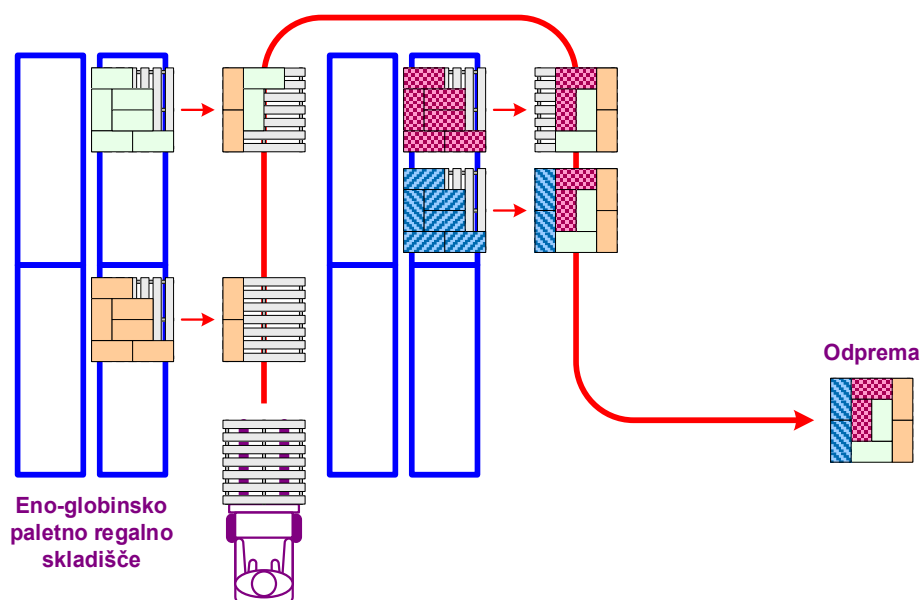
Slika 39: Enonivojsko komisioniranje kartonov na paleto

Vir: Kay, 2016: slika 6.32, str. 160, Floor- vs. multi-level pick to palle (predelava)

Pri enonivojskem komisioniranju kartonov na paletu se izvaja popolnjevanje palet s kartoni iz zgornjih etaž regalnega skladišča, kot je prikazano na sliki 39.

### 3.5.1 Samostojno komisioniranje kartonov na paletu

Pri samostojnem komisioniranju kartonov na paletu (ang. *discrete picking*) potuje komisionar skozi skladišče na osnovi prejetega naročila (delovnega naloga) in uporabe ustrezne komisionirne strategije. V tem primeru komisionar pobira kartone za enega naročnika, zato je ob zaključku procesa komisioniranja paleta s kartoni hkrati že pripravljena za odpremo h končnemu naročniku (slika 40).

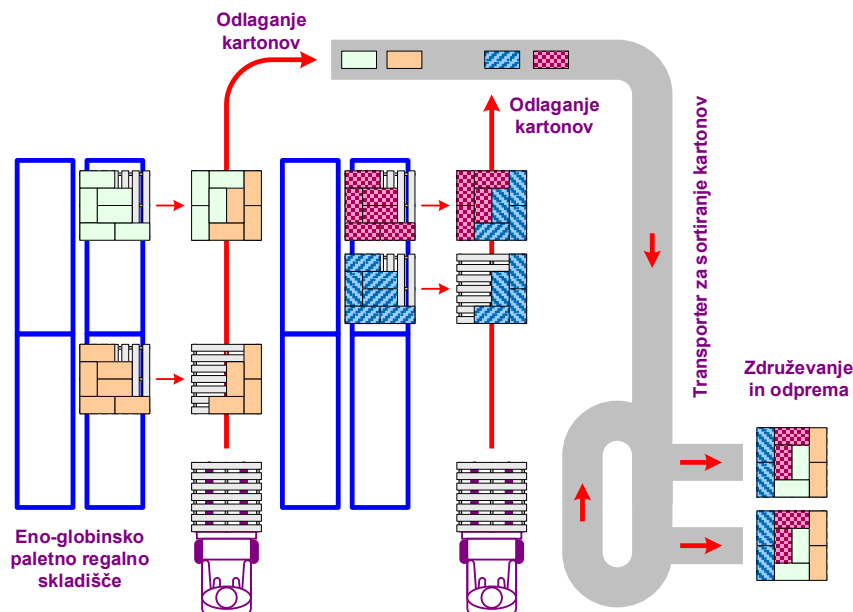


Slika 40: Samostojno komisioniranje kartonov na paletu

Vir: Kay, 2016: slika 6.33, str. 160, Discrete pick to pallet (predelava)

### 3.5.2 Komisioniranje več delovnih nalogov skupaj

Pri komisioniranju kartonov na paletu za več delovnih nalogov skupaj (ang. *batch picking*) potuje komisionar skozi skladišče v izbrani skladiščni coni na osnovi prejetih naročil (delovnih nalogov) in uporabe ustrezne komisionirne strategije. V tem primeru komisionar pobira kartone na paletu za več naročnikov hkrati. Ob zaključku procesa komisioniranja komisionar preloži kartone na transporter, ki kartone transportira na mesto združevanja in odpreme h končnemu naročniku (slika 41).

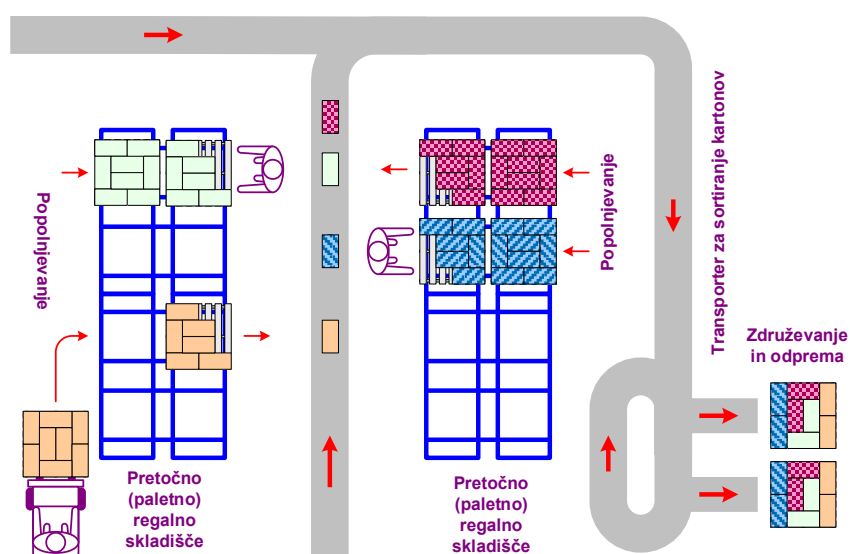


Slika 41: Komisioniranje več delovnih nalogov skupaj

Vir: Kay, 2016: slika 6.34, str. 161, Zone-batch pick to pallet (predelava)

### 3.5.3 Komisioniranje kartonov na transportni trak

Pri komisioniranju kartonov na transportni trak (ang. *pick to belt*) komisionarji ročno prelagajo kartone iz palet na transporter, ki kartone transportira na mesto združevanja in odpreme h končnemu naročniku. Popolnjevanje palet je zagotavljajo skladiščniki (viličaristi), ki dostavljajo polne palete s kartoni in skrbijo za odvoz praznih palet (slika 42).



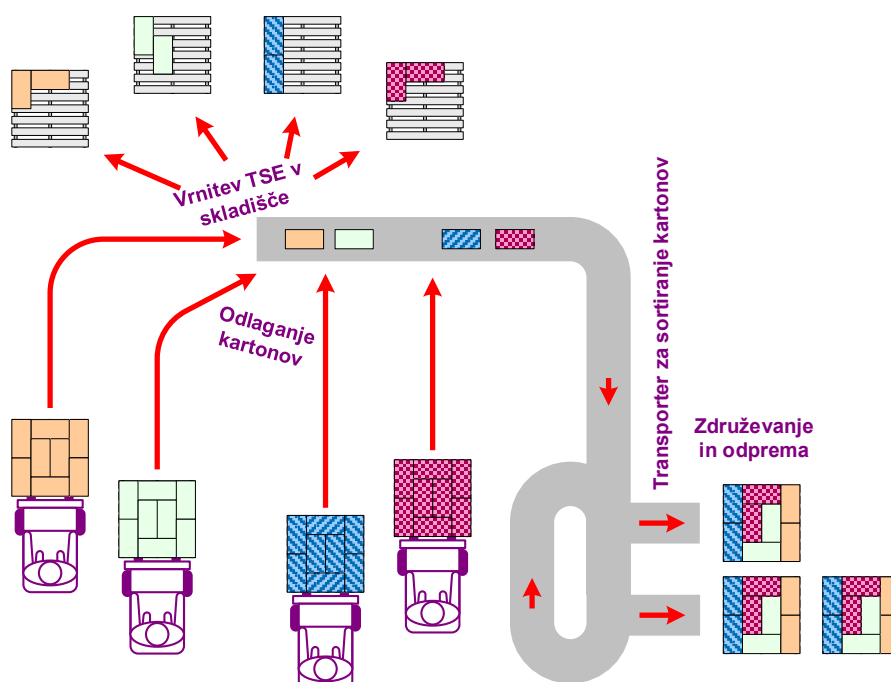
Slika 42: Komisioniranje kartonov na transportni trak

Vir: Kay, 2016: slika 6.35, str. 162, Pick to belt (predelava)



### 3.5.4 Komisioniranje kartonov s palet in s sortiranjem

Pri komisioniranju kartonov s palet in s sortiranjem (ang. *pallet pick with sort*) komisionarji iz zalogovnega skladišča dostavijo palete s kartoni do transportnega traku, kamor naložijo kartone. Transportni trak kartone transportira na mesto združevanja in odpreme h končnemu naročniku. Preostali kartoni na paletah se vrnejo nazaj v zalogovno skladišče (slika 43).



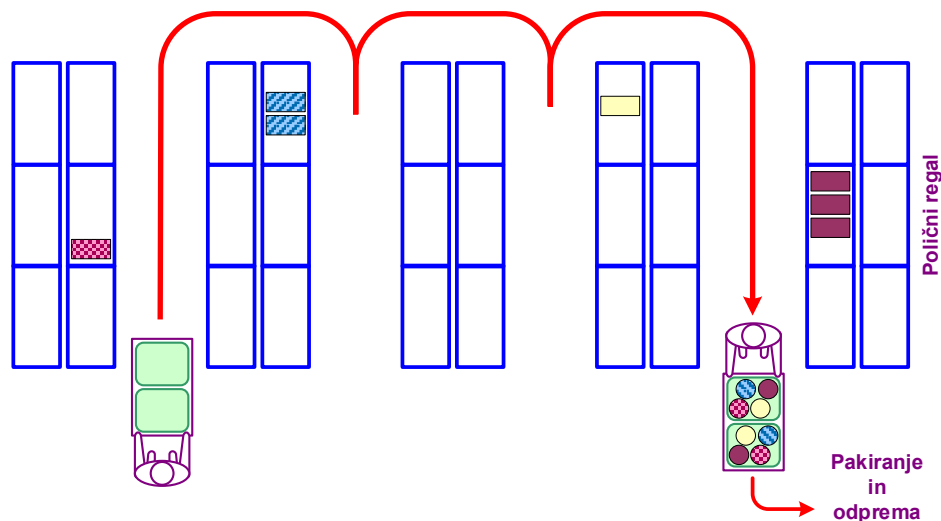
Slika 43: Komisioniranje kartonov s palet in s sortiranjem

Vir: Kay, 2016: slika 6.36, str. 162, Pallet pick with sort (predelava)

## 3.6 Skladiščne tehnologije za komisioniranje artiklov

### 3.6.1 Komisioniranje artiklov v poličnih regalih

Komisioniranje artiklov v poličnih regalih (ang. *piece picking from bin shelving*) se izvaja s premikanjem komisionarja s transportnim (komisionirnim) vozičkom skozi polično regalno skladišče (slika 44). Komisionar nabira artikle na osnovi individualnega delovnega naloga (ang. *discrete picking*) ali za več delovnih nalogov skupaj (ang. *batch picking*). Prav tako komisionar pri procesu komisioniranja sledi izbrani komisionirni strategiji, ki mu omogoča, da opravi najkrajšo pot skozi skladišče. V primeru večjih distribucijsko skladiščnih centrov komisionar deluje v posamezni coni poličnega regalnega skladišča (slika 45).



**Slika 44: Komisioniranje artiklov v poličnih regalih**

Vir: Kay, 2016: slika 6.40, str. 165, Pick-cart batch piece picking (predelava)



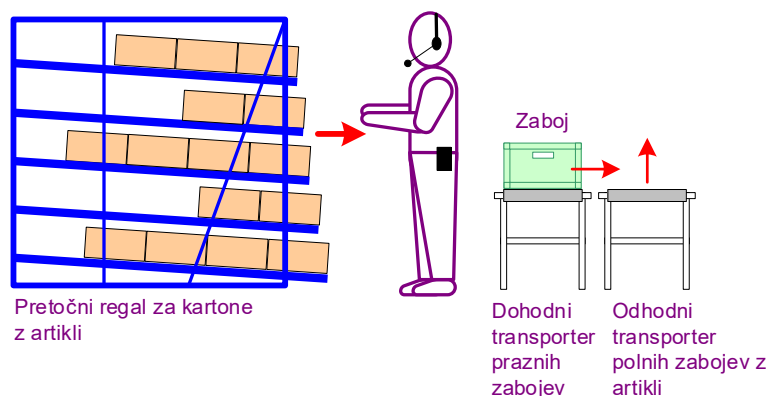
**Slika 45: Primer skladiščne cone poličnega regala z artikli v plastičnih zabojnikih**

Vir: ©/Adobe Stock

### 3.6.2 Komisioniranje artiklov iz pretočnih regalov za kartone

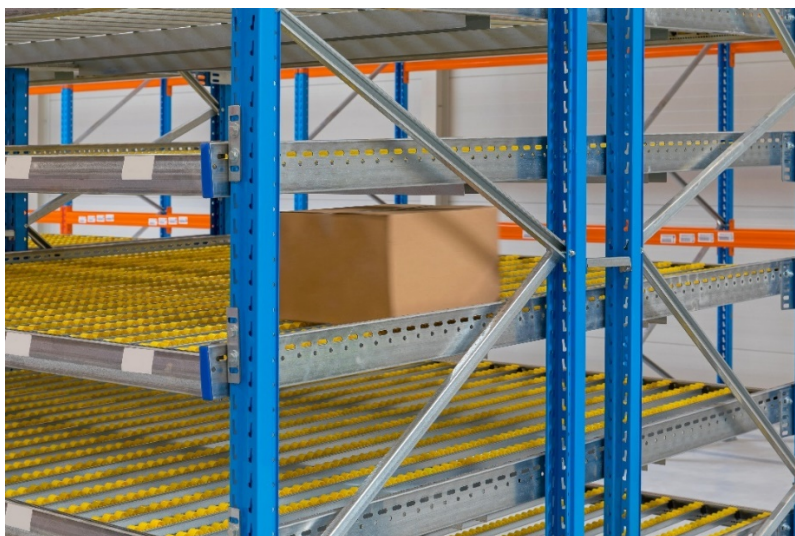
Komisioniranje artiklov iz pretočnih regalov za kartone (ang. *piece picking from carton-flow rack*) v povezavi s transporterjem komisionarju omogoča dostop do množice različnih artiklov na sorazmerno majhnem tlorisu skladišča (slika 46). Komisionar na osnovi tehnologije svetlobno usmerjenega komisionarja pobira artikle iz kartonov v posameznih kanalih pretočnega regala (slika 47). Komisionar odlaga artikle v zaboj na dohodnem transporterju, ki dostavlja prazne zaboje. Komisionar lahko nabira posamezne artikle na osnovi individualnega naročila (ang. *discrete picking*) ali za več delovnih nalogov skupaj (ang.

*batch picking*). Polni zaboji z artikli se preusmerijo na odhodni transporter, ki zagotavlja transport zabojev na področje združevanja z drugimi artikli ali pa neposredno na področje odpreme.



**Slika 46: Komisioniranje artiklov v pretočnih regalih za kartone**

Vir: Kay, 2016: slika 6.49, Portable computer and headset used in pick-to-voice (predelava)



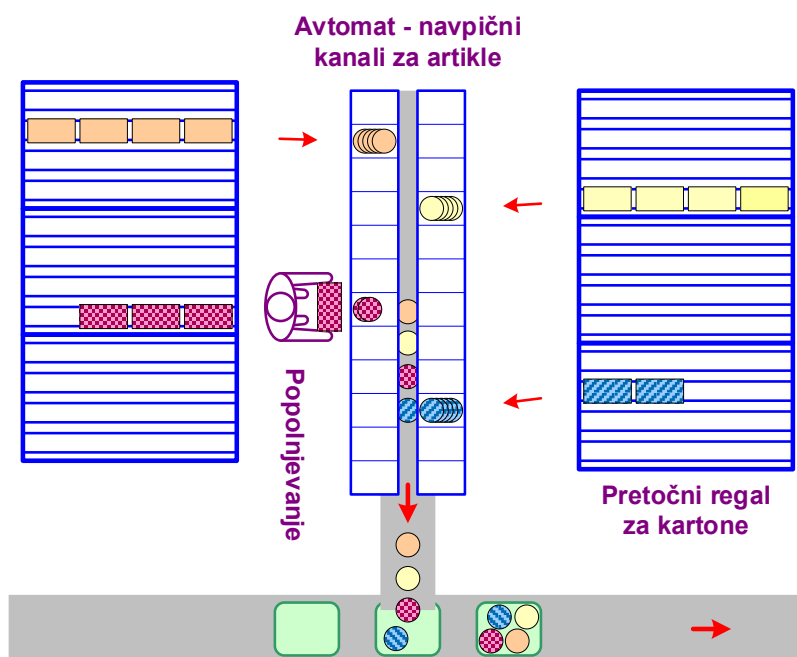
**Slika 47: Pretočni regal za kartone**

Vir: ©/Adobe Stock

### 3.6.3 Komisioniranje artiklov iz vertikalnih avtomatov

Komisioniranje artiklov iz vertikalnih avtomatov (ang. *A-frame order picking*) omogoča doseganje visoke pretočne zmogljivosti artiklov z izrazito visoko frekvenco obračanja (ang. *fast movers*). Komisionirni avtomati so primerni za artikle poenotenih oblik in dimenzij ter se pogosto uporabljajo v skladiščno-distribucijskih centrih farmacevtske industrije za avtomatsko komisioniranje škatlic z zdravili. Komisionirni avtomat je razdeljen na posamezne kanale, kamor se vstavijo škatlice z zdravili. V vsak posamezni kanal se vstavijo

škatlice enakega tipa artikla. Glede na vsebino delovnega naloga mehanizem na koncu kanala potisne zahtevano število škatlic iz enega ali več kanalov na prečno delujoč tračni transporter, kamor padejo škatlice. Proces se vrši popolnoma avtomatsko in se izvaja z razmeroma visoko hitrostjo. Tračni transporter je na koncu povezan z valjčno progo, ki transportira prazne zabojčke, kamor se avtomatsko odložijo škatlice z zdravili. Popolnjevanje kanalov vertikalnega avtomata se izvaja ročno (slika 48).

