

# Ergonomska evaluacija ručnog rada u logističkim sustavima primjenom metode procjene metaboličke potrošnje energije

---

Juničić, Tia

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:973399>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-11**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Tia Juničić**

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

Mentor:

Prof. dr. sc. Goran Đukić

Student:

Tia Juničić

Zagreb, 2022.

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

Zahvaljujem se svom mentoru prof. dr. sc. Goranu Đukiću koji je davanjem smjernica i svojim savjetima sudjelovao u izradi ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem se i svojoj obitelji koja me poticala i koja mi je bila podrška tijekom studiranja te prijateljima koji su bili uz mene te mi uljepšali studiranje.

Tia Juničić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomске ispite

Povjerenstvo za diplomске radove studija strojarstva za smjerove:

proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment,  
inženjerstvo materijala te mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum:	Prilog:
Klasa: 602-04/22-6/1	
Ur. broj: 15-1703-22-	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: TIA JUNIČIĆ

Mat. br.: 0069076906

Naslov rada na hrvatskom jeziku: Ergonomska evaluacija ručnog rada u logističkim sustavima primjenom metode procjene metaboličke potrošnje energije

Naslov rada na engleskom jeziku: Ergonomic evaluation of manual work in logistics systems using the method of estimating metabolic energy consumption

Opis zadatka:

S obzirom na značaj ergonomije u oblikovanju i analizi radnih zadataka rukovanja materijalom u logističkim sustavima, posebice u smanjivanju rizika za mišićno-koštane poremećaje (MSD) i ozljede, u primjeni su za procjene rizika brojne različite metode. Osim procjene rizika, metode ergonomiska evaluacija nužne su i za određivanje fizioloških obilježja radnog procesa, konkretnije metaboličke potrošnje energije, a s ciljem određivanja maksimalnog intenziteta rada koji se kontinuirano može obavljati bez akumuliranja pretjeranog fizičkog umora. Iako su suvremeni automatizirani skladišni sustavi oni u kojima se u značajnoj mjeri smanjuje ručni rad i hodanje operatera, i dalje su prisutni ručni zadaci komisioniranja. Iz tog razloga potrebno ih je evaluirati i ergonomski, kako međusobno tako i u usporedbi s klasičnim skladišnim sustavima.

U radu je potrebno:

- uvodno prikazati područje ergonomije i njen značaj u smanjenju i prevenciji bolesti mišićno-koštanog sustava te pretjeranog fizičkog umora radnika
- dati pregled ergonomskih metoda
- detaljno prikazati metodu za procjenu (predviđanje) potrošnje metaboličke energije
- za odabrani primjere komisioniranja iz vertikalnih i horizontalnih okretnih regala provesti izračune predikcije metaboličke potrošnje energije te napraviti usporedne analize obzirom na intenzitet rada (produktivnost komisioniranja) i masu komada kojima se rukuje u procesu.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:  
3. ožujka 2022.

Rok predaje rada:  
5. svibnja 2022.

Predviđeni datum obrane:  
9. svibnja do 13. svibnja 2022.

Zadatak zadao: *Goran Đukić*  
prof. dr. sc. Goran Đukić

Predsjednica Povjerenstva:  
*Bliska Runje*  
prof. dr. sc. Bliska Runje

## SADRŽAJ

SADRŽAJ	V
POPIS SLIKA	VII
POPIS TABLICA	VIII
POPIS KRATICA	IX
SAŽETAK	X
SUMMARY	1
1. UVOD	2
2. ERGONOMIJA U LOGISTICI I LOGISTIČKIM SUSTAVIMA	4
2.1. Ergonomija	4
2.1.1. Definicija ergonomije	4
2.1.2. Kratak pregled razvoja ergonomije kroz povijest	6
2.1.3. Klasifikacija ergonomije	9
2.2. Logistika i komisioniranje	15
2.2.1. Logistika i logistički sustavi	15
2.2.2. Logistički procesi komisioniranja	16
2.3. Rizici od mišićno-koštanih poremećaja	21
2.4. Ergonomija i logistika u ručnom rukovanju materijalom	25
3. PREGLED METODA ZA ERGONOMSKU PROCJENU	28
3.1. Metode za procjenu ergonometričnosti podizanja tereta	28
3.1.1. RULA metoda	29
3.1.2. REBA metoda	30
3.1.3. OCRA metode	31
3.1.4. Metoda OWAS	33
3.1.5. Metoda NIOSH	34
3.1.6. Metoda ACGIH TLV	41
3.1.7. Metoda “Snook”	44
3.1.8. 3D Static Strength Prediction Program (3D SSPP)	46
3.1.9. WISHA Lifting Calculator	47
3.2. Metode potrošnje energije	47
3.3. Metode procjene nelagode radnika	51
4. METODA ZA ERGONOMSKU PROCJENU (PREDVIĐANJE) METABOLIČKE POTROŠNJE ENERGIJE U RUČNIM LOGISTIČKIM ZADACIMA	52
4.1. Opće značajke metode i postupak primjene	52
4.1.1. Prosječna potrošnja metaboličke energije	53
4.1.2. Neto metabolički trošak zadatka	54
4.2. Primjer primjene metode	58

---

5. PRIMJENA METODE ZA ERGONOMSKU PROCJENU METABOLIČKE POTROŠNJE ENERGIJE KOMISIONIRANJA IZ VERTIKALNIH I HORIZONTALNIH REGALA	63
5.1. Vertikalni karusel	64
5.2. Horizontalni karusel	66
5.3. Izračun potrošnje metaboličke energije komisioniranja iz vertikalnih i horizontalnih karusela	66
6. ZAKLJUČAK	77
LITERATURA	79

