

Ergonomija ručnog komisioniranja

Puškadija, Nikola

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:379979>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-03**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Nikola Puškadija

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ERGONOMIJA RUČNOG KOMISIONIRANJA

Mentor:

Prof. dr. sc. Goran Đukić

Student:

Nikola Puškadija

Zagreb, 2018.

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

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Goranu Đukiću i asistentu dr. sc. Tihomiru Opetuku na pružanoj pomoći prilikom pisanja ovog rada.

Također, zahvaljujem se svojoj obitelji na strpljenju i potpori te svima koji su mi pomogli na bilo koji način prilikom studija.

Nikola Puškadija



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

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

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Nikola Puškadija**

Mat. br.: 0035200190

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Ergonomija ručnog komisioniranja**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Ergonomics of manual order-picking**

Opis zadatka:

U projektiranju logističkih sustava jedan od osnovnih principa je princip ergonomičnosti. Pogotovo to vrijedi za skladišne sustave u kojima je u pojedinim procesima vrlo intenzivno ručno rukovanje teretima. Usprkos trendu automatizacije i primjene sustava komisioniranja po principu „roba čovjeku“, još uvijek se u većini skladišta proces komisioniranja obavlja po principu „čovjek robi“, sa značajnim udjelom ljudskog rada u kretanju i izuzimanju robe. Iz tog razloga je uputno provesti i ergonomsku analizu procesa, odnosno procjenu rizika od ozljeda i zamora, a za što se mogu koristiti različite metode ergonomske procjene.

U radu je potrebno:


- dati kraći pregled područja ergonomije i logistike,
- dati pregled izvedbi sustava za komisioniranje, s detaljnim opisom procesa komisioniranja u sustavima po principu „čovjek robi“,
- dati pregled ergonomske značajki ručnog rukovanja teretima, s naglaskom na proces komisioniranja
- prikazati pogodne metode (alate) za ergonomsku procjenu ručnog komisioniranja,
- temeljem analize odabranih primjera i literaturnih izvora predložiti smjernice za poboljšanje ergonomske oblikovanja procesa ručnog komisioniranja.

Zadatak zadan:
30. studenog 2017.


Rok predaje rada:
1. rok: 23. veljače 2018.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2018.
3. rok: 21. rujna 2018.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 26.2. - 2.3. 2018.
2. rok (izvanredni): 2.7. 2018.
3. rok: 24.9. - 28.9. 2018.

Zadatak zadao:


Prof.dr.sc. Goran Đukić

Predsjednik Povjerenstva:


Izv. prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD.....	1
2. OPĆENITO O ERGONOMIJI I LOGISTICI	2
2.1. Ergonomija.....	2
2.1.1. Znanost o radu.....	3
2.1.2. Klasifikacija ergonomije	4
2.1.2.1. Konceptijska ergonomija.....	4
2.1.2.2. Korektivna ergonomija	5
2.1.2.3. Sistemska ergonomija	5
2.1.2.4. Softverska ergonomija	5
2.1.2.5. Hardverska ergonomija.....	6
2.2. Logistika.....	6
2.2.1. Logistika i lanac opskrbe	7
2.2.2. Povijest logistike	8
2.2.3. Važnost logistike.....	9
2.2.4. Klasifikacija logistike	10
3. SUSTAVI ZA KOMISIONIRANJE	11
3.1. Komisioniranje.....	11
3.2. Oblikovanje sustava za komisioniranje.....	13
3.3. Izvedbe sustava za komisioniranje prema kriteriju kretanja	14
3.3.1. Princip „čovjek robi“	14
3.3.1.1. Metode ručnog komisioniranja po principu „čovjek robi“	16
3.3.2. Princip „roba čovjeku“.....	20
3.3.3. Sustav za distribuciju narudžbi	21
3.4. Izvedbe sustava za komisioniranje prema vrsti jediničnog tereta.....	22
3.4.1. Komisioniranje paleta	22
3.4.2. Komisioniranje kutija.....	22
3.4.3. Komisioniranje pojedinačnih dijelova	23
4. ERGONOMSKE ZNAČAJKE RUČNOG RUKOVANJA TERETIMA U KOMISIONIRANJU	24
4.1. Ergonomske značajke kod principa „čovjek robi“	25
4.1.1. Percepcijski aspekti.....	27
4.1.2. Mentalni aspekti.....	27
4.1.3. Fizički aspekti	27
4.1.4. Psiho-socijalni aspekti	28
4.1.5. Alati, oprema i metode za ergonomske komisioniranje	28
4.1.5.1. Podešavanje.....	29

4.1.5.2. Kretanje.....	30
4.1.5.3. Traženje.....	31
4.1.5.4. Izuzimanje.....	32
4.2. Ergonomske značajke kod principa „roba čovjeku“	34
5. METODE ZA ERGONOMSKU PROCJENU RUČNOG KOMISIONIRANJA.....	35
5.1. Metode za procjenu ergonometričnosti podizanja tereta.....	35
5.1.1. Ergonomski način mjerenja rizika – NIOSH jednadžba podizanja	35
5.2. Metode za procjenu potrošnje energije	39
5.3. Metoda za procjenu nelagode radnika	42
6. POBOLJŠANJA ERGONOMSKOG OBLIKOVANJA PROCESA RUČNOG KOMISIONIRANJA	46
6.1. Smjernice za poboljšanje ergonomske oblikovanja ručnog komisioniranja.....	46
6.1.1. Edukacija radne snage.....	47
6.1.2. Karakteristike skladišta	47
6.1.3. Metode usmjeravanja, odlaganja i organizacije komisioniranja.....	48
6.1.4. Skladišna oprema	49
6.1.4.1. Komisioniranje u budućnosti	52
7. ZAKLJUČAK.....	55
LITERATURA.....	57
PRILOZI.....	61

POPIS SLIKA

Slika 1.	Sustav obuhvata ergonomije; prerađeno prema [1].....	3
Slika 2.	Klasifikacija ergonomije; prerađeno prema [3].....	4
Slika 3.	Hardverska ergonomija [4].....	6
Slika 4.	Aktivnosti upravljanja lancem opskrbe; prerađeno prema [9]	8
Slika 5.	Udio troškova logistike u BDP-u SAD-a [10].....	9
Slika 6.	Shematski prikaz skladišnih zona i procesa; prerađeno prema [13]	11
Slika 7.	Prosječna raspodjela troškova skladišnih operacija; prerađeno prema [13].....	12
Slika 8.	Prosječna raspodjela vremena komisioniranja; prerađeno prema [13]	12
Slika 9.	Klasifikacija sustava za komisioniranje; prerađeno prema [14]	14
Slika 10.	Horizontalno komisioniranje [15]	15
Slika 11.	Vertikalno komisioniranje [16]	15
Slika 12.	Osnovni prostorni raspored [12].....	16
Slika 13.	Rute komisioniranja primjenom različitih metoda usmjeravanja [12].....	17
Slika 14.	Primjeri primjene dodijeljenog odlaganja u manualnom sustavu komisioniranja [12]	18
Slika 15.	Mini-load AS/RS sustav sa sustavom konvejera [17]	21
Slika 16.	Izvedbe AS/RS sustava [18] [19]	21
Slika 17.	Izvedbe komisioniranja prema vrsti jediničnog tereta; prerađeno prema [12].....	22
Slika 18.	Pet najčešće spomenutih aspekata iz svake kategorije; preuređeno prema [20] ...	24
Slika 19.	Faktori koji utječu na efikasnost komisioniranja; prerađeno prema [21].....	26
Slika 20.	Tipični pokreti radnika u sustavima za komisioniranje; prerađeno prema [22]....	29
Slika 21.	Primjer narudžbenice [47]	29
Slika 22.	Pametne naočale za vizualno komisioniranje[12],	30
Slika 23.	Slušalice s mikrofonom [12]	30
Slika 24.	Primjeri vozila u komisioniranju; prerađeno prema [6]	31
Slika 25.	Radne cipele [22].....	31
Slika 26.	Kvalitetno osvijetljeno skladište [39].....	32
Slika 27.	(Ne)ispravni načini podizanja tereta s poda; prerađeno prema [22]	32
Slika 28.	Koraci kod podizanja tereta; prerađeno prema [22].....	33
Slika 29.	Iznos momenta tereta u odnosu na udaljenost radnik-teret; prerađeno prema [22]	33
Slika 30.	Aspekti držanja dijelova tijela tijekom komisioniranja; prerađeno prema [22]....	34
Slika 31.	2D prikaz poličnog regala i I/O stanice; prerađeno prema [34]	40
Slika 32.	Vremena i potrošnja energije prilikom komisioniranja s određenih lokacija; prerađeno prema [34]	41
Slika 33.	Višestruko izuzimanje predmeta s regala; prerađeno prema [34]	42
Slika 34.	Udio pojedinih načina nastanka ozljeda; prerađeno prema [22]	46
Slika 35.	Skladište sa prirodnim osvijetljenjem [39].....	48
Slika 36.	Korištenje kolica prilikom transporta; prerađeno prema [22]	49
Slika 37.	Ručni podizni viličar [22].....	50
Slika 38.	Ručna kolica s podiznim stolom [22].....	50
Slika 39.	Transportno vozilo na električni pogon [40].....	50
Slika 40.	Primjena AGV-a u komisioniranju [41]	51
Slika 41.	Vertikalno komisioniranje korištenjem viličara komisionera [42].....	51
Slika 42.	Person-on-board AS/RS [12].....	52

Slika 43.	Korištenje okretno-podiznog stola [43].....	52
Slika 44.	Exoskeleton odijelo [44]	53
Slika 45.	Robotska „ruka“ [45].....	54
Slika 46.	AGV s robotskom „rukom“ [46].....	54

POPIS TABLICA

Tablica 1. Određivanje faktora učestalosti; prerađeno prema [30] 37

SAŽETAK

Tema ovog rada je ergonomija ručnog komisioniranja. Radi lakšeg razumijevanja sadržaja, rad sadržava pregled područja logistike i ergonomije te njihovo međudjelovanje. Kao ključni dio logističkog sustava prikazan je skladišni sustav, s detaljnijim opisom sustava za komisioniranje. Nakon prikaza ergonomskih značajki ručnog rukovanja teretima, s naglaskom na proces komisioniranja, te pregleda metoda za ergonomsku procjenu ručnog komisioniranja, na kraju rada daju se smjernice za poboljšanje ergonomskog oblikovanja procesa ručnog komisioniranja.

Ključne riječi: logistika, ergonomija, sustavi za ručno komisioniranje, procjena i smjernice za poboljšanje ergonomičnosti sustava za komisioniranje

SUMMARY

The theme of this paper is ergonomics of manual order-picking. For better understanding of the content, the paper provides an overview of logistics and ergonomics, as well as the way they interact. The storage system and its critical part, the order-picking system, are also described as the key elements of the logistics system. After a review of the ergonomics features of the manual material handling, with emphasis on the order-picking process and after reviewing ergonomics assessments of the manual order-picking, the end of this paper offers guidelines for improving the ergonomic design of manual order-picking.

Key words: logistics, ergonomics, manual order-picking systems, assessments and guidelines for improving ergonomics in order-picking systems

1. UVOD

Danas, u konkurentskom okruženju, tvrtke trebaju brzo isporučivati proizvode, osiguravajući visoku kvalitetnu uslugu i niske troškove. Kako bi se to ostvarilo, tvrtke moraju konstantno unaprjeđivati logističke sustave. Skladištenje je ključna komponenta cjelokupnog logističkog procesa jer određuje mogućnost isporuke proizvoda na zahtjev. To prisiljava tvrtke da upravljaju skladištima tako da ostvare visoku razinu učinkovitosti i produktivnosti. Jedan od najkritičnijih skladišnih procesa, koji ima veliki udio u vremenu i troškovima, je komisioniranje. Komisioniranje je proces izdavanja robe (proizvoda) na zahtjev kupca. Usprkos trendu automatizacije i primjene sustava komisioniranja po principu „roba čovjeku“, još uvijek se u većini skladišta proces komisioniranja obavlja po principu „čovjek robi“, sa značajnim udjelom ljudskog rada u kretanju i izuzimanju robe. Razlog tome su ekonomske prilike i fleksibilnost koja se postiže korištenjem ljudskog faktora (mogućnost rukovanja teretima različite mase, volumena, oblika...). S tom spoznajom, osim visoke razine učinkovitosti i produktivnosti, radni uvjeti zaposlenika su također bitan faktor u sustavima za komisioniranje. Znanstvena disciplina koja se bavi analizom i prilagođavanjem radnih uvjeta čovjeku se naziva ergonomija. Kao i u ostalim sustavima, u logistici odnosno u projektiranju logističkih sustava, ergonomija predstavlja jedan od osnovnih principa.

U ovom radu će se prikazati ergonomska analiza procesa komisioniranja po principu „čovjek robi“ za što će se koristiti različite metode ergonomske procjene. Dakako, da bi analiza bila jasna, u drugom i trećem poglavlju će se definirati pojmovi ergonomija i logistika te dati pregled izvedbi sustava za komisioniranje. Četvrto poglavlje daje pregled ergonomskih značajki ručnog rukovanja materijalima dok peto objašnjava metode za ergonomsku procjenu ručnog komisioniranja. Temeljem navedene analize odabranih primjera, u šestom poglavlju će se predložiti smjernice za poboljšanje ergonomskog oblikovanja procesa ručnog komisioniranja.

2. OPĆENITO O ERGONOMIJI I LOGISTICI

Kao što je navedeno u uvodnom dijelu ovoga rada, ergonomija je multidisciplinarna znanost čiji se principi koriste u mnogim pa tako i u logističkim sustavima. U narednim točkama će se objasniti pojmovi ergonomija i logistika kako bi se lakše shvatila njihova međusobna povezanost.

2.1. Ergonomija

Ergonomija je pojam izveden iz dvije grčke riječi: posao, rad, djelo (grč. *Ergon*) i prirodni zakon, običaj, red (grč. *Nomos*), a predstavlja znanstvenu disciplinu, unutar znanosti o radu, koja se bavi proučavanjem čovjeka u interakciji s tehničkim sustavima. Pošto se radi o multidisciplinarnom znanstvenom području, ovisno o autoru i području rada kojim se bave, ergonomija se definira na različite načine. U nastavku su dane neke definicije ergonomije.

IEA¹ definira ergonomiju kao znanstvenu disciplinu koja se bavi razumijevanjem interakcija između ljudi i ostalih elemenata sustava, a ujedno je i profesija koja primjenjuje teoriju, principe, podatke i metode dizajna (konstrukcije) u svrhu optimizacije ljudskog blagostanja i sveukupnog učinka sustava. [1]

Prema [2], ergonomija je znanstvena disciplina (znanost o radu) kojoj je zadatak da istražuje ljudski organizam i ponašanje te pruža podatke o prilagođenosti predmeta s kojima čovjek dolazi u kontakt. Ergonomija proučava anatomske, fiziološke i druge parametre ljudskog tijela. To nije neovisna znanost nego se koristi podacima svih disciplina koje se bave čovjekom (medicinom, psihologijom, matematikom, optikom, akustikom, itd.).

Ergonomija je mlada znanstvena disciplina čije je istraživanje usmjereno na interakciju između čovjeka i tehničkih sustava. Zbog toga se ona s jedne strane temelji na znanostima o čovjeku, posebno na fiziologiji, psihologiji i antropologiji, a s druge strane na fizici i inženjerskim znanostima. [3]

Analizirajući navedene definicije, može se zaključiti da ergonomija ima dva cilja. Prvi cilj je prilagoditi čovjeka poslu (izabrati čovjeka koji fizičkim i/ili psihičkim sposobnostima odgovara poslu) i prilagoditi posao čovjeku (oblikovati strojeve i/ili radnu okolinu tako da čovjek što lakše može izvršavati zadani posao). Budući da je ergonomija dio znanosti o radu,

¹ IEA – eng. *International Ergonomics Association* – Međunarodna udruga za ergonomiju

kako bi se pobliže opisao pojam ergonomije potrebno je objasniti znanost o radu i ulogu ergonomije u nj.

2.1.1. Znanost o radu

Znanost o radu je kombinacija teoretskih, eksperimentalnih, opisnih, prirodnih i društvenih znanosti o ljudskom radu kao svjesnoj i planskoj, tjelesnoj i duhovnoj djelatnosti, kojoj je namjera zadovoljiti osnovne, a potom i više potrebe. Zbog toga znanost o radu nije samo jedan znanstveni problem, nego je ona također moralni i politički problem. Pojednostavljeno, znanost o radu bavi se raščlambom i oblikovanjem radnih sustava i radnih sredina pri čemu nastoji, na osnovi znanstvenih spoznaja, ustanoviti sve potrebne mjere kojima bi se unaprijedio i olakšao život i rad čovjeka u industriji. [4]

Znanost o radu se zapravo bavi sustavima ljudi i strojeva u kojima dolazi do interakcije ljudi, strojeva i radne okoline odnosno proizvoda, poslova i zadataka, organizacija i okoline u kojima je čovjek u centru pažnje, [Slika 1].



Slika 1. Sustav obuhvata ergonomije; prerađeno prema [1]

Zbog takvog sadržaja sustava kojim se bavi znanost o radu, vrlo česta pojava je poistovjećivanje ergonomije sa znanostu o radu. Glavna razlika između ergonomije i znanosti o radu je ta da je teoretsko područje ergonomije uže jer ga ona prima od nadređene znanosti o radu, te ergonomiju valja načelno promatrati u njezinoj praktičnoj dimenziji – kao tehnologiju. Sukladno tome, zadaća ergonomije jest usklađivanje navedenih dijelova sustava uz pomoć sastavnih dijelova znanosti o radu:

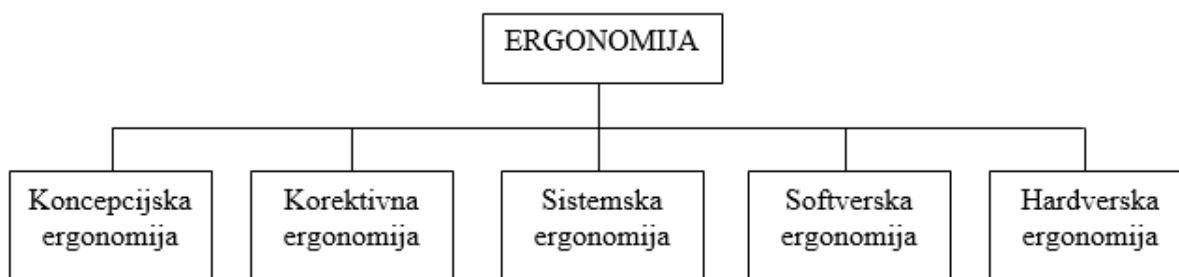
- antropometrija

- fiziologija rada
- psihologija rada
- sociologija rada
- tehnologija rada
- pedagogija rada
- organizacija rada

Navedena područja, koja su sustavni dio znanosti o radu, omogućavaju ergonomiji da ona posluži inženjeru pri rješavanju konkretnih zadataka iz života i rada u industriji.