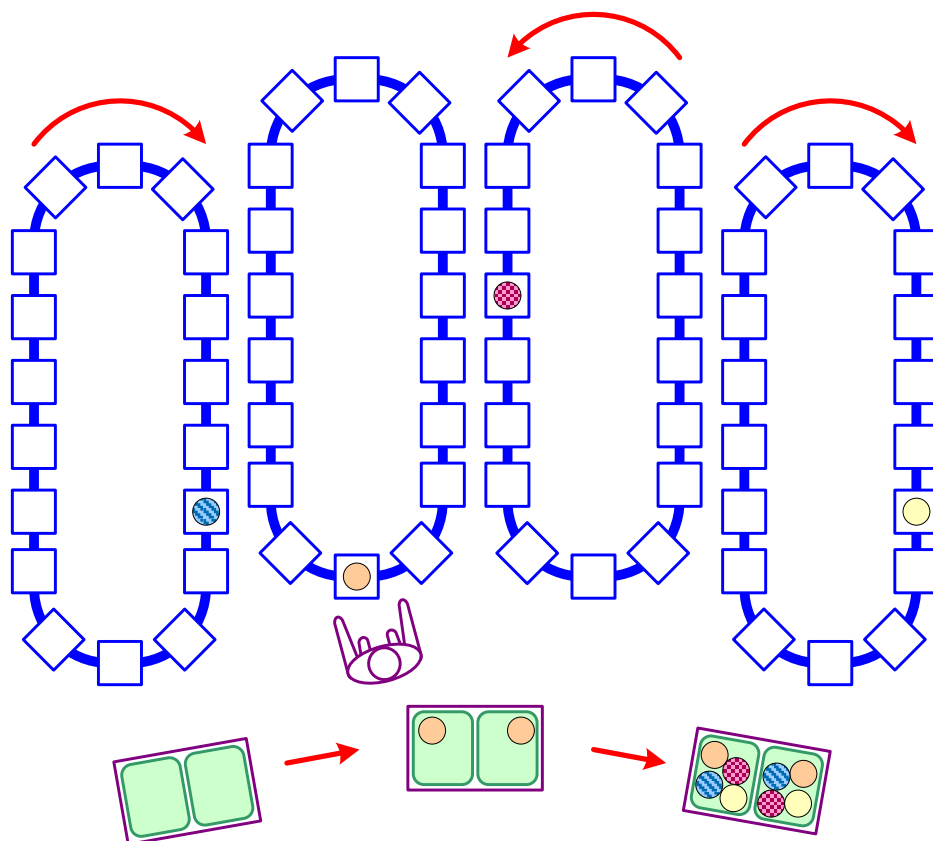


Slika 48: Tloris komisioniranja artiklov iz vertikalnih avtomatov

Vir: Kay, 2016: slika 6.41, str. 141 (predelava)

### 3.6.4 Komisioniranje artiklov iz vodoravnih avtomatskih karuselov

Za artikle s sorazmerno nizko frekvenco obračanja (ang. *slow movers*) se uporabljajo avtomatski karuseli (ang. *piece picking from carusels*), ki so lahko vodoravne izvedbe (slika 48) ali navpične izvedbe. Komisionar posluhuje enega ali več karuselov, pri čemer lahko izvaja proces komisioniranja enega naročila (ang. *discrete picking*) ali pa obdeluje več naročil hkrati (ang. *batch picking*), kar zagotavlja večjo pretočno zmogljivost. Karusel se lahko pomika v smeri urnega kazalca ali v nasprotni smeri urnega kazalca. Hitrost vrtenja karusela je sorazmerno nizka, zato je treba artikle v naročilu smiselno porazdeliti, da pobremo v enem obhodu karusela vse artikle. Komisioniranje artiklov iz zabojev se izvaja ročno, lahko pa je tudi avtomatiziran z uporabo fiksno nameščenih dvigal s pomično mizo ter industrijskim ali kolaborativnim robotom za komisioniranje artiklov (ang. *robot bin picking*).



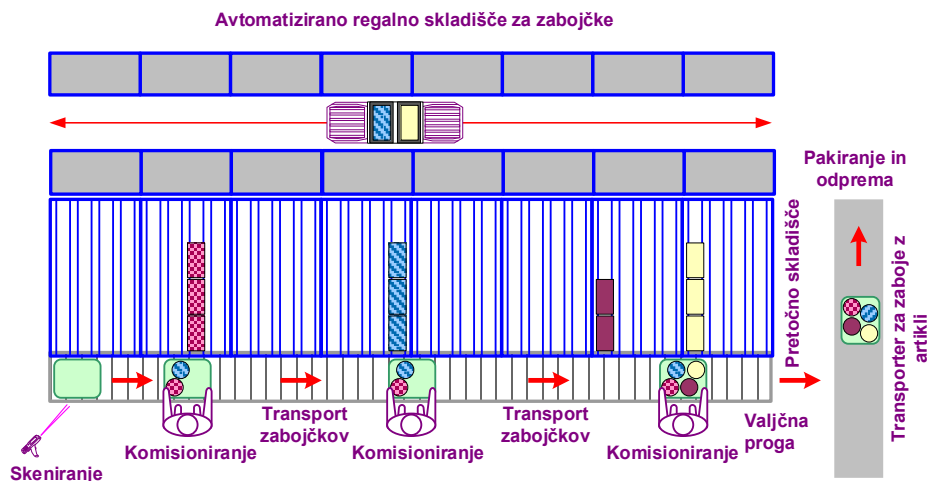
Slika 49: Tloris avtomatskega karusela za komisioniranje artiklov

Vir: Kay, 2016: slika 6.40, str. 140 (predelava)

### 3.6.5 Komisioniranje artiklov iz avtomatiziranih regalnih skladiščnih sistemov

Za potrebe visoke zalogovne velikosti in sorazmerno dobre pretočne zmogljivosti se v praksi pogosto uporabljajo avtomatizirani regalni skladiščni sistemi za majhne dele (artikle) v zabojih (ang. *mini-load AS/RJS*). Ti skladiščni sistemi lahko dosegajo višino tudi do  $H = 20$  m ali več in so po navadi dvoglobinske izvedbe skladiščnega regala. Manipulacija zabojev poteka z uporabo regalnega dvigala, ki omogoča sočasno vožnjo v vodoravni ( $x$ ) smeri in pomikom dvizne mize v navpični ( $y$ ) smeri. Regalna dvigala dosegajo izjemno visoke hitrosti ( $v$ ) in pospeške/pojemke ( $a$ ) v vodoravni smeri, tudi do  $v_x = 6$  m/s in  $a_x = 4$  m/s<sup>2</sup>, za kar skrbita dva neodvisna pogonska sklopa. V odvisnosti od zahtevane togosti konstrukcije regalnega dvigala v praksi obstajajo izvedbe z enim ali z dvema nosilnima stebroma. Regalno dvigalo v primeru avtomatiziranih regalnih skladiščnih sistemov za majhne dele po navadi deluje samo v enem regalnem hodniku (ang. *single-aisle system*). Pomična miza regalnega dvigala lahko sprejme enega (ang. *single-shuttle system*) ali več zabojčkov hkrati (ang. *multi-shuttle system*) in ima nameščene teleskope, ki lahko uskladiščijo ali odpremijo zaboj v enojno ali dvojno globino skladiščnega regala.

Regalna dvigala delujejo v povezavi s transportnim sistemom (valjčno progo), ki je nameščena v predskladiščni coni skladišča. Prav tako lahko polnijo kanale poličnega pretočnega skladišča za potrebe komisioniranja artiklov, kot je prikazano na sliki 50.



Slika 50: Komisioniranje artiklov iz avtomatiziranih regalnih skladiščnih sistemov

Vir: Kay, 2016: slika 6.41, Pick-and-pass zone piece picking (predelava)

### 3.7 Tehnologije vodenja in usmerjanja komisionarja pri procesu komisioniranja

Pri vodenju in usmerjanju komisionarja pri procesu komisioniranja se v literaturi in praksi uporabljajo različne tehnologije.

Ena izmed najpreprostejših načinov je papirno komisioniranje (ang. *pick-to-paper*), ki je kljub vpeljavi digitalizacije in digitalne transformacije procesov v intralogistiki še vedno pogosto uporabljen način komisioniranja v praksi. Pri papirnem komisioniranju dobi komisionar naročilo (delovni nalog) na listu papirja, kjer so označene lokacije in količine kartonov ali artiklov, ki jih mora pobrati. Slabost tega načina komisioniranja je popolnoma ročno vodenje procesa komisioniranja, ki je izrazito časovno intenzivno in omogoča pojav napak pri procesu komisioniranja. Prav tako je za komisionarja izrazito moteče rokovanje s papirnato obliko naročila, saj je proces komisioniranja v osnovi povezan z ročnimi manipulacijami, zato je potrebno, da ima komisionar ves čas proste roke.

Naslednji način je komisioniranje z RF-terminalom (ang. *bar-code scanning*), kjer ima komisionar na roki nameščen RF-terminal za skeniranje črtnih kode. Kratica RF se navezuje na angleško besedo *Radio Frequency*. Vsebina naročila se komisionarju izpiše na RF-terminalu, ki obsega zaporedje navedenih skladiščnih lokacij. Vse skladiščne lokacije

so v skladišču označene s črtno kodo, zato komisionar najprej z RF-terminalom preveri, ali je na zahtevani skladiščni lokaciji. Šele nato začne proces komisioniranja, ko na vsakem posameznem artiklu odčita črtno kodo, preden artikel odloži v komisionirni voziček. Tako se zagotovi zahtevana natančnost procesa komisioniranja, hkrati pa se artikli, vzeti iz skladiščnih lokacij, razknjižijo. Vse informacije se prenesejo v sistem za skladiščno poslovanje (ang. *Warehouse Management System*), ki zabeleži vse izvedene transakcije. Komisioniranje z RF-terminalom je veliko produktivnejše kot papirni način komisioniranja.

Nadgradnja komisioniranja z RF-terminalom je glasovno usmerjeno komisioniranje (ang. *pick-to-voice*), pri katerem je delovni nalog ponazorjen z glasovnimi sporočili, ki vodijo in usmerjajo komisionarja skozi skladišče. Komisionar potrjuje posamezna izvedena naročila z uporabo mikrofona. Sodobnejši način komisioniranja je vizualno usmerjeno komisioniranje (ang. *pick-by-vision*), pri katerem ima komisionar nameščena pametna očala za obogateno resničnost, ki omogočajo prikaz delovnega naloga in skeniranje črtne kode.

Poleg navedenih tehnologij se v praksi v povezavi z uporabo pretočnega policičnega regala veliko uporablja način komisioniranja, imenovan svetlobno usmerjeno komisioniranje (ang. *pick-to-light*). Naročilo se izvaja s prižiganjem svetleče diode, nameščene na posebnih modulih, ki prikazujejo številčne vrednosti. Na snovi prižgane LED-diode in izbrane številčne vrednosti (npr. "4") se izvede proces komisioniranja oz. izvzema zahtevanega števila artiklov iz pretočnega policičnega regala, ki se jih nato odloži v zaboj na valjčnem transporterju. Po izvedeni manipulaciji komisionar nastavi števec na izhodiščno stanje "0". Beleženje dejanskega stanja artiklov v kartonu ali zaboju v pretočnem policičnem regalu se izvaja avtomatsko. Ta način komisioniranja artiklov je v osnovi preprost in dovolj natančen, da dosežemo visoko produktivnost procesa komisioniranja.

### 3.8 Razdelitev procesa komisioniranja po strokovnih priporočilih VDI

Procesi	Možnosti realizacije (izvedbe)			
Transport artiklov za potrebe komisioniranja	Se ne izvaja	Se izvaja		
		1-dimenzionalno	2-dimenzionalno	3-dimenzionalno
		Ročno	Mehanizirano	Avtomatsko
Položaj oz. zagotovitev artiklov	Statično		Dinamično	
	Centralizirano		Decentralizirano	
	Urejen		Neurejen	
Premikanje komisionarja v skladišču	Se ne izvaja	Se izvaja		
		1-dimenzionalno	2-dimenzionalno	3-dimenzionalno
		Voziček	Mehanizirano	Avtomatsko
Rokovanje z artikli pri komisioniranju	Ročno	Mehanizirano	Avtomatsko	
	En artikel		Več artiklov hkrati	
Transport artiklov za odpremo	Se ne izvaja	Se izvaja		
		Komisionar		Transportno sredstvo
		1-dimenzionalno	2-dimenzionalno	3-dimenzionalno
		Ročno	Mehanizirano	Avtomatsko
Odprema	Statično		Dinamično	
	Centralizirano		Decentralizirano	
	Urejeno		Neurejeno	
Povraten transport artiklov v skladišče	Se ne izvaja	Se izvaja		
		1-dimenzionalno	2-dimenzionalno	3-dimenzionalno
		Ročno	Mehanizirano	Avtomatsko

Slika 51: Proces komisioniranja, definiran po strokovnih priporočilih VDI

Vir: VDI 3590 Blatt 1, 1994

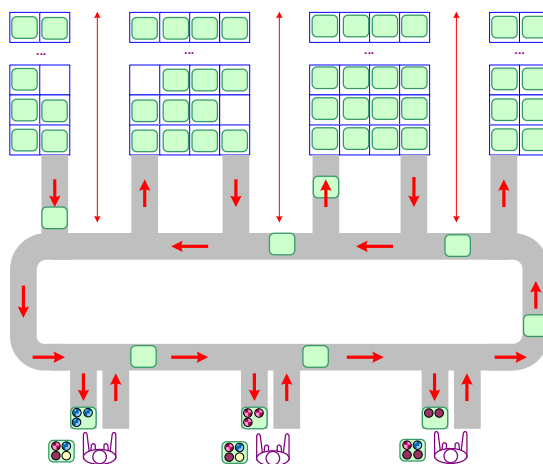
Proces komisioniranja, definiran po strokovnih priporočilih Zveze inženirjev Nemčije (Verein Deutscher Ingenieure), je definiran v strokovnem priporočilu VDI 3590 Blatt 1, 1994. Procesi na sliki 51 so definirani po naslednjem zaporedju.

#### Transport artiklov za potrebe komisioniranja

Če je izpolnjen pogoj "Se izvaja", potem se izvaja sistem komisioniranja, imenovan *Blago-h-komisionarju*. Transport artiklov se lahko izvaja enodimenzionalno (uporaba valjčnega transporterja ali krožnega transporterja), dvodimenzionalno (uporaba avtomatskega regalnega dvigala) ali tridimenzionalno (uporaba mostnega dvigala). Manipulacija z artikli



je lahko izvedena ročno, mehanizirano ali avtomatsko. Eden izmed primerov sistema komisioniranja *Blago-b-komisionarju* je uporaba avtomatiziranega regalnega skladišča majhnih delov, kjer se zabojčki z artikli transportirajo do komisionirnih delovnih mest v predskladiščni (komisionirni) coni skladišča. Komisionirna cona skladišča z delovnimi mesti je tik ob avtomatiziranem regalnem skladišču in je s skladiščem povezana s sistemi valjčnih transporterjev (slika 52).



Slika 52: Tloris predskladiščne komisionirne cone avtomatskega regalnega skladišča

Vir: lasten

Če pa je izpolnjen pogoj "Se ne izvaja", potem se izvaja sistem komisioniranja, imenovan *Komisionar-k-blagu*, pri katerem se komisionar premika skozi skladišče in hkrati izvaja proces komisioniranja oz. nabiranja artiklov.

### Položaj oz. zagotovitev artiklov za potrebe komisioniranja

V primeru statičnega načina so artikli pri procesu skladiščenja in komisioniranja nameščeni v zabojju, kartonu ali na paleti na fiksno določeni lokaciji v skladišču. V primeru dinamičnega načina se artikli v zabojčkih transportirajo po sistemu valjčnih transporterjev do komisionirnega delovnega mesta, kjer se izvede proces komisioniranja glede na naročilo. Preostali artikli v zabojčkih se opremijo nazaj v skladišče, pri čemer pa ni nujno, da se uskladišijo na prvotni skladiščni lokaciji.