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Model interakcijskih sustava za ergonomiju [8].....	5
Slika 2.	Položaj radnika za računalom [18] .....	11
Slika 3.	Izloženost ljudskog organizma fizičkim opterećenjima [24].....	13
Slika 4.	Fizička, kognitivna i organizacijska ergonomija [26] .....	14
Slika 5.	Sustav komisioniranja [33] .....	17
Slika 6.	Viljuškar za komisioniranje [35].....	18
Slika 7.	Distribucija vremena komisioniranja po aktivnostima [37] .....	19
Slika 8.	Rad s trupom savijenim naprijed (a) i rad savijanjem ruku (b) [40] .....	22
Slika 9.	Stiskanje prstima (a) i bočno stezanje (b) [40] .....	24
Slika 10.	Nošenje kutije s položajem ruku (a) ispred tijela (b) uz tijelo [40] .....	24
Slika 11.	PaletPal [42].....	27
Slika 12.	Prikaz radnih položaja ruke prema RULA metodi [13].....	30
Slika 13.	Prikaz radnih položaja vrata prema REBA metodi [48].....	31
Slika 14.	Dijagram toka procesa primjene OWAS metode [50].....	34
Slika 15.	Varijable NIOSH jednadžbe [51] .....	35
Slika 16.	Prikaz asimetrije [51].....	36
Slika 17.	ACGIH TLV za ručnu aktivnost regresijske jednadžbe za graničnu vrijednost praga i granicu aktivnosti za (A) smjernice iz 2001. i (B) revidirane smjernice iz 2018. [53].....	43
Slika 18.	Radni zadaci [55] .....	44
Slika 19.	Podizanje iznad ramena [55] .....	45
Slika 20.	Jednostavan konzolni model dizanja s niskim leđima kako ga je prilagodio Chaffin (1975.) za statičke komplanarne analize dizanja [57].....	46
Slika 21.	Zadatak podizanja tereta: saginjanje i podizanje tereta rukama [5].....	59
Slika 22.	Zadatak spuštanja tereta: spuštanje tereta rukama i saginjanje [5].....	59
Slika 23.	Primjer vertikalnog karusela [64] .....	65
Slika 24.	Primjer horizontalnog karusela [65] .....	66
Slika 25.	Vrijednosti prosječne metaboličke potrošnje energije komisioniranja iz vertikalnog i horizontalnog karusela.....	75



## POPIS TABLICA

Tablica 1.	Razine automatizacije i aktivnosti komisioniranja za metodu komisioniranja “čovjek-roba” [39] .....	21
Tablica 2.	Vrijednosti horizontalnog multiplikatora (HM) [51] .....	37
Tablica 3.	Vrijednosti vertikalnog multiplikatora (VM) [51] .....	37
Tablica 4.	Vrijednosti multiplikatora udaljenosti (DM) [51] .....	38
Tablica 5.	Vrijednosti asimetrijskog multiplikatora (AM) [51] .....	39
Tablica 6.	Vrijednosti frekvencijskog multiplikatora (FM) [51] .....	39
Tablica 7.	Vrijednosti multiplikatora povezivanja (CM) [51] .....	40
Tablica 8.	Obrazac ACGIH TLV za ručnu aktivnost [52] .....	42
Tablica 9.	Procjena radnog opterećenja šake i ruke za odabrane zadatke [1] .....	57
Tablica 10.	Podjela posla na zadatke i procijenjeni neto metabolički troškovi zadataka [1] .....	61
Tablica 11.	Podjela posla na zadatke i procijenjena neto metabolička potrošnja energije zadatka kod vertikalnog karusela .....	69
Tablica 12.	Podjela posla na zadatke i procijenjeni neto metabolička potrošnja energije zadatka kod horizontalnog karusela .....	72
Tablica 13.	Prosječna metabolička potrošnja energije komisioniranja iz vertikalnog i horizontalnog karusela .....	74

## POPIS KRATICA

<b>Kratica</b>	<b>Opis</b>
<b>IEA</b>	Međunarodnom udruženju za ergonomiju (engl. <i>International Ergonmics Association</i> )
<b>AGV</b>	automatizirano vođena vozila (engl. <i>Automated guded vehicles</i> )
<b>AMR</b>	autonomni mobilni roboti (engl. <i>Autonomous mobile robots</i> )
<b>AS/RS</b>	visokoregalna automatiziranja skladišta (engl. <i>automated storate retrieval system</i> )
<b>VLM</b>	moduli za vertikalno podizanje
<b>WMSD</b>	poremećaji mišićno-koštanog sustava povezani s radom (engl. <i>Work-related Musculoskeletal Disorders</i> )
<b>HAL</b>	razina ručne aktivnosti (engl. <i>Hand Activity Level</i> )
<b>CICMHE</b>	<i>College-Industry of Material Handing Education</i>
<b>RWL</b>	indeks preporučene granice težine (engl. <i>Recommended Weight limit</i> )
<b>LI</b>	indeks dizanja za specifične zadatke podizanja tereta (engl. <i>Lifting Indeks</i> )
<b>ACGIH</b>	<i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists</i>
<b>TLV</b>	prag granične vrijednost (engl. <i>Threshold Limit Value</i> , skr.) za ručne aktivnosti
<b>AL</b>	granica aktivnosti (engl. <i>Action Limit</i> , skr.)
<b>NPF</b>	normalizirana vršna sila (engl. <i>normalized peak force</i> )
<b>PFI</b>	indeks vršne sile (engl. <i>Peak force index</i> )
<b>PMTS</b>	sustavi za unaprijed određivanje vremena gibanja (engl. <i>Predetermined Motion Time System</i> )
<b>PMES</b>	sustavi za određivanje energije gibanja (engl. <i>Predetermined Motion Energy System</i> )