2.1.2. Klasifikacija ergonomije

Ergonomija se može podijeliti na nekoliko dijelova: konceptijska, korektivna, sistemska, softverska i hardverska ergonomija, [Slika 2]. [3]



Slika 2. Klasifikacija ergonomije; prerađeno prema [3]

U nastavku će se ukratko opisati svaka klasa ergonomije.

2.1.2.1. Koncepcijska ergonomija

Koncepcijska ergonomija se bavi razmatranjem i implementacijom ergonomskih karakteristika u početnoj fazi izrade (konstruiranja) nekog proizvodnog sustava. Upravo zbog tog razloga, ona predstavlja preventivni oblik primjene ergonomije te rezultira najmanjim troškovima. Koncepcijska ergonomija obuhvaća zadatke poboljšanja uvjeta rada na području humaniteta i području ekonomičnosti. Područje humaniteta se bavi smanjenjem opterećenja radnika i opasnosti pri radu, omogućavanjem odmora, povećanjem zadovoljstva i zainteresiranosti za rad, poboljšanjem radne atmosfere dok se područje ekonomičnosti bavi smanjivanjem sadržaja i povećanjem preciznosti rada, ubrzavanjem radnog ritma, smanjenjem zahtjeva i troškova pri radu.

2.1.2.2. Korektivna ergonomija

Korektivna ergonomija se koristi u kasnijem razdoblju realizacije i korištenja radnog sustava, a budući da je to zapravo naknadna mjera, ona podliježe ograničenjima popravaka i konačnici rezultira višim troškovima. Potreba za njezino korištenje se javlja u slučajevima zapostavljanja ergonomskih načela u razvojnom razdoblju sustava odnosno stadiju kada je već sustav djelomično gotov. Usprkos većim troškovima, korektivna metoda je temeljena na iskustvu zbog čega su rješenja pouzdana, ona se koristi jer je napredak bolji nego da se nedostaci otkriju u još kasnijim fazama razvoja.

2.1.2.3. Sistemska ergonomija

Zadaća sistemske ergonomije je voditi brigu o načelnom usklađivanju funkcija jednog proizvodnog sustava. Ona se brine o ljudskim i strojnim funkcijama pri kojima čovjek u proizvodnom sustavu ne smije biti preopterećen niti podopterećen. Sistemska ergonomija ne vodi računa samo o nekim dijelovima sustava (npr. čovjek, stroj, okolina), nego o cjelokupnom sustavu i pri tome obuhvaća sve dimenzije radnog sustava koje inženjer mora praktički realizirati.

Sistemska ergonomija ima nekoliko interesnih područja:

- oblikovanje organizacije radnog sustava
- organizacija tijeka (procesa) radnog sustava
- oblikovanje radnog mjesta
- oblikovanje radnog područja
- oblikovanje radne okoline
- izbor i školovanje osoblja

2.1.2.4. Softverska ergonomija

Da bi mogli poboljšati softverske proizvode, moramo ih moći međusobno uspoređivati i kvalitetno ocjenjivati. Softverska ergonomija razvija metode i kriterije za izvršavanje takvih procjena te je ona interdisciplinarni dio znanosti o radu koji se bavi direktnim ili indirektnim djelovanjem softverskih proizvoda u čovjek-stroj radnom okruženju. Ona obuhvaća biološke, psihološke i socijalne aspekte interakcije između čovjeka i softvera.

Ciljevi softverske ergonomije su:

- poboljšanje prihvaćanja ove tehnologije

- poboljšanje radne motivacije
- povećanje radnih kompetencija
- razvoj osobnosti
- optimiranje opterećenja pri uvođenju novih tehnologija

2.1.2.5. Hardverska ergonomija

Uži okvir proučavanja hardverske ergonomije su tehničko-fizikalne komponente računalnog sustava, dok u širi okvir spadaju neposredna i posredna okolina tog sustava kao što su prikladna konstrukcija mjesta na kojem je aparatura, visina tog mjesta, stolica i njezini parametri te reflektirajuće površine, [Slika 3.].



Slika 3. Hardverska ergonomija [4]

Ergonomija ručnog komisioniranja sadržava elemente svih navedenih klasa. Osim preventivnih aktivnosti koncepcijske ergonomije poput smanjenja opterećenja i opasnosti pri radu, ona obuhvaća i korektivnu ergonomiju kada se provode neke preinake u radnom sustavu tijekom eksploatacije istog. Također, prilikom ergonomskog oblikovanja sustava s ručnim komisioniranjem u obzir se uzima opterećenost radnika što je dio systemske ergonomije. Analiza okoline i korištenje metoda (softvera) za procjenu ergonomičnosti sustava za komisioniranje dio su hardverske odnosno softverske ergonomije.

2.2. Logistika

Logistika je pojam koji se koristi u cijelom svijetu u različitim djelatnostima te kao i ergonomija, nema jedinstvenu i univerzalnu definiciju. Njezina definicija je najčešće formulirana na temelju autora koji ju je definirao i područja kojeg prekriva odnosno u kojem se primjenjuje. Kako bi se поближе objasnio pojam logistike, u nastavku su dane neke od postojećih definicija različitih autora.

S entimološkog stajališta, korijen pojma logistika potiče iz grčkog i francuskog jezika. Grčkom riječju *logistikos* označavala se vještina osobe u računanju i dovodi se u vezu s *logistima*, ljudima koji su posjedovali vještine, iskustva i znanja o očuvanju, procjeni i prosudbi svih relevantnih elemenata u prostoru i vremenu potrebnih za optimalno rješavanje strateških i taktičkih zadataka u svim područjima ljudskih aktivnosti (činovnicima koji su vodili financije u staroj Ateni). Također joj se korijeni mogu tražiti u riječima *logos*, što znači pojam, razum ili pamet, i *logismos*, koja ima značenje računa ili plaće. Francuske riječi koje su povezane s logistikom su *loger*, što znači stanovati, boraviti ili prebivati i *logis*, što znači stan, kuća ili boravište, a izvedena je iz naziva dočasničkog čina *Marechal de logis*, kojemu je zadaća bila planirati sve administrativne poslove vezane za pomak snaga u francuskoj vojsci u 17. stoljeću.[5]

Definicija koja objašnjava osnovnu ulogu logistike glasi da je logistika funkcija odgovorna za kretanje materijala od dobavljača u organizaciju, kroz sve operacije unutar organizacije, te kretanje od organizacije prema kupcu. [6]

Prema CSCMP², logistika je proces planiranja, implementacije i kontrole efikasnog i efektivnog tijeka i skladištenja sirovina, zaliha u procesu, gotovih proizvoda i s tim povezanih informacija, od točke izvora do točke potrošnje u svrhu zadovoljenja zahtjeva korisnika. [7]

Postoji još mnogo različitih autora koji iznašaju različite definicije koje se svode na prethodno navedene definicije odnosno kombinacija su istih.

2.2.1. Logistika i lanac opskrbe

Obzirom kako se u raznim literaturama uz pojam logistike često spominje i pojam upravljanje lancem opskrbe (SCM), potrebno je obrazložiti oba pojma, prikazati njihove sličnosti i razlike kako bi se bolje razumjeli. Kao i za pojam logistike, upravljanje lancem opskrbe je definirano na različite načine od različitih autora. Definicija koja se najčešće pojavljuje u literaturi glasi: "Upravljanje lancem opskrbe se odnosi na koordinaciju proizvodnje, zaliha, lokacije i transporta među sudionicima u lancu opskrbe kako bi se postigla najbolja mješavina odgovornosti i učinkovitosti za tržište koje se poslužuje", a osmislio ju je H.M. Hugos.[8] Isti autor navodi da logistika upravlja zadacima na razini jedne

² CSCMP - eng. *The Council of Supply Chain Management Professionals* – Vijeće profesionalaca za upravljanje lancem opskrbe

organizacije s ciljem efikasnog postizanja zadanih ciljeva, dok se lanac opskrbe odnosi na mrežu više organizacija koje su međusobno u interakciji kroz koje prolazi pojedini proizvod kako bi se on realizirao.

Logistika je dio upravljanja lancem opskrbe tj. funkcija odgovorna za kretanje (tijek) materijala kroz lanac opskrbe [6], dok je, shodno [Slika 4.], upravljanje lancem opskrbe menadžment svih aktivnosti vezan na tijek materijala i usluga, te uz logistiku uključuje upravljanje imovinom, nabavu, životni vijek proizvoda, strategiju, planiranje i aplikacije (informacijske sustave).



Slika 4. Aktivnosti upravljanja lancem opskrbe; prerađeno prema [9]

2.2.2. Povijest logistike

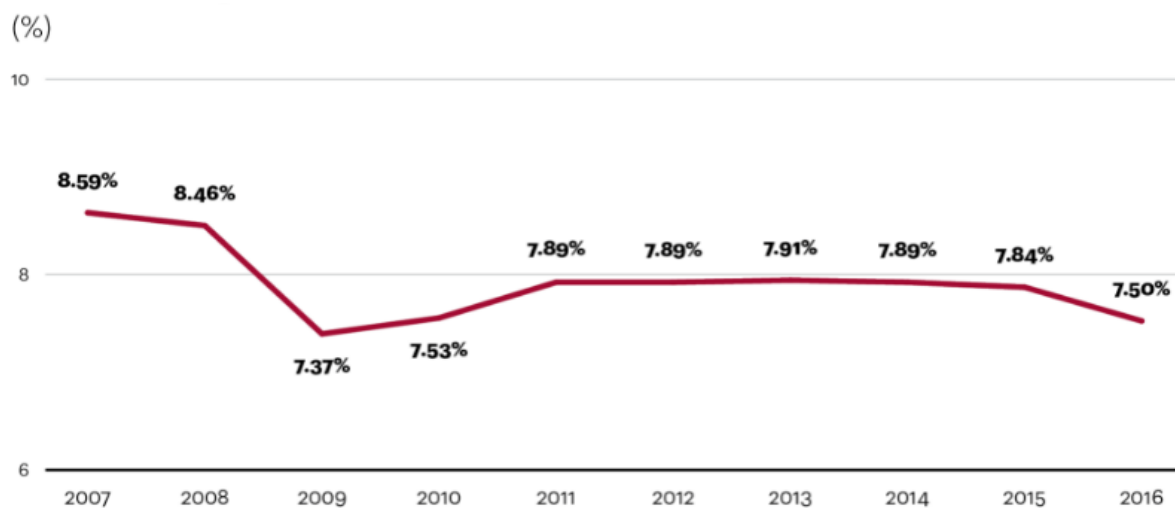
Logističke aktivnosti su se pojavile u najranijim fazama ljudskog života (skladištenje hrane), a naročito pojavom prvih oblika trgovine. Smatra su se da su prvi formalni oblici logistike pojavili u vojsci, potrebom da se vojnici opskrbe oružjem, streljivom i hranom te pruži podrška u preseljenju vojnih baza. Mnogo je primjera iz povijesti gdje je logistika odigrala ključnu ulogu u pobjedama u bitkama i ratovima.

Značajni početak primjene logistike kao djelatnosti u gospodarskim područjima počinje nakon Drugog svjetskog rata, za koji su najviše zaslužni bivši vojnici poučeni iskustvima primjene logistike u ratu. Ubrzo se počinju razvijati razni koncepti u obliku modela planiranja poput fizičke distribucija (eng. *Physical Distribution*) i upravljanje materijalima (eng. *Materials Management*). Također, 70-ih godina dvadesetog stoljeća pojavljuju se i prvi računalni

sustavi upravljanja materijalima pomoću kojih se vršila optimizacija pojedinih logističkih funkcija³, ali kao odvojenih cjelina. Krajem dvadesetog stoljeća koncept SCM-a se široko prihvaća, dolazi u fazu funkcionalne i integracije u više poduzeća. Danas, pojavom intenzivne globalizacije teži se optimizaciji procesa u globalnim mrežama, a logistika i SCM se ubrzano razvija pri čemu veliku ulogu ima Internet (*e-logistics*, *Internet of Things...*) i održivost (ekologija, društvena odgovornost...). [6]

2.2.3. Važnost logistike

Logistika je djelatnost koja je esencijalna za svako poduzeće. Bez logistike, nijedan materijal se ne kreće, operacija se ne može izvršiti, proizvod dostaviti i kupac biti uslužen. Upravo zbog toga, logistika predstavlja velik udio u ukupnim troškovima proizvodnje tj. pružanju usluga. Sukladno dostupnim istraživanjima i anketama, troškovi logistike zauzima od 10 do 20% BDP⁴ prosječne države. Naravno, troškovi logistike variraju ovisno u razvijenosti zemlje, po gospodarskim granama, vrsti industrije, od poduzeća do poduzeća. Općenito pravilo je da udio troškova raste sa smanjenjem razvijenosti zemlje⁵. Globalizacija i kontinuirani razvoj tehnologije omogućavaju konstantno smanjivanje udjela logističkih troškova u ukupnim troškovima proizvodnje, a za SAD, kao jednu od najrazvijenijih zemlja svijeta, je udio i kretanje troškova logistike prikazan na [Slika 5.].



Slika 5. Udio troškova logistike u BDP-u SAD-a [10]

S obzirom na visoke troškove logistike, logistika ima utjecaj na financijske performanse poduzeća. Sukladno tome, poduzeća teže smanjivanju troškova logistike koje se ostvaruje

³ Logističke funkcije – transport, prekrcaj, skladištenje

⁴ BDP – Bruto domaći proizvod

⁵ Odnosi se na slabo razvijenu transportnu i drugu infrastrukturu

smanjenjem troškova (interna racionalizacija, uređivanje tokova materijala...) i povećanjem koristi kupcima (fleksibilne i sigurne isporuke, poboljšanje komunikacije s kupcima...).

2.2.4. Klasifikacija logistike

Logistika kao djelatnost podrazumijeva širok raspon aktivnosti i kao takva ima velik broj podjela koje se razlikuju po raznim kriterijima. U nastavku će se prikazati podjela logistike po nekoliko kriterija.

Prema [6], s obzirom na pripadnost znanstvenom području logistika se dijeli na poslovnu i tehničku logistiku. Poslovna logistika se bavi upravljanjem svim resursima i njihovim tokovima u procesima stvaranja nove vrijednosti (ekonomsko-gospodarski problemi) dok tehnička logistika rješava tehničke probleme opskrbe materijalom i probleme tokova materijala u procesima izrade novih proizvoda i usluga kojima se stvaraju nove vrijednosti.

Promatrajući osnovni tijek materijala, postoje tri glavne funkcionalne logistike: logistika nabave, logistika proizvodnje i logistika materijala. Navedena funkcionalna područja spadaju u logistiku poduzeća, a uloga im je integrirano planiranje, izvršavanje i kontrola svim internim i eksternim tokovima robe i informacija pod odgovornošću poduzeća.

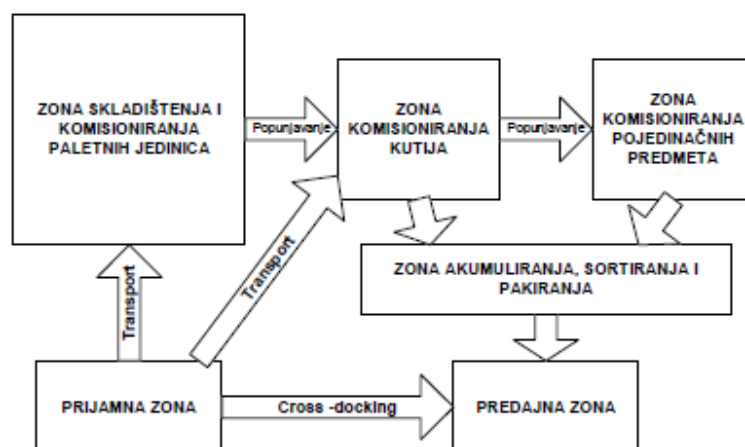
Logistika transporta je dio logistike koji se bavi planiranjem, izvršavanjem i kontrolom kretanja robe i povezanih informacija između dvije točke, a može se podijeliti, ovisno o smjeru kretanja robe i informacija, na vanjski (ulazni) i unutrašnji transport. S obzirom na funkciju, logistika se još dijeli na nekoliko logističkih funkcija poput logistike skladištenja, logistike komisioniranja, logistike pakiranja, logistika otpada, povratna logistika itd.

Kao i svaka djelatnost modernog doba, logistika ima sve veću ulogu u brizi za okoliš zbog čega se pojavljuje novo nazivlje i djelatnosti vezena za logistiku poput zelena logistika (eng. *green logistics*), GSCM⁶ i mnogih drugih. Takva logistika uključuje integraciju okolišnog razmišljanja u logistiku odnosno uključuje aktivnosti poput zelene nabave, zeleni transport, zeleno skladištenje, zeleno rukovanje materijalom i zelenu povratnu logistiku. [6]

⁶ GSCM – eng. *Green supply chain management* – Upravljanje zelenim lancima opskrbe.

3. SUSTAVI ZA KOMISIONIRANJE

S obzirom na osnovne skladišne procese⁷, skladišni sustav se shematski može prikazati putem osnovnih zona: prijemna zona, skladišna zona (usklađivanje), zona komisioniranja (uključujući i eventualno zonu akumuliranja, sortiranja i pakiranja) i predajna zona, [Slika 6].



Slika 6. Shematski prikaz skladišnih zona i procesa; prerađeno prema [13]

Sustavi za komisioniranje su pojam koji autori rijetko jednoznačno definiraju u literaturi, a najčešće se posredno definiraju preko definiranja skladišnog procesa komisioniranja. Razlog tome je možda što je komisioniranje kao (pod)proces zastupljen u svakom skladišnom procesu, a da se pri tome, unutar skladišnog sustava, ne osniva podsustav komisioniranja. U većini literature, opis sustava za komisioniranje temeljen je na vrsti sredstva za skladištenje, odnosno vrsti regalne opreme iz koje se roba izuzima u procesu komisioniranja. Kako bi se pobliže definirali i objasnili sustavi za komisioniranje, u narednim točkama će se opisati proces komisioniranja, kriteriji koji po kojima se oblikuju sustavi za komisioniranje te navesti izvedbe sustava za komisioniranje prema kriteriju kretanja i prema vrsti jediničnog tereta. Poseban naglasak i detaljan opis će se staviti na proces komisioniranja u sustavima po principu „čovjek robi“.