V primeru centraliziranega načina je položaj artikla v skladišču enak položaju komisionarja, ki izvaja proces komisioniranja, medtem ko sta pri decentraliziranem načinu komisioniranja položaj artikla in komisioniranja na različnih mestih v skladišču. Urejen in neurejen način komisioniranja se navezuje na delovni potek izvajanja procesa komisioniranja.

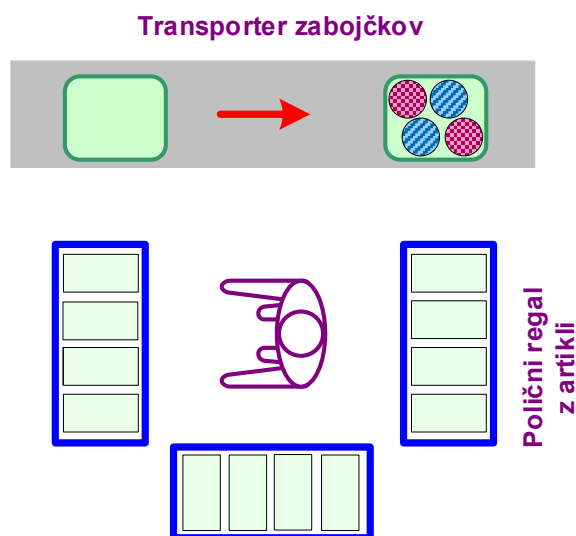
V nadaljevanju bodo prikazane kombinacije različnih načinov položaja oz. zagotovitve artiklov pri procesu komisioniranja.

### Primer statičnega in decentraliziranega načina komisioniranja

Artikli so nameščeni v poličnem regalnem skladišču v zabojih, kar ponazarja statični način. Komisionar se pomika v hodniku poličnega regalnega skladišča in izvaja proces komisioniranja glede na zahtevano naročilo, kar ponazarja decentralizirani način.

### Primer statičnega in centraliziranega načina komisioniranja

Na sliki 53 je prikazano komisionirno mesto U-oblike. Na komisionirnem mestu je komisionar (centraliziran način), ki ima dostop do vseh artiklov v poličnem regalnu na dosegu roke (statični način).

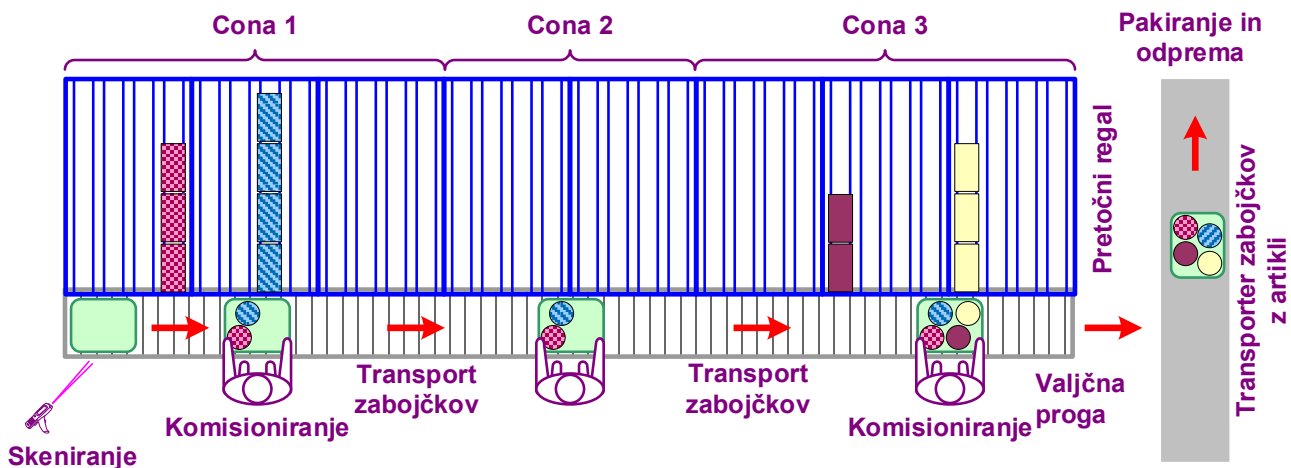


Slika 53: Primer komisionirnega gnezda U-oblike

Vir: lasten

### Primer dinamičnega in decentraliziranega načina komisioniranja

Artikli v zabojih so uskladiščeni v avtomatiziranem regalnem skladišču majhnih delov (ang. *mini-load AS/RS*). Regalno dvigalo polni pretočne regale z artikli v zabojih (dinamični način), ki so povezani z valjčno progo in sistemom svetlobno usmerjenega komisioniranja (ang. *pick-to-light*). Komisionar se pomika ob valjčni progi in izvaja proces komisioniranja glede na zahtevano naročilo (slika 54), ki je prikazano v sistemu svetlobno usmerjenega komisioniranja (decentralizirani način).

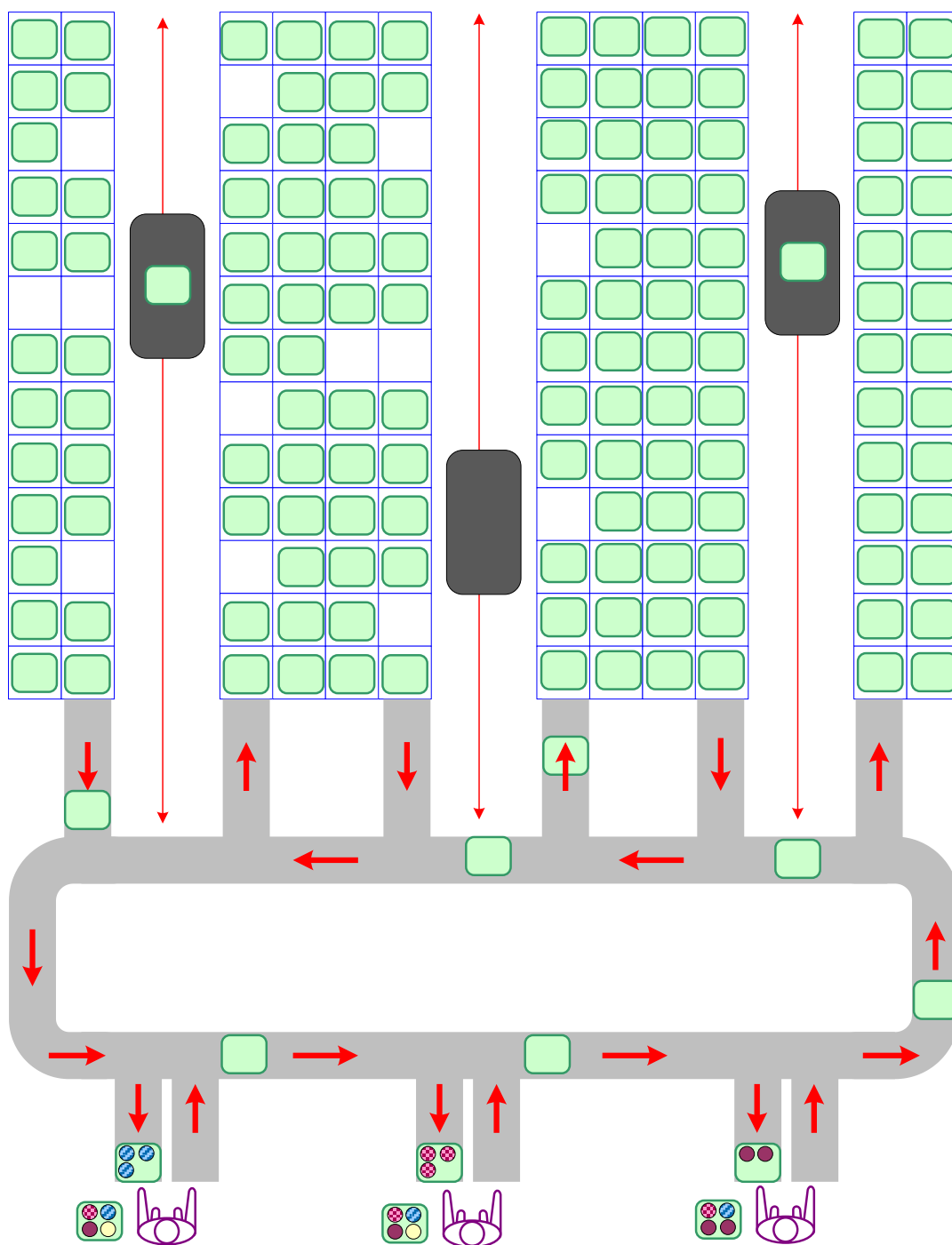


Slika 54: Primer dinamičnega in decentraliziranega načina komisioniranja

Vir: Kay, 2016: slika 6.41, Pick-and-pass zone piece picking (predelava)

### Primer dinamičnega in centraliziranega načina komisioniranja

Artikli v zabojih so uskladiščeni v avtomatiziranem regalnem skladišču majhnih delov (ang. *mini-load AS/RS*). Glede na podano naročilo se z regalnim dvigalom in sistemom valjčnih transporterjev izvede transport artiklov v zabojih (dinamični način) do predskladiščne (komisionirne) cone, kjer se nadalje izvede proces komisioniranja (centraliziran način). Preostali artikli v zabojih se nato odpremijo nazaj v regalno skladišče, kot prikazuje slika 55.



Slika 55: Tloris avtomatiziranega regalnega skladiščnega sistema za zaboje s predskladiščno komisionirno cono

Vir: lasten

### Premikanje komisionarja v skladišču

Premikanje komisionarja v skladišču do izbranih skladiščnih lokacij za izvedbo procesa komisioniranja se lahko izvaja enodimenzionalno z uporabo komisionirnega vozička, ročnega (slika 56) ali nizkodvižnega viličarja.



**Slika 56: Primer enodimenzionalnega komisioniranja**

Vir: ©/Adobe Stock

Dvodimenzionalno komisioniranje artiklov se v osnovi izvaja z uporabo regalnega viličarja (slika 57) ali z uporabo avtomatskega regalnega dvigala.



**Slika 57: Primer dvodimenzionalno komisioniranja**

Vir: ©/Adobe Stock

Tridimenzionalno komisioniranje artiklov pa se izvaja z uporabo mostnega dvigala, ki lahko doseže poljubno skladiščno lokacijo znotraj skladiščnega objekta (slika 58).



**Slika 58: Primer tridimenzionalnega komisioniranja**

Vir: ©/Adobe Stock

Komisioniranje artiklov se lahko izvaja ročno, mehanizirano ali avtomatsko, kot je prikazano v primeru mobilnega komisionirnega robota z nameščeno robotsko roko na sliki 59.



**Slika 59: Primer avtomatskega komisioniranja artiklov z robotsko roko**

Vir: ©/Adobe Stock

## Manipulacija kartonov/artiklov pri komisionarju

Manipulacija kartonov/artiklov pri komisioniranju se lahko izvaja ročno (slika 60), mehanizirano z uporabo manipulatorjev, prijemal in dvižnih naprav ter robotizirano z robotskim prijemalom (slika 61).



**Slika 60: Primer ročne manipulacije kartonov**

Vir: ©/Adobe Stock



**Slika 61: Primer robotizirane manipulacije kartonov**

Vir: ©/Adobe Stock

## Transport artiklov za odpremo

Transport artiklov za proces odpreme izvajajo komisionar ali transportno sredstvo (valjčni transporter). Vrši se lahko eno-, dvo- ali tridimenzionalno, izveden pa je lahko ročno, mehanizirano ali avtomatsko.

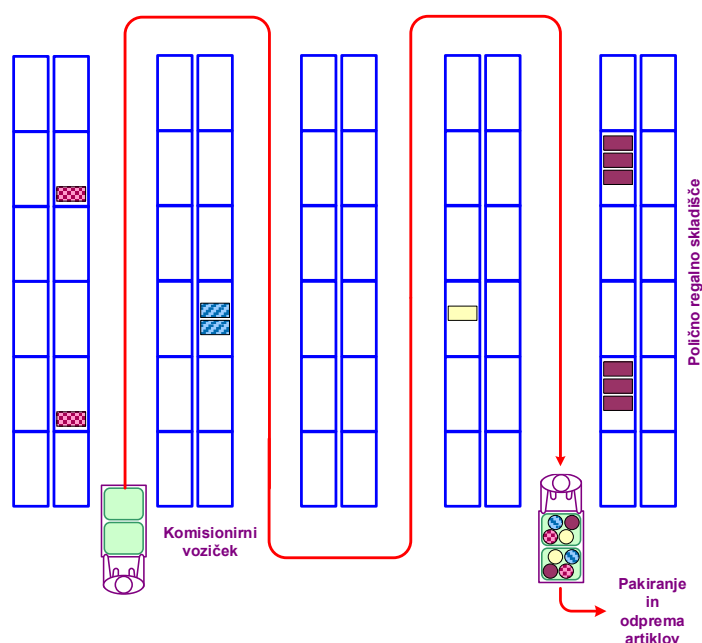
## Odprema

V procesu odpreme se pripravi pošiljka za naročnika oz. končnega odjemalca. Proces načina odpreme se lahko izvaja statično (ang. *pick-to-box*) ali dinamično (ang. *pick-to-belt*), centralizirano ali decentralizirano in urejeno ali neurejeno.

## Povraten transport artiklov v skladišče

Proces povratnega transporta artiklov v skladišče se izvaja v primeru uporabe sistema komisioniranja *Blago-h-komisionarju*. Po izvršenem procesu komisioniranja artiklov na komisionirnem delovnem mestu potujejo zabojčki s preostalimi artikli nazaj v skladišče, kot pri avtomatiziranem regalnem skladišču majhnih delov.

## Primer izvedbe procesa komisioniranja artiklov iz poličnega regalnega skladišča s komisionirnim vozičkom



Slika 62: Proces komisioniranja artiklov iz poličnega regalnega skladišča s komisionirnim vozičkom

Vir: Kay, 2016: slika 6.40, Pick-cart batch piece picking (predelava)



Proces komisioniranja artiklov iz poličnega regalnega skladišča s komisionirnim vozičkom se izvaja po sistemu *Komisionar-k-blagu* (slika 62). Artikli so uskladiščeni v poličnem regalnem skladišču v zabojih (statični način). Proces komisioniranja glede na podano naročilo je izveden na decentraliziran način pri urejenem položaju artiklov. Komisionar se premika v hodniku poličnega regalnega skladišča s komisionirnim vozičkom in ročno izvaja proces komisioniranja artiklov glede na naročilo. Na izbrani skladiščni lokaciji komisionar izvzame več artiklov hkrati ter jih odčita z RF-terminalom in odloži v zabojčke na vozičku. Po zaključku procesa komisioniranja komisionar z vozičkom zabojčke z artikli dostavi na mesto za pakiranje in odpremo (slika 63).

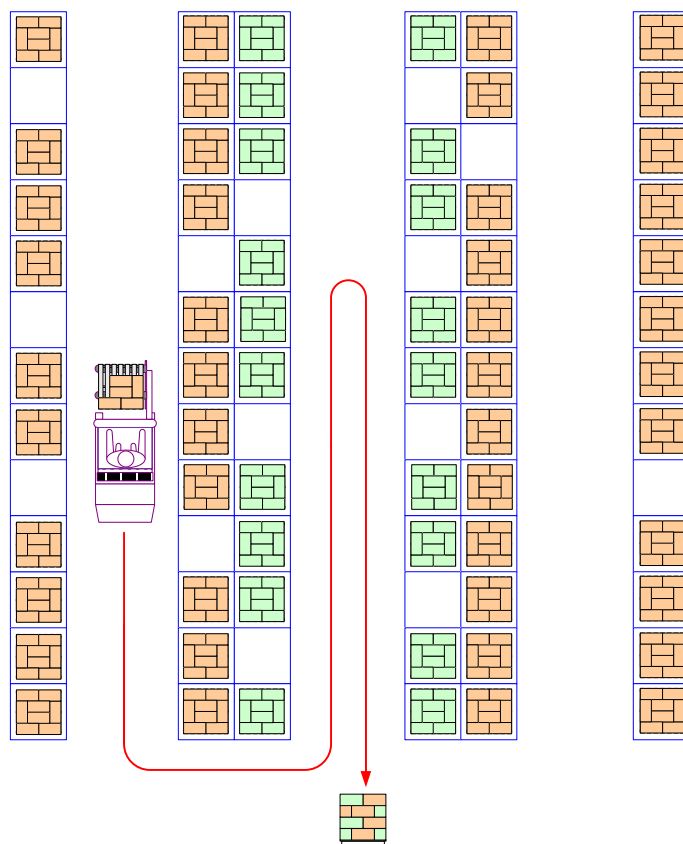
Procesi	Možnosti realizacije (izvedbe)			
Transport artiklov za potrebe komisioniranja	Se ne izvaja	Se izvaja		
		1-dimenzionalno	2-dimenzionalno	3-dimenzionalno
		Ročno	Mehanizirano	Avtomatsko
Položaj oz. zagotovitev artiklov	Statično	Dinamično		
	Centralizirano	Decentralizirano		
	Urejen	Neurejen		
Premikanje komisionarja v skladišču	Se ne izvaja	Se izvaja		
		1-dimenzionalno	2-dimenzionalno	3-dimenzionalno
		Voziček	Mehanizirano	Avtomatsko
Manipulacija z artikli pri komisioniranju	Ročno	Mehanizirano	Avtomatsko	
	En artikel	Več artiklov hkrati		
Transport artiklov za odpremo	Se ne izvaja	Se izvaja		
		Komisionar	Transportno sredstvo	
		1-dimenzionalno	2-dimenzionalno	3-dimenzionalno
		Ročno	Mehanizirano	Avtomatsko
Odprema	Statično	Dinamično		
	Centralizirano	Decentralizirano		
	Urejeno	Neurejeno		
Povraten transport artiklov v skladišče	Se ne izvaja	Se izvaja		
		1-dimenzionalno	2-dimenzionalno	3-dimenzionalno
		Ročno	Mehanizirano	Avtomatsko