## SAŽETAK

U ovom radu je obrađena tema ergonomske evaluacija ručnog rada u logističkim sustavima primjenom metode procjene metaboličke potrošnje energije. Kako bi se dao što bolji uvid u važnost primjene ergonomskih principa u oblikovanju ručnog rada u logističkim sustavima, posebice kod komisioniranja, opisane su značajke ergonomije i ergonomskih principa, istaknute značajke logističke i logističkih sustava te značaj ergonomije i logistike u ručnom rukovanju materijalom kako bi se rizici od mišićno koštanih poremećaja sveli na minimum ili potpuno otklonili. Detaljno je, korak po korak objašnjena metoda za ergonomsku procjenu potrošnje energije koju su razvili Garg, Chaffin i Herrin 1978. godine, a koja je primjenjiva i u ručnim logističkim zadacima. Opisana je raščlamba ukupnog zadatka komisioniranja na jednostavne zadatke te se za svaki jednadžba koja se koristi za procjenu metabolička potrošnja energije, npr. za podizanje ili dizanje tereta, hodanje, stajanje i sl. Procjena metaboličke potrošnje energije napravljena je na primjeru ručnog komisioniranja tri različite mase predmeta i tri različita intenziteta izuzimanja predmeta iz vertikalnih i horizontalnih karusela.

Ključne riječi: logistički sustavi, komisioniranje, metoda procjene metaboličke potrošnje energije, vertikalni karusel, horizontalni karusel.

## SUMMARY

This paper deals with the topic of ergonomic evaluation of manual work in logistics systems using the method of predicting metabolic energy consumption. In order to gain better insight into the importance of applying ergonomic principles in the design of manual work in logistics systems, especially in order-picking, the features of ergonomics and ergonomic principles are described, features of logistics and logistics systems and the importance of ergonomics and logistics in manual material handling are highlighted with purpose of minimizing the risk of musculoskeletal disorders. The method for ergonomic estimation of energy consumption developed by Garg, Chaffin and Herrin in 1978, which is also applicable in manual logistics tasks, is explained in detail. The breakdown of the total commissioning task into simple tasks is described, and for each equation used to estimate metabolic energy consumption, for example lifting of lifting loads, walking, standing, etc. The estimate of metabolic energy consumption is made on the example of manual commissioning of three different masses items and three different intensities of excluding items from vertical and horizontal carousels.

Key words: logistics systems, order-picking, method of predicting metabolic energy consumption, vertical carousel, horizontal carousel.

## 1. UVOD

U ovom diplomskom zadatku opisuje se metoda za ergonomsku procjenu potrošnje energije u ručnim logističkim zadacima. Ergonomija je vrlo bitan čimbenik u ručnim logističkim zadacima, te ima značajan utjecaj na produktivnost i sigurnost ljudi koji obavljaju poslove ručnog rukovanja teretom.

Neodgovarajući radni uvjeti mogu izazvati različite rizike na zdravlje ljudi i njihovu sigurnost. Stoga su razvijene različite metode za ergonomsku procjenu radne opterećenosti ručnim rukovanjem tereta. Jednu od tih metoda razvili su Garg, Chaffin i Herrin 1978. godine, dajući pri tome novi pristup za procjenu brzine metabolizma u poslovima ručnog rukovanja teretom. Njihov koncept potrošnje energije omogućuje procjenu metaboličke potrošnje povezane s izvođenjem ručnih zadataka. Metoda je vrlo jednostavna i učinkovita, te je našla široku primjenu.

Calzavara et al. ovu metodu na odgovarajući način primjenjuju na aktivnosti komisioniranja u skladištu, te razvijaju model potpore odluci za procjenu različitih rasporeda stalaka s obzirom na njihov utjecaj na vrijeme komisioniranja i potrošnju energije [1]. Koncept potrošnje Calzavara et al. su koristili i u razvijanju analitičkog modela za procjenu metaboličkih troškova pomoću koncepta potrošnje energije [2].

Komisioniranje se u većini skladišta izvodi ručno uz tehničku podršku, pa radnici imaju važnu ulogu u obavljanju ručnih logističkih zadataka. Ručno rukovanje teretom u skladištima izlaže radnike visokom riziku od razvoja mišićno-koštanih poremećaja. Koncept metaboličke potrošnje energije zagovara da veća kumulativna potrošnja energije dovodi do veće razine umora radnika što izaziva i veće rizike od ozljeda. Metoda Garg, Chaffin i Herrin omogućuje procjenu potrošnje energije potrebne za obavljanje standardnih operacija, kao što su podizanje ili dizanje tereta, hodanje, stajanje i sl. u ovisnosti o metaboličkoj potrošnji kisika. Aktivnosti poput ponavljanog dizanja i preuzimanja tereta koriste velike skupine mišića koji izvode maksimalne, dinamične kontrakcije. Kod takvih aktivnosti izdržljivost radnika je u prvenstveno u ovisnosti o kapacitetu sustava za prijenos i iskorištavanje kisika, odnosno o njezinoj aerobnoj snazi [3]. Velika opterećenja dovode do značajne metaboličke potrošnje, što uzrokuje zdravstvene rizike za radnike [4]. Povezivanjem energije potrošene za obavljanje zadataka s aerobnom snagom pojedinca za izdržavanje napora, može se napraviti objektivna procjena

radne sposobnosti radnika za obavljanje određenog posla, što je ujedno i jedan od ciljeva ergonomije.

Kako bi se povećala produktivnost rada u skladištima razvijena je različita oprema za skladištenje, poput okretnih regala. U uporabi su vertikalni i horizontalni okretni regali. Vertikalni okretni regali najčešće se koriste u proizvodnim pogonima, laboratorijima i manjim skladištima dok se horizontalni regali najčešće koriste u distribucijskim centrima. Omogućuju efikasnije korištenje prostora za skladištenje, veću učinkovitost sustava komisioniranja i dobrobiti radnika.