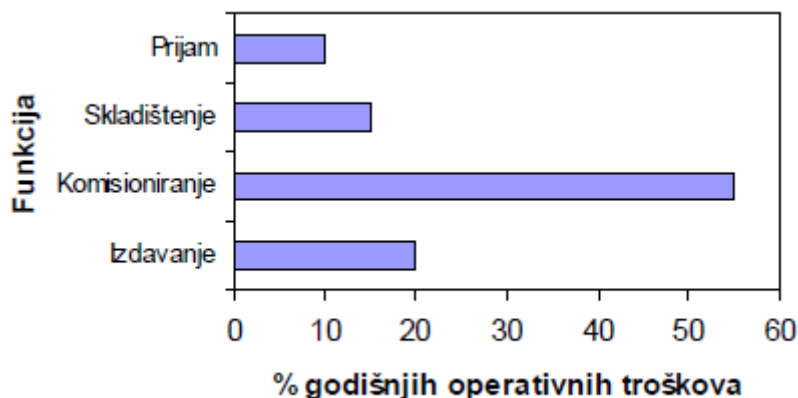
3.1. Komisioniranje

Komisioniranje (eng. *Order-picking*) predstavlja jedan od četiri osnovna skladišna procesa. Definira se kao proces izuzimanja robe skladišnih lokacija na temelju zahtjeva

⁷ Četiri osnovna skladišna procesa – prijem, usklađivanje, komisioniranje i izdavanje robe

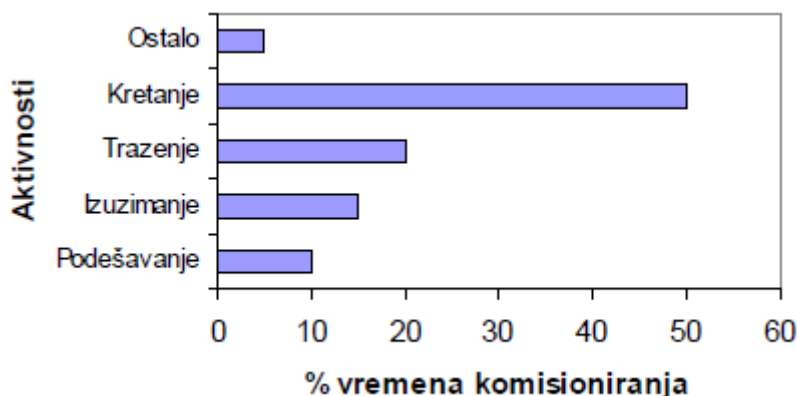
korisnika. Zbog česte potrebe za konsolidacijom, sortiranjem i pakiranjem robe prije izdavanja, komisioniranje se definira kao proces pripreme materijala za izdavanje. [11] [12]

Kao što je vidljivo na [Slika 6.], skladišni sustav je sastavljen od podsustava, na kojem je vidljivo da je komisioniranje povezano s gotovo svim skladišnim aktivnostima te kao takvo predstavlja jedan od najznačajnijih skladišnih procesa. Najčešće je to proces s najvećim ukupnim troškovima svih aktivnosti u skladištu. U nekim skladištima udio troškova komisioniranja u ukupnim troškovima iznosi 55%, [Slika 7.].



Slika 7. Prosječna raspodjela troškova skladišnih operacija; prerađeno prema [13]

Također, komisioniranje je proces s najvećim udjelom u ukupnom vremenu svih aktivnosti u skladištu koji nekim skladištima iznosi i do 90%, [11]. Prema [13], najveći udio vremena u procesu komisioniranja se odnosi na kretanje komisionera, a iznosi čak 50%, [Slika 8.]. Stoga su glavne smjernice za postupak poboljšanja procesa komisioniranja usmjerene na smanjivanje vremena komisioniranja (smanjivanje puta komisioniranja) što se direktno preslikava na niže troškove i ergonomičniji rad komisionera.



Slika 8. Prosječna raspodjela vremena komisioniranja; prerađeno prema [13]

3.2. Oblikovanje sustava za komisioniranje

Oblikovanje sustava za komisioniranje mora biti u skladu s postavljenim zahtjevima i ciljevima projektiranja i oblikovanja cijelog skladišta. Pri tome se kod oblikovanja sustava za komisioniranje posebna važnost daje ciljevima koji su povezani s osnovnim značajkama procesa komisioniranja, a to su produktivnost, vrijeme ciklusa (brzina) i točnost. [12]

Produktivnost u komisioniranju mjeri se pomoću iznosa stope komisioniranja (eng. *pick rate*). Stopa komisioniranja se definira s obzirom na vrstu jedinice skladištenja koja se komisionira. Tako se produktivnost može izraziti kao broj iskomisioniranih paleta/kutija/proizvoda/stavki po satu. Takav način mjerenja produktivnosti je pogodan kod usporedbe različitih skladišnih sustava. Također, produktivnost je mjeriti i po broju izvršenih naloga za komisioniranje ili broju izvršenih narudžbi korisnika, no takav način bio bi pogodan za usporedbu varijanti nekog konkretnog sustava.

Vrijeme ciklusa (eng. *cycle time*) je vrijeme koje je potrebno od zaprimanja narudžbe u skladištu do izlaza naručene robe iz skladišta. Zbog sve veće potrebe za čim bržim isporukom robe, metode komisioniranja su u velikoj mjeri usmjerene na smanjivanje vremena ciklusa. Pošto je vrijeme komisioniranja sastavni dio vremena ciklusa, skraćivanjem vremena ciklusa rezultira povećanom produktivnošću.

Točnost je ključna značajka procesa komisioniranja. Najčešće se izražava putem stope točnosti komisioniranja (eng. *pick accuracy rate*), odnosno omjera ukupnog broja točno obavljenih aktivnosti komisioniranja i ukupnog broja obavljenih komisioniranja. Točnost se može definirati kao točnost narudžbi (eng. *order accuracy rate*), koja predstavlja odnos točnih narudžbi naspram svih otpremljenih narudžbi uključujući i nedostatak robe na skladištu. Također, može definirati kao stopa savršene narudžbe (eng. *perfect order rate*), odnosno koliko je narudžbi otpremljeno točnih, bez oštećivanja robe i na vrijeme. Greške komisioniranja smanjuju točnost te povećavaju ukupne troškove komisioniranja. Današnja poduzeća upotrebom *lean* koncepta i novih tehnologija nastoje eliminirati greške u komisioniranju te tako smanjiti troškove.

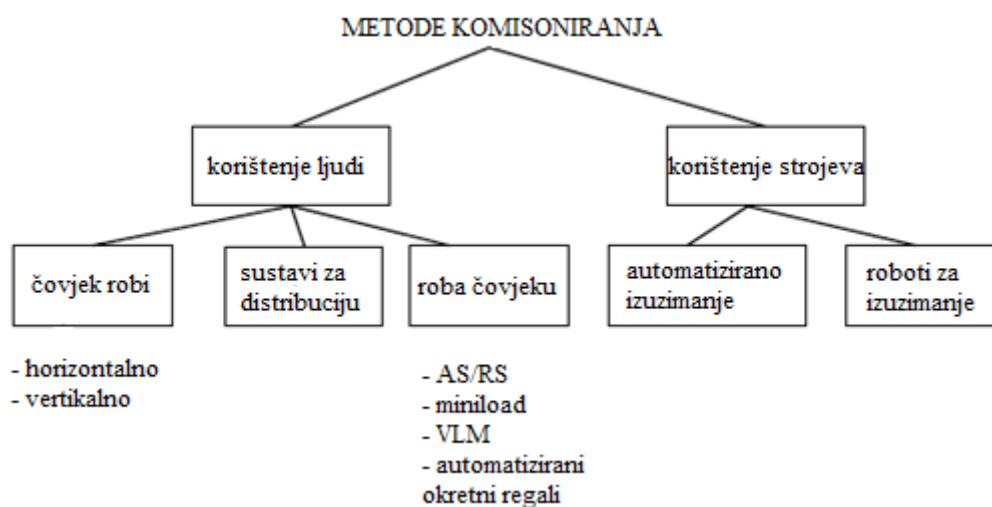
Kad navedene značajke komisioniranje promatraju zajedno, može se zaključiti da je cilj oblikovanja sustava komisioniranja povećanje efikasnosti. To se ostvaruje primjenom raznih izvedbi za komisioniranje koje će se detaljnije objasniti u narednim točkama.

3.3. Izvedbe sustava za komisioniranje prema kriteriju kretanja

Aktivnosti komisioniranja mogu biti izvršavane na dva načina:

- od strane ljudi (eng. *manual systems*)
- od strane strojeva (eng. *automatic systems*)

Prema [14] više od 80% skladišta je upravljano od strane ljudi sto ga upravo oni koji najčešće obavljaju i proces komisioniranja.



Slika 9. Klasifikacija sustava za komisioniranje; prerađeno prema [14]

Prema [Slika 9.], korištenje ljudi kao sredstva za izvršavanje aktivnosti komisioniranja se može podijeliti na tri dijela: princip „čovjek robi“, princip „roba čovjeku“ i „sustavi za distribuciju narudžbi“. Metode komisioniranja koje podrazumijevaju strojeve kao: sredstva rada se dijele na strojeve za automatsko izuzimanje i robote za izuzimanje.

Za potrebe ovog rada će se analizirati izvedbe sustava za komisioniranje koji uključuju korištenje ljudi kao sredstva za izvršavanje aktivnosti komisioniranja.

3.3.1. Princip „čovjek robi“

U komisioniranju prema principu "čovjek robi" (eng. *picker-to-part*) komisioner se kreće, hodajući ili vozeći se na transportnom sredstvu, do lokacije (ili više njih) sa koje treba izuzeti materijal. Kako se aktivnost izuzimanja najčešće obavlja u prolazima između regala, ova izvedba sustava vrlo se često naziva i sustavi "u prolazima" (eng. *in-the-aisle*). Danas, izvedba takvog sustava komisioniranja je sveprisutna zbog jeftinije implementacije od

principa „roba čovjeku“. Dakako, komisioniranje po principu „čovjek robi“ iziskuje kompliciranije upravljanje i više napora za zaposlenika. [12]

Princip „čovjek robi“ se može podijeliti na dvije izvedbe:

- Horizontalno komisioniranje s prve (druge) razine (eng. *low-level picking*)
- Vertikalno komisioniranje s više razine (eng. *high-level picking*)



Slika 10. Horizontalno komisioniranje [15]



Slika 11. Vertikalno komisioniranje [16]

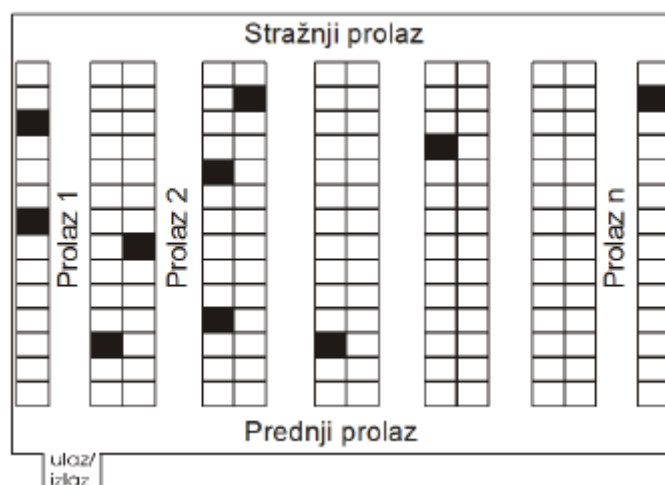
U sustavima za komisioniranje s niske razine, [Slika 10.], komisioner izuzima određeni artikl s regala ili police, dok se kreće kroz skladišne prolaze. U sustavima za komisioniranje s visoke razine, [Slika 11.], komisioner putuje na viličaru komisioneru ili dizalici (person-on-board AS/AR⁸) koja mu podizanjem omogućuje izuzimanje zahtijevanog artikla s viših razina.

⁸ AS/RS – eng. *Automated Storage and Retrieval Systems* – Automatizirani skladišni sustavi

3.3.1.1. Metode ručnog komisioniranja po principu „čovjek robi“

Kao što je navedeno u uvodnom dijelu ovog rada, u većini skladišta, proces komisioniranja se obavlja po principu „čovjek robi“, sa značajnim udjelom ljudskog rada u kretanju i izuzimanju robe. Korištenjem raznih metoda komisioniranja, pokušava se smanjiti udio ljudskog (ručnog) rada te povećati efikasnost komisioniranja. Prema [12], metode komisioniranja u ručnim sustavima komisioniranja se dijele u tri grupe: metode usmjeravanja, odlaganja i organizacije komisioniranja.

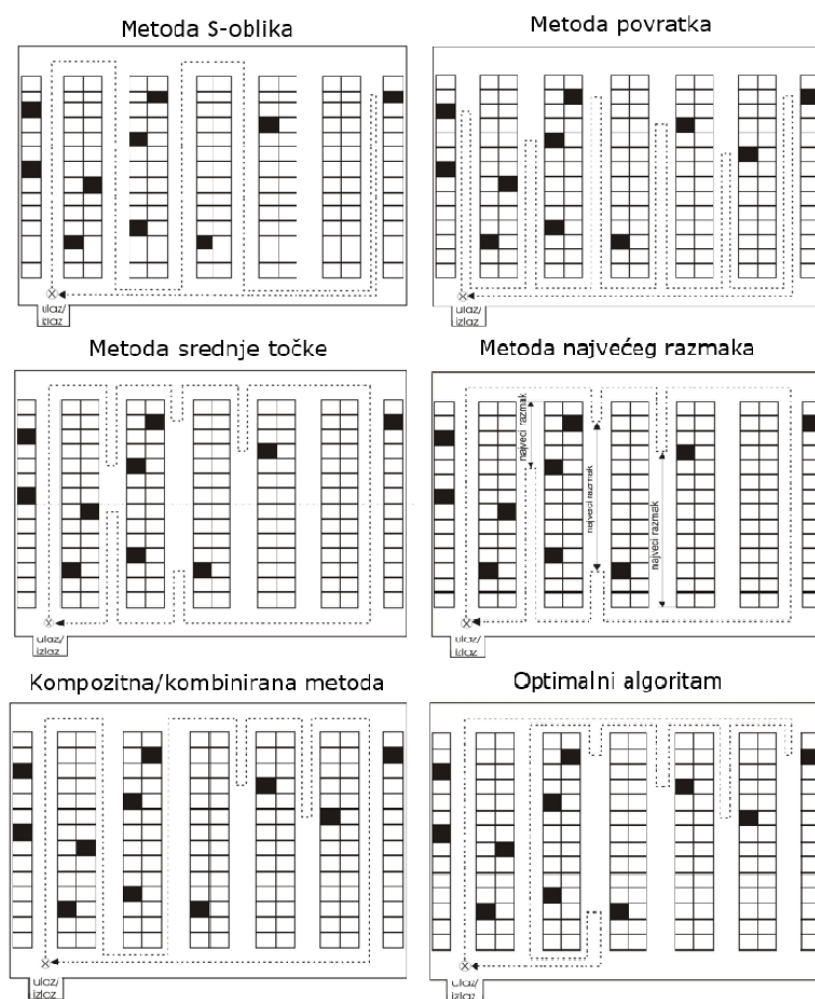
U sustavima po principu „čovjek robi“, metode usmjeravanja (eng. *routing methods*) komisionera u manualnim sustavima komisioniranja imaju za cilj određivanje redosljeda prikupljanja i rute kretanja. Cilj metoda je minimiziranje puta (vremena) kretanja komisionera. Kako bi objasnile najpoznatije heurističke metode usmjeravanja komisionera kao i optimalna ruta, koristit će se izvedba skladišta s jednim blokom. Karakteristike ovog skladišnog sustava su da ima jedan ulaz/izlaz, paralelne redove regala i regalnih prolaza te dva glavna (poprečna prolaza i slučajan raspored lokacija s kojih je potrebno izvršiti izuzimanje artikla. [Slika 12.]



Slika 12. Osnovni prostorni raspored [12]

Da bi se odredila optimalna ruta komisioniranja, razvijene su mnoge metode usmjeravanja komisionera od kojih su najpoznatije: metoda S-oblik, metoda povratka, metoda srednje točke, metoda najvećeg razmaka i kombinirana metoda. [12]

Navedene heurističke metode usmjeravanja komisioniranja kao i optimalna ruta su prikazani na [Slika 13.].



Slika 13. Rute komisioniranja primjenom različitih metoda usmjeravanja [12]

Metoda S-oblika (eng. *S-shape method*) je najjednostavnija metoda usmjeravanja. Metoda se sastoji se u tome komisioner posjećuje svaki prolaz koji sadrži barem jednu lokaciju iz koje treba izuzeti materijal te prolazi se cijelom duljinom tog prolaza. Ostali prolazi se izbjegavaju. Nakon što su svi materijali prikupljeni, komisioner se vraća prednjim glavnim prolazom do početne točke, [Slika 13].

Princip metode povratka (eng. *Return method*) je također vrlo jednostavan. Komisioner ulazi u prolaze između regala isključivo iz prednjeg glavnog prolaza, a nakon prikupljenog materijala okreće se i izlazi na istoj strani. Ova metoda je jedina primjenjiva u skladištima sa samo jednim poprečnim prolazom. [Slika 13]

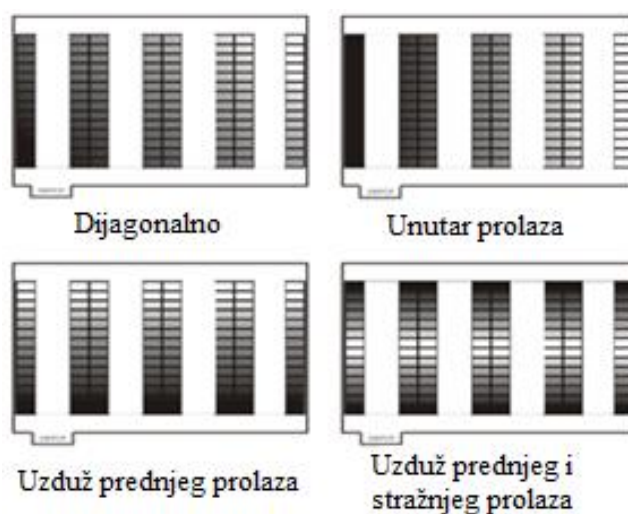
Metoda srednje točke (eng. *Midpoint method*) funkcionira tako da se skladište podijeli u jednake polovice. Prikupljanje u prednjoj polovici obavlja se ulaskom komisionera iz prednjeg glavnog prolaza, dok se prikupljanje u stražnjoj polovici skladišta obavlja ulaskom komisionera iz stražnjeg prolaza. Prvi i zadnji prolaz se prođu cijelom duljinom, [Slika 13].

Metodom najvećeg razmaka (eng. *Largest Gap method*), u glavne prolaze, komisioner ulazi i izlazi s iste strane, tako da se najveći razmak ne prolazi. Izuzetak su kao i kod metode srednje točke, prvi i zadnji prolaz koji se prolaze u cijelosti. Najveći razmak se definira kao najveća udaljenost između dvije susjedne lokacije u prolazu, prve tražene lokacije u prolazu i prednjeg prolaza odnosno zadnjeg tražene lokacije u prolazu i stražnjeg prolaza.

Kompozitna/kombinirana metoda (eng. *Composite/Combined method*) je kombinacija metode S-oblika i metode povratka. Metoda minimizira kretanje između dvije najdalje lokacije u dva susjedna prolaza, tako da se ovisno o poziciji lokacija s kojih treba pokupiti materijal, prolazi u cijelosti ili se radi okret.

Upotreba pojedine heuristike ovisi o raznim čimbenicima poput veličine i oblika skladišta, broja lokacija s kojih treba izuzeti materijal itd.. U praksi, prilikom odabiranja rute komisioniranja najveći utjecaj ima iskustvo komisionera, što je iskusniji i što bolje poznaje zonu komisioniranja to je vjerojatnost odabiranja što kraće rute komisioniranja biti veća.