Slika 63: Proces komisioniranja artiklov iz poličnega regalnega skladišča s komisionirnim vozičkom po

VDI

Vir: VDI 3590 Blatt 3, 2002

## Primer izvedbe procesa komisioniranja kartonov iz paletnega regalnega skladišča s komisionirmin regalnim viličarjem z dvižno kabino



**Slika 64: Proces komisioniranja kartonov iz paletnega regalnega skladišča s komisionirmin regalnim viličarjem z dvižno kabino**

Vir: lasten

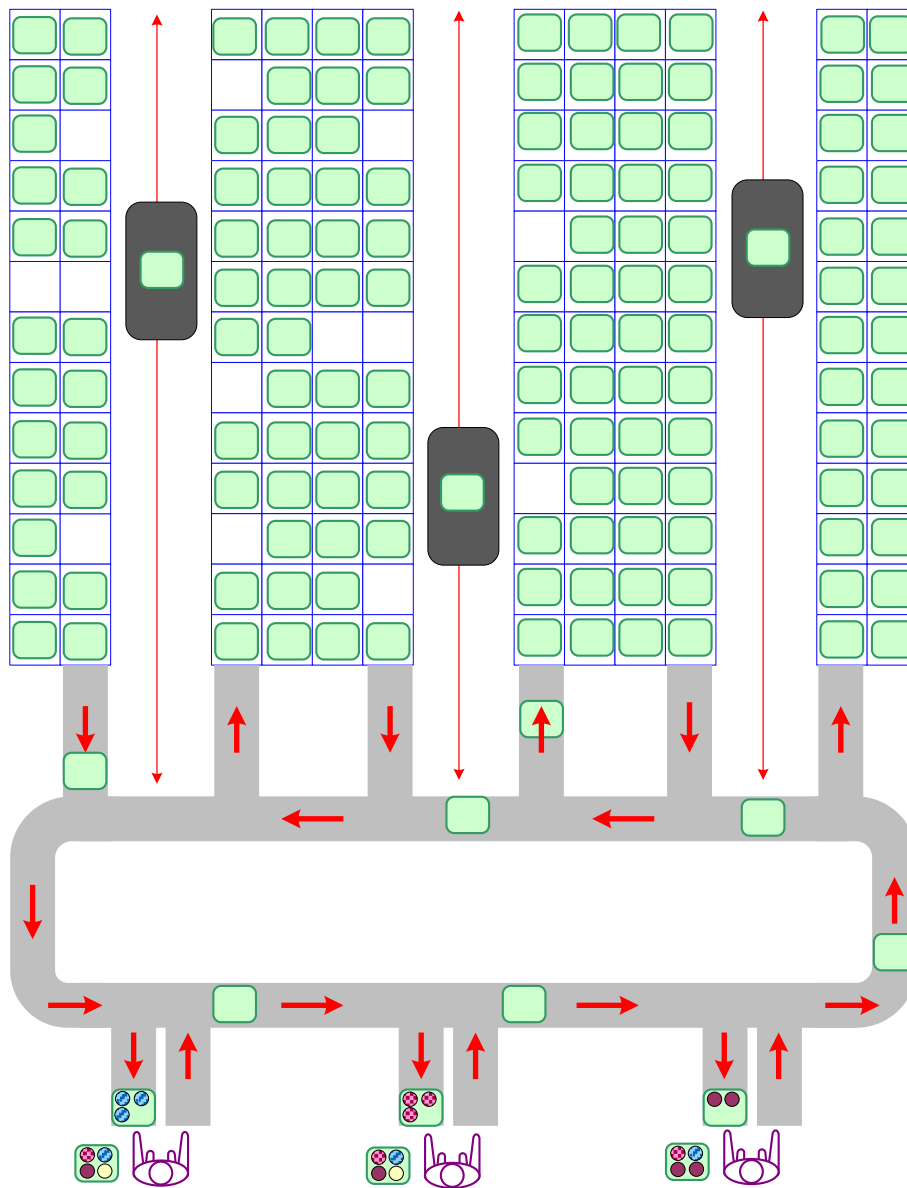
Proces komisioniranja kartonov iz paletnega regalnega skladišča z visokoregalnim viličarjem s pomično kabino se izvaja po sistemu *Komisionar-k-blagu* (slika 64). Kartoni so uskladiščeni na paletah v regalnem skladišču (statični način). Proces komisioniranja glede na podano naročilo je izveden na decentraliziran način pri urejenem položaju kartonov na paletah. Komisionar se z visokoregalnim viličarjem premika v hodniku regalnega skladišča v vodoravni in v navpični smeri (dvodimenzionalni način) in ročno izvaja proces komisioniranja kartonov glede na podano naročilo. Na izbrani skladiščni lokaciji komisionar izvzame več kartonov hkrati ter jih odčita z RF-terminalom in odloži na paleto na visokoregalnem viličarju. Po zaključku procesa komisioniranja komisionar z visokoregalnim viličarjem paleto s kartoni dostavi na mesto za odpremo (slika 65).

Procesi	Možnosti realizacije (izvedbe)			
Transport artiklov za potrebe komisioniranja	Se ne izvaja	Se izvaja		
		1-dimenzionalno	2-dimenzionalno	3-dimenzionalno
		Ročno	Mehanizirano	Avtomatsko
Položaj oz. zagotovitev artiklov	Statično	Dinamično		
	Centralizirano	Decentralizirano		
	Urejen	Neurejen		
Premikanje komisionarja v skladišču	Se ne izvaja	Se izvaja		
		1-dimenzionalno	2-dimenzionalno	3-dimenzionalno
		Vožček	Mehanizirano	Avtomatsko
Manipulacija z artikli pri komisioniranju	Ročno	Mehanizirano	Avtomatsko	
	En artikel	Več artiklov hkrati		
Transport artiklov za odpremo	Se ne izvaja	Se izvaja		
		Komisionar	Transportno sredstvo	
		1-dimenzionalno	2-dimenzionalno	3-dimenzionalno
		Ročno	Mehanizirano	Avtomatsko
Odprema	Statično	Dinamično		
	Centralizirano	Decentralizirano		
	Urejeno	Neurejeno		
Povraten transport artiklov v skladišče	Se ne izvaja	Se izvaja		
		1-dimenzionalno	2-dimenzionalno	3-dimenzionalno
		Ročno	Mehanizirano	Avtomatsko

Slika 65: Proces komisioniranja kartonov iz paletnega regalnega skladišča s komisionirnim regalnim viličarjem z dvizno kabino po VDI

Vir: VDI 3590 Blatt 3, 2002

**Primer izvedbe procesa komisioniranja artiklov iz avtomatiziranega regalnega skladišča majhnih delov in iz predskladiščne komisionirne cone**



**Slika 66: Proces komisioniranja artiklov iz avtomatiziranega regalnega skladišča majhnih delov in iz predskladiščne komisionirne cone**

Vir: lasten

Proces komisioniranja artiklov iz avtomatiziranega regalnega skladišča majhnih delov (ang. *mini-load AS/RS*) se izvaja po sistemu *Blago-h-komisionarju* (slika 66).

Procesi	Možnosti realizacije (izvedbe)		
Transport artiklov za potrebe komisioniranja	Se ne izvaja	Se izvaja	
		1-dimenzionalno	2-dimenzionalno
		Ročno	Mehanizirano
Položaj oz. zagotovitev artiklov	Statično	Dinamično	
	Centralizirano	Decentralizirano	
	Urejen	Neurejen	
Premikanje komisionarja v skladišču	Se ne izvaja	Se izvaja	
		1-dimenzionalno	2-dimenzionalno
		Voziček	Mehanizirano
Manipulacija z artikli pri komisioniranju	Ročno	Mehanizirano	Avtomatsko
	En artikel	Več artiklov hkrati	
	Se izvaja		
Transport artiklov za odpremo	Se ne izvaja	Komisionar	Transportno sredstvo
		1-dimenzionalno	2-dimenzionalno
		Ročno	Mehanizirano
Odprema	Statično	Dinamično	
	Centralizirano	Decentralizirano	
	Urejeno	Neurejeno	
Povraten transport artiklov v skladišče	Se ne izvaja	Se izvaja	
		1-dimenzionalno	2-dimenzionalno
		Ročno	Mehanizirano

**Slika 67: Proces komisioniranja artiklov iz avtomatiziranega regalnega skladišča majhnih delov in iz predskladiščne komisionirne cone po VDI 3590 Blatt 1**

Vir: VDI 3590 Blatt 3, 2002

Artikli so uskladiščeni v poličnem regalnem skladišču v zabojih (statični način). Proces komisioniranja glede na podano naročilo je izveden na decentraliziran način pri urejenem položaju artiklov.

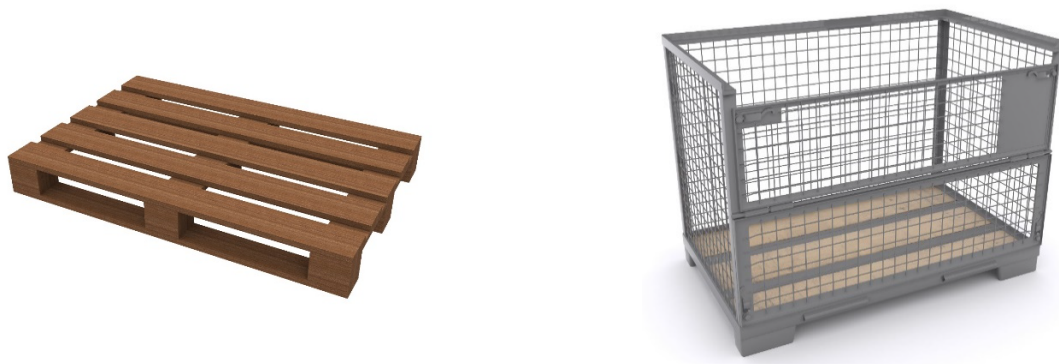
Regalno dvigalo se premika vzdolž regalnega hodnika v vodoravni in v navpični smeri hkrati ter izvaja proces uskladiščenja in odpreme zabojčkov z artikli. Glede na podano naročilo regalno dvigalo odpremi zabojček z artikli in ga odloži na valjčni transporter. Vsa manipulacija zabojčkov pri procesu uskladiščenja in odpreme se izvaja avtomatsko s pomičnimi vodili, nameščenimi na dvižni mizi regalnega dvigala. Zabojčki z artikli potujejo do izbranega komisionirnega delovnega mesta, kjer se izvrši proces komisioniranja. Na komisionirnem delovnem mestu komisionar izvzame več artiklov hkrati ter jih odčita z

RF-terminalom in odloži v zabojčke za odpremo. Le-ti potujejo po valjčnem transporterju do mesta odpreme. Zabojčki s preostalimi artikli pa potujejo prek sistema valjčnih transporterjev nazaj v regalno skladišče (slika 67).

## 4 Transportna sredstva pri procesu komisioniranja

Za potrebe procesa komisioniranja uporabljamo različna transportna sredstva v notranjem transportu, kot so transportni viličarji, vlečni vozički, regalna dvigala, mostni žerjavi, avtomatsko vodeni vozički AGV, avtonomni mobilni roboti (AMR)ipd. Ker bodo avtomatsko vodeni vozički in mobilni roboti obravnavani v drugem učbeniku, bodo v nadaljevanju predstavljeni transportni viličarji.

Najbolj razširjena transportna sredstva notranjega transporta v gospodarstvu so še vedno viličarji, ki se uporabljajo za transport tovora na krajših razdaljah. Uporabnost viličarjev je povezana z uporabo palete (evropaleta), ki je standardnih dimenzij (dolžine  $l = 1200$  mm, širine  $w = 800$  mm in višine  $h = 144$  mm) ter je v osnovi izdelana iz lesa (slika 68). Poznamo tudi evropaleta širine  $w = 1000$  mm. Obstajajo pa tudi plastične palete in kovinske mrežaste palete, kot je prikazano na sliki 68.



**Slika 68: Lesena evropaleta in kovinska mrežasta paleta**

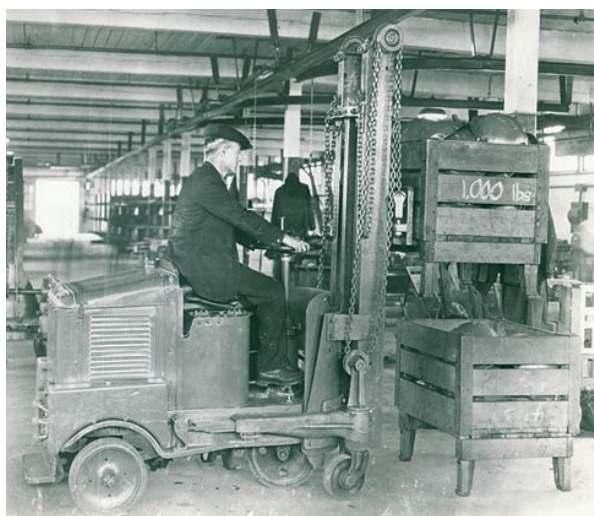
Vir: ©/Adobe Stock

Prvi viličarji so se pojavili v dvajsetih letih prejšnjega stoletja v Združenih državah Amerike (slika 69). Poznamo različne izvedbe viličarjev, in sicer od najpreprostejših ročnih paletnih viličarjev pa vse do visokozmogljivih avtomatiziranih regalnih viličarjev.

V osnovi viličarji sestojijo iz dvižnega (hidravličnega) mehanizma, pogonskega sklopa ter protiuteži dvižnega bremena, ki zagotavlja stabilnost viličarja.

Najbolj pogosta oblika v notranjem transportu so električni viličarji, medtem ko se za transport zunaj skladiščnega objekta uporabljajo dizelski (hibridni) in plinski viličarji.

Pri izbiri viličarja za potrebe skladiščenja in komisioniranja sta izrazito pomembna višinski doseg vilic viličarja ter širina viličarja, kar vpliva na višino skladiščnega regala in na širino hodnika regalnega skladišča.



**Slika 69: Prvi primeri uporabe viličarja v industriji**

Vir: <http://www.tamarri.net/en/the-first-forklift-truck-history/>



V literaturi in v praksi ločimo naslednje tipe viličarjev:

- ročni paletni viličarji,
- električni ročni (nizkodvižni) viličarji,
- električni (visokodvižni) viličarji,
- čelni viličarji,
- komisionirni viličarji,
- regalni in visokoregalni viličarji,
- posebne oblike viličarjev, kot so vlačilci.

Viličarje v svetu proizvajajo različni proizvajalci, kot so: STILL ([still.si](https://www.still.si)), Linde (<https://www.linde-vilicar.si/si/>), Jungheinrich (<https://www.jungheinrich.si/>), Toyota (<https://www.toyotavilicarji.si/>) in drugi.

Glede na vsebinsko področje učbenika bodo v nadaljevanju predstavljeni komisionirni in regalni viličarji.

#### 4.1 Komisionirni viličarji

Komisionirni (električni) viličarji s podaljšanimi vilicami omogočajo transport dveh palet hkrati in so modulno ter ergonomsko oblikovani za potrebe procesa komisioniranja. Posebne izvedbe komisionirnih viličarjev imajo nameščene dvojne vilice, ki z uporabo hidravličnega cilindra ali škarjastega dvižnega mehanizma omogočajo dvig palete na višino  $h =$  od 700 do 800 mm (slika 70). Tako je nalaganje kartonov z artikli na paleto veliko bolj delovno prijazno z ergonomskega vidika. Nosilnost komisionirnih viličarjev znaša  $m =$  od 1.000 do 2.500 kg, medtem ko znaša hitrost  $v =$  od 9 do 14 km/h. Za napajanje pogonskega sklopa viličarja skrbijo Li-ionske baterije.



Slika 70: Komisionirni električni viličar z dvojnimi vilicami

Vir: ©/Adobe Stock

Komisionirni viličarji so lahko delno ali popolnoma avtomatizirani oz. avtonomni. Sodobne izvedbe komisionirnih viličarjev delujejo kot avtonomno vodeni vozički, ki so prek vmesnika povezani z operaterjem (komisionarjem). Ko se komisionar premika po regalnem hodniku naprej, mu viličar avtomatsko sledi, pri čemer ni treba, da komisionar upravlja z njim. Tako se poveča produktivnost komisioniranja, saj je komisionar v celoti osredotočen na proces komisioniranja kartonov. Tehnološko rešitev avtomatskega sledenja komisionirnega viličarja ponuja podjetje STILL (vir: still.si) z novo serijo avtonomnih komisionirnih viličarjev iGo neo (slika 71).

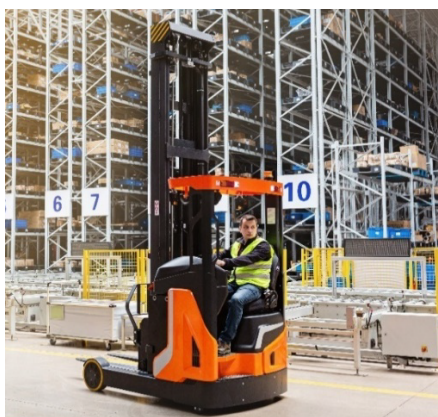


**Slika 71: Avtonomni komisionirni viličarji**

Vir: Viličarji Still, <https://www.still.si/>

## 4.2 Regalni viličarji

Regalni (električni) viličarji se za razliko od komisionirnih viličarjev uporabljajo za uskladiščenje in komisioniranje zaključenih TSE, in to za večje dvizne višine v skladiščnem regalu (slika 72).