U radu se analizira ručno komisioniranje sitnih predmeta iz vertikalnih i horizontalnih karusela te se izračunavaju predikcije metaboličke potrošnje energije primjenom Garg, Chaffin i Herrin metode. Usporedna analiza s obzirom na intenzitet rada (produktivnost) komisioniranja i masu komada kojima se rukuje u procesu daje uvid troši li radnik više energije kod izuzimanja iz vertikalnog karusela u odnosu na horizontalni, kao i je li metabolička potrošnja energije u određenim situacijama veća od preporučene što bi dovelo do umaranja radnika.

## 2. ERGONOMIJA U LOGISTICI I LOGISTIČKIM SUSTAVIMA

Isticanjem temeljnih značajki ergonomije daje se uvid u prednosti njene primjene logistici i logističkim procesima. Stalne promjene i potreba za brzom prilagodbom promjenjivim zahtjevima kupaca, daju logistici važnu ulogu u poduzetničkim aktivnostima poslovnog subjekta. Konkurentska prednosti postiže se prolaženjem rješenja za poboljšanje fleksibilnost proizvodnje, skraćanje vremena isporuke, povećanje zaliha, smanjenje kapitala u zalihama, povećanje učinkovitosti rukovanja materijalom i povećanje fleksibilnosti obavljanja radnih aktivnosti. Glavne komponente svake organizacije su ljudi, oprema i okruženje. Stoga je za postizanje stalnog poboljšanja na radnom mjestu i općenito u upravljanju organizacijom od posebne važnosti dati što više pažnje svakoj komponenti te ih pokušati kontrolirati. Radna snaga predstavlja jedan od ključnih i istovremeno ograničavajućih čimbenika koji utječu na učinkovitost logističkih procesa. Prikladni radni uvjeti i minimiziranje čimbenika rizika mogu pomoći implementaciji logističkih rješenja koja vode do povećane učinkovitosti rada, eliminiranja otpada i usmjeravanja logističkih procesa. Ergonomija se fokusira na povećanje učinkovitosti ljudskog rada. Područje istraživanja ergonomije u kontekstu logističkih procesa usmjereno je na pitanja unutarnjih i vanjski determinanti čovjekove izvedbe. Objašnjava utjecaj rada i radnog okruženja na ljude kroz fiziološki odgovor njihovog tijela na fizičke i mentalne zahtjeve. Fokusira se na smanjenje umora i potencijalnih akutnih ili kroničnih poremećaja pomoću rješenja koja uvažavaju mogućnosti, te higijenske, funkcionalne i psihološke zahtjeve zaposlenika [5].

### 2.1. Ergonomija

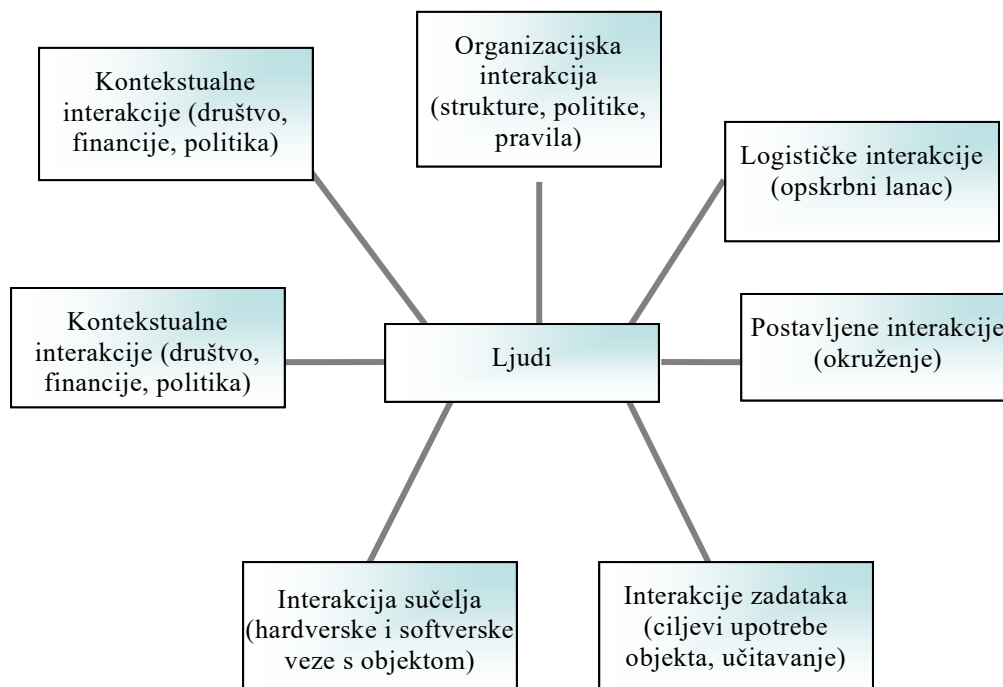
#### 2.1.1. Definicija ergonomije

Pojam ergonomija podrijetlo ima u grčkoj riječi *ergon* (rad) i *nomos* (zakon). U literaturi je zastupljen veći broj definicija ergonomije, ovisno o aspektu njenog promatra. Prema Međunarodnom udruženju za ergonomiju (engl. *International Ergonomics Association*, skr. IEA) ergonomija je znanstvena disciplina koja se bavi razumijevanjem interakcija među ljudima i drugih elemenata sustava, odnosno struka koja primjenjuje teoriju, principe, podatke i metode u oblikovanju sa svrhom optimiranja dobrobiti čovjeka i općih performansi sustava [6]. Ova definicija daje bit suvremenog sveobuhvatnog razumijevanja ergonomije u suvremenom društvu 21. stoljeća. Promatrajući ergonomiju kao znanstvenu disciplinu, Sablik