Postoje tri vrste metoda odlaganja: nasumično, dodijeljeno i odlaganje po zonama. [12] Ovisno o težini, vrsti, proizvođača artikla ili učestalosti komisioniranja određuje se metoda koja će se koristiti. Svaka od navedenih metoda određuje način dodjeljivanja komisionih lokacija pojedinim artiklima s ciljem minimizacije očekivane duljine rute (puta) komisionera. Tako će se primjenom dodijeljenog, [Slika 14.], ili odlaganja po zonama tzv. „bržim“⁹ artiklima dodijeliti lokacija bliže ulazu/izlazu, s ciljem skraćivanja puta (vremena) komisioniranja.



Slika 14. Primjeri primjene dodijeljenog odlaganja u manualnom sustavu komisioniranja [12]

⁹ Brzo se ovdje odnosi na artikle koji imaju veću učestalost izuzimanja (eng. *picking frequency*)

Na [Slika 14.] su prikazani primjeri dodjeljivanja lokacija artikla po kriteriju učestalosti izuzimanja. Što su lokacije tamnije boje, dodjeljuju se bržim artiklima.

Primjenom metoda dodjeljivanja lokacija i odlaganja po zonama se smanjuje put (vrijeme) komisioniranja, no isto tako može doći do zagušenja, ako u zonama artikla s najvećom učestalošću izuzimanja radi više komisionera, na što treba obratiti posebnu pozornost.

Metode organizacije komisioniranja također predstavljaju jednu od metoda komisioniranja u ručnim sustavima za komisioniranje. Prema [12] postoje tri vrste organizacije komisioniranja: komisioniranje prema narudžbi, grupno komisioniranje i komisioniranje po zonama.

Komisioniranje prema narudžbi (eng. *single order-picking*) je metoda komisioniranja kada svaka narudžba korisnika predstavlja jedan nalog za komisioniranje. Tako se svakim ciklusom komisioniranja prikuplja sva roba za dotičnog naručitelja i nakon što je proces komisioniranja završen, narudžba je kompletirana i spremna za pakiranje odnosno izdavanje. Metoda se koristi u skladišnim sustavima koji zaprimaju malu količinu srednjih ili velikih narudžbi.

Grupno komisioniranje (eng. *batch picking*) je metoda komisioniranja prilikom čega se dvije ili više narudžbi korisnika spajaju u jedan nalog za komisioniranje. Implementirajući tu metodu, komisioner u jednoj ruti (ciklusu) posjećuje sve lokacije artikla iz naloga pri čemu prikuplja artikle iz više narudžba. Glavna prednost ovakve organizacije komisioniranja je ostvarivanje značajne uštede u vremenu kretanja po narudžbi, ako se komisioniraju velike količine malih narudžbi. Međutim, ova metoda zahtijeva sortiranje obzirom da se u jednom ciklusu prikupljaju artikli iz više narudžbi. Također, mogućnost primjena ove metode ovisi o veličini narudžbi i kapacitetom komisionera.

Komisioniranje po zonama (eng. *zone picking*) je metoda organizacije komisioniranja kada se područje komisioniranja podijeli u zone. U svakoj zoni jedan komisioner prikuplja artikle iz dijela narudžbe, odnosno one artikle koji se nalaze u njegovoj zoni. Takvo komisioniranje rezultira smanjenjem prijednog puta komisionera (smanjenje vremena), no zahtijeva sortiranje prikupljenog materijala. Također, tako se izbjegava pojava više komisionera u određenom području te svaki komisioner poznaje vrstu i raspored proizvoda u zoni u kojoj djeluje što mu pomaže prilikom odabira rute prikupljanja proizvoda. Postoje dvije varijacije komisioniranja po zonama: sekvencijalno (ili progresivno) i simultano (ili sinkronizirano) komisioniranje po zonama. Sekvencijalno komisioniranje po zonama (poznato i pod nazivom eng. *pick and pass*) je način rada kada se artikli prikupljaju po zonama jednu po jednu. Nakon

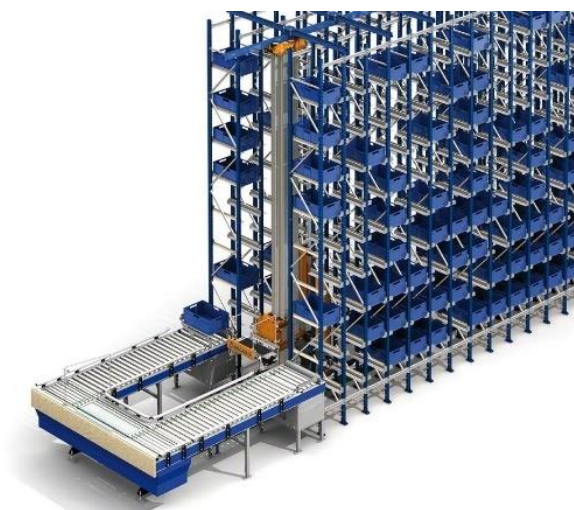
što je dio narudžbe gotov u jednoj zoni predaje se komisioneru u sljedećoj zoni za nastavak. Simultano komisioniranje po zonama (eng. *simultaneous zone picking*), još se naziva komisioniranje u valovima, je način rada kada se artikli prikupljaju istovremeno. Pri tome se najčešće podrazumijeva da se određeni skup narudžbi komisionira unutar nekog vremenskog perioda (uz metodu grupiranja narudžbi), pa ga neki nazivaju i eng. *batch-zone picking*. Nakon prikupljanja u svim zonama roba se spaja u jedinstvenu narudžbu za otpremu. Komisioniranje po zonama se obično koristi da se smanje vremena kretanja u velikim skladištima i da se u slučaju mnogo komisionera, isti podijele po zonama te tako sprječavaju međusobni negativan utjecaj (npr. kolizija između ruta).

3.3.2. Princip „roba čovjeku“

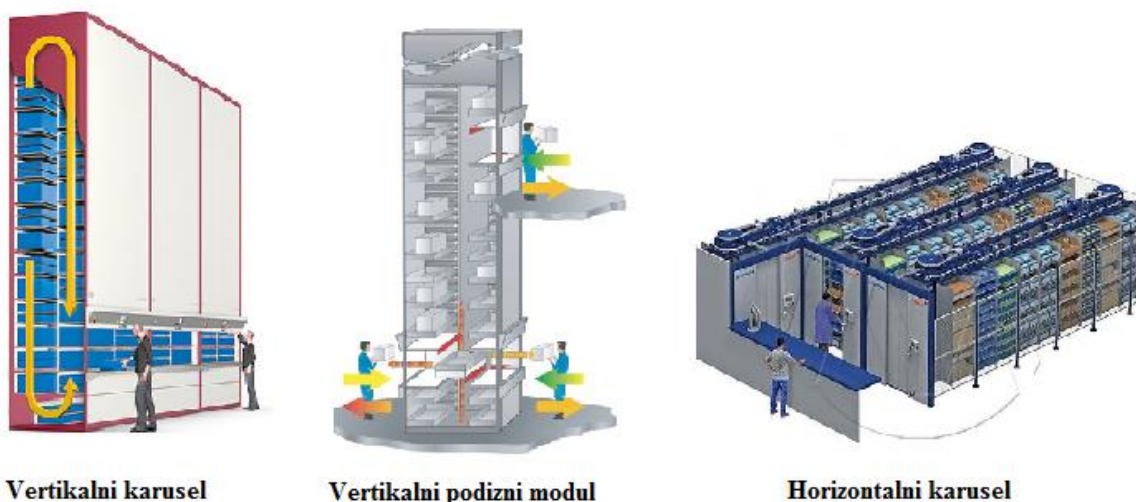
U sustavima komisioniranja prema principu "roba-čovjeku" (eng. *part-to picker*) materijal koji treba izuzeti kreće se do komisionera. Mjesto izuzimanja materijala (pretovarna stanica) nalazi se na kraju prolaza, pa se ovi sustavi još nazivaju i sustavi komisioniranja "na kraju prolaza" (eng. *end-of-aisle order-picking systems*). [12] To su sustavi koji uključuju AS/RS sustave, poput mini-load AS/RS [Slika 15.], koristeći najčešće automatizirana vozila koja odlažu odnosno izuzimaju jednu ili više jedinica skladištenja. Automatizirano vozilo (dizalica) može raditi u više radnih ciklusa: jednostruki (eng. *single command cycle*), dvostruki (eng. *dual command cycle*) i višestruki radni ciklus (eng. *multiple command cycle*). Jednostruki radni ciklus podrazumijeva ili uzimanje jedinice skladištenja s pretovarne stanice (eng. *I/O station*) i njezino odlaganje na regal ili izuzimanje jedinice skladištenja iz regala i dopremanje na pretovarnu stanicu. Dvostruki radni ciklus se sastoji uzimanja jedinice skladištenja te odlaganja na regal i izuzimanja druge jedinice skladištenja i njezino odlaganje na pretovarnu stanicu. Višestruki radni ciklus se sastoji od višestrukog odlaganja i izuzimanja jedinica skladištenja. Sustavi po principu „roba čovjeku“ mogu biti izvedeni upotrebom drugih AS/RS sustava poput automatiziranih okretnih regala¹⁰ i VLM¹¹-a, [Slika 16.] koji također dopremaju artikle do komisionera.

¹⁰ Automatizirani okretni regali – horizontalni i vertikalni karuseli

¹¹ VLM – eng. *Vertical Lift Modules* – Vertikalni podizni moduli



Slika 15. Mini-load AS/RS sustav sa sustavom konvejera [17]



Vertikalni karusel

Vertikalni podizni modul

Horizontalni karusel

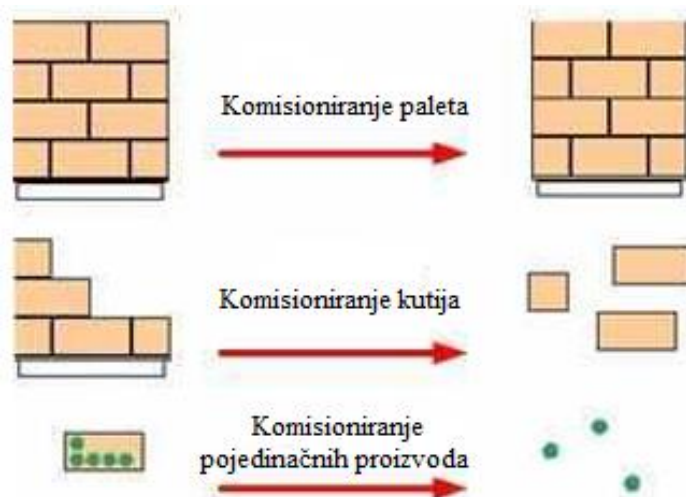
Slika 16. Izvedbe AS/RS sustava [18] [19]

3.3.3. Sustav za distribuciju narudžbi

Sustavi za distribuciju narudžbi (eng. *order distribution systems*, poznati i pod nazivom eng. *put systems*) je verzija sustava komisioniranja koja se sastoji od procesa izuzimanja (eng. *retrieval*) i procesa distribucije (raspodjele). Princip rada se sastoji od izuzimanja artikla iz skladišne lokacije, što može biti izvedeno i po principu „čovjek robi“ i principu „roba čovjeku“. Zatim spremnik s izuzetim jedinicama skladištenja dolazi do komisionera koji ih raspodjeljuje po narudžbi kupca (stavlja, eng. *put*, ih u kartonske kutije). Sustavi za distribuciju narudžbi se koriste kada postoji potreba za komisioniranjem velikog broja artikla u kratkom vremenskom intervalu.

3.4. Izvedbe sustava za komisioniranje prema vrsti jediničnog tereta

Osim po kriteriju kretanja, sustavi komisioniranja se mogu podijeliti prema vrsti (veličini) jediničnog tereta. Prema [12] dijele se na komisioniranje paleta, komisioniranje kutija i komisioniranje pojedinačnih proizvoda, [Slika 17.].



Slika 17. Izvedbe komisioniranja prema vrsti jediničnog tereta; prerađeno prema [12]

3.4.1. Komisioniranje paleta

Sustavi komisioniranja paleta su sustavi odlaganja i izuzimanja paletnih jedinica. To su sustavi u kojima se sukladno narudžbi odlažu odnosno izuzimaju cijele palete iz skladišnih regala. Takvi sustavi komisioniranja su karakteristični za razne regalne sustave¹² i za automatizirana skladišta (unit-load AS/RS).

3.4.2. Komisioniranje kutija

Za komisioniranje kutija također se mogu koristiti razne izvedbe klasičnih regalnih sustava. Razlikuje se dvije izvedbe: horizontalno i vertikalno komisioniranje (oba načina su objašnjena u poglavlju 3.1.1.). Osim izvedba na klasičnim paletnim regalima, komisioniranje kutija se također vrši iz unit-load AS/RS sustava.

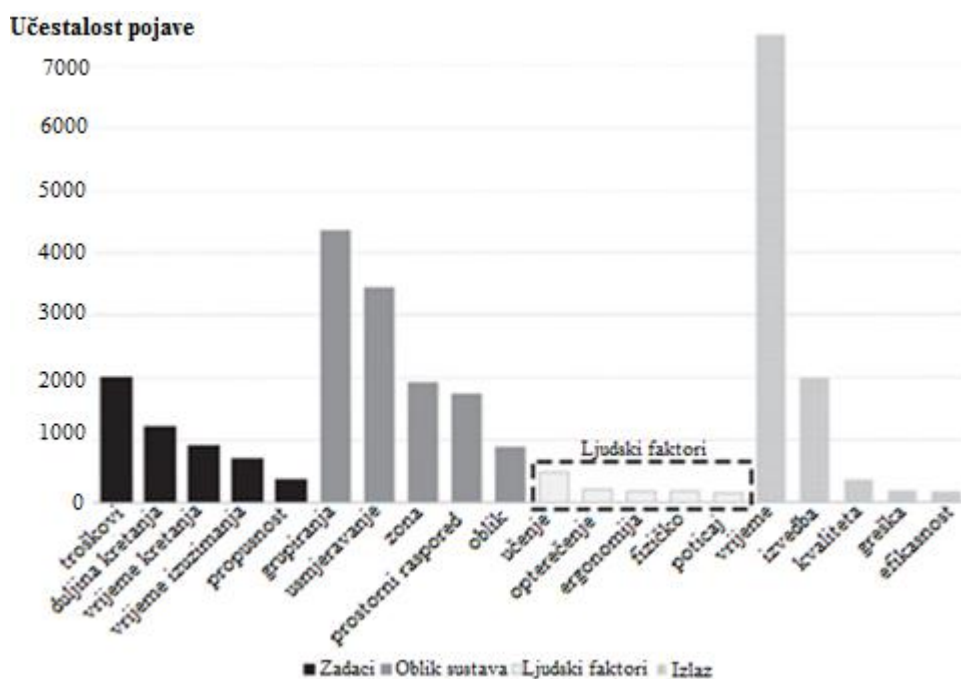
¹² Regalni sustavi – klasični paletni regali jednostruke i dvostruke dubine, paletni protočni, prijevozni regali...

3.4.3. Komisioniranje pojedinačnih dijelova

Za komisioniranje pojedinačnih proizvoda u praksi se najčešće koristi sustav komisioniranja iz poličnih regala u kojem su proizvodi direktno posloženi na police ili se nalaze u spremnicima odloženim na police. Kao i kod komisioniranja kutija, i ovdje se pojavljuje horizontalno i vertikalno komisioniranje. Osim komisioniranja iz poličnih regala, komisioniranje pojedinačnih proizvoda se obavlja iz regala ladičara, protočnih regala, automatiziranih okretnih regala, vertikalnih podiznih modula, mini-load i unit-load AS/RS.

4. ERGONOMSKE ZNAČAJKE RUČNOG RUKOVANJA TERETIMA U KOMISIONIRANJU

Danas ergonomske značajke predstavljaju vrlo bitan faktor u ručnom komisioniranju. Zbog toga ergonomija predstavlja jedan od osnovnih principa prilikom projektiranja logističkih odnosno sustava za komisioniranje. Iako je ta činjenica svima poznata, prilikom projektiranja sustava za komisioniranje, ergonomiji se ne daje niti približno pažnje kao nekim ostalim značajkama bitnima za proces komisioniranja. Taj podatak proizlazi iz istraživanja koje su proveli Grosse i ostali 2017. godine. [20] Cilj njihovog istraživanja je bilo utvrditi koja je učestalost spominjanja određenih pojmova u raznim člancima koja se bavi sustavima za komisioniranje. Pojmove su podijelili na četiri kategorije: zadaci komisioniranja, oblikovanje sustava za komisioniranje, ljudski faktori i rezultati komisioniranja. U kategoriju zadataka spada minimiziranje puta, troškova i vremena komisioniranja, minimiziranje greška izuzimanja, opasnosti od ozljede itd.. Oblikovanje sustava za komisioniranje obuhvaća oblikovanje prostornog rasporeda, metode usmjeravanja i grupiranje narudžbi, tehničku opremu itd.. U ljudske faktore spadaju radnje poput čitanja, pamćenja, razna psihička stanja, fizičke posljedice, dok se kod rezultata komisioniranja gleda ukupno vrijeme i izvedba komisioniranja, kvaliteta, greške, efikasnost, produktivnosti itd.. Rezultati istraživanja su prikazani na [Slika 18].



Slika 18. Pet najčešće spomenutih aspekata iz svake kategorije; preuređeno prema [20]

Iz [Slika 18.] je vidljivo da literatura koja obrađuje ručno komisioniranje uglavnom usmjerena na ekonomske aspekte dok su ergonomske vrlo rijetko spomenuti. Primjerice, pojmovi usmjeravanja i grupiranja narudžbi su 22 odnosno 28 puta više spomenuti nego pojam ergonomije. Ta činjenica nam jasno daje do znanja da su aspekti ergonomije premalo istraženi u području sustava s ručnim komisioniranjem i da samim time predstavljaju veliki potencijal za buduća istraživanja. [20]

Drugi razlog zbog kojeg se prilikom projektiranja sustava za komisioniranje treba više posvetiti ergonomske aspektima je taj što komisioniranje uključuje ponavljajuće radnje koje mogu rezultirati mišićno-koštanim poremećajima (eng. MSD¹³). MSD predstavlja glavni razlog izbivanja radnika s posla. U Europskoj uniji, MSD su odgovorne za 52% svih bolesti vezanih za posao i uzrokuju troškove u iznosu od 2% BDP-a¹⁴, gdje ozljede leđa, koje se najčešće pojavljuju prilikom ručnog komisioniranja, uzrokuju najveće troškove. [21]

Treći razlog je sadržan u velikoj učestalosti ručnog komisioniranja. Kao što je navedeno u uvodnom dijelu rada, iako tehnologija omogućuje provedbu automatizirano komisioniranja, u većini poduzeća komisioniranje se obavlja ručno. Glavni razlog takvoj praksi je što su ljudi fleksibilniji od strojeva kada dođe do neočekivanih promjena prilikom procesa komisioniranja, posebno kada ta promjena zahtijeva nešto što stroj ne može još učiniti. Prema [14], od svih narudžbi u skladištima, više od 80% njih se odrađuje ručno. Upravo taj podatak ukazuje na veliku grešku koju rade menadžeri kada prilikom projektiranja sustava za komisioniranje ne uzimaju u obzir ergonomske značajke.