**Slika 72: Regalni (paletni) viličar s pomičnim dviznim drogom**

Vir: ©/Adobe Stock

Glede na tehniško izvedbo omogočajo dvižne višine tudi do ekstremnih  $h = 13.000$  mm ter so primerni za nosilnosti tovora do  $m = 2.500$  kg (slika 73). Treba je poudariti, da se nosilnost viličarja z višinskim dosegom zmanjšuje, kar je navedeno v tehničnih karakteristikah vsakega posameznega proizvajalca viličarjev. Zaradi posebne oblike so ti viličarji sorazmerno ozki, pri čemer znaša širina regalnega viličarja  $w =$  od 1.200 do 1.600 mm. Uskladiščenje in komisioniranje TSE sta zagotovljena s pomikom dvižnega droga regalnega viličarja, ki se pomika v prečni smeri ( $\approx$ ).



**Slika 73: Regalni in visokoregalni paletni viličarji**

Vir: ©/Adobe Stock

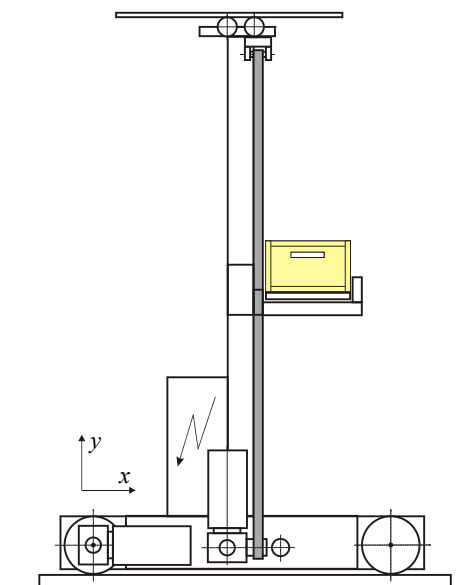
Tudi regalni viličarji lahko v celoti delujejo avtomatsko kot lasersko vodeni AVG-viličarji, upravljalec oz. viličarist tako ni potreben.



## 5 Avtomatizirani regalni skladiščni sistemi

Avtomatizirani regalni skladiščni sistemi (ang. *Automated Storage and Retrieval Systems*; AS/RS) zagotavljajo avtomatski proces uskladiščenja in odpreme transportno skladiščnih enot za paletizirano blago (ang. *unit-load AS/RS*) ali pa za manjše produkte v zabojčkih (ang. *mini-load AS/RS*). Osnovo AS/RS predstavljata regalna jeklena konstrukcija in regalno dvigalo. V odvisnosti od tovora (palete, zaboji, kartoni) dimenzioniramo oz. izberemo ustrezno regalno konstrukcijo, ki sestoji iz regalnih oken v vodoravni in v navpični smeri, kar tvori skladiščni regal. Skladiščni regal je lahko enoglobinski (ang. *single-deep system*), dvoglobinski (ang. *double-deep system*) ali večglobinski (ang. *multi-deep system*). Regalno skladišče tvori skladiščni regal na levi in na desni strani regalnega hodnika, kjer deluje regalno dvigalo.

Avtomatsko regalno dvigalo omogoča sočasno vožnjo v vodoravni ( $v_x, a_{x+}, a_{x-}$ ) in pomik dvižne mize regalnega dvigala v navpični smeri ( $v_y, a_{y+}, a_{y-}$ ), za kar skrbita dva neodvisna pogonska sklopa (slika 74). Hitrosti in pospeški/pojemki regalnega dvigala se razlikujejo glede na tovor (palete, zabojčki, kartoni) in znašajo tudi do  $v = 6 \text{ m/s}$  in  $a = 5 \text{ m/s}^2$  pri regalnih dvigalih za transport zabojčkov. Dvižna miza regalnega dvigala lahko sprejme eno (ang. *single-shuttle system*) ali več transportno-skladiščnih enot (ang. *multi-shuttle system*) hkrati. Regalno dvigalo lahko deluje samo v enem hodniku (ang. *single-aisle AS/RS*) ali pa je prek tirnic omogočeno delovanje v več hodnikih (ang. *multi-aisle AS/RS*).



Slika 74: Regalno dvigalo za transport zabojčkov

Vir: lasten

Zmogljivost regalnega dvigala in posledično skladiščno-komisionirnega sistema je odvisna od izbire fizikalnega oz. matematičnega modela hitrostno-časovne odvisnosti vožnje regalnega dvigala in pomika dvižne mize regalnega dvigala.

V nadaljevanju bodo predstavljene osnovne hitrostno-časovne karakteristike regalnega dvigala, in sicer:

- enakomerna hitrostno-časovna karakteristika ( $v = \text{konst.}$ ) ter
- trapezna in trikotna hitrostno-časovna karakteristika ( $v \neq \text{konst.}$ ).

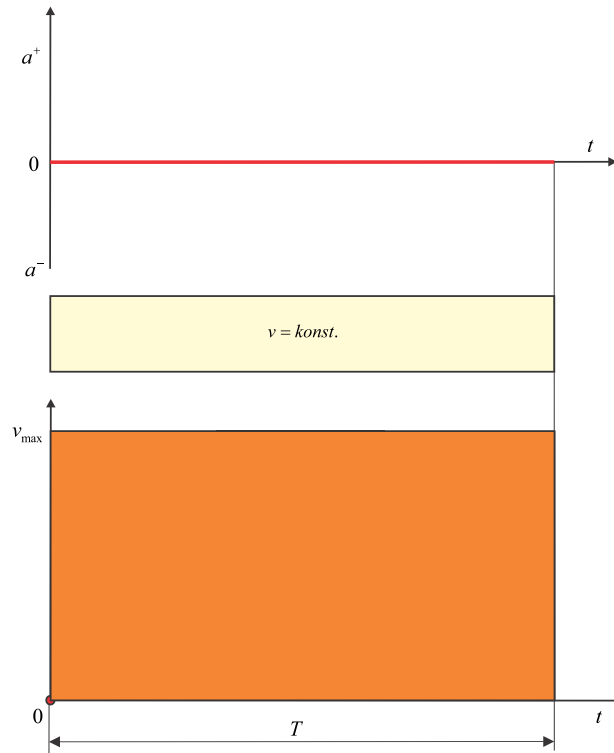
## 5.1 Fizikalno-matematični modeli vožnje regalnega dvigala

### 5.1.1 Fizikalno-matematični model vožnje regalnega dvigala, kadar je hitrost ustaljena ( $v = \text{konst.}$ )

#### Enakomerna hitrostno-časovna karakteristika

V primeru enakomerne vožnje regalnega dvigala je hitrost ves čas vožnje ustaljena ( $v = \text{konst.}$ ) in se ne spreminja v odvisnosti od časa. Pospešek/pojemek regalnega dvigala je pri enakomerni hitrostno-časovni karakteristiki enak nič ( $a = 0$ ), kot je prikazano na sliki 75.

Glede na znano hitrostno-časovno odvisnost  $v(t)$  in glede na izraza za izračun poti v odvisnosti od časa  $s(t)$  lahko izpeljemo izraz za določitev časa vožnje regalnega dvigala v odvisnosti od poti  $l(s)$ .



**Slika 75: Potek hitrostno-časovne odvisnosti vožnje transportno-skladišnega sredstva pri ustaljeni hitrosti**

Vir: lasten

Potek hitrosti  $v(t)$  v odvisnosti od časa je enak izrazu (5.1):

$$v(t) = \{v_{max} \quad t \in [0, T] \quad (5.1)$$

Pot  $v$  v odvisnosti od časa  $s(t)$  je enaka izrazu (5.2):

$$0 \leq t \leq T$$

$$a(t) = 0$$

$$v(t) = v_{max}$$

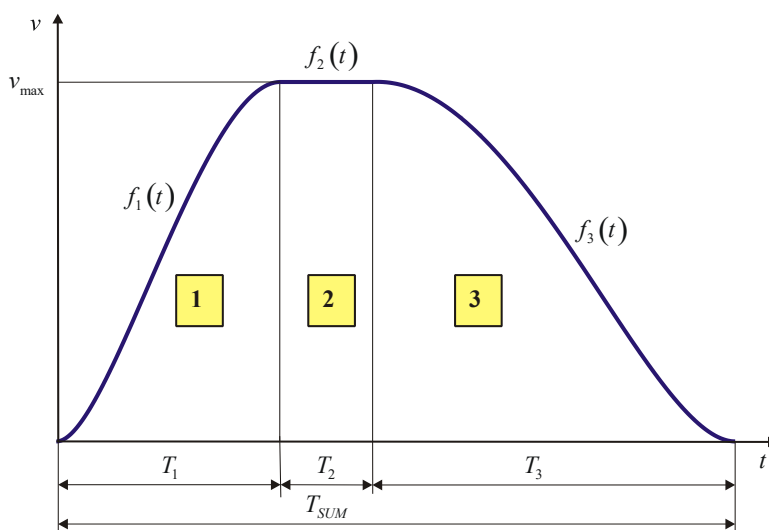
$$s(t) = \int_0^T v(t) dt = \int_0^T v_{max} dt = v_{max}(T - 0) \\ = v_{max} \cdot t \quad (5.2)$$

In obratno: čas v odvisnosti od poti  $t(s)$  je enak izrazu (5.3):

$$t(s) = \frac{s}{v_{max}} \quad (5.3)$$

### 5.1.2 Fizikalno-matematični model vožnje regalnega dvigala, kadar hitrost ni ustaljena ( $v \neq \text{konst.}$ )

Hitrostno-časovna odvisnost vožnje regalnega dvigala je v splošnem določena s: (i) pospeševanjem, dokler ni dosežena maksimalna hitrost, (ii) vožnjo z ustaljeno hitrostjo in (iii) pojemanjem pri približevanju k želeni skladiščni lokaciji (slika 76).



Slika 76: Hitrostno-časovna odvisnost vožnje regalnega dvigala

Vir: Lerher, 2005

Hitrostno-časovna odvisnost  $f_1(t)$  ponazarja spremembo hitrosti regalnega dvigala v odvisnosti od časa ( $T$ ). Oblika krivulje  $f_1(t)$  je odvisna od hitrostne karakteristike (moči pogonskega motorja) transportno-skladiščnega sredstva. Na sliki 76 lahko vidimo, da je čas pospeševanja od izhodišča ter vse, dokler regalno dvigalo ne doseže maksimalne hitrosti, enak deležu časa ( $T_1$ ). Po zaključenem pospeševanju sledi vožnja regalnega dvigala z ustaljeno hitrostjo. Hitrost v območju (2) je enaka maksimalni hitrosti ( $v_{max}$ ). Hitrostno-časovna odvisnost v območju (2) je enaka  $f_2(t) = \text{konst.} = v_{max}$ . Čas, ki ga prevozi regalno



dvigalo v območju ustaljene hitrosti, je enak deležu časa ( $T_2$ ). Hitrost v področju pojemanja (3) je ponazorjena s hitrostno-časovno odvisnostjo  $f_3(t)$ . Čas pojemanja regalnega dvigala pri približevanju k zeleni skladišni lokaciji je enak deležu časa ( $T_3$ ).

Kadar je izpolnjen pogoj, da je prevožena pot  $s(t)$  manjša od izraza (5.4)

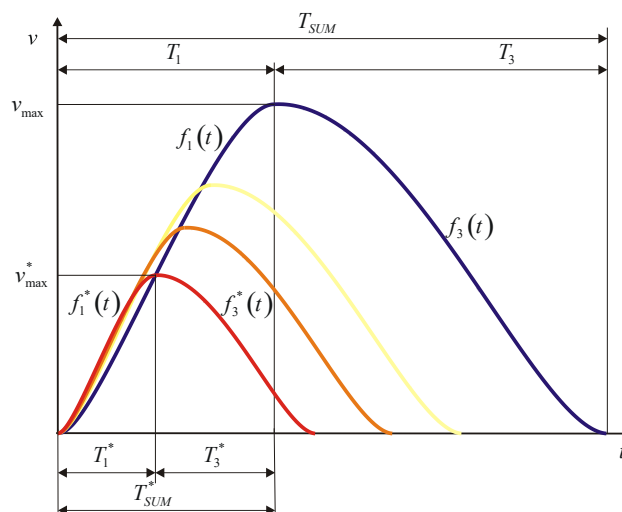
$$s(t) < \int_{T_1} f_1(t) dt + \int_{T_3} f_3(t) dt \quad (5.4)$$

takrat regalno dvigalo ne doseže maksimalne hitrosti ( $v_{\max}$ ). V tem primeru predstavlja hitrostno-časovna odvisnost le vsoto pospeševanja in pojemanja regalnega dvigala.

Če želimo zagotoviti hitrostno-časovno odvisnost, ki bo ustrezala pogoju (5.4), moramo odvisnosti  $f_1(t)$  in  $f_3(t)$ , ki se nanašata na pospeševanje in pojemanje regalnega dvigala, proporcionalno zmanjšati na vrednosti  $f_1^*(t)$  in  $f_3^*(t)$ . Redukcija hitrostno-časovne odvisnosti povzroči, da se vrednosti za maksimalno hitrost  $v_{\max}$ , čas pospeševanja ( $T_1$ ) in čas pojemanja ( $T_3$ ) proporcionalno zmanjšajo na vrednosti ( $v_{\max}^*$ ), ( $T_1^*$ ) in ( $T_3^*$ ), kar je enako izrazu (5.5) (slika 77).

$$\frac{v_{\max}^*}{T_1^*} = \frac{v_{\max}}{T_1} \quad (5.5)$$

$$\frac{v_{\max}^*}{T_3^*} = \frac{v_{\max}}{T_3}$$



Slika 77: Proporcionalna redukcija hitrostno-časovne odvisnosti vožnje regalnega dvigala

Vir: Lerher, 2005

Pri vožnji regalnega dvigala se srečamo z dvema osnovnima primeroma, in sicer:

Maksimalna hitrost ( $v_{\max}$ ) regalnega dvigala je dosežena, kar je enako izrazu (5.6):

$$s(t) = \int_0^{T_1} f_1(t) dt + v_{\max} \cdot T_2 + \int_{T_1+T_2}^{T_1+T_2+T_3} f_3(t) dt \quad (5.6)$$

kadar veljajo naslednje odvisnosti ponazorjene v izrazu (5.7):

$$\begin{aligned} f_1(0) &= 0 \\ f_1(T_1) &= v_{\max} \\ f_3(T_1 + T_2) &= v_{\max} \\ f_3(T_1 + T_2 + T_3) &= 0 \end{aligned} \quad (5.7)$$

Za izbrano dolžino poti ( $s$ ) v regalnem skladišču in glede na vrednosti časa pospeševanja ( $T_1$ ) in pojanja ( $T_3$ ) lahko izračunamo delež skupnega časa ( $T_2$ ). Celotni čas vožnje regalnega dvigala v primeru dosežene maksimalne hitrosti ( $v_{\max}$ ) je tako enak vsoti časov za pospeševanje, vožnjo z ustaljeno hitrostjo in pojanje, ker je enako izrazu (5.8).

$$T_{SUM} = T_1 + T_2 + T_3 \quad (5.8)$$

Maksimalna hitrost ( $v_{\max}$ ) regalnega dvigala ni dosežena, kar je enako izrazu (5.9):

$$s(t)^* = \int_0^{T_1^*} f_1^*(t) dt + \int_{T_1^*}^{T_1^*+T_3^*} f_3^*(t) dt \quad (5.9)$$

kadar veljajo naslednje odvisnosti v izrazu (5.10):

$$\begin{aligned} f_1^*(0) &= 0 \\ f_1^*(T_1^*) &= v_{\max}^* \\ f_3^*(T_1^*) &= v_{\max}^* \\ f_3^*(T_1^* + T_3^*) &= 0 \end{aligned} \quad (5.10)$$

Časa za pospeševanje ( $T_1^*$ ) in pojemanje ( $T_3^*$ ) dobimo iz izraza (5.11):

$$\begin{aligned} T_1^* &= \frac{v_{\max}^*}{v_{\max}} \cdot T_1 \\ T_3^* &= \frac{v_{\max}^*}{v_{\max}} \cdot T_3 \end{aligned} \quad (5.11)$$

Če vstavimo izraza ( $T_1^*$ ) in ( $T_3^*$ ) v izraz za izračun poti ( $s$ ), dobimo vrednost za reducirano maksimalno hitrost ( $v_{\max}^*$ ), kadar le-ta ni dosežena. Na osnovi reducirane maksimalne hitrosti ( $v_{\max}^*$ ) lahko izračunamo reducirano vrednost časa pospeševanja ( $T_1^*$ ) in časa pojemanja ( $T_3^*$ ).

Skupni čas  $T_{SUM}^*$  je enak izrazu (5.12):

$$T_{SUM}^* = T_1^* + T_2^* \quad (5.12)$$

Kadar je izpolnjen pogoj, da je vrednost pospeševanja enaka vrednosti pojemanja, velja izraz  $T_1^* = T_3^*$ .

### Hitrostno-časovna odvisnost vožnje regalnega dvigala, ki je vsota pospeševanja, ustaljene hitrosti in pojemanja

Kadar je izpolnjen pogoj ( $s > v^2/a$ ), predstavlja hitrostno-časovna odvisnost vožnje regalnega dvigala obliko trapeza. Na sliki 78 lahko vidimo, da je hitrostno-časovna odvisnost razdeljena na tri osnovna področja. V prvem delu je hitrost pospeševanja izražena z linearno odvisnostjo, pri upoštevanju pogoja o ustaljenem pospešku. Hitrost pospeševanja regalnega dvigala narašča linearno, dokler ne doseže maksimalne hitrosti ( $v_{\max}$ ). Čas pospeševanja je enak izrazu ( $t_p = v_{\max}/a$ ). Sledi vožnja regalnega dvigala z ustaljeno hitrostjo, pri kateri je vrednost pospeška enaka nič ( $a = 0$ ). Pri približevanju željeni skladišni lokaciji začne regalno dvigalo zavirati. Hitrost zaviranja regalnega dvigala je izražena z linearno odvisnostjo pri upoštevanju pogoja o ustaljenem pojemku. Čas zaviranja regalnega dvigala je enak izrazu ( $t_p = v_{\max}/a$ ).