daje definiciju ergonomije kao interdisciplinarnu znanstvenu disciplinu utemeljenu na principima ljudskog rada, koja istražuje mogućnosti prilagođavanja rada čovjeku i čovjeka radu s posebnim osvrtom na čovjekov psihofiziološki potencijal [5]. Sličnu definiciju daje Cohen, prema kojem je ergonomija znanost o prilagođavanju radnog okruženja i radnih zahtjeva vještinama radne populacije [7]. Učinkovitim i uspješnim prilagodbama može se jamčiti otklanjanje rizika od bolesti i ozljeda uz istovremeno povećanje zadovoljstva zaposlenika. Chengular, Rodgers i Bernard ergonomiju promatraju kao multidisciplinarnu aktivnost koja nastoji prikupiti informacije o ljudskim sposobnostima i vještinama kako bi se te informacije upotrijebile u radu, proizvodima, radnim mjestima i dizajnu opreme.

Prema Wilsonu ergonomija je “samostalna disciplina, teorijsko i osnovno razumijevanje ljudskog ponašanja i izvedbe u svrhovitim interakcijama socio-tehničkih sustava, te primjene tog razumijevanja na oblikovanje interakcija u kontekstu stvarnih postavki” [8]. Ova definicija opravdana je u financijskom, tehničkom, pravnom, organizacijskom, društvenom, političkom i profesionalnom kontekstu u kojem ergonomisti djeluju.

Definicije ergonomije naglašavaju potrebu i komplementarnost između temeljnog razumijevanja ljudi i njihovih interakcija te prakticiranje poboljšanja tih interakcija. Model ergonomije u čijem fokusu su interakcije ilustriran je na [Slika 1].



**Slika 1. Model interakcijskih sustava za ergonomiju [8]**

Kako je vidljivo iz [Slika 1], ljudi su u interakciji sa svojim okruženjem, a razumijevanje tih



interakcija pomaže ergonomskim stručnjacima u oblikovanju što pogodnije okoline za ljude i njihovo djelovanje. To je posebice važno ako se ima na umu da ergonomija ima svoju primjenu u svim ljudskim aktivnostima. U području rada, ergonomija se bavi uvjetima u radnoj okolini (temperatura, buka, vibracija, osvjetljenje, prozračnost radnog prostora), oblikovanjem radnih i zaštitnih sredstava (predmeti koji su nespretni za rukovanje ili opasni), položajem tijela pri radu (dugotrajno sjedenje, stajanje, neudoban položaj tijela pri radu i sl.) te organizacijom rada i pokretima koji se izvode (neprestano ponavljanje istih pokreta, prostorna i vremenska organizacija rada) [9].

Veliki broj radnika radi u uvjetima u kojima se narušava njihovo zdravstveno stanje. Radno okruženje radnika moraju biti u skladu s biološkim, anatomskim, psihološkim, sociološkim ili emotivnim karakteristikama radnika, te medicinskim zahtjevima [10]. Ergonomija, pri tome, ima važnu ulogu. Cilj je onih koji djeluju u području ergonomije da zahtjevi za poslom ne premašuju mogućnosti radnika. Pri tome im u značajnoj mjeri pomažu procjene poremećaja zdravlja ljudi pri obavljanju određenih aktivnosti. Ergonomija se, dakle, bavi optimalnim oblikovanjem radnih procesa, radnog mjesta i alata, optimalizacijom načina rada, ljudskom intervencijom u automatiziranim sustavima, kao i optimalnim radom zaposlenika kroz obuku i motivaciju. Cilj usklađivanja svih zahtjeva i stvaranja skladnih radnih uvjeta je postizanje maksimalnih radnih učinaka i zadovoljstva zaposlenika [5]. Ergonomske aktivnosti doprinose oblikovanju i evaluaciji zadataka, proizvoda, okruženja i sustava kako bi bili kompatibilni s potrebama, vještinama i sposobnostima zaposlenika. Attwood definira ergonomiju kao proces sustavnog oblikovanja, u kojem ljudi primjenjuju svoje znanje kako bi učinkovito koristili opremu i poboljšali okruženje u kojem rade obavljajući zadatke i upravljajući sustavima koji upravljaju sigurnim i učinkovitim operacijama [11]. Beño ističe kako bi definicija ergonomije trebala sadržavati i načelo održivosti te učinkovitosti radnih operacija koje zaposlenici obavljaju [5]. To bi trebala biti bitna komponenta ergonomije.

Iako je pojam ergonomije znatno širi, u ovom radu se ergonomija odnosi na procjenu onih čimbenika povezanih s radom koji mogu predstavljati rizik od mišićno-koštanih poremećaja i zamora koji nastaje uslijed potrošnje energije radnika pri obavljanju zadataka, a u kontekstu i pada produktivnosti i potrebnih odmora.

### ***2.1.2. Kratak pregled razvoja ergonomije kroz povijest***

Kratak pregled razvoja ergonomije kroz povijest omogućava bolje sagledavanje važnosti primjene ergonomije u logističkim procesima.