Zbog svih ovih činjenica, uzimanje u obzir ergonomske značajke je neizbježno, ako se želi ostvariti funkcionalan i kvalitetan proces komisioniranja. U narednim točkama će se obraditi ergonomske značajke ručnog rukovanja teretima u komisioniranju. Značajke će se podijeliti na one vezane za komisioniranje po principu „roba čovjeku“ i po principu „čovjek robi“.

4.1. Ergonomske značajke kod principa „čovjek robi“

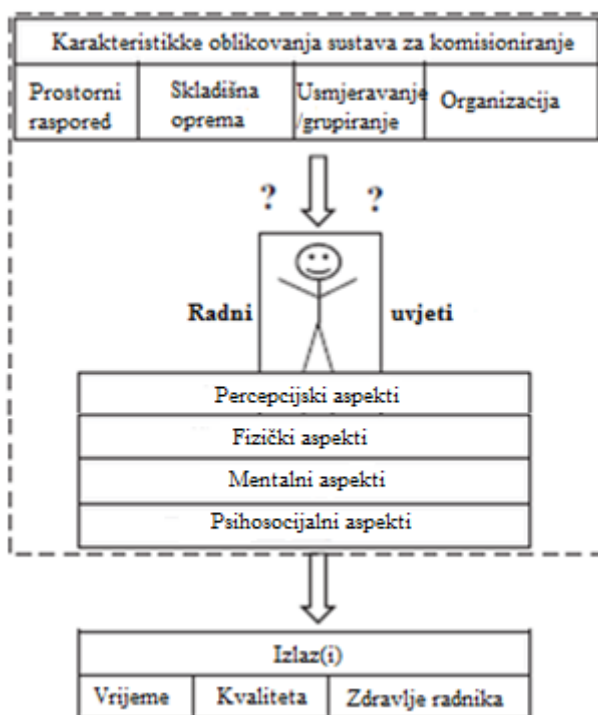
Kao što je navedeno u točki 3.1.1., u komisioniranju prema principu „čovjek robi“, komisioner se kreće, hodajući ili vozeći se na transportnom sredstvu, do lokacije (ili više njih) s koje treba izuzeti materijal. Tipičan proces po tom principu se odvija na sljedeći način. Prvo, komisioner zaprima radni nalog (narudžbu), najčešće u papirnatom obliku, koja sadržava informacije o vrsti i broju proizvoda koje treba izuzeti. Radni nalog može sadržavati i lokaciju

¹³ MSD – eng. *Musculoskeletal disorders* – Mišićno-koštani poremećaji

¹⁴ BDP – Bruto domaći proizvod

proizvoda u skladištu. Taj podatak često nije naveden zbog čega iskustvo i poznavanje skladišta od strane komisionera predstavlja bitan faktor u komisioniranju. Sljedeće, komisioner određuje prioritete i osmišljava rutu prikupljanja. Nakon toga, dolazi do skladišnih lokacija, izuzima potrebne proizvode i vraća se na mjesto prikupljanja materijala gdje se obavlja pakiranje i izdavanje istih. Vrlo često se koristi grupno komisioniranje koje onda zahtijeva sortiranje tijekom ili nakon izuzimanja. Iz navedenog opisa, vidljivo je da se komisioniranje sastoji od četiri glavne aktivnosti: podešavanje, kretanje, traženje i izuzimanje. Prema [21], svaka od aktivnosti komisioniranja se može promatrati kroz četiri grupe ergonomske aspekata:

- Percepcijski aspekti
- Mentalni aspekti
- Fizički aspekti
- Psiho-socijalni aspekti



Slika 19. Faktori koji utječu na efikasnost komisioniranja; prerađeno prema [21]

[Slika 19.] prikazuje da osim karakteristika sustava za komisioniranje (prostorni raspored, skladišna oprema, metoda usmjeravanja/grupiranja i organizacija aktivnosti) i ergonomske aspekti (percepcijski, fizički, mentalni i psihosocijalni), koji su uvjetovati radnim uvjetima, utječu na efikasnost (vrijeme, kvalitetu i zdravlje radnika) komisioniranja.

4.1.1. Percepcijski aspekti

U komisioniranju, moć percepcije (opažanja) je ključna u prikupljanju informacija s radnog naloga. Kod ručnog komisioniranja, loša percepcija radnog naloga može dovesti do utjecaja na vrijeme i kvalitetu komisioniranja što se manifestira u obliku povećanih troškova. Uzrok lošeg zapažanja prilikom obavljanja aktivnost komisioniranja su najčešće loši radni uvjeti. Primjerice, u uvjetima loše vidljivosti (slabo osvjetljenje), dolazi do naprezanja očiju prilikom čitanja radnog naloga, u papirnatom obliku, odnosno oznaka (riječi) koje se nalaze na pojedinoj skladišnoj lokaciji. Posljedica takvih uvjeta je slabljenje vida, a u dugoročno gledano može pridonijeti naprezanju odnosno ozljedi vrata i leđa. U sustavima za komisioniranje koji koriste računalne sustave za upravljanje skladištem (WMS¹⁵), tehnologija pick-by-vision¹⁶ također može uzrokovati pretjerano naprezanje oka. Percepcijski aspekti najčešće zahvaćaju aktivnosti podešavanja i traženja.

4.1.2. Mentalni aspekti

Oblik sustava za komisioniranje ima veliki utjecaj na mentalno opterećenje komisionera. Mentalni zadaci uglavnom se ponavljaju u svakoj aktivnosti komisioniranja zbog čega su podložni pojavi „učenje kroz rad“ (eng. *learning by doing*). Učenje unaprjeđuje sposobnosti komisionera (poznavanje skladišta, lokacija proizvoda, najkraćih ruta, postupka povratka i verifikacije proizvoda...) te mu tako omogućuje efikasnije i kvalitetnije obavljanje aktivnosti komisioniranja. Kod kretanja i izuzimanja, učenje se može odnositi na motoričke vještine prilikom obavljanja aktivnosti. Osim učenja koje pridonosi produktivnosti i kvaliteti komisioniranja, s ergonomske stajališta, djelatnik treba zapamtiti kako ispravno obavljati te aktivnosti. Primjerice, komisioner može unaprijediti svoje držanje prilikom ručnog obavljanja teretima. Treniranjem ispravnog držanja, radnici poboljšavaju efikasnost i smanjuju rizik od zamora i ozljeda, naročito kod dizanja tereta.

4.1.3. Fizički aspekti

Ručno rukovanje teretima u sustavima za komisioniranje uključuje fizičke aktivnosti poput kretanja između regala, nošenja tereta, guranja/vučenja kolica, istežanja, saginjanja i izvlačenja predmeta. Pretjerano ručno rukovanje može uzrokovati umor i nelagodu koja

¹⁵ WMS – eng. *Warehouse management system* – Sustavi za upravljanje skladištem

¹⁶ Pick-by-vision – vizijsko komisioniranje, komisioniranje pomoću „pametnih“ naočala

dovodi do smanjenja efikasnosti radnika. Također, fizički aspekti mogu imati utjecaj i na kvalitetu procesa. To podrazumijeva greške prilikom izuzimanja koje nastaju zbog tzv. „sklizanja“ (eng. *slips*), tj. kad se dogodi aktivnost bez namjere poput ispadanja ili uzimanja krivog proizvoda sa skladišta. Operacije koje zahtijevaju fizički napor se mogu reflektirati i na zdravlje radnika. Konstantno loše držanje, dizanje preteških tereta, nošenje i pomicanje tereta na velikim udaljenostima mogu uzrokovati pojavom mišićno-koštanih poremećaja. Postoje brojna istraživanja koja su dokazala da se potrošnja energije tijekom hodanja linearno povećava kako se povećava teret koji se nosi. Zbog toga, ispravno definirane aktivnosti izuzimanja mogu povećati produktivnost i smanjiti rizik od ozljede radnika.

4.1.4. Psiho-socijalni aspekti

Psiho-socijalni aspekti su bitni za sve aktivnosti komisioniranja i imaju utjecaj na produktivnost, kvalitetu i zdravlje radnika. Aspekti poput motivacije, stresa, zamora, strukture radne snage i radnih zadataka su vrlo bitni u komisioniranju. Motivacija radnika je ključna prilikom zadavanja zadatka. Ona se postiže povećanjem standarda rada i plaće, a može rezultirati povećanom efikasnošću i zadovoljstvom radnika. Dakako, motivacija može biti smanjena u slučaju kada sustavi za komisioniranje ne uključuju principe ergonomije koji vode do loših radnih uvjeta. Stres je najčešće uzrokovan vremenski pritiskom, radnim uvjetima (nedostatak svjetla, temperatura, buka, kvaliteta zraka, sigurnost posla) te može rezultirati nepravilnim obavljanjem aktivnosti komisioniranja te dovesti do pojave ozljeda. Zamor radnika može dovesti do manjka koncentracije i rezultirati pojavom grešaka koje mogu utjecati na sigurnost i zdravlje radnika. Struktura radne snage i radni zadaci odnosno stalna i privremena radna snaga i starost radnika također utječu na sigurnost i zdravlje radnika.

4.1.5. Alati, oprema i metode za ergonomsko komisioniranje

Postoje razni alati, oprema i načini obavljanja pojedinih aktivnosti komisioniranja (podešavanje, kretanje, traženje, izuzimanje). U sljedećim točkama će se prikazati primjeri ergonomski pravilnog oblikovanja i obavljanja pojedinih aktivnosti u sustavima za komisioniranje, [Slika 20.].



Slika 20. Tipični pokreti radnika u sustavima za komisioniranje; prerađeno prema [22]

4.1.5.1. Podešavanje

Zaprimanje i percepcija informacija su vrlo bitni dijelovi procesa komisioniranja, a komisioneru se najčešće isporučuju putem narudžbenica (narudžba). Naime, percepcija narudžbe direktno utječe na točnost komisioniranja, stoga je kvalitetna percepcija narudžbe neophodna za efikasan proces komisioniranja. U većini skladišta, narudžbe se zaprimaju u papirnatom obliku. Točnost i način prikaza informacija na narudžbi osim na efikasnost utječe i na ergonomičnost komisioniranja. Netočne, nepregledne (sitna slova), loše strukturirane i previše detaljne (sadržavaju nepotrebne informacije) narudžbe mogu uzrokovati nepotrebno naprezanje očiju i povećavaju vjerojatnost pogreške u izuzimanju proizvoda što dovodi do nepotrebnog kretanja i trošenja energije komisionera.

KUPAC (PRIMATELJ) naziv - ime i prezime, adresa Test podaci Bulvanova 14 Zagreb 01191098 (MBUMBO - POREZNI BROJ) 2360000-1101326744 žiro račun kupca (primatelja)		ISPORUČITELJ (PRODAVATELJ) naziv - ime i prezime, adresa KRAŠ-TRGOVINA d.o.o. Maksimirska cesta 130 10000 Zagreb 1152181 (MBUMBO - POREZNI BROJ) Nadnevak: Zagreb, 12.12.2003			
Fax:		NARUDŽBENICA br. 0017			
Rad.jed: 02					
NARUČENA DOBRA - USLUGE ISPORUČITI NA NASLOV:		ROK ISPORUKE	NAČIN ISPORUKE		
NARUČUJEMO:		Stranica: 1			
RB.	Trgovački naziv dobra - usluge	JM.	Količina	Cijena	Iznos
1	103 Čokolada životinjsko carstvo 15g	Kom	2000		
2	108 Domaćica čajno pecivo	Kom	100		
Napomena:					
Našu narudžbu platit ćemo u roku _____					
Način plaćanja: Virman _____					
..... (narudžbenicu sastavio)		M.P. (potpis odgovorne osobe)		

Slika 21. Primjer narudžbenice [47]

Na [Slika 21.] je prikazan primjer narudžbenice na kojem su jasno navedeni podaci o naručitelju, broj narudžbenice i vrsta i količina proizvoda (dobara).

Dakako, u naprednim sustavima za komisioniranje informacije o komisioniranju se zaprimaju putem modernih tehnologija poput vizijskog komisioniranja (eng. *pick-by-voice*) i glasom usmjerenog komisioniranja (eng. *voice directed picking*). Kod vizijskog komisioniranja WMS izdaje instrukcije, a radnik nosi pametne naočale (eng. *smart glasses*) koje radniku daju vizualne instrukcije za komisioniranje, [Slika 23.]. Nedostatak navedene tehnologije je što uzrokuje naprezanje očiju, a dugoročno i smanjenje vida.



Slika 22. Pametne naočale za vizualno komisioniranje[12],

Kod glasom usmjerenog komisioniranja komisioner na glavi nosi slušalice putem kojih WMS izdaje naloge „ljudskim govorom“, a komisioner potvrđuje obavljene aktivnosti izgovaranjem u mikrofonom, [Slika 23.]



Slika 23. Slušalice s mikrofonom [12]

4.1.5.2. Kretanje

Kao što je vidljivo na [Slika 8.], u sustavima za komisioniranje, više od 50% vremena se odnosi na vrijeme kretanja. S tom spoznajom, aktivnost kretanja ima veliki utjecaj na

performanse i zdravlje radnika. Kako bi se olakšalo i osiguralo kretanje, potrebno je osigurati kvalitetne radne uvjete poput:

- povoljni oblik skladišta (objašnjeno u točki 3.2.)
- minimizacija duljine puta komisioniranja što se postiže metodama za ručno komisioniranje (objašnjeno u točki 3.3.1.1.)
- opreme za transport proizvoda
- uredna i čista površina kretanja
- primjerena obuća, [Slika 25.].

Korištenje opreme i vozila može utjecati na povećanje sigurnosti smanjenje energije komisionera. Za tu potrebu najčešće se koriste granici, dizalice, ručna vozila (kolica i viličari), motorna vozila (kolica i vučna vozila), a naročito viličari komisioneri, [Slika 24.].



Slika 24. Primjeri vozila u komisioniranju; prerađeno prema [6]

Na [Slika 25.] je prikazan primjer radnih cipela koje svojim karakteristikama pružaju sigurnost komisioneru prilikom kretanja (onemogućuju klizanje), ali i izuzimanja proizvoda.



Slika 25. Radne cipele [22]

4.1.5.3. Traženje

Traženje lokacije s koje treba izuzeti proizvod najčešće uzrokuje naprezanje očiju, a dugoročno i ozljedu vrata i kralježnice. Da bi se spriječile navedene posljedice, lokacija i artikli na lokacijama moraju biti jasno vidljivi što se postiže kvalitetnim osvjetljenjem

skladišna, [Slika 26.]. Dakako, razina osvjetljenja mora biti takva da ne šteti radnicima skladišta.



Slika 26. Kvalitetno osvijetljeno skladište [39]

Kod WMS sustava, traženje se značajno može olakšati primjenom *pick-by-voice* tehnologije (objašnjeno u točki 4.1.5.1.). Upotrebom te tehnologije, iskustvo i poznavanje skladišta od strane komisionera prestaju biti bitan faktor u pogledu vremena potrebnog za traženje proizvoda.

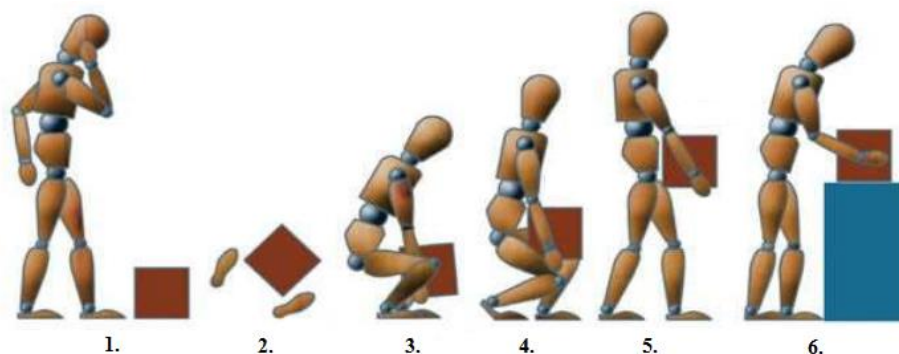
4.1.5.4. Izuzimanje

Ergonomske značajke u aktivnosti izuzimanja se odnose na težinu tereta i pokrete te držanje tijela. Primjerena težina tereta s kojom komisioner barata ovisi od čovjeka do čovjeka i detaljnije će se obraditi u petom poglavlju.



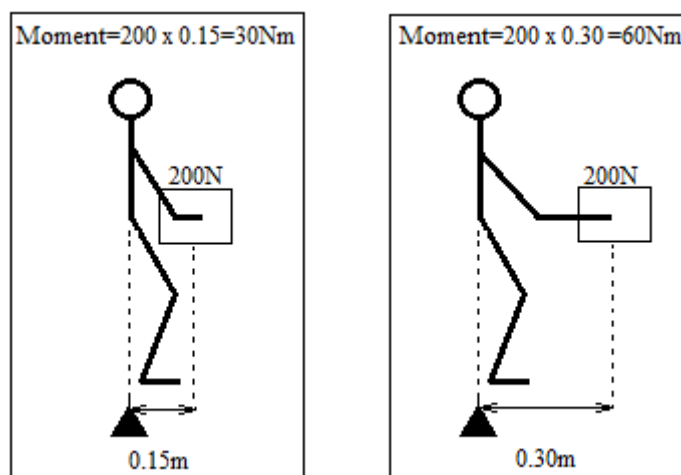
Slika 27. (Ne)ispravni načini podizanja tereta s poda; prerađeno prema [22]

Na [Slika 27.] su prikazani neispravni i ispravni načini podizanja tereta.



Slika 28. Koraci kod podizanja tereta; prerađeno prema [22]

Na [Slika 28.] je vidljivo šest koraka podizanja tereta s poda. Nakon dolaska do predmeta izuzimanja potrebno je razmisliti kako je to najbolje učiniti. Drugi korak je pravilno pozicioniranje stopala oko tereta. Treći korak je prilagođavanje dobrog držanja tijela. Četvrti korak se sastoji u držanju tereta blizu tijela i dobivanju čvrstog držanja. Nadalje, teret se nosi do transportnog sredstva tako da je položaj tijela uspravan (bez naginjanja vrata) i da je teret uz tijelo. Zadnji korak je odlaganje tereta po principima prvih četiri koraka, samo obratnim redoslijedom. Ovakav postupak podizanja i prikladna težina tereta minimizira šanse za pojavu ozljeda prilikom izuzimanja proizvoda s niskih razina.



Slika 29. Iznos momenta tereta u odnosu na udaljenost radnik-teret; prerađeno prema [22]

Na [Slika 29.] se jasno dokazuje da držanje tereta uz tijelo, prilikom nošenja, značajno smanjuje opterećenje radniku prilikom čega smanjuje rizik od ozljede.

Korištenjem vozila poput viličara komisionera prilikom komisioniranja proizvoda s viših razina, izbjegava se potreba za pretjeranim istezanjem ruku kako bi se dohvatio proizvod.