Pri izračunu zmogljivosti regalnega dvigala nas zanima prevožena pot ( $s$ ) oz. čas prevožene poti ( $t$ ) do vsakega posameznega skladišnega mesta.

Glede na znano hitrostno-časovno odvisnost  $v(t)$  in glede na izraza za izračun poti v odvisnosti od časa  $s(t)$  lahko izpeljemo izraz za določitev časa vožnje regalnega dvigala v odvisnosti od poti  $l(s)$ .

Potek hitrosti  $v(t)$  v odvisnosti od časa je enak izrazu (5.13):

$$v(t) = \begin{cases} at & t \in [0, t_p] \\ v & t \in [t_p, T - t_p] \\ -a(t - T) & t \in [T - t_p, T] \end{cases} \quad (5.13)$$

Prevožena pot regalnega dvigala  $s(t)$  po posameznih področjih je enaka izrazom (5.14), (5.15) in (5.16):

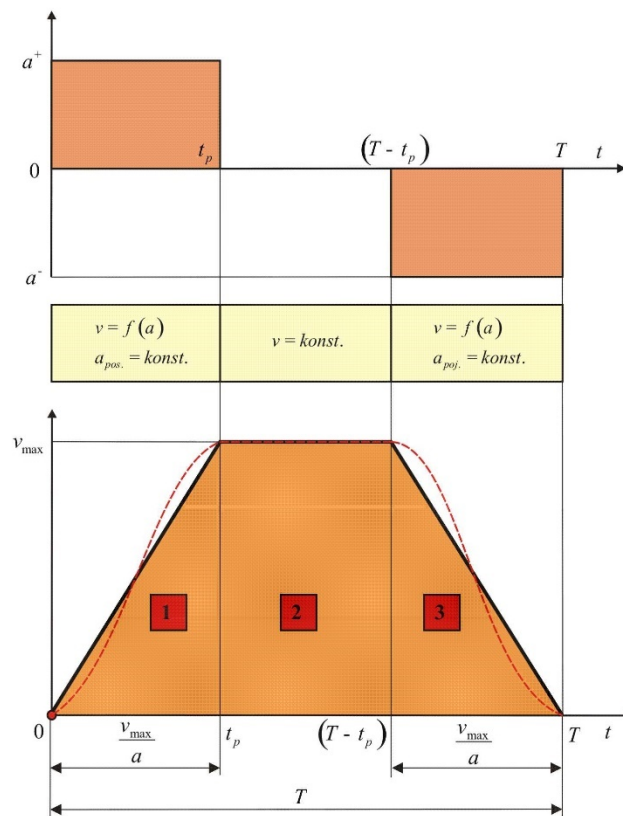
- **Področje 1 na sliki 78**

$$0 \leq t \leq t_p$$

$$a(t) = a$$

$$v(t) = at$$

$$s_1 = \int_0^{t_p} v(t) dt = \int_0^{t_p} a \cdot t dt = a \cdot \frac{t_p^2}{2} \quad (5.14)$$



Slika 78: Potek hitrostno-časovne odvisnosti vožnje transportno-skladišnega sredstva pri upoštevanju pogoja ( $s > v^2/a$ )

Vir: Lerher, 2005

- Področje 2 na sliki 78

$$t_p \leq t \leq T - t_p$$

$$a(t) = 0$$

$$v(t) = v_{max}$$

$$s_2 = \int_{t_p}^{T-t_p} v(t) dt$$

$$= \int_{t_p}^{T-t_p} v(t) dt = v(T - 2t_p)$$

(5.15)

- Področje 3 na sliki 78

$$T - t_p \leq t \leq T$$

$$a(t) = a$$

$$v(t) = -a(T - t_p, T)$$

$$s_3 = \int_{T-t_p}^T v(t) dt = \int_{T-t_p}^T -a(T-t) dt = \frac{at_p^2}{2} \quad (5.16)$$

Celotna pot regalnega dvigala v odvisnosti od časa  $s(t)$  je enaka izrazu (5.17):

$$s(t) = s_1 + s_2 + s_3 \quad (5.17)$$

Kadar velja izraz ( $t_p = v/a$ ), je celotna pot v odvisnosti od časa  $s(t)$  enaka izrazu (5.18):

$$s(t) = v \cdot t - \frac{v^2}{a} \quad (5.18)$$

In obratno: čas v odvisnosti od poti  $t(s)$  je enak izrazu (5.19):

$$t(s) = \frac{s}{v} + \frac{v}{a} \quad (5.19)$$

Kadar sta pospešek ( $a^+$ ) in pojemek ( $a^-$ ) različna, velja naslednji izraz (5.20):

$$s(t) = v \cdot t - \frac{v^2}{2} \left( \frac{1}{a^+} + \frac{1}{a^-} \right) \quad (5.20)$$

$$t(s) = \frac{s}{v} + \frac{v}{2} \left( \frac{1}{a^+} + \frac{1}{a^-} \right)$$

### Hitrostno-časovna odvisnost vožnje regalnega dvigala, ki je vsota pospeševanja in pojemanja

Kadar je izpolnjen pogoj ( $s \leq v^2/a$ ), predstavlja hitrostno-časovno odvisnost vožnje regalnega dvigala obliko trikotnika. Na sliki 79 je prikazana hitrostno-časovna odvisnost regalnega dvigala z dvema osnovnima področjema. Za razliko od predhodnega primera regalno dvigalo nikoli ne doseže ustaljene hitrosti.

Na sliki 79 lahko vidimo, da sta pospeševanje in pojemanje regalnega dvigala izražena z linearno odvisnostjo. Hitrost pospeševanja regalnega dvigala linearno narašča od izhodišča do določene stopnje hitrosti  $v(t_p)$ , ki je manjša od  $v_{max}$ . Čas pospeševanja regalnega dvigala je enak izrazu ( $t_p$ ). Hitrost zaviranja regalnega dvigala je prav tako izražena z linearno

odvisnostjo, in sicer pri upoštevanju pogoja o ustaljenem pojemku. Čas zaviranja regalnega dvigala je enak izrazu ( $t_p$ ).

Tudi v opisanem primeru hitrostno-časovne odvisnosti nas zanima pot  $v$  v odvisnosti od časa  $s(t)$  oz. čas v odvisnosti od poti  $l(s)$  vožnje regalnega dvigala.

Glede na znano hitrostno-časovno odvisnost  $v(t)$  in glede na izraza za izračun poti  $v$  v odvisnosti od časa  $s(t)$  lahko izpeljemo izraz za določitev časa vožnje regalnega dvigala v odvisnosti od poti  $l(s)$ .

Potek hitrosti  $v(t)$  v odvisnosti od časa je enak izrazu (5.21):

$$v(t) = \begin{cases} at & t \in [0, t_p] \\ -a(t - T) & t \in [t_p, T] \end{cases} \quad (5.21)$$

Prevožena pot regalnega dvigala  $s(t)$  po posameznih področjih je enaka naslednjim izrazom (5.22) in (5.23):

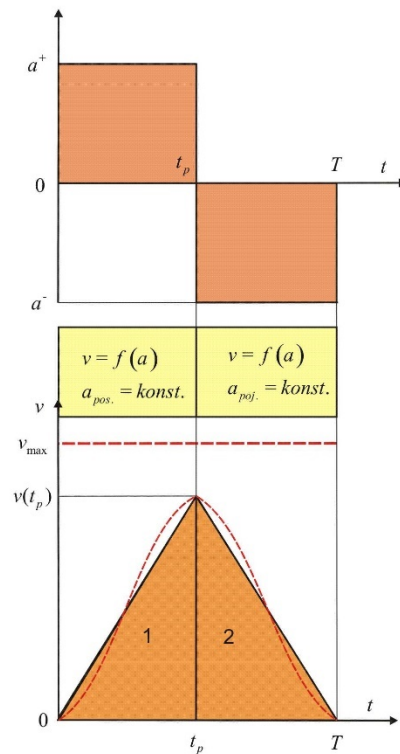
- **Področje 1 na sliki 79**

$$0 \leq t \leq t_p$$

$$a(t) = a$$

$$v(t) = a \cdot t$$

$$s_1 = \int_0^{t_p} v(t) dt = \int_0^{t_p} a \cdot t dt = a \cdot \frac{t_p^2}{2} \quad (5.22)$$



Slika 79: Potek hitrostno-časovne odvisnosti vožnje transportno skladiščnega sredstva pri upoštevanju pogoja ( $s \leq v^2/a$ )  
Vir: Lerher, 2005

- Področje 2 na sliki 79

$$t_p \leq t \leq T$$

$$a(t) = a$$

$$v(t) = -a(t - T)$$

$$\begin{aligned} s_2 &= \int_{t_p}^T v(t) dt = \int_{t_p}^T -a(t - T) dt \\ &= \frac{1}{2} a(T - t_p)^2 \end{aligned} \quad (5.23)$$

Celotna pot regalnega dvigala v odvisnosti od časa  $s(t)$  je enaka izrazu (5.24):

$$s(t) = s_1 + s_2 \quad (5.24)$$



Kadar velja izraz ( $t_p = T/2$ ), je celotna pot v odvisnosti od časa  $s(t)$  enaka izrazu (5.25):

$$s(t) = \frac{a \cdot t^2}{4} \quad (5.25)$$

In obratno: čas v odvisnosti od poti  $t(s)$  je enak izrazu (5.26):

$$t(s) = 2 \cdot \sqrt{\frac{s}{a}} \quad (5.26)$$

Kadar sta pospešek ( $a^+$ ) in pojemek ( $a^-$ ) različna, velja naslednji izraz (5.27):

$$s(t) = \frac{a^+ a^- t^2}{2(a^+ + a^-)} \quad (5.27)$$

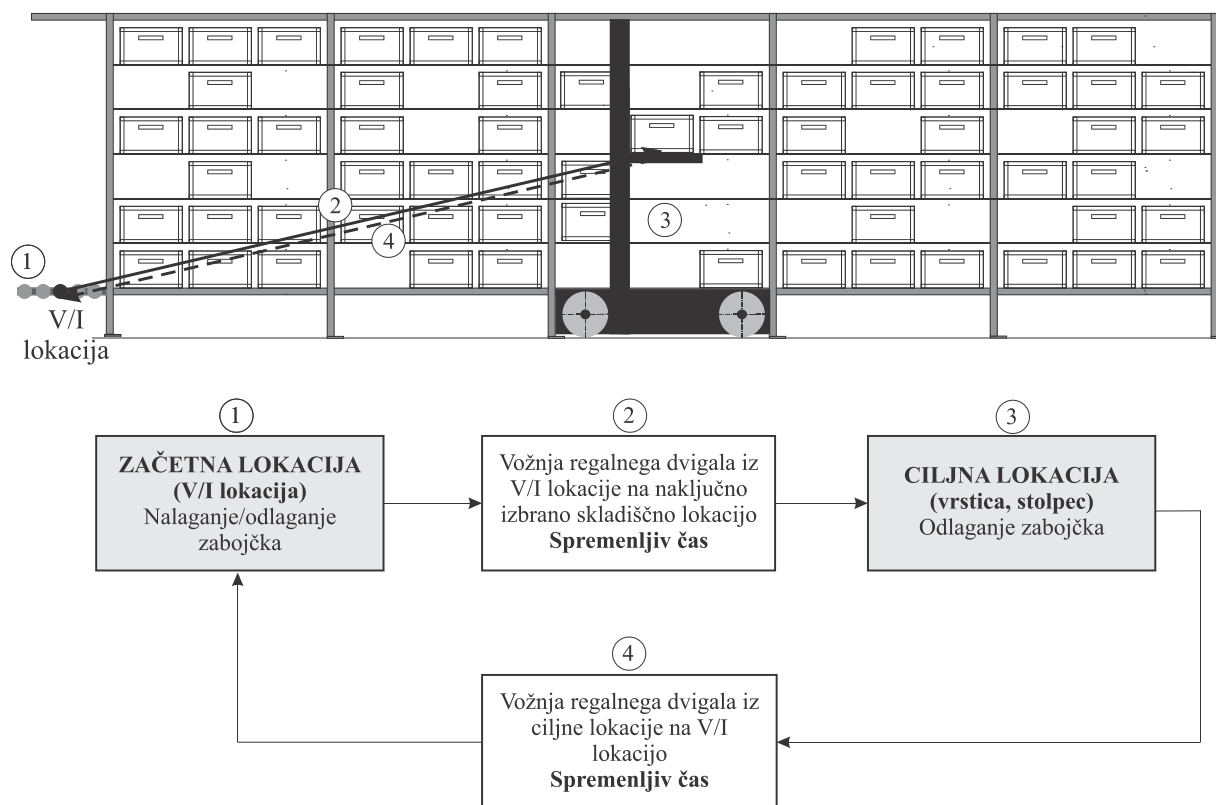
$$t(s) = \sqrt{\frac{2s(a^+ a^-)}{a^+ + a^-}}$$

## 5.2 Enojni in dvojni delovni cikel regalnega dvigala

Proces skladiščenja in odpreme se vrši na osnovi enojnega (ang. *single command cycle*) ali dvojnega (ang. *double command cycle*) delovnega cikla.

### 5.2.1 Enojni delovni cikel

Enojni delovni cikel se navezuje na uskladiščenje ali odpremo individualne transportno skladiščne enote (palette, zaboja, kartona) v zaključenem delovnem ciklu regalnega dvigala (slika 80).



Slika 80: Izvajanje procesa enojnega delovnega cikla

Vir: lasten

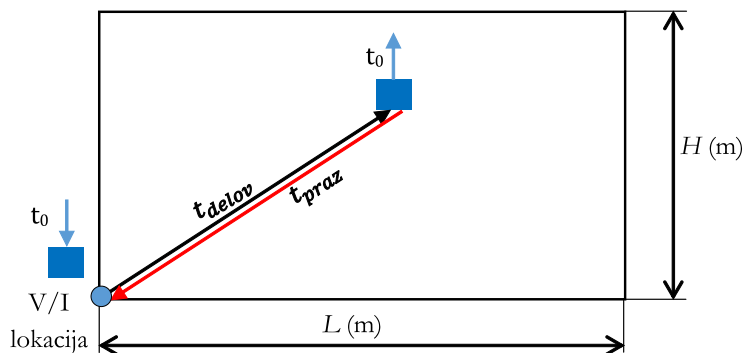
Čas enojnega delovnega cikla se navezuje na: (i) delež časa delovne vožnje regalnega dvigala ( $t_{delov1}$ ) iz vhodno/izhodne (V/I) lokacije na lokacijo uskladiščenja ter (ii) delež časa prazne vožnje regalnega dvigala ( $t_{praz}$ ) iz lokacije uskladiščenja na V/I-lokacijo. Oba navedena časa ( $t_{delov1}$  in  $t_{praz}$ ) sta enake velikosti za proces uskladiščenja ali za proces odpreme transportno-skladiščne enote (slika 81).