Pračovjek je prilagođavao svoje oruđe i oružje kako bi olakšao njihovu upotrebu u lovu (vrh koplja), žetvi (košare) i ribolovu (udice). To pokazuje da se koncept ergonomije počeo primjenjivati od same pojave civilizacije, a danas je sasvim jasno kako nije lako učinkovita prilagodba čovjeka procesu rada, pa je potrebno rad prilagoditi čovjeku. Formalno razmatranje interakcija između ljudi i njihovog radnog mjesta može se pronaći u zapisima antičke Grčke, srednjovjekovnim medicinskim izvještajima iz Poljske i Njemačke i dr. No, moderna povijest ergonomije vezana je za razdoblje prije drugog svjetskog rata, između 1939. i 1945. godine. U Velikoj Britaniji, ideje i stručnost iz različitih disciplina zainteresirani za učinkovitost ljudske izvedbe (anatomija, fiziologija, psihologija, industrijska medicina, industrijska higijena, inženjerski dizajn, arhitektura i inženjerstvo rasvjete, te fokus na teoriji i metodologiji, rezultirali su formiranjem ergonomije kao discipline s dvije jake podskupine: anatomsko-fiziološkom i eksperimentalnom psihologijom. Paralelo s tim, struka ljudskih faktora dobivala je sve veći značaj u Sjedinjenim Američkim Državama, uz snažne doprinose iz disciplina psihologije i inženjerstva. U Njemačkoj, Nizozemskoj i u svim skandinavskim državama osnova za ergonomiju proizašla je iz rada u medicini i funkcionalnoj anatomiji, dok se u istočnoj Europi razvoj ergonomije uglavnom temeljio na potrebama unutar industrijskog inženjerstva [8].

U literaturi su zastupljena različita stajališta o razvoju ergonomije. Najčešće zastupljeno stajalište je da je ergonomija potekla iz anatomije, fiziologije i psihologije te da je usko povezana s primijenjenim disciplinama medicine i inženjerstva. No, Chapanis doprinos razvoju ergonomije vidi i u psihologiji (prvenstveno eksperimentalnoj psihologiji), antropometriji (primijenjenoj grani antropologije), primijenjenoj fiziologiji, medicini okoliša, inženjeringu, statistici, istraživanju operacija i industrijskom dizajnu [8]. Zastupljena su i stajališta prema kojem je ergonomometrija prvotno izrasla iz prilično uske brige za interakciju ljudi s fizičkim uređajima, a u posljednjih godina se znatno proširila, pa se ergonomija isprepliće s određenim disciplinama unutar psihologije i inženjeringa (npr. eksperimentalna psihologija, socijalna psihologija, industrijsko inženjerstvo i bio-inženjering), a brojne discipline se preklapaju s nekim aspektima ergonomije, kao što je kognitivna znanost, umjetna inteligencija, industrijski dizajn, menadžment i statistika [12].

Razmatranju povijesnog razvoja ergonomije zasigurno pridonose i primjeri koji ukazuju na primjenu ergonomije u oblikovanju predmeta, arhitekture ili procedura obavljanja rada tijekom povijesti. Hipokrat (430-370 p.n.e.) je dao konkretne preporuke o oblikovanju radne okoline kirurga preporučujući rad u sjedećem odnosno stajaćem položaju s obzirom na vrstu operacije,

navodeći koji je položaj pacijenta i kirurga relevantan, kakav treba biti smjer i izvor svjetla kako bi se izbjegla refleksija, razmještaj instrumenata koji bi omogućio nesmetan pokret kirurga, dimenzije instrumenata kako bi se osigurala lakoća njihovog korištenja [13].

Bernardino Ramazzini (1633.-1714.) sustavno je proučavao odnos rada i bolesti, te je došao do spoznaja da uobičajene bolesti mogu nastati uslijed dugotrajnog mirovanja ili neprirodnog položaja tijela, npr. pekari, radnici koji rade u stojećem položaju, radnici koji sjede, pisari, tkalci i dr. ili obavljanjem aktivnosti koje zahtijevaju teške mišićne performanse (npr. nosači i drvoprerađivači). Osim toga, prepoznao je potrebu poduzimanja mjera koje će spriječiti poremećaje zbog ponavljajućih pokreta i ručnog dizanja te je predvidio, danas prihvaćene savjete o umjerenosti i preporuke smanjenja trajanja rada za niz teških poslova koji zahtijevaju stojeći položaj tijela ili jak mišićni napor. Već je iz njegovih ranih radova vidljivo da je shvatio važnost procjene ergonomskih čimbenika povezanih s pojavom mišićno-koštanih poremećaja povezanih s obavljanjem radnih zadataka [14].

Termin ergonomija prvi je upotrijebio poljski znanstvenik Wojciech Bogumil Jastrzebowskl u svom spisu "Znanost o radu" 1857. godine, zasnovanom na istinama iz znanosti o prirodi. On ergonomiju definira kao znanost da se uz najmanje truda dobije najbolje uz najveće zadovoljstvo za vlastitu i javnu dobrobit. Pristup Jastrzebowsklog je i danas aktualan, a često se upotrebljava kao model za druge definicije.

Preduvjet za pojavu ergonomije bio je brz razvoj znanosti i tehnologije, što je utjecalo na promjene u čovjekovoj okolini i načinu života. Početkom 20. stoljeća Jules Amar daje osnovu ergonomiji istražujući statičke i dinamičke kontrakcije mišića. Bavi se problemima umora, ergonomije okoliša, temperature, buke i osvjetljenja te osniva prvi istraživački laboratorij fizičkog rada.

Tijekom prvog svjetskog rata (1914.-1918.) britanska vlada je bila zabrinuta zbog umora radnika u tvornicama naoružanja. Stoga su fiziolozi i psiholozi provodili razna istraživanja čiji je cilj bio proučiti poboljšanja radnika.