4.2. Ergonomske značajke kod principa „roba čovjeku“

S ergonomskega aspekta, komisioniranje po principu „roba čovjeku“ je puno povoljnija izvedba u odnosu na izvedbu po principu „čovjek robi“. Glavni razlog je taj što takva izvedba eliminira aktivnost kretanja. Takav princip komisioniranja se koristi u automatiziranim skladišnim sustavima koja sadržavaju konvejere, horizontalne i vertikalne karusele, vertikalne podizne module itd.. Prilikom komisioniranja uz pomoć navedenih sustava, komisioner je taj koji miruje i izuzima (odlaže) proizvode sukladno narudžbi. Prilikom tih aktivnosti, kao i kod izvedbe komisioniranja po principu „čovjek robi“, držanje ispravnog položaja tijela prilikom izvođenja aktivnosti predstavlja najbitniji faktor. Nepravilno držanje prilikom komisioniranja, nagnutost vrata tijekom izuzimanja proizvoda te nepravilno rotiranje tijela može dovesti pretjeranog naprezanja i opterećenja kralježnice, vratnih mišića, mišića ruku što dugoročno može prouzrokovati trajne mišićno-koštane poremećaje. Također, zbog načina rada koji je većinom ponavljajući, tipične negativne posljedice takvih sustava, glede ergonomske značajke, vezane su za naprezanje očiju i zamor radnika. Naime, tehnologije poput *pick-to-light*, *pick-by-voice*, *pick-by-vision* višestruko povećavaju produktivnost i kvalitetu komisioniranja no ponekad za negativnu posljedicu imaju povećano naprezanje oka što može rezultirati oštećenjem vida. Dakako, takvi sustavi ne zahtijevaju visokokvalitetno osvjetljenje kao kod sustava u kojima su radni nalozi u papirnatom obliku.



Slika 30. Aspekti držanja dijelova tijela tijekom komisioniranja; prerađeno prema [22]

Na [Slika 30.] prikazan je pravilno držanje radnika (stojeći položaj) koje uključuje uspravljen vrat, opuštenu ramena, držanje laktova sa strane tijela, držanje zapešća u istoj ravnini kao podlaktice i održavati tzv „S-liniju“ kralježnice. Također, iz [Slika 30.] može se vidjeti da radnik (komisioner) prilikom izuzimanja proizvoda rotira cijelo tijelo, da mu proizvodi moraju biti lako dostupni, u visini lakta. Takve karakteristike radnih mjesta slijede ergonomske principe oblikovanja radnih mjesta.

5. METODE ZA ERGONOMSKU PROCJENU RUČNOG KOMISIONIRANJA

Kako se razvijala ergonomija kao znanost, tako su se razvile mnoge metode koje procjenjuju poremećaje zdravlja prilikom obavljanja određenih aktivnosti. Tako i u sustavima za komisioniranje postoje metode koje procjenjuju ergonometričnost aktivnosti, a temeljene su na biomehaničkom, psihološkom ili fizičkom kriteriju. Ovisno o načinu primjene, pristupu i alatu, metode najčešće definiraju ograničenja ljudi i/ili procjenjuju rizika od nastajanja ozljeda. U narednim točkama će se navesti i objasniti neke od najčešće korištenih metoda za ergonomsku procjenu ručnog komisioniranja.

5.1. Metode za procjenu ergonometričnosti podizanja tereta

Podizanje teških tereta predstavlja glavni faktor rizika koji uzrokuje razvoj ozljede leđa. Ergonomisti pokušavaju pronaći načine kako objektivno kvantificirati aspekte povezane s podizanjem tereta kako bi mogli preciznije predvidjeti visinu rizika i poduzeti određene intervencije. Postoje brojne metode koje analiziraju podizanje tereta te uzimaju u obzir različite ulazne podatke, daju različite izlaze i različito se interpretiraju. Neke od metoda i alata koje se koriste za procjenu i analizu podizanja tereta su: „*NIOSH lifting equation*“, „*ACGIH TLV*“, „*The Liberty Mutual Snook lifting tables*“, „*3DSSPP, WA L&I*“, „*The Lifting Fatigue Failure Tool*“. Sve metode su ograničene s obzirom na određene parametre (sila, temperatura okoline, način podizanja tereta, podizanje neobičnih i nestabilnih tereta...). Za opise, primjenu i usporedbu navedenih, a i drugih metoda zainteresiranom čitatelju se preporuča znanstvena istraživanja izvedena od strane Russell S.J. i drugih [24], Gallagher S. i drugih [29], Garg Arun, Kapellusch Jay M [30] i Harari Y [31]. U narednom dijelu rada detaljnije će se prikazati NIOSH jednadžba podizanja.

5.1.1. Ergonomski način mjerenja rizika – NIOSH jednadžba podizanja

Kao reakcija na sveprisutni problem podizanja tereta odnosno posljedica kao što su bolovi u leđima, Nacionalni institut za radnu sigurnost i zdravlje (eng. *Nacional Institute for Occupational Safety and Health* - NIOSH) je razvio alat koji omogućuje ergonomsku procjenu ručnog podizanja tereta objema rukama. Metoda procjenjuje rizik od nastajanja ozljeda tijekom podizanja pomoću indeksa podizanja (eng. *lifting indeks* - LI). [25] [26] [27]

Indeks podizanja omogućuje procjenu razine fizičkog stresa koji nastaje zbog ručnog podizanja tereta.

NIOSH jednadžba podizanja je vrlo jednostavna. To je omjer težine tereta (eng. *load weight* - L) i preporučene granice težine (eng. *Recommended Weight Limit* - RWL).

$$LI = \frac{L}{RWL} \quad (1)$$

RWL je veličina koja opisuje najteži teret koji zdravi čovjek može podizati tijekom rada u jednoj smjeni (do 8 sati) bez da se povećava rizik od razvijanja bolova u donjem dijelu leđa. Dok je L uvijek jednak težini tereta, RWL se računa ovisno o zadatku odnosno ovisno o načinu manipuliranja teretom.

Jednadžba za određivanje RWL-a glasi:

$$RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM \quad (2)$$

- Konstanta tereta (eng. *Load Constant* - LD) ostaje konstantna, neovisna je i iznosi 24 kg.
- Horizontalni multiplikator (eng. *Horizontal Multiplier* - HM) iznosi:

$$HM = \frac{10}{H} \quad (3)$$

gdje H označava horizontalni položaj, udaljenost između tijela radnika s koje on mora podići predmet.

- Vertikalni multiplikator (eng. *Vertical Multiplier* - VM) mjeri udaljenost od poda sa kojeg je predmet podignut. Individualna jednadžba glasi:

$$VM = 1 - (0.0075 \times |V - 30|) \quad (4)$$

gdje V označava vertikalni položaj (eng. *Vertical Location*), udaljenost između ruku i poda tijekom podizanja predmeta.

- Multiplikator udaljenosti (eng. *Distance Multiplier* - DM) mjeri utjecaj vertikalne udaljenosti uključene u podizanje. Računa se sljedećom jednadžbom:

$$DM = \left(0.82 + \left(\frac{1.8}{D} \right) \right) \quad (5)$$

gdje D označava vertikalno udaljenost pokreta (eng. *Vertical Travel Distance*), odnosno koliko metara se radnikove ruke pomaknu od početnog položaja do određene lokacije objekta koji se podiže.

- Multiplikator asimetrije (eng. *Asymmetric Multiplier* - AM) je jednak:

$$AM = 1 - 0.0032 \times A \quad (6)$$

gdje je A kut asimetrije (eng. *Asymmetric Angle*), koliko daleko je objekt pomaknut u odnosu na prednji dio tijela na početku ili kraju podizanja.

- Multiplikator učestalosti (eng. *Frequency Multiplier* - FM) iznosi koliko puta u minuti radnik mora obaviti podizanje predmeta. Multiplikator učestalosti u obzir uzima: broj podizanja u minuti (eng. *number of lifts per minute* - F), vertikalnu udaljenost (V) i trajanje posla (smjene) (eng. *Work duration*). Pomoću navedenih parametra iz [Tablica 1.] se određuje multiplikator učestalosti.

Tablica 1. Određivanje faktora učestalosti; prerađeno prema [30]

Broj podizanja po minuti (F)	Trajanje operacije					
	Manje/jednako od 1 sat		1 do 2 sata		2 do 8 sati	
	V < 30"	V ≥ 30"	V < 30"	V ≥ 30"	V < 30"	V ≥ 30"
0.2 ili manje	1	1	.95	.95	.85	.85
.5	.97	.97	.92	.92	.81	.81
1	.94	.94	.88	.88	.75	.75
2	.91	.91	.84	.84	.65	.65
3	.88	.88	.79	.79	.55	.55
4	.84	.84	.72	.72	.45	.45
5	.80	.80	.60	.60	.35	.35
6	.75	.75	.50	.50	.27	.27
7	.70	.70	.42	.42	.22	.22
8	.60	.60	.35	.35	.18	.18
9	.52	.52	.30	.30	.00	.15
10	.45	.45	.26	.26	.00	.13
11	.41	.41	.00	.23	.00	.00
12	.37	.37	.00	.21	.00	.00
13	.00	.34	.00	.00	.00	.00
14	.00	.31	.00	.00	.00	.00
15	.00	.28	.00	.00	.00	.00
Više od 15	.00	.00	.00	.00	.00	.00

- Multiplikator povezivanja (eng. *Coupling Multiplier* - CM) mjeri razinu

držanja/prianjanja predmeta u rukama radnika. Postoje tri razine: dobro prijanjanje (ocjena 1), zadovoljavajuće prijanjanje (ocjena 2) i loše prijanjanje (ocjena 3).

Ako se nakon provođenja proračuna otkrije da je indeks podizanja (LI) veći od jedan, potrebno je razmotriti pomoćnu opremu za podizanje kako bi se smanjio rizik od pojave ozljeda leđa ili drugih ergonomskih ozljeda. Oprema koja potencijalno omogućuje smanjivanje rizika od ozljeda će biti prikazana u poglavlju 6.

Pretpostavke i ograničenja NIOSH – jednadžbe podizanja su:

- Jednadžba je temeljena na pretpostavci da su aktivnosti ručnog rukovanja tereta, osim podizanja, minimalne i ne zahtijevaju značajni utrošak energije, naročito kod ponavljanja zadatka. Neke od aktivnosti koje ne uključuju podizanje tereta su držanje, guranje, povlačenje, nošenje tereta, hodanje i penjanje. Kao što je navedeno u prijašnjim točkama ovoga rada, u procesu komisioniranja, takve aktivnosti mogu imati veliki udio u ukupnom vremenu komisioniranja. Zbog toga, ova metoda je prikladna za korištenje, ako trajanje tih aktivnosti iznosi najviše 10% od ukupnog trajanja komisioniranja tj. da podizanje tereta iznosi 90 ili više posto. [27]
- Jednadžba ne uključuje faktore koji uključuju nepredvidive radne uvjete poput skliskih površina, neplaniranih pogreška, pada predmeta. Također, temperatura okoline ima isto veliki utjecaj na potrošnju energije prilikom podizanja.
- Jednadžba nije osmišljena da procjenjuje rizik od ozljede prilikom podizanja jednom rukom, podizanja predmeta iz sjedećeg i čučućeg položaja ili podizanje u radnom mjesto s određenim ograničenjima.
- Jednadžba podrazumijeva da statički faktor trenja između radnika (radnih cipela) i radne površine (poda) iznosi od 0.4 do 0.5. Uslijed dotrajalosti đona radne cipele, oštećenja poda, mokrog, prljavog i masnog poda, faktor trenja se smanjuje što povećava mogućnost sklizanja radnika tijekom podizanja tereta.
- Jednadžba pretpostavlja da svaki zadatak ima istu razinu opasnosti od ozljede leđa. To ne mora biti točno. Primjerice, radnik ne mora nakon podizanja tereta, isti odložiti na zahtijevanu lokaciju već ga može ispustiti ako je to moguće.

Primjena NIOSH jednadžbe podizanja je široka. Moguće ju je primijeniti različitim izvedbama skladišnih sustava, a naročito u sustavima za komisioniranje po principu „čovjek robi“. Postoje brojna znanstvena istraživanja u kojoj su razni autori provodili procjenu rizika od ozljede za različita radna mjesta u sustavima ručnog komisioniranja. Detaljniji opis i primjena ove metode se nalazi u sljedećim radovima: [24], [25], [28].

5.2. Metode za procjenu potrošnje energije

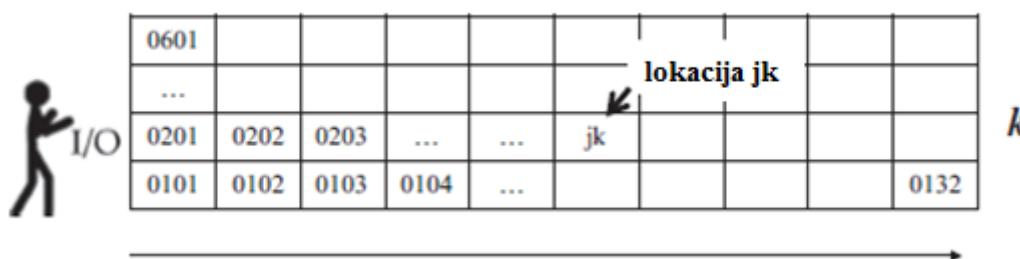
Postoje mnoge metode za ergonomsku procjenu ručnog rukovanja teretima u sustavima za komisioniranje. Neke od tih metoda uzimaju potrošnju energije kao glavni faktor prilikom procjene razine ergonomičnosti pojedinih aktivnosti. Primjer jedne takve metode te njezine primjene je izveden od strane Garg, Chaffin i Herrin 1978.. Njihova metoda omogućuje procjenu potrošnje energije, prilikom obavljanja aktivnosti (podizanje ili spuštanje tereta, hodanje, stajanje...), na temelju metaboličke potrošnje kisika. Rukovanje s teškim teretima uzrokuje značajnu potrošnju energije što dugoročno gledano može uzrokovati određene poremećaje u zdravlju radnika. [32] Također, postoje brojne metode koje su temeljene na Sustavu za određivanje vremena gibanja (eng. *Predetermined Time Motion System* - PTMS) i Sustavu za određivanje energije gibanja (eng. *Predetermined Motion Energy System* - PMES). U svrhu detaljnog opisa, primjene i boljeg razumijevanja metoda za procjenu potrošnje energije, zainteresiranom čitatelju se predlaže sljedeća literatura: [33], [34], [35], [36].

U narednom dijelu će se prikazati primjer metode koja uzima u obzir potrošnju energije kao glavni faktor prilikom obavljanja aktivnosti komisioniranja. Metoda će se objasniti prema istraživanju koje su proveli Battini i ostali, [34]. U navedenom istraživanju opisuje se optimizacijska metoda odnosno optimizacija određivanja lokacije pojedinih artikala s obzirom na dva kriterija: : ekonomski aspekti (vrijeme komisioniranja) i ergonomske aspekte (potrošnja energije čovjeka). Metoda se koristi kako bi se:

- analizirao utjecaj karakteristika sustava za komisioniranje na vrijeme komisioniranja i potrošnju energije čovjeka te njihovu međusobnu povezanost,
- analizirala vremena komisioniranja i potrošnje energije mijenjanjem skladišnih parametra,
- potrošnja energije integrirala u funkciju vremena komisioniranja,
- optimizirao sustav za komisioniranje temeljem integrirane funkcije vremena komisioniranja. [34]

Metoda procjenjuje efikasnost komisioniranja pomoću jednadžbe koja integrira vrijeme komisioniranja i potrošnju energije. Egzaktni izgled jednadžbe ovi o svojstvima skladišnog sustava. Prema istraživanju Battini-a i drugih [34], u ovom radu, „bi-objektivna“ metoda će se objasniti na skladišnom sustavu sa sljedećim karakteristikama.

Skladište se sastoji od paralelnih poličnih regala između kojih se nalaze prolazi (bez poprečnih prolaza) kroz koje se kreće komisioner. Dakako, komisioniranje se obavlja unutra jednog prolaza, a svaki predmet ima jedinstvenu lokaciju (sve lokacije su stalne i jednakih dimenzija). Polični regali imaju šest razina (visina zadnje razine 1.96 m), svaka razina ima 32 lokacije s kojih komisioner izuzima predmete (bez upotrebe pomagala), [Slika 31.]. Prijemna stanica (eng. *I/O station*) se nalazi na kraju regala, a komisioner koristi metodu povratka (objašnjeno u 3.3.1.1.1.) prilikom procesa komisioniranja.



Slika 31. 2D prikaz poličnog regala i I/O stanice; prerađeno prema [34]

Kako bi se postigao što ergonomičniji proces komisioniranja potrebno je minimizirati integriranu jednadžbu procjene, a to se postiže minimiziranjem vremena komisioniranja i potrošnje energije.

Kod komisioniranja samo jednog predmeta iz regala, jednadžba glasi:

$$\min(T, E) = \min(\min T, \min E) \quad (7)$$

gdje je $\min(T)$ minimalno ukupno vrijeme komisioniranja

$$\min(T) = \min \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^n x_{ijk} \times t_{jk} \times g_i \quad (8)$$

,a $\min(E)$ ukupna potrošnja energije prilikom komisioniranja

$$\min(E) = \min \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^n x_{ijk} \times E_{jk} \times g_i \quad (9)$$

$x_{ijk} = 1$ (ako je predmet uskladišten na lokaciji jk) ili 0 (ako nije)

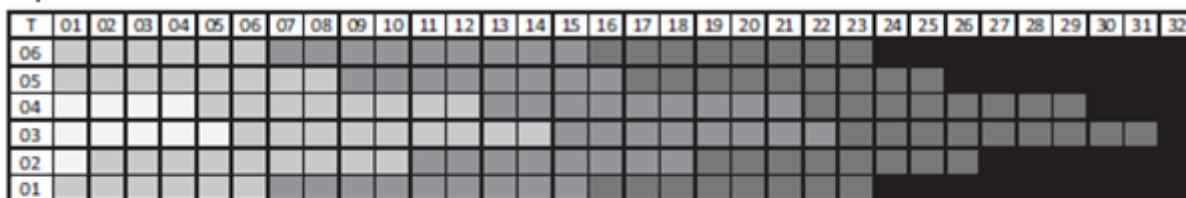
t_{jk} – prosječno vrijeme potrebno za obavljanje komisioniranja (kretanje i izuzimanje)

E_{jk} – ukupna potrošnja energije prilikom komisioniranja predmeta s regala u [kcal/procesu]

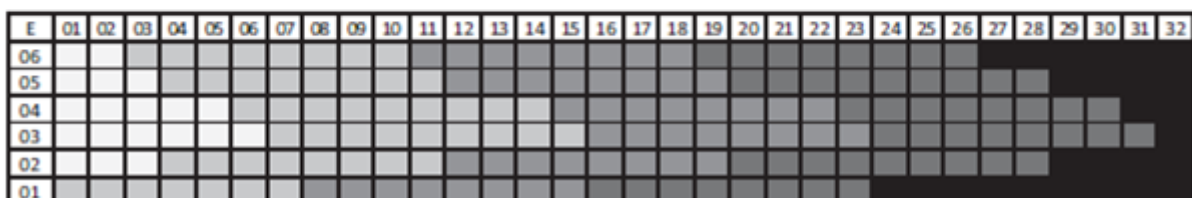
g_i – učestalost izuzimanja predmeta

Potrebno je navesti kako t_{jk} , E_{jk} i g_i ovise o težini predmeta koji se komisionira i tzv. parametru S-oblik (eng. *S-shape*) regala koji određuje koliko posto proizvoda je odgovorno za koji se komisionira. Način na koji težina predmeta i S-oblik djeluje na ukupno vrijeme komisioniranja i potrošnju energije je detaljno objašnjen u istraživanju Battini-a i drugih [34].