Manipulacijski čas enojnega delovnega cikla je enak izrazu (5.28):

$$t_{sc} = 2 \cdot t_{p/s} + t_{praz} + t_{delov} \quad (5.28)$$

Pretočna (urna) zmogljivost enojnega delovnega cikla je enaka izrazu (5.29):

$$\lambda_{sc} = \frac{3600}{T(SC)} \quad (5.29)$$

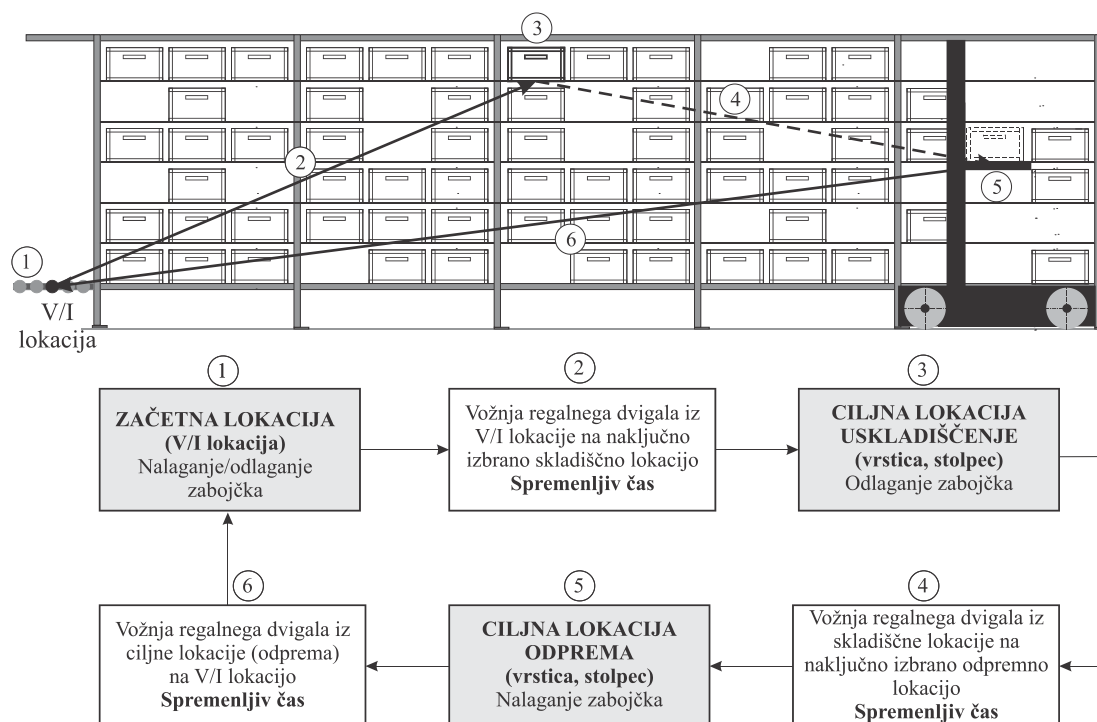


Slika 81: Enojni delovni cikel

Vir: lasten

### 5.2.2 Dvojni delovni cikel

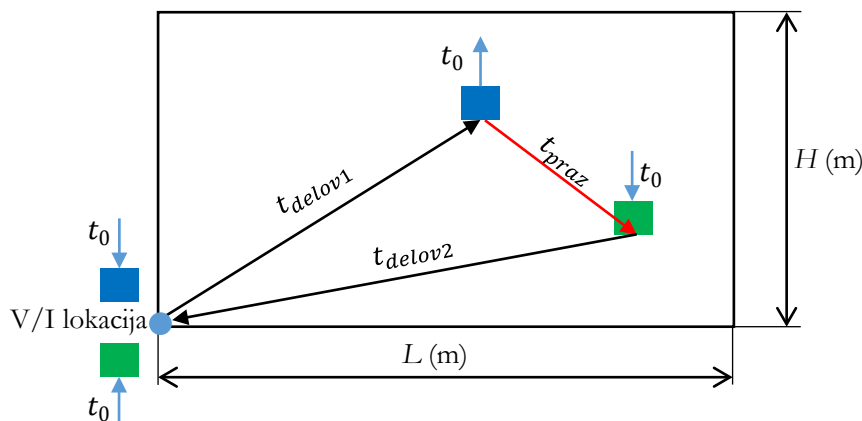
Dvojni delovni cikel se navezuje na uskladiščenje in odpremo ene transportno-skladiščne enote (palete, zaboja, kartona) v zaključenem delovnem ciklu regalnega dvigala. Čas dvojnega delovnega cikla se navezuje na: (i) delež časa delovne vožnje regalnega dvigala ( $t_{delov1}$ ) iz V/I-lokacije na lokacijo uskladiščenja, (ii) delež časa prazne vožnje regalnega dvigala ( $t_{praz}$ ) med lokacijo uskladiščenja in lokacijo odpreme ter (iii) delež časa delovne vožnje regalnega dvigala ( $t_{delov2}$ ) iz lokacije odpreme na V/I-lokacijo (slika 82).



Slika 82: Izvajanje dvojnega delovnega cikla

Vir: lasten

Iz slike 83 je razvidno, da je delež delovne vožnje regalnega dvigala ( $t_{delov1}$  in  $t_{delov2}$ ) večji od deleža prazne vožnje regalnega dvigala ( $t_{praz}$ ), zato je dvojni delovni cikel učinkovitejši v primerjavi z enojnim delovnim ciklom.



Slika 83: Dvojni delovni cikel

Vir: lasten

Manipulacijski čas dvojnega delovnega cikla je enak izrazu (5.30):

$$t_{SC} = 4 \cdot t_{P/S} + t_{delov1} + t_{praz} + t_{delov2} \text{ (sek.)} \quad (5.30)$$

Pretočna (urna) zmogljivost dvojnega delovnega cikla je enaka izrazu (5.31):

$$\lambda_{DC} = \frac{3600}{T(SC)} \cdot 2 \text{ (TSE/uro)} \quad (5.31)$$

V literaturi obstajajo analitični modeli, na osnovi katerih lahko izračunamo pričakovano (povprečno) vrednost manipulacijskega časa enojnega  $T(SC)$  in dvojnega  $T(DC)$  delovnega cikla.

### 5.2.3 Analitični modeli za določitev manipulacijskega časa delovnega cikla in pretočne zmogljivosti regalnega dvigala

V nadaljevanju bodo predstavljeni analitični modeli za določitev manipulacijskega časa delovnega cikla in pretočne zmogljivosti regalnega dvigala različnih avtorjev, ki so pri izpeljavi svojih modelov izhajali iz različnih predpostavk in omejitev, in sicer:

- analitični model avtorjev *Boznerja* in *Whita*, 1994;
- analitični model avtorja *Gudebusa*, 1973;
- analitični model avtorjev *Hwanga* in *Leeja*, 1990; *Vidovicca*, 1994 in *Vössnerja*, 1994.

### Analični model avtorjev *Bozerja in Whita, 1994*

Avtorji *Hausman et al., 1976* in *Graves et. al., 1977* so med prvimi definirali izraze za enojni (ang. *single command*; SC) in dvojni (ang. *double command*; DC) delovni cikel. Analični modeli veljajo za regalna skladišča, ki so "kvadratna po času" (ang. *square in time*). Regalna skladišča, ki niso "kvadratna po času" in so splošnih oblik, sta predstavila avtorja *Bozer* in *White* 1984. Analični modeli avtorjev *Bozerja in Whita* veljajo za strategijo naključnega skladiščenja in hitrostno-časovno odvisnost, kjer je hitrost regalnega dvigala ves čas ustaljena ( $v = \text{konst.}$ ). Prav tako sta v svojem delu upoštevala različne postavitve V/I-lokacije in določitev mesta regalnega dvigala po zaključku skladiščne operacije (ang. *dwell point strategy*).

Postopek za določitev pričakovane (povprečne) vrednosti manipulacijskega časa enojnega (SC) in dvojnega (DC) delovnega cikla zajema naslednji proces:

Čas v vodoravni smeri ( $t_x$ ), ki je potreben za vožnjo regalnega dvigala do najbolj oddaljenega stolpca regalnega skladišča, je enak izrazu (5.32):

$$t_x = \frac{L}{v_x} \quad (5.32)$$

Čas v navpični smeri ( $t_y$ ), ki je potreben za pomik dvižne mize regalnega dvigala do najbolj oddaljene etaže regalnega skladišča, je enak izrazu (5.33):

$$t_y = \frac{H}{v_y} \quad (5.33)$$

Faktor velikosti ( $T_{shape}$ ) je enak izrazu (5.34):

$$T_{shape} = \max(t_x, t_y) \quad (5.34)$$

Faktor oblike ( $b$ ) je enak izrazu (5.35):

$$b = \min\left(\frac{t_x}{T_{shape}}, \frac{t_y}{T_{shape}}\right) \quad 0 \leq b < 1 \quad (5.35)$$

Na osnovi izrazov statistike in verjetnosti so bili določeni izrazi za enojni (SC) in dvojni (DC) delovni cikel avtomatiziranega regalnega skladišnega sistema.

### Enojni delovni cikel

Pričakovana (povprečna) vrednost manipulacijskega časa enojnega (SC) delovnega cikla je enaka izrazu (5.36):

$$\begin{aligned}
 E(\text{SC}) &= 2 \cdot t_{P/S} + 2 \cdot E(\text{SA}) \\
 E(\text{SC}) &= 2 \cdot t_{P/S} + 2 \cdot \left( \frac{1}{2} + \frac{b^2}{6} \right) \cdot T_{shape} \\
 E(\text{SC}) &= 2 \cdot t_{P/S} + \left( 1 + \frac{b^2}{3} \right) \cdot T_{shape}
 \end{aligned} \tag{5.36}$$

### Dvojni delovni cikel

Pričakovana (povprečna) vrednost manipulacijskega časa dvojnega (DC) delovnega cikla je enaka izrazu (5.36):

$$\begin{aligned}
 E(\text{DC}) &= 4 \cdot t_{P/S} + E(\text{SC}) + E(\text{TB}) \\
 E(\text{DC}) &= 4 \cdot t_{P/S} \\
 &\quad + \left( \left( 1 + \frac{b^2}{3} \right) + \left( \frac{1}{3} + \frac{b^2}{6} - \frac{b^3}{30} \right) \right) \\
 &\quad \cdot T_{shape} \\
 E(\text{DC}) &= 4 \cdot t_{P/S} + \left( \frac{4}{3} + \frac{b^2}{2} - \frac{b^3}{30} \right) \cdot T_{shape}
 \end{aligned} \tag{5.37}$$

### Analitični model avtorja *Gudehusa*, 1973

Za razliko od avtorjev *Bozjerja* in *Whita* je *Gudebus*, 1973 v svojem analitičnem modelu upošteval vpliv pospeševanja in pojemanja transportno-skladiščnega sredstva (regalnega dvigala).

V nadaljevanju so predstavljene odvisnosti za določitev zmogljivosti regalnega skladišča pri faktorju oblike ( $w = 1$ ).

Faktor oblike ( $w$ ) je enak izrazu (5.38):

$$w = \frac{H}{L} \cdot \frac{v_x}{v_y} \quad (5.38)$$

Na osnovi izrazov statistike in verjetnosti so določeni izrazi za enojni (SC) in dvojni (DC) delovni cikel avtomatiziranega regalnega skladiščnega sistema.

### Enojni delovni cikel

Čas enojnega delovnega cikla je definiran z izrazom (5.39):

$$t_{SC} = 2t_{p/s} + 2 \cdot \text{MAX}[t_x, t_y] \quad (5.39)$$

Pričakovana vrednost časa vožnje regalnega dvigala ( $t_l$ ) med V/I-lokacijo in naključno izbrano skladiščno lokacijo v regalnem skladišču ( $m$ ) je enaka izrazu (5.40):

$$E(t_l) = \sum_{i=1}^m t_{l,i} \cdot p_i \quad (5.40)$$

$p_i$  se navezuje na verjetnost naključno izbrane  $i$ -te skladiščne lokacije.

**Opomba:** Čas vožnje regalnega dvigala ( $t_l$ ) je polovični čas vožnje regalnega dvigala pri enojnem delovnem ciklu.

Pri uporabi diskretne enakomerne statistične porazdelitve je verjetnost naključne izbire  $i$ -te skladiščne lokacije ( $p_i$ ) enaka izrazu (5.41):

$$p_i = \frac{1}{m} = \text{konst.} \quad (5.41)$$

Čas vožnje regalnega dvigala ( $t_l$ ) je enak maksimalni vrednosti časa vožnje regalnega dvigala v vodoravni smeri ( $t_x$ ) ali časa pomika dvižne mize regalnega dvigala v navpični smeri ( $t_y$ ), kar je enako izrazu (5.42):

$$t_{l,i} = \text{MAX}[t_x, t_y] \quad (5.42)$$

Z vstavljanjem izraza 5.41 v izraz 5.40 dobimo naslednjo odvisnost (5.43):

$$E(t_l) = \sum_{i=1}^m \frac{t_{l,i}}{m} \quad (5.43)$$

Z upoštevanjem predpostavke, da regalno dvigalo in dvižna miza delujeta na osnovi hitrostno-časovne odvisnosti v obliki trapeza ( $v \neq \text{konst.}$ ), je čas vožnje regalnega dvigala ( $t_l$ ) enak izrazu (5.44):

$$E(t_l) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \text{MAX} \left[ \left( \frac{x}{v_x} + \frac{v_x}{a_x} \right); \left( \frac{y}{v_y} + \frac{v_y}{a_y} \right) \right] \quad (5.44)$$

Pričakovani (povprečni) čas vožnje regalnega dvigala med V/I-lokacijo in naključno izbrano skladiščno lokaciji je enak izrazu (5.45):

$$E(t_l) = \frac{1}{2} \left( \frac{v_x}{a_x} + \frac{v_y}{a_y} \right) + \frac{2}{3} \frac{L}{v_x} \quad (5.45)$$

Pričakovana (povprečna vrednost) enojnega (SC) delovnega cikla je enaka izrazu (5.46):

$$\begin{aligned} E(t_{SC}) &= 2t_{P/S} + 2 \cdot E(t_l) \\ E(t_{SC}) &= 2t_{P/S} + \left( \frac{v_x}{a_x} + \frac{v_y}{a_y} \right) + \frac{4}{3} \frac{L}{v_x} \end{aligned} \quad (5.46)$$

### Dvojni delovni cikel

Čas dvojnega delovnega cikla je definiran z izrazom (5.47):

$$t_{DC} = 4t_{P/S} + t_{EP_1} + t_{P_1P_2} + t_{P_2A} \quad (5.47)$$

Lokacija uskladiščenja transportno-skladiščne enote ( $P_1$ ) je poljubno izbrana skladiščna lokacija ( $i = 1, 2 \dots m$ ) v skladiščnem regalu. Prav tako predstavlja lokacija odpreme transportno-skladiščne enote ( $P_2$ ) poljubno izbrano skladiščno lokacijo ( $j = 1, 2 \dots m$ ) v skladiščnem regalu.



Na osnovi izraza 5.43 lahko zapišemo izraz (5.48):

$$E(t_{EP_1}) = \sum_{i=1}^m \frac{t_{l,i}}{m}$$

$$E(t_{P_2A}) = \sum_{i=1}^m \frac{t_{l,j}}{m}$$
(5.48)

Čas vožnje regalnega dvigala izračunamo z izrazom (5.45).

Za določitev dvojnega delovnega cikla moramo določiti še čas vožnje regalnega dvigala med lokacijo uskladiščenja ( $P_1$ ) in lokacijo odpreme ( $P_2$ ) transportno-skladiščne enote.

Pri uporabi diskretne enakomerne statistične porazdelitve je verjetnost ( $p_{ij}$ ) naključne izbire  $i$ -te skladiščne lokacije in  $j$ -te odpreme lokacije enaka izrazu (5.49):

$$p_{ij} = \frac{1}{m(m-1)}$$
(5.49)

**Opomba:** ( $i \neq j$ ) in  $i, j = 1, 2 \dots m$ .

Z upoštevanjem predpostavke, da regально dvigalo in dvižna miza delujeta na osnovi hitrostno-časovne odvisnosti v obliki trapeza ( $v \neq \text{konst.}$ ) in izrazov 5.48 ter 5.49, je čas vožnje regalnega dvigala med lokacijo uskladiščenja ( $P_1$ ) in lokacijo odpreme ( $P_2$ ) transportno-skladiščne enote enak izrazu (5.50):

$$E(t_{P_1P_2}) = E(t_l)_{ij}$$

$$= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (t_l)_{ij} \cdot p_{ij}$$

$$= \frac{1}{m(m-1)} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \text{MAX} \left[ \left( \frac{|x-x'|}{v_x} + \frac{v_x}{a_x} \right); \left( \frac{|y-y'|}{v_y} + \frac{v_y}{a_y} \right) \right]$$
(5.50)

Pričakovani (povprečni) čas vožnje regalnega dvigala med lokacijo uskladiščenja ( $P_1$ ) in lokacijo odpreme ( $P_2$ ) transportno-skladiščne enote je enak izrazu (5.51):

$$E(t_l)_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{v_x}{a_x} + \frac{v_y}{a_y} \right) + \frac{14 L}{30 v_x} \quad (5.51)$$

Pričakovana (povprečna vrednost) dvojnega delovnega cikla je enaka izrazu (5.52):

$$\begin{aligned} E(t_{DC}) &= 4t_{P/S} + E(t_{EP_1}) + E(t_{P_1P_2}) \\ &\quad + E(t_{P_2A}) \\ E(t_{DC}) &= 4t_{P/S} + \frac{3}{2} \left( \frac{v_x}{a_x} + \frac{v_y}{a_y} \right) + \frac{4 L}{3 v_x} + \frac{14 L}{30 v_x} \end{aligned} \quad (5.52)$$

### **Analitični modeli avtorjev *Hwanga* in *Leeja*, 1990; *Vidovicsa*, 1994 in *Vössnerja*, 1994**

Glede na upoštevanje dejanske hitrostno-časovne odvisnosti vožnje regalnega dvigala moramo za zagotovitev natančnejših rezultatov upoštevati: (i) zaporedje pospeševanja in pojemanja ter (ii) zaporedje pospeševanja, ustaljene hitrosti in pojemanja vožnje regalnega dvigala. Analitične modele za določitev zmogljivosti avtomatiziranega regalnega skladišča ob upoštevanju omenjenega pogoja so v svojem delu predstavili avtorji *Hwang* in *Lee*, 1990; *Vidovics*, 1994 in *Vössner*, 1994.

Osnovo analitičnih modelov predstavlja vožnja regalnega dvigala v skladiščnem regalu z upoštevanjem pogoja ( $v \neq \text{konst.}$ ). Čas vožnje regalnega dvigala je enak maksimalni vrednosti časa ( $T$ ) v vodoravni smeri ( $t_x$ ) ali v navpični smeri ( $t_y$ ), kar zapišemo z izrazom (5.53):

$$\begin{aligned} T &= \text{Max.} (t_x, t_y) \\ t_x &= \tau_x(x(k)) \\ t_y &= \tau_y(y(k)) \\ T &= \text{Max.} (\tau_x(x(k)), \tau_y(y(k))) \end{aligned} \quad (5.53)$$

Na osnovi izrazov statistike in verjetnosti so določeni izrazi za enojni (SC) in dvojni (DC) delovni cikel avtomatiziranega regalnega skladišnega sistema. Zaradi kompleksnosti izpeljave analitičnega modela bodo v nadaljevanju predstavljeni samo posamezni izrazi izpeljanih porazdelitvenih funkcij  $F_{ij}(t)$ .

Izraz  $F_{ij}(t)$  se navezuje na porazdelitveno funkcijo s hitrostno-časovno odvisnostjo ( $i$ ) v smeri ( $j$ ).