U drugom svjetskom ratu (1939.-1945.) dizajn zrakoplova i kabina rezultirao je velikim brojem ljudskih pogrešaka, uzrokovanih pretjeranim fizičkim i psihičkim umorom, zbog ispravnog očitavanja uređaja. Kako bi se riješio ovaj problem organizirani su multidisciplinarni timovi inženjera, psihologa, fiziologa i dr. Kao rezultat tih napora javlja se "racionalna ergonometrija" aeronautičkih materijala i zapošljavaju se stručnjaci za ergonomiju. Kao znanstvena disciplina ergonomija se pojavljuje nakon drugog svjetskog rata kada je Hywel Murrell (1908.-1984.) okupio skupinu engleskih stručnjaka koji su osnovali prvo društvo za ergonomska istraživanja

(engl. *Ergonomics Research Society*) [15]. Istovremeno je u SAD-u osnovano društvo *Human Factors Society*. U SAD-u se koristi pojam *Human Factors* i *Human Engineering*.

Od primjene u vojsci ergonomija prelazi u industriju, gdje nastaje ergonomija s više disciplina. Drugu polovicu 20. stoljeća obilježava osnivanje Međunarodnog udruženja za ergonomiju (engl. *International Ergonomics Association*, skr. IAE) (1959. godine) u Stockholmu u Švedskoj, koje obuhvaća 33 savezna društva i čija je funkcija promicanje ergonomije na međunarodnoj razini. Ciljevi IAE su uspostaviti međunarodne kontakte među ljudima koji rade u području ergonomije i promicati znanja i praksu ergonomije na međunarodnoj razini i u regijama u razvoju, suradnju s međunarodnim udrugama na razvoju prakse i primjene ergonomije u industrijskom sektoru i drugim područjima interese, te osim promicanja znanstvenih istraživanja, nagrađivati budući razvoj ergonomije [16].

Uključenje ergonomije u sva područja života započinje 1970-ih godina inicijacijama skupine entuzijasta: Dragutina Taboršaka, Huberta Maveru, Krste Reichherzera, Marija Kovačevića i Napoleona Hrvoja. Godine 1974. osnovano je ergonomsko društvo koje omogućuje okupljanje i zajednički rad stručnjaka različitih područja te promicalo ergonomiju putem medija i održavanjem seminara [15].

U svrhu učinkovitog i humanog oblikovanja rada potrebno je poznavanje čovjeka i njegove mogućnosti pri izvođenju rada, kao i značajke radnog mjesta i radne metode. Pri tome je potrebno osigurati normalne radne uvjete okoline. Kako je već istaknuto, prilagodba rada čovjeku nije jednostavna, stoga je fokus na prilagodbi rada čovjeku. Time se postiže povećanje produktivnosti, smanjenje psihofizičkog opterećenja radnika, smanjuju rizici od oboljenja i osigurava efikasnost i sigurnost na radu.

### **2.1.3. Klasifikacija ergonomije**

U literaturi se nailazi na klasifikaciju ergonomije kao znanstvene discipline. U tom kontekstu ergonomija se može podijeliti na [13]:

1. konceptualnu ergonomiju,
2. sistemsku ergonomiju,
3. korektivnu ergonomiju,
4. ergonomiju programske potpore,
5. ergonomiju računalnog sklopovlja.

**Konceptualna ergonomija** je usmjerena ka oblikovanju ergonomskih mjera kod projektiranja radnih sustava, a uključuje područje humaniteta i ekonomičnosti. U području humaniteta ergonomija se bavi smanjenjem opterećenja radnika i stvaranjem sigurnosnih uvjeta na radu, stvaranjem ugodnog okruženja za rad, omogućavanjem uvida u rezultate rada, osiguranjem odmora i predaha tijekom rada, smanjenjem štetnih utjecaja na zdravlje radnika i dr. U području ekonomičnosti naglasak se stavlja na povećanje kvalitete rada, osiguranje prirodnog ritma rada, optimiziranje zahtjeva pri radu, smanjenje mogućnosti pojave pogrešaka, smanjenje fluktuacije radnika, povećanje motivacije radnika te omogućavanje razvoja vještina i stručnosti radnika [17]

U fokusu **sistemske ergonomije** je usklađivanje funkcija jednog proizvodnog sustava (čovjek-stroj-okolina). U literaturi se ističu različita područja djelovanja sistemske ergonomije. Döring (1974) navodi: oblikovanje organizacije radnog sustava, organizaciju tijeka radnog sustava, oblikovanje radnog mjesta, oblikovanje radne okoline, izbor i obrazovanje zaposlenika [13]. Kod ove se ergonomije već u samoj fazi projektiranja proizvodnog procesa oblikuju radna mjesta i okruženje u kojem će zaposleni obavljati svoje radne zadatke.

**Korektivna ergonomija** je usmjerena na oblikovanje ergonomskih mjera u tijekom same izvedbe radnog procesa. Ona se primjenjuje u slučajevima kada se nije pristupilo primjeni ergonomskih načela u razvojnoj fazi sustava, te ih je potrebno implementirati u sustav koji je već djelomično gotov. U tom slučaju u obzir se uzimaju sveukupne faze razvoja.

**Ergonomija programske potpore** bavi se razvijanjem kriterija i metoda za kvalitativno ocjenjivanje softverskih proizvoda te međusobno uspoređivanje u svrhu njihova poboljšanja. Dio je znanosti o radu koja je bavi indirektnim ili direktnim djelovanjem softverskih proizvoda u radnom sustavu čovjek-stroj [13]. Cilj joj je poboljšanje razine prihvaćanja ove tehnologije, povećanje radne motivacije, povećanje radnih kompetencija zaposlenika i razvoja osobnosti te optimiranje razine opterećenosti pri uvođenju novih tehnologija. To je programska potpora čiji je zadatak pružiti korisniku potporu u radu u svrhu olakšanja obavljanja danih mu zadataka. Koristi se u svrhu povećanja proizvodnje primjenom novih tehnologija, povećanja učinkovitosti obrade informacija uvođenjem novih metoda i postupaka te ovladavanja djelovanja informacijske tehnologije na čovjeka.