Spektar vremena



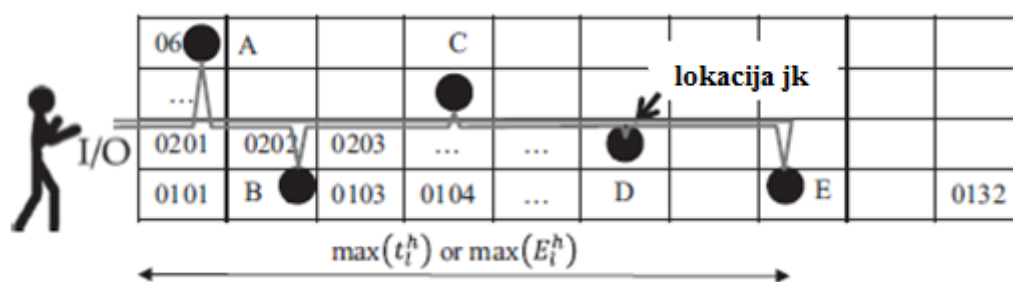
Spektar potrošnje energije



Slika 32. Vremena i potrošnja energije prilikom komisioniranja s određenih lokacija; prerađeno prema [34]

[Slika 32.] prikazuje potrebno vrijeme i potrošnju energije za komisioniranje s određene lokacije na regalu s navedenim karakteristikama. Što su lokacije tamnije to je vrijeme komisioniranja iz tih lokacija veće odnosno potrošnja energije je viša. Iz navedenog prikaza, može se zaključiti da oni predmeti koji se nalaze na pogodnim lokacijama, između struka i ramena komisionera tzv. zlatna zona (eng. *golden zone*), zahtijevaju manje vremena da budu iskomisionirani u odnosu na lokacije koje zahtijevaju saginjanje, čučanje ili istežanje prilikom izuzimanja. Isti princip se odnosi i na potrošnju energije. Prema [34], za karakteristike regala i komisionera i procesa komisioniranja, izuzimanje predmeta s razine od 0.25 m iziskuje potrošnju energije od 399 kcal/procesu dok izuzimanje s 1.96 m iziskuje 0.263 kcal/procesu.

Model je moguće primijeniti i na izuzimanje više predmeta tijekom jednog procesa komisioniranja, [Slika 33.]. U tom slučaju, procjena vremena komisioniranja i potrošnje energije se podosta komplicira, a detaljniji prikaz izračuna je prikazan u literaturnom izvoru [34].



Slika 33. Višestruko izuzimanje predmeta s regala; prerađeno prema [34]

Pretpostavke i ograničenja ove metode su:

- Metoda uzima u obzir samo komisioniranje kroz jedan prolaz unutar skladišta
- Za korištenje metode potrebno je jasno definirati parametre poput oblika skladišta, oblika i vrste regala, oblika i vrste predmeta, metode komisioniranja, karakteristike komisionera, učestalost izuzimanja premet itd.
- Metoda ne uzima u obzir korištenje vozila i opreme poput ručnih kolica i viličara, viličara komisionera, ljestva itd.
- Metoda ne uzima u obzir vrijeme i snagu koju je potrebno uložiti prilikom korištenja pomoćne opreme

5.3. Metoda za procjenu nelagode radnika

Do danas, vrlo malo metoda za procjenu ergonomije komisioniranja uzima u obzir utjecaj visine regala. Većina pretpostavlja da se prilikom procesa komisioniranja proizvodi izuzimaju s tzv. zlatne zone i da bi se smanjio rizik od ozljede, proizvodi koji imaju veliku učestalost izuzimanja trebali biti smješteni upravo u toj zoni. Prema [37], u nastavku će biti objašnjena metoda dvokriterijalnog odlučivanja koja uzima u obzir utjecaj visine regala, a temelji se na kvantifikaciji ukupnog vremena komisioniranja i kvantifikaciji razine nelagodnosti radnika.

Kao što je navedeno u točki 4.1., ergonomski aspekti imaju utjecaj na efikasnost komisioniranja, a samim time dobri ergonomski uvjeti doprinose ekonomskom rastu. Ova metoda kvantificira i uravnotežuje dva potencijalno konfliktna kriterija: ekonomski kriterij (minimizacija ukupnog vremena komisioniranja) i kriterij ljudskog zdravlja (minimizacija prosječne razine nelagode). U praksi, ovi kriteriji često imaju utjecaj jedan na drugoga zbog

čega, metoda omogućuje eksplicitno razmatranje oba cilja i međusobno djelovanje između njih. [37]

U svrhu donošenja odluka o mjestu skladištenja koje uzimaju u obzir ekonomski i ergonomski aspekt, metoda se dijeli u dvije faze: faza kvantifikacije učinka i faza višekriterijalne optimizacije. Faza kvantifikacije učinka sadržava utjecaje lokacije i proizvoda na vrijeme ciklusa i neudobnost, a određuju se korištenjem podataka iz računalno upravljanih skladišta ili se aktivno prikupljaju. Faza višekriterijalne optimizacije koristi rezultate dobivene iz prve faze kako bi kreirala dvije ulazne matrice, jednu za procjenu vremena ciklusa, a drugu za procjenu razine nelagode za svaki proces komisioniranja.

Vrijeme ciklusa se definira kao vrijeme proteklo od primitka narudžbenice do odlaganja proizvoda na prijemnu stanicu. Postoje dvije vrste faktora koji utječu na vrijeme ciklusa: lokacijski faktori i faktori proizvoda. Lokacijski faktori uzimaju u obzir lokaciju proizvoda na regalu (polici) u skladištu sa standardnim rasporedom paralelnih poličnih regala i jedan poprečni prolaz. Faktori proizvoda uključuju masu, volumen i broj izuzetih proizvoda u jednom ciklusu.

Jednadžba za izračun vremena ciklusa glasi:

$$CT = b_0 + b_1MA + b_2CA + b_3CN + \sum_{k \in K, k \neq k^*} \alpha^{(k)} \times L^{(k)} + b_4(Q - 1) + b_5f(M) + b_6g(V) + b_7LB + IN + \varepsilon \quad (10)$$

gdje su $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$ i b_7 predstavljaju linearne koeficijente koje se procjenjuju. MA (broj odjeljka u glavno prolazu), CA (broj odjeljka u poprečnom prolazu), CN (broj poprečnog prolaza), $L^{(k)}$, K (razina izuzimanja) i LB (veličina spremnika) su lokacijski faktori dok Q (izuzeta količina), M (masa proizvoda) i V (volumen proizvoda) su faktori proizvoda. Detaljniji opisi i načini na koji se izračunavaju pojedini parametri se nalaze u literaturi. [37]

Iznosi navedenih parametra dobivaju na sljedeće načine: pomoću PMTS-a ili pomoću aktualnog prikupljanja podataka. Kao alternativa, informacije s WMS-a se mogu iskoristiti kao ulaz za linearnu regresiju za procjenu vremena ciklusa. Dakako, korištenje podataka direktno iz WMS-a ima svoja ograničenja poput nemogućnosti kontroliranja varijabli. Također, koristeći WMS vrijeme ciklusa se ne može direktno izmjeriti. Često je poznato vrijeme između dva izuzimanja što ne mora predstavljati i točno vrijeme aktivnosti. [37]

Za procjenu prosječne razine nelagode koristi se Borg-ova skala. [38] Skala kombinira željeni omjer i kategorička svojstva dodjeljivanjem oznaka u vrijednosti od 0 do 10. Tako, 0

označava nepostojanje nelagode, 2 slabu nelagodu, 3 umjerenu nelagodu, 5 jaku nelagodu i 10 maksimalnu nelagodu što zahtjeva da osoba odmah prestane s aktivnošću koju obavlja. Vrijednosti mogu biti prikupljanje, od strane procjenitelja, direktno (kroz povratnu informaciju od strane radnika) i odmah nakon obavljanja izuzimanja. Postoje dvije prednosti direktnog prikupljanja informacija o razini nelagode. Prva je to što se radnik može u potpunosti koncentrirati na aktivnost koju obavlja, bez da sam zapisuje razinu nelagode. Drugo, radnik je prisiljen na trenutno izjašnjavanje o razini nelagode, što sprječava moguće promjene mišljenja tijekom vremena.

Jednadžba a izračun razine nelagode glasi:

$$D = b_0 + \sum_{k \in K, k \neq k^*} \alpha^{(k)} \times L^{(k)} + b_1 HM + b_2 MV + b_3 HV + b_4 MQ + b_5 HQ + \sum_{r \in R, r \neq R^*} b_6 E^{(r)} + IND + \varepsilon \quad (11)$$

gdje je HM masa, MV i HV volumen, a MQ i HQ količina izuzetih proizvoda.

Nakon izračuna vremena ciklusa i razine nelagode slijedi faza višekriterijalne optimizacije.

Optimizacija prema kriteriju minimalnog vremena ciklusa i minimalne prosječne razine nelagode se vrši prema sljedećem modelu:

$$z_1 = \min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} p_i CT_{ij} x_{ij} \quad (12)$$

$$z_2 = \min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} p_i D_{ij} x_{ij} \quad (13)$$

gdje jednadžba (12) minimizira očekivano vrijeme ciklusa (jednostrukog) množeći dobiveno vrijeme ciklusa (CT) danog proizvoda na danoj lokaciji s određenom vjerojatnošću izuzimanja tog proizvoda. Analogno tome, jednadžba (13) minimizira očekivanu prosječnu razinu nelagode množeći dobivenu razinu nelagode (D) s obzirom na provedenu aktivnosti i s određenom vjerojatnošću izuzimanja tog proizvoda. Ograničenja su da jedna vrsta proizvoda može biti odložena na jednu lokaciju na regalu i da jedan proizvod može biti dodijeljen samo na jednu lokaciju.

Za detaljnije objašnjenje ove metode, parametra jednadžbe i konkretnu primjenu zainteresirani čitatelj se usmjerava na sljedeću literaturu: [37], [38].

Pretpostavke i ograničenja ove metodu su:

- Proces komisioniranja se vrši kao jednostruki radni ciklus. U praksi, komisioniranje po principu dvostrukog i višestrukog radnog je vrlo česta pojava zbog čega metodu nije moguće primijeniti u takvim sustavima komisioniranja
- Metoda se fokusira na kratkotrajne učinke na vrijeme ciklusa i razinu nelagode. Drugim riječima, vrijeme ciklusa ovisi samo o trenutnim izuzimanjima, ne onima iz prošlosti.
- Metoda ne uzima u obzir korištenje pomoćnih pomagala tijekom prevoženja izuzetih predmeta
- Metoda ne uzima u obzir starost komisionera koja može utjecati na efikasnost istog.

6. POBOLJŠANJA ERGONOMSKOG OBLIKOVANJA PROCESA RUČNOG KOMISIONIRANJA

Kao što je navedeno u dosadašnjem dijelu ovoga rada, komisioniranje i rukovanje materijalom je nezaobilazan u svakom skladišnom sustavu. Prema organizaciji za rukovanje materijalom, logistiku i lanac opskrbe (MHI) više od trećine ozljeda (38%) koje se dogode na prilikom obavljanja logističkih aktivnosti su uzrokovane zbog pogrešnog rukovanja materijalom, [Slika 34.]. [22]



Slika 34. Udio pojedinih načina nastanka ozljeda; prerađeno prema [22]

Sukladno tome, rukovanje materijalom predstavlja aktivnost s najvećim potencijalom za poboljšanje i smanjivanje učestalosti pojave ozljeda što konačno rezultira smanjenim troškovima. Dakako, s ergonomskog aspekta, automatizirani skladišni sustavi i sustavi za komisioniranje koji koriste automatizirane strojeve i robote kao sredstva rada (bez ili s minimalnim radom čovjeka) bili bi najbolje rješenje. Naravno, tu se postavlja pitanje isplativosti uvođenja takvih sustava. U narednom dijelu rada, navesti će se neki prijedlozi za poboljšanje ergonomije ručnog komisioniranja s naglaskom na izvedbu po principu „čovjek robi“.

6.1. Smjernice za poboljšanje ergonomskog oblikovanja ručnog komisioniranja

Prilikom oblikovanja sustava za komisioniranje, koji bi uključivao minimalni rizik od nastanka ozljeda prilikom ručnog komisioniranja, potrebno je razmotriti i uskladiti čimbenike

poput dostupnog budžeta, produktivnosti, brojnost radne snage i jednostavnosti provedbe. Usklađivanje navedenih čimbenika i ergonomskih principa često je vrlo zahtjevan zadatak zbog čega oblikovanje sustava za komisioniranje mora biti pomno planirano.

Prema [22] postoje dvije vrste unaprjeđenja ručnog rukovanja teretima: inženjerska i administrativna unaprjeđenja. Inženjerska unaprjeđenja uključuju pružanje, modifikaciju i mijenjanje alata, opreme, radnih mjesta, procesa ili proizvoda. Administrativna unaprjeđenja uključuju razne politike upravljanja aktivnostima poput rotacije radnika po različitim zadacima, organiziranja radnog vremena (rad i odmor), starost radnika i dr.

6.1.1. Edukacija radne snage

Prilikom ručnog komisioniranja radna snaga (komisioneri) su oni koji obavljaju aktivnosti ili upravljaju vozilima i opremom za obavljanje istih. Zbog toga, prvi korak prilikom ergonomskog oblikovanja sustava za komisioniranje treba biti edukacija radne snage. Ovisno o načinu komisioniranja, karakteristikama sustava i proizvoda, radna snaga mora biti upoznata s ergonomskim načelima izvođenja aktivnosti komisioniranja poput kretanja, traženja i izuzimanja. Također, ona mora biti upoznata s opasnostima koje prijete tijekom izvođenja tih aktivnosti te minimizirati i izbjeći pojavu ozljeda. Da bi se minimizirao rizik od pojave ozljeda radnici moraju raditi sljedeće:

- pratiti i poštovati načine obavljanja aktivnosti koji su određeni od strane stručnjaka
- slijediti uputstva za upotrebu prilikom korištenja opreme
- surađivati s drugim zaposlenicima
- obavještavati nadređenog oko uočavanju opasnih aktivnosti
- obavljati aktivnosti bez opasnosti za druge djelatnike i opremu [22]

6.1.2. Karakteristike skladišta

Na ergonomske značajke ručnog komisioniranja najjači utjecaj ima karakteristika sustava za komisioniranje (skladišnog sustava). Broj i razmještaj regala, prolazi između njih imaju značajan utjecaj na količinu kretanja komisionera. Prilikom oblikovanja sustava za komisioniranje potrebno je težiti obliku sustava koji će minimizirati vrijeme kretanja, a samim time i minimizirati potrošnju energije koja je uzrokovana kretanjem. Također, prolazi

između regala moraju biti prohodni i kako bi se omogućilo sigurno kretanje komisionera duž istih.

Kao što je navedeno u poglavlju 4., svjetlost je vrlo bitan faktor u skladišnim sustavima. Manjak svjetlosti može uzrokovati poteškoće prilikom traženja proizvoda, a samim time i nepotrebnog kretanja, saginjanja i naprezanja očiju što dugoročno može dovesti do negativnih zdravstvenih posljedica. Također, prilikom oblikovanja sustava za komisioniranje u obzir bi trebalo uzeti korištenje prirodnog svjetla kao izvora svjetlosti. Opće je poznato da prirodno osvjetljenje radnog prostora, [Slika 35.], rezultira povećanim moralom i raspoloženjem radnika što za posljedicu ima efikasniji rad i bolju koncentraciju prilikom obavljanja posla.



Slika 35. Skladište sa prirodnim osvjetljenjem [39]

6.1.3. Metode usmjeravanja, odlaganja i organizacije komisioniranja

Kao što je navedeno u točki 3.3.1.1., metode usmjeravanja, odlaganja i organizacije komisioniranja mogu uštedjeti vrijeme komisioniranja.

Kvalitetnom uporabom različitih metoda usmjeravanja može se bitno smanjiti vrijeme potrebno za kretanje proizvoda, a samim time i potrošnja energije.

Metode odlaganja osim smanjenja kretanja prilikom komisioniranja omogućuju smanjenje vremena izuzimanja. Primjerice, ako se proizvodi koji imaju veću učestalost izuzimanja nalaze bliže prijemnoj stanici u tzv. zlatnoj zoni, vrijeme potrebno za komisioniranje istih i rizik od ozljeda će biti manji nego, ako se isti proizvodi nalaze na slučajno određenim lokacijama i na vrhu (potrebno istezanje) ili na dnu (potrebno saginjanje) regala.

U obzir svakako treba i uzeti grupiranje narudžbi i podjelu skladišta u zone. Podjela skladišta na zone sprječava mogućnost djelovanja jednog komisionera na drugog. Takav način organizacije komisioniranja omogućuje radniku da ne brine o drugim radnicima oko sebe već da se usredotoči samo na zadatak.

Treba napomenuti da se korištenjem navedenih metoda značajno može pojednostaviti i povećati efikasnost komisioniranja i tako minimizirati potreban napor od strane komisionera što u konačnici dovodi do uštede energije tj. smanjenja rizika od ozljeda.

6.1.4. Skladišna oprema

Kako se razvija tehnologija tako se povećava upotreba razne opreme u skladišnim sustavima. Skladišni uređaji i oprema mogu poboljšati i povećati sigurnost obavljanja aktivnosti kretanja, traženja i izuzimanja proizvoda u sustavima za komisioniranje.

Kretanje odnosno transport izuzetih proizvoda vrši se na razne načine. Kako bi se smanjilo opterećenje na leđa i ramena potrebno je koristiti sredstva na koje će se roba nakon izuzimanja s regala odlagati te tako prevoziti do prijemne stanice. U tu svrhu najprimjerenije je koristiti ručnih kolica. [Slika 36.]



Slika 36. Korištenje kolica prilikom transporta; prerađeno prema [22]

Osim smanjenja opterećenja, ručna kolica omogućuju izuzimanje više proizvoda u jednom procesu komisioniranja. Također, kod komisioniranja cijelih paleta, upotreba ručnih paletnih viličara [Slika 22.] olakšava transport proizvoda. Bitno je napomenuti da guranje kolica/viličara iziskuje manje napore i naprezanja mišića nego vučenje istih. Stoga, vučenje sredstva za transport treba eliminirati iz procesa komisioniranja. Osim klasičnih sredstva za transport, kako bi se eliminiralo podizanje (spuštanje) tereta mogu se koristiti i tzv. ručni podizni viličari [Slika 37.] i kolica s podiznim stolovima [Slika 38.].