( $i$ ) – področje hitrostno-časovne odvisnosti je razdeljeno na:

- I. potek hitrostno-časovne odvisnosti, ki karakterizira samo pospeševanje in pojemanje, ter
- II. potek hitrostno-časovne odvisnosti, ki karakterizira pospeševanje, ustaljeno hitrost in pojemanje.

( $j$ ) – regalno dvigalo in dvižna miza regalnega dvigala se pomikata sočasno z uporabo dveh neodvisnih pogonskih sklopov. Vožnja regalnega dvigala in pomik dvižne mize regalnega dvigala sta karakterizirana z naslednjima smerema:

- $x$  vožnja regalnega dvigala v vodoravni smeri in
- $y$  pomik dvižne mize regalnega dvigala v navpični smeri.

### Enojni delovni cikel

Enojni delovni cikel se navezuje na vožnjo regalnega dvigala in na pomik dvižne mize regalnega dvigala med vhodno/izhodno (E/A) lokacijo in naključno izbrano skladiščno lokacijo  $P_1(x_1, y_1)$  v regalnem skladišču.

Na osnovi ustrezne hitrostno-časovne odvisnosti (*I.* in *II.*) in vožnje regalnega dvigala v vodoravni smeri ( $x$ ) ter pomika dvižne mize regalnega dvigala v navpični smeri ( $y$ ) ločimo:

- vožnjo regalnega dvigala v vodoravni ( $x$ ) smeri s hitrostno-časovno odvisnostjo *I.* ( $0 \leq t \leq 2v_x/a_x$ ), kar je enako izrazu (5.54):

$$F_{I,x}(t) = \frac{a_x t^2}{4L} \quad (5.54)$$

- vožnjo regalnega dvigala v vodoravni ( $x$ ) smeri s hitrostno-časovno odvisnostjo II. ( $2v_x/a_x \leq t \leq L$ ), kar je enako izrazu (5.55):

$$F_{II.x}(t) = \frac{v_x t}{L} - \frac{v_x^2}{a_x L} \quad (5.55)$$

- pomik dvižne mize regalnega dvigala v navpični ( $y$ ) smeri s hitrostno-časovno odvisnostjo I. ( $0 \leq t \leq 2v_y/a_y$ ), kar je enako izrazu (5.56):

$$F_{I.y}(t) = \frac{a_y t^2}{4H} \quad (5.56)$$

- pomik dvižne mize regalnega dvigala v navpični ( $y$ ) smeri s hitrostno-časovno odvisnostjo II. ( $2v_y/a_y \leq t \leq H$ ), kar je enako izrazu (5.57):

$$F_{II.y}(t) = \frac{v_y t}{H} - \frac{v_y^2}{a_y H} \quad (5.57)$$

Porazdelitvena funkcija  $F_x(t)$  za vožnjo regalnega dvigala v vodoravni ( $x$ ) smeri je enaka izrazu (5.58):

$$F_x(t) = \begin{cases} \frac{t^2 a_x}{4L} & 0 \leq t \leq \frac{s_x}{a_x} \\ \frac{t^2 a_x}{4L} & 0 \leq t \leq \frac{2v_x}{a_x} \\ \frac{v_x t}{L} - \frac{v_x^2}{a_x L} & \frac{2v_x}{a_x} \leq t \leq L \end{cases} \quad (5.58)$$

Porazdelitvena funkcija  $F_y(t)$  za pomik dvižne mize regalnega dvigala v navpični ( $y$ ) smeri je enaka izrazu (5.59):

$$F_y(t) = \begin{cases} \frac{t^2 a_y}{4H} & 0 \leq t \leq \frac{2v_y}{a_y} \\ \frac{v_y t}{H} - \frac{v_y^2}{a_y H} & \frac{2v_y}{a_y} \leq t \leq H \end{cases} \quad (5.59)$$

Porazdelitvena funkcija  $F_k(t)$  je odvisna od zveze naslednjih vplivnih parametrov ( $v_x, a_x, v_y, a_y, L$  in  $H$ ). Izraz za pričakovano (povprečno) vrednost enojnega (SC) delovnega cikla velja za tri različne pogoje, in sicer:

- **Pogoj 1:**  $(2v_y/a_y) \leq (v_y/a_y + H/v_y) \leq (2v_x/a_x) \leq (v_x/a_x + L/v_x)$
- **Pogoj 2:**  $(2v_y/a_y) \leq (2v_x/a_x) \leq (v_y/a_y + H/v_y) \leq (v_x/a_x + L/v_x)$
- **Pogoj 3:**  $(2v_x/a_x) \leq (2v_y/a_y) \leq (v_y/a_y + H/v_y) \leq (v_x/a_x + L/v_x)$

Porazdelitvena funkcija  $F_k(t)$  je definirana z izrazom (5.60):

$$\begin{aligned} F_k(t) &= F_x(t) \cdot F_y(t) \quad (0 < t \leq T), k \\ &= (1 \dots 3) \end{aligned} \quad (5.60)$$

Pričakovana (povprečna) vrednost  $E_k(AP_1)$ , ki se navezuje na čas vožnje regalnega dvigala in pomika dvižne mize regalnega dvigala za eno smer v skladiščnem regalu, glede na  $k$ -ti pogoj ( $k = 1, \dots, 3$ ) je enaka izrazu (5.61):

$$\begin{aligned} E_k(AP_1) &= \int_0^{\max(T_x, T_y)} (1 - F_k(t)) dt \quad k \\ &= (1 \dots 3) \end{aligned} \quad (5.61)$$

Pričakovana (povprečna) vrednost manipulacijskega časa enojnega (SC) delovnega cikla  $E_k(SC)$  glede na pogoj ( $k = 1 \dots 3$ ) je enaka vsoti delovne in prazne vožnje regalnega dvigala v skladiščnem regalu ter je enaka izrazu (5.62):

$$\begin{aligned} E_k(SC) &= 2 \cdot t_{P/S} + 2 \cdot E_k(AP_1) \quad k \\ &= (1 \dots 3) \end{aligned} \quad (5.62)$$

## Dvojni delovni cikel

Dvojni delovni cikel je vsota enojnega delovnega cikla ter vožnje regalnega dvigala in pomika dvižne mize regalnega dvigala med naključno izbranimi skladiščnima lokacijama  $P_1(x_1, y_1)$  in  $P_2(x_2, y_2)$ . Pri tem se lokacija ( $P_1$ ) navezuje na lokacijo uskladiščenja, lokacija ( $P_2$ ) pa na lokacijo odpreme transportno-skladiščne enote v regalnem skladišču.

Na osnovi ustrezne hitrostno-časovne odvisnosti (I. in II.) in vožnje regalnega dvigala v vodoravni smeri ( $x$ ) ter pomika dvižne mize regalnega dvigala v navpični smeri ( $y$ ) ločimo:

- vožnjo regalnega dvigala v vodoravni ( $x$ ) smeri s hitrostno-časovno odvisnostjo I. ( $0 \leq t \leq 2v_x/a_x$ ), kar je enako izrazu (5.63):

$$F_{I.x}(t) = \frac{a_x}{2L} t^2 - \frac{a_x^2}{16L^2} t^4 \quad (5.63)$$

- vožnjo regalnega dvigala v vodoravni ( $x$ ) smeri s hitrostno-časovno odvisnostjo II. ( $2v_x/a_x \leq t \leq L$ ), kar je enako izrazu (5.64):

$$F_{II.x}(t) = -\frac{v_x^2}{L^2} t^2 + \left[ \frac{2v_x^3}{a_x L^2} + \frac{2v_x}{L} \right] t - \frac{2v_x^2}{a_x L} - \frac{v_x^4}{a_x^2 L^2} \quad (5.64)$$

- pomik dvižne mize regalnega dvigala v navpični ( $y$ ) smeri s hitrostno-časovno odvisnostjo I. ( $0 \leq t \leq 2v_y/a_y$ ), kar je enako izrazu (5.65):

$$F_{I.y}(t) = \frac{a_y}{2H} t^2 - \frac{a_y^2}{16H^2} t^4 \quad (5.65)$$

- pomik dvižne mize regalnega dvigala v navpični ( $y$ ) smeri s hitrostno-časovno odvisnostjo II. ( $2v_y/a_y \leq t \leq H$ ), kar je enako izrazu (5.66):

$$F_{II.y}(t) = -\frac{v_y^2}{H^2} t^2 + \left[ \frac{2v_y^3}{a_y H^2} + \frac{2v_y}{H} \right] t - \frac{2v_y^2}{a_y H} - \frac{v_y^4}{a_y^2 H^2} \quad (5.66)$$

Porazdelitvena funkcija  $F_x(t)$  za vožnjo regalnega dvigala v vodoravni ( $x$ ) smeri je enaka izrazu (5.67):

$$F_x(t) = \begin{cases} \frac{a_x}{2L} t^2 - \frac{a_x^2}{16L^2} t^4 & 0 \leq t \leq \frac{2v_x}{a_x} \\ -\frac{v_x^2}{L^2} t^2 + \left[ \frac{2v_x^3}{a_x L^2} + \frac{2v_x}{L} \right] t - \frac{2v_x^2}{a_x L} - \frac{v_x^4}{a_x^2 L^2} & \frac{2v_x}{a_x} \leq t \leq L \end{cases} \quad (5.67)$$

Porazdelitvena funkcija  $F_y(t)$  za pomik dvižne mize regalnega dvigala v navpični ( $y$ ) smeri je enaka izrazu (5.68):

$$F_y(t) = \begin{cases} \frac{a_y}{2H} t^2 - \frac{a_y^2}{16H^2} t^4 & 0 \leq t \leq \frac{2v_y}{a_y} \\ -\frac{v_y^2}{H^2} t^2 + \left[ \frac{2v_y^3}{a_y H^2} + \frac{2v_y}{H} \right] t - \frac{2v_y^2}{a_y H} - \frac{v_y^4}{a_y^2 H^2} & \frac{2v_y}{a_y} \leq t \leq H \end{cases} \quad (5.68)$$

Porazdelitvena funkcija  $F_k(t)$  je odvisna od zveze naslednjih vplivnih parametrov ( $v_x$ ,  $a_x$ ,  $v_y$ ,  $a_y$ ,  $L$  in  $H$ ). Izraz za pričakovano (povprečno) vrednost enojnega delovnega cikla velja za tri različne pogoje, in sicer:

- **Pogoj 1:**  $(2v_y/a_y) \leq (v_y/a_y + H/v_y) \leq (2v_x/a_x) \leq (v_x/a_x + L/v_x)$
- **Pogoj 2:**  $(2v_y/a_y) \leq (2v_x/a_x) \leq (v_y/a_y + H/v_y) \leq (v_x/a_x + L/v_x)$
- **Pogoj 3:**  $(2v_x/a_x) \leq (2v_y/a_y) \leq (v_y/a_y + H/v_y) \leq (v_x/a_x + L/v_x)$

Porazdelitvena funkcija  $F_k(t)$  je definirana z izrazom (5.69):

$$F_k(t) = F_x(t) \cdot F_y(t) \quad (0 < t \leq T), k = (1 \dots 3) \quad (5.69)$$

Pričakovana (povprečna) vrednost  $E_k(P_1P_2)$ , ki se navezuje na vožnjo regalnega dvigala in pomik dvižne mize regalnega dvigala med skladiščno lokacijo  $P_1(x_1, y_1)$  in odpremno lokacijo  $P_2(x_2, y_2)$  v skladiščnem regalu, glede na  $k$ -ti pogoj ( $k = 1 \dots 3$ ), je enaka izrazu (5.70):

$$E_k(PP') = \int_0^{\max.(T_x, T_y)} (1 - F_k(t)) dt \quad k = (1 \dots 3) \quad (5.70)$$

Pričakovana (povprečna) vrednost manipulacijskega časa dvojnega (DC) delovnega cikla  $E_k(\text{DC})$  glede na pogoj ( $k = 1 \dots 3$ ) je enaka vsoti enojnega (SC) delovnega cikla ter vožnji regalnega dvigala in pomika dvižne mize regalnega dvigala med naključno izbranimi skladiščnima lokacijama  $P_1(x_1, y_1)$  in  $P_2(x_2, y_2)$  ter je enaka izrazu (5.71):

$$E_k(\text{DC}) = 4 \cdot t_{P/S} + 2 \cdot E_k(\text{AP}_1) + E_k(\text{P}_1\text{P}_2) \quad k = (1 \dots 3) \quad (5.71)$$

### Pretočna zmogljivost

Pričakovana vrednost manipulacijskega časa kombiniranega delovnega cikla  $E(\text{AT}_r)$  v odvisnosti od razmerja ( $r$ ) enojnega (SC) in dvojnega (DC) delovnega cikla je enaka izrazu (5.72):

$$E(\text{AT}_r) = \frac{r}{2} E(\text{DC}) + (1 - r) E(\text{SC}) \quad (5.72)$$

Pričakovana vrednost pretočne zmogljivosti kombiniranega delovnega cikla  $\lambda(\text{AT}_r)$  v odvisnosti od manipulacijskega časa kombiniranega delovnega cikla  $\text{AT}_r$  je enaka izrazu (5.73):

$$\lambda(\text{AT}_r) = \frac{2 \cdot T}{rE(\text{DC}) + 2(1 - r)E(\text{SC})} \cdot \eta \quad (5.73)$$

$E(\text{SC})$	– pričakovana vrednost časa enojnega delovnega cikla
$E(\text{DC})$	– pričakovana vrednost časa dvojnega delovnega cikla
$r$	– razmerje med enojnim in dvojnim delovnim ciklom
$T$	– delovni čas (ura, delovna izmena, delovni teden ipd.)
$\eta$	– izkoristek regalnega dvigala



## Literatura

- [1] Bozer A. Y., White A. J. (1984). Travel-Time Models for Automated Storage and Retrieval Systems, *IIE Transactions*, vol. 16, no. 4, str. 329–338.
- [2] Gudehus T. *Principles of order picking: Operations in Distribution and Warehousing Systems*, Essen, Germany, 1973.
- [3] Graves S. C., Hausman W. H., Schwarz L. B. (1977). Storage retrieval interleaving in automatic warehousing systems, *Management science*, vol. 23, no. 9, str. 935–945.
- [4] Hausman W. H., Schwarz L. B., Graves S.C. (1976). Optimal storage assignment in automatic warehousing systems, *Management science*, vol. 22, no. 6, str. 629–638.
- [5] Hwang H., Lee S. B. (1990). Travel time models considering the operating characteristics of the storage and retrieval machine, *International Journal of Production Research*, vol. 28, no. 10, str.1779–1789.
- [6] Kay M. B. *Lecture Notes for Production system design*, North Carolina State University, USA, 2016.
- [7] Lerher, T. Model načrtovanja regalnih skladiščnih sistemov, Doktorska disertacija, Fakulteta za strojništvo Univerze v Mariboru, 2005.
- [8] Scheid W. M. 40 Jahre Hochregallager – ein vergessener Geburtstag. *Förderung und Heben – Marktbild Lager 2002*. str. 10–13.
- [9] Roodbergen K.J. *Layout and Routing Methods for Warehouses*, Ph.D. dissertation, Delft University of Technology, Erasmus University Rotterdam, 2001.
- [10] VDI 3590. *Kommissioniersysteme Grundlagen. Blatt 1*, 1994.
- [11] VDI 4480. *Kommissioniersysteme Praxisbeispiele. Blatt 3*, 2002.
- [12] Vidovics H. *Die Systemanalyse und Umschlagleistungen von Regalförderzeugen mit Mehrfachlastaufnahmemitteln*, Ph.D. dissertation, Technische Universität Graz, 1994.
- [13] Vössner S. *Spieldzeitberechnung von Regalförderzeugen*, Ph.D. dissertation, Technische Universität Graz, 1994.

### Spletni viri:

Adobe Stock,  
<https://stock.adobe.com/>, dostop 24. 5. 2021

Ancra Systems B.V., Skateloader system  
<https://www.ancra.nl/en/systems/skateloader-system/>, dostop 24. 5. 2021

Still viličarji  
<https://www.still.si/>, dostop 24. 5. 2021

Linde viličarji

<https://www.linde-vilicar.si/si/>, dostop 24. 5. 2021

Jungheinrich viličarji

<https://www.jungheinrich.si/>, dostop 24. 5. 2021

Toyota viličarji

<https://www.toyotavilicarji.si/>, dostop 24. 5. 2021

The first forklift truck in history

<http://www.tamarri.net/en/the-first-forklift-truck-history/>, dostop 24. 5. 2021

# SKLADIŠČNO-KOMISIONIRNI SISTEMI

TONE LERHER

Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Maribor, Slovenija.

E-pošta: tone.lerher@um.si

**Povzetek** Učbenik obravnava skladiščno-komisionirne sisteme v intralogistiki, kjer so navedeni temeljni skladiščni procesi. Najbolj delovno intenzivni in zahtevni proces v skladiščih predstavlja proces komisioniranja, ki se še vedno najpogosteje izvaja ročno ali samo delno avtomatizirano. Procesu komisioniranja v literaturi in v praksi namenjamo največ pozornosti z vidika vpeljave učinkovitih komisionirnih metod in strategij ter avtomatiziranih in robotiziranih tehnologij pri zagotavljanju procesa komisioniranja paletiziranega blaga, kartonov ali posameznih artiklov. V učbeniku so posebej obravnavani avtomatizirani regalni skladiščni sistemi in analitični modeli za določitev manipulacijskega časa enojnega in dvojnega delovnega cikla ter pretočne zmogljivosti skladišča.

**Ključne besede:**

intralogistika, skladišča, komisionirne metode in strategije, skladiščne tehnike in tehnologije, avtomatizirani skladiščni sistemi



Univerza v Mariboru

Fakulteta za strojništvo