Slika 37. Ručni podizni viličar [22]



Slika 38. Ručna kolica s podiznim stolom [22]

Osim ručnih vozila, moguće je koristiti i motorna (električna) za transport materijala.



Slika 39. Transportno vozilo na električni pogon [40]

Na [Slika 39.] je prikazan primjer transportnog vozila na električni pogon. Primjena takvog vozila eliminira aktivnost hodanja iz procesa komisioniranja ta tako omogućuje veliku uštedu energije komisionera. Također, vozilo omogućuje prikupljanje više proizvoda (narudžbi) u jednom radnom ciklusu.

Dakako, upotrebom vozila na električni pogon, komisioner je onaj koji upravlja vozilom. Da bi se eliminirala ta aktivnost i omogućilo da se komisioner može usredotočiti samo na narudžbu odnosno na izuzimanje proizvoda moguće je uvesti automatski vođena vozila (AGV¹⁷), [Slika 40.]. Upotrebom AGV-ova komisioner nakon odrađivanja jedne narudžbe može krenuti u izvršavanje druge dok istovremeno AGV transportira obavljenu narudžbu na za to predviđenu lokaciju. Također, postoje AGV kod kojih je platforma podesiva po visini.

¹⁷ AGV – eng. – *Automated Guided Vehicle* – Automatski vođeno vozilo

Tako se eliminira potreba za sagibanjem komisionera prilikom izuzimanja/odlaganja robe s vozila.



Slika 40. Primjena AGV-a u komisioniranju [41]

Izuzimanje proizvoda iz skladišnih lokacija često iziskuje aktivnosti poput saginjanja, nagnjanja i istezanja. Ovisno o lokaciji, težini i količini proizvoda te učestalosti, izuzimanje može imati veliki utjecaj na zdravstveno stanje komisionera. Zbog toga, u procesu komisioniranja se koristi različita oprema kako bi olakšala tu aktivnost te tako smanjila rizik od pojave ozljeda tijekom obavljanja iste.

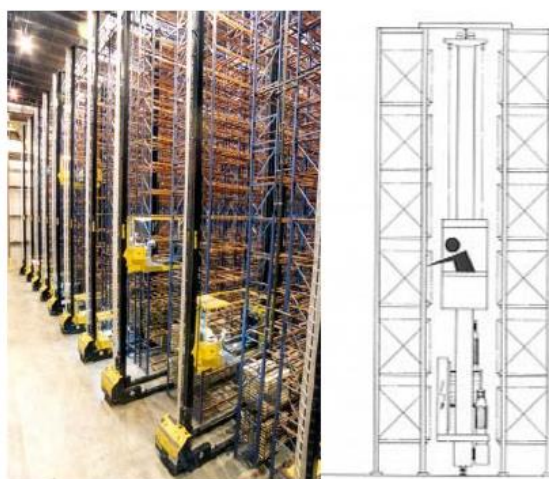
U slučaju vertikalnog komisioniranja (objašnjeno u točki 3.3.1.), najčešće se koriste viličari komisioneri, [Slika 41.]



Slika 41. Vertikalno komisioniranje korištenjem viličara komisionera [42]

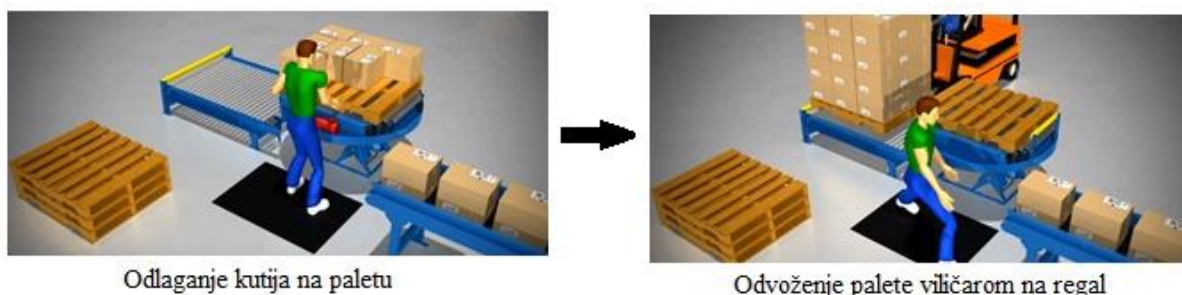
Viličari komisioneri omogućuju sigurno komisioniranje proizvoda s viših razina te prikupljanje više proizvoda u jednom ciklusu.

U automatiziranim skladišnim sustavima, upotrebom person-on-board (komisioner na automatiziranoj dizalici) sustava, također se eliminira nepotrebno saginjanje i istezanje ruku komisionera tijekom izuzimanja proizvoda s regala, [Slika 42.]



Slika 42. Person-on-board AS/RS [12]

Komisioniranje je skladišna aktivnost u kojoj se principi „čovjek robi“ i „roba čovjeku“ često kombiniraju. Stoga, postoji oprema koja spaja ta dva principa odnosno omogućuje jednostavniji, efikasniji, ali i ergonomičniji prijelaz iz jedne izvedbe u drugi.



Odlaganje kutija na paletu

Odvoženje palete viličarom na regal

Slika 43. Korištenje okretno-podiznog stola [43]

[Slika 43.] prikazuje korištenje okretno-podiznog stola u komisioniranju. Proizvodi smješteni u kutije dolaze konvejerom do okretno-podiznog stola. Okretno-podizni stol omogućuje komisioneru odlaganje kutija na paletu bez saginjanja (podizanje stola) te hodanja (rotacija stola) oko palete. Kad se na paletu odloži određena količina kutija, dolazi viličar koji uzima paletu te ju odlaže na za to predviđeno mjesto u skladištu.

6.1.4.1. Komisioniranje u budućnosti

Osim vozila i opreme koja služi za minimiziranje aktivnosti poput transporta proizvoda, podizanja i saginjanja, napretkom tehnologije razvila se oprema koja olakšava podizanje tereta velikih težina. Kao što je navedeno u prijašnjim točkama ovoga rada, komisioniranje često iziskuje ponavljajuće radnje te podizanje teških tereta koji mogu dovesti do mišićno-koštanih poremećaja.



Slika 44. Exoskeleton odijelo [44]

Exoskeleton tehnologija [Slika 44] omogućuje podizanje teških tereta bez prevelikog naprezanja dijelova tijela komisionera. Tehnologija djeluje je poput vanjskog oklopa koji obavija cijelo tijelo oko ruku, nogu i torza te rasterećuje mišićno-koštani sustav komisionera. Prema [44], exoskeleton tehnologija rasterećuje mišiće leđa za više od 40% prilikom nošenja tereta. Također, tehnologija omogućuje lakše i sigurnije podizanje tereta te odlaganje istog. Napretkom tehnologije, exoskeletoni postaju sve lakši, jednostavniji za korištenje te predstavljaju tehnologiju koja će se koristiti na mnogobrojnim područjima pa tako i u skladišnim sustavima.

Iako, uvođenje exoskeletona u sustave za komisioniranje predstavlja veliki potencijal, najveći doprinos u ergonomskom oblikovanju sustava za komisioniranje je eliminacija čovjeka kao sredstva rada. Naime, ergonomija je disciplina koja orijentirana na čovjeka i da bi se eliminirala potreba za ergonomskim oblikovanjem sustava za komisioniranje najjednostavnije je eliminirati čovjeka iz procesa komisioniranja. To je moguće uvođenjem automatiziranih vozila i robota koji će obavljati aktivnosti komisioniranja (kretanje i izuzimanje/odlaganje). Primjer takvog sustava je robotska „ruka“ koja izuzima proizvode s pokretne trake (konvejera) te ih odlaže na za to namijenjeno mjesto, [Slika 44.]



Slika 45. Robotska „ruka“ [45]

Također, postoje izvedbe AGV-a koji osim platforme na koju se odlažu proizvodi ima robotsku ruku koja vrši izuzimanje proizvoda s regala i odlaganje na platformu, [Slika 46.].



Slika 46. AGV s robotskom „rukom“ [46]

Dakako, potrebno je navesti da navedena tehnologija iziskuje ulaganje velikih financijskih sredstava što predstavlja najveću prepreku u uvođenju takve tehnologije u sustave za komisioniranje.

7. ZAKLJUČAK

Logistika je nezaobilazna i vrlo važna djelatnost svakog poduzeća. Kako bi tvrtke ostale konkurentne, moraju konstantno unaprjeđivati logističke sustave, a pogotovo skladišne sustave koji predstavljaju ključni faktor unutar logistike. Komisioniranje je jedan od skladišnih procesa koji ima veliki udio u ukupnom vremenu i troškovima logistike te uključuje veliku količinu ručnog rada. Iako je moguće automatizirati sustave za komisioniranje, ručno komisioniranje (naročito po principu „čovjek robi“) je i dalje dominantno u praksi. Tijekom zadnjih desetljeća, istraživači su razvili razne modele planiranja sustava za komisioniranje. Međutim, ti modeli su usredotočeni samo na povećanje efikasnosti sustava (optimalni prostorni raspored, skladišna oprema i optimalne rute izuzimanja) dok su ljudski faktori bili ignorirani. Tek zadnjih godina, shvatilo se da osim efikasnosti, ergonomske aspekte također pridonose izlazu komisioniranju (manje vrijeme, povećana kvaliteta i zdravlje radnika). Sukladno tome, ergonomske značajke se počinju stavljati u središnjicu prilikom oblikovanja sustava za komisioniranje.

Postoje razne metode koje, uz određene pretpostavke, se koriste za ergonomske procjene ručnog komisioniranja. Svaka od tih metoda procjenjuje mogućnosti ljudi ili procjenjuje rizik od pojave ozljeda prilikom obavljanja određenih aktivnosti. Zbog nepravilnog ručnog rukovanja materijalom najčešće dolazi do mišićno-koštanih oboljenja što rezultira povećanim troškovima komisioniranja. [21] Kako bi se smanjio rizik od nastajanja ozljeda, radnike je potrebno educirati kako bi opremu i aktivnosti komisioniranja obavljali na ispravan način. Također, karakteristike skladišnog sustava, metode usmjeravanja, odlaganja, organizacije komisioniranja i skladišna oprema uvelike omogućava lakše i sigurnije obavljanje komisioniranja.

Dakako, postoje i napredna rješenja poput exoskeletona ili AGV-a s robotskom rukom koja podižu granice ljudi odnosno eliminiraju ih iz procesa komisioniranja. Primjenom te tehnologije, ergonomija u sustavima za komisioniranje više ne bi bila bitna već bi roboti bili sredstva za obavljanje aktivnosti dok bi ih čovjek nadgledao i kontrolirao. Međutim, takva tehnologija iziskuje velika financijska ulaganja te samim time isplativost ulaganja u sustave za komisioniranje postaje upitna. Sukladno tome, sve dok navedena moderna oprema ne postane financijski i lako dostupna, poboljšanje ergonomske značajke u sustavima za

komisioniranje će još neko vrijeme biti jedan od ključnih zadataka prilikom oblikovanja sustava za komisioniranje.

LITERATURA

- [1] International Ergonomics Association, <http://www.iea.cc> (07.01.2018.)
- [2] Ergonomija, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Ergonomija> (07.01.2018.)
- [3] Mikšić, D.: *Uvod u ergonomiju*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1997.
- [4] Ergonomija i znanost o radu,
<http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2005/skunca/ZnanostORadu.html> (07.01.2018.)
- [5] Logistika, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Logistika> (28.01.2018.)
- [6] Đukić, G.: *Predavanja iz kolegija Tehnička logistika*, FSB, Zagreb, 2016.
- [7] The Council of Supply Chain Management Professionals, <http://cscmp.org> (28.01.2018.)
- [8] Hugos, H. M.: *Essentials of Supply Chain Management – Third edition*, John Wiley & Sons, 2011.
- [9] Difference between logistics and supply chain management,
<http://www.differencebetween.info/difference-between-logistics-and-supply-chain-management> (28.01.2018.)
- [10] Atkearney.com, <https://www.atkearney.com/transportation-travel/article/?/a/2017-state-of-logistics-report-article> (28.01.2018.)
- [11] Oluić, Č.: *Skladištenje u industriji: rukovanje materijalom*, FSB Zagreb, 1997.
- [12] Đukić, G.: *Predavanja iz kolegija Posebna poglavlja tehničke logistike*, FSB, Zagreb, 2017.
- [13] J.A. Tompkins et al.: *Facilities Planning – Second edition*, J. Wiley and Sons, New York 1996.
- [14] De Koster, R., Le-Duc, T., and Roodbergen, K.J.: *Design and control of warehouse order picking: a literature review*, European Journal of Operational Research, 2007., 481-501
- [15] https://www.google.hr/search?q=low+level+picking&client=opera&hs=vtB&dcr=0&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwja3_jgxv_YAhXI5aQKHWhhA64Q_AUICigB&biw=1326&bih=631#imgrc=hVBVTIZ3OX6-FM (30.01.2018.)
- [16] https://www.google.hr/search?q=high+level+picking&client=opera&hs=11B&dcr=0&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjQ3tfIyP_YAhWC6aQKHxc8CkoQ_AUICigB&biw=1326&bih=631#imgrc=yNiOkcOJ9bJxcM (30.01.2018.)

- [17] https://www.google.hr/search?q=mini+load+asrs&client=opera&hs=I7c&dcr=0&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi6_969zILZAhUB36QKHUswB4sQ_AUICigB&biw=1326&bih=631#imgrc=Ghn6lJJNe8AIAM (31.01.2018.)
- [18] https://www.google.hr/search?q=horizontal+carousel&client=opera&hs=47c&dcr=0&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiegfTUzILZAhXD6qQKHcHpB_MQ_AUICigB&biw=1326&bih=631#imgrc=jLZMFuJknKy_aM: (31.01.2018.)
- [19] https://www.google.hr/search?q=vertical+carousel&client=opera&hs=8SI&dcr=0&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjUse7fzILZAhXEzKQKHRqaCIIQ_AUICigB&biw=1326&bih=631#imgrc=Z2m9JOjtlE-n7M: (31.01.2018.)
- [20] Grosse, E.H. et al.: *Human factors in order picking: a content analysis of the literature*, International Journal of Production Research, 2017., 1260-1276
- [21] Grosse, E.H. et al.: *Incorporating human factors in order picking planning models: framework and research opportunities*, International Journal of Production Research, 2015., 695-717
- [22] MHI, <http://www.mhi.org/ease> (1.2.2018.)
- [23] https://www.google.hr/search?q=ergonomske+radne+cipele&client=opera&hs=WLm&dcr=0&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiq8ceqmI_ZAhWEwBQKHZ67C-4Q_AUICigB&biw=1326&bih=631#imgrc=7_CkeoxkdcWzKM: (3.2.2018.)
- [24] Russell, Steven J. et al.: *Comparing the results of five lifting analysis tools*, Applied Ergonomics, 2005., 91-97
- [25] Otto, A.: *Ergonomic workplace design in the fast pick area*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2017., 945-975
- [26] BHS, <https://na.bhs1.com/niosh-lifting-equation-can-help/> (5.1.2018.)
- [27] Waters Thomas R., Putz-Anderson V., Garg Arun, *Applications manual for the revised NIOSH lifting equation*, U.S. Department of Health and Human Services, 1994.
- [28] Waters, Thomas R. et al.: *Efficacy of the Revised NIOSH Lifting Equation to Predict Risk of Low Back Pain Due to Manual Lifting*, American College of Occupational and Environmental Medicine, 2011.
- [29] Gallagher, Sean: *Development and validation of an easy-to-use risk assessment tool for cumulative low back loading: The Lifting Fatigue Failure Tool (LiFFT)*, Applied Ergonomics, 2017., 142-150
- [30] Garg Arun, Kapellusch Jay M.: *The Cumulative Lifting Index (CULI) for the Revised NIOSH Lifting Equation: Quantifying Risk for Workers with Job Rotation*, University of Wisconsin–Milwaukee, 2016., 683-694

- [31] Harari Y., Riemer R., Bechar A.: *Factors determining workers' pace while conducting continuous sequential lifting, carrying, and lowering tasks*, Applied Ergonomics, 2017., 61-70
- [32] Garg, A., Chaffin, D. B., & Herrin, G. D.: *Prediction of metabolic rates for manual materials handling jobs*, The American Industrial Hygiene Association Journal, 1978.
- [33] Battini, D., Delorme, X., Dolgui, A., Persona, A., & Sgarbossa, F.: *Ergonomics in assembly line balancing based on energy expenditure: A multi-objective model*, International Journal of Production, 2015.
- [34] Battini D., Glock C. H. Grosse E.H. Persona A. Sgarbossa F.: *Human energy expenditure in order picking storage assignment: A bi-objective method*, Computers & Industrial Engineering, 2016., 147-157
- [35] Müller, E. A.: *The physiological basis of rest pauses in heavy work*. Experimental Physiology, 1953.
- [36] Price, A. D.: *Calculating relaxation allowances for construction operatives: Metabolic cost*, Applied ergonomics, 1990.
- [37] Larco J.A., De Koster R., Roodbergen K.J. & Dul J.: *Managing warehouse efficiency and worker discomfort through enhanced storage assignment decisions*, International Journal of Production Research, 2017., 6407-6422
- [38] Borg, G.: "A Category Scale with Ratio Properties for Intermodal and Interindividual Comparisons.", VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1982.
- [39] https://www.google.hr/search?q=warehouse+natural+lighting&client=opera&hs=IDn&dcr=0&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi4krHInJbZAhXM66QKHaLKD2YQ_AUICigB&biw=1326&bih=631#imgrc=3tYX7-Ef6prDvM: (7.2.2018.)
- [40] Logistics Handling, http://www.logisticshandling.com/absolutenm/templates/article-lift_trucks.aspx?articleid=523&zoneid=7 (7.2.2018.)
- [41] Rocla, <https://www.rocla-agv.com/en> (11.2.2018.)
- [42] RAYMOND, <https://www.raymondcorp.com/lift-trucks/orderpickers> (11.2.2018.)
- [43] Bastian Solutions, <https://www.bastiansolutions.com/solutions/function/storage> (11.2.2018.)
- [44] The future of warehouse production: Exoskeleton technology, <http://www.ventureglobalsolutions.com/warehouse-exoskeleton-technology/> (11.2.2018.)

- [45] https://www.google.hr/search?q=robotic+hand+in+order+picking&client=opera&hs=SIM&dcr=0&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj13IvfiqHZAhUD6qQKHdYcCMcQ_AUICigB&biw=1326&bih=631#imgrc=B7VJBG12WHB6tM: (11.2.2018.)
- [46] <https://www.youtube.com/watch?v=O3ACX4Tu5gs> (11.2.2018.)
- [47] https://www.google.hr/search?q=narudžba&client=opera&dcr=0&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjX0_rGu6zZAhWOPFAKHVQDCqcQ_AUICigB&biw=1326&bih=631#imgrc=X5PuYsK2MFhCHM: (17.2.2018.)

PRILOZI

I. CD-R disc