**Ergonomija računalnog sklopovlja** bavi se tehničko-fizikalnim komponentama računalnog sustava [13]. Bavi se odnosom stanja u okolini i računala, što podrazumijeva uređenje samog radnog mjesta za računalom. Pri tome se proučavaju temperaturni uvjeti radnog mjesta, buka,

djelovanje svjetlosni efekata, položaj tijela, položaj stola i stolice, tipkovnice, zaslone i dr. Neke od značajki organizacije radnog mjesta za računalom, a koji pripadaju području djelovanja sklopovne ergonomije prikazani su na [Slika 2].



**Slika 2. Položaj radnika za računalom [18]**

Iz slike je vidljivo postavljanje zaslona horizontalno ispred zaposlenika kako bi se svjetlosni uvjeti mogli prilagoditi radu na računalu i visini očiju korisnika, pri čemu se uzimaju u obzir odsjaj i titraji slike na zaslonu. Udaljenost zaslona od očiju korisnika trebala bi biti 50-80 cm, a glava lagano spuštена ( $5^\circ$ ). Ramena zaposlenika bi trebala biti opuštena, podlaktice paralelno položene na stol. Stolica bi trebala imati naslon za leđa i naslone za ruke, podesive visine. Tipkovnica bi trebala biti ergonomska, kao i miš. Zaposlenik bi trebao imati pauzu svakih 25 minuta.

Uobičajena je podjela ergonomije na: fizičku ergonomiju (ili mišićno-koštanu), kognitivnu ergonomiju i organizacijsku ergonomiju (društvenu ili makro ergonomiju). No, osim ovih vrsta ergonomije u literaturi se nailazi i na druge specifične vrste ergonomije, poput, ergonomije specifičnih potreba kao podvrste fizičke ergonomije, ergonomije okoliša, mikro ergonomije, rehabilitacijska ergonomije i forenzična ergonomija.

**Kognitivna ergonomija** je usredotočena na to koliko proizvodi korišteni na ispravan način odgovaraju kognitivnim sposobnostima korisnika. Oslanja se na znanje o ljudskoj percepciji, mentalnoj obradi i pamćenju. Kognitivna ergonomija pomaže dizajnerima u dobivanju potrebnih smjernica za osiguranje dobre upotrebljivosti proizvoda. U početku je kognitivna ergonomija bila usmjerena na istraživanja u području kontrole zračnog prometa, medicinske anestezije, odnosno u područjima u kojima je obavljanje radnih zadataka iziskivalo iznimnu usredotočenost kako bi se donijele odluke u situacijama potencijalno opasnim za život. Tijekom vremena područje istraživanja se proširilo na bankarstvo, rad u uredima i slobodne aktivnosti.

Primarni fokus kognitivne ergonomije je na radnim aktivnosti koja imaju:

- naglašenu kognitivnu komponentu,
- nalaze se u sigurnosno kritičnim okruženjima,
- nalaze se u složenim, promjenjivim okruženjima.

Kognitivno opterećenje uzrokovano je kognitivnim zahtjevima radnih zadataka, koji lako prelaze prirodna ograničenja ljudskih kognitivnih sposobnosti, ali se opterećenje može dodatno povećati radnim uvjetima. Mnogi radni uvjeti narušavaju kognitivne sposobnosti, kao što su smetnje, prekidi i dr. Ti uvjeti, kao i zahtjevi povezani s fragmentacijom rada, obavljanjem istovremeno većeg broja zadataka (*multitasking*) i informacijskim preopterećenjem pokazali su se tipičnim opterećenjima u mnogim područjima ljudskog djelovanja. Posljedica takvih uvjeta je izravno narušavanje kognitivnog funkcioniranja i izvedbe zadataka, a mogu dovesti i do kognitivnih nedostataka koji utječu na ukupnu izvedbu te su povezani su s rizicima na radu i smanjenju dobrobiti na poslu. Istraživanja pokazuju kako uvjeti kognitivnog naprezanja mogu imati izravne učinke na izvedbu zadatka, kao i neizravne, opsežne učinke na radni učinak i produktivnost, ako izlažu zaposlenike kognitivnom neuspjehu i narušavaju sigurnost i zdravlje na radu [19] [20]. Stoga je važno upravljati kognitivno opterećujućim uvjetima i smanjiti njihove štetne posljedice za zaposlenike, timove, organizacije i društvo. Kognitivna ergonomija upravo djeluje u tom smjeru. Fokus u kognitivnoj ergonomiji je na ljudskom kognitivnom funkcioniranju i uvjetima koji na to utječu te na tome da interakcija čovjeka i sustava na poslu bude kompatibilna s ljudskim kognitivnim sposobnostima i ograničenjima [21].

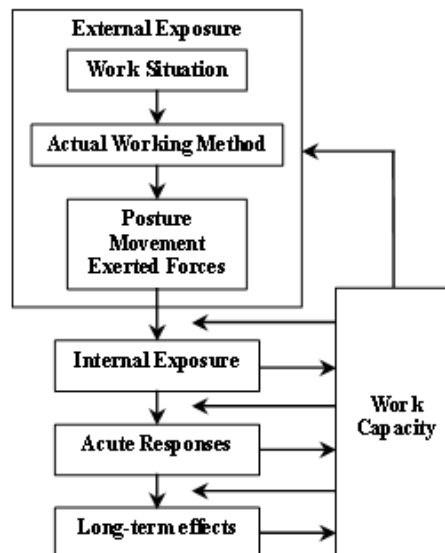
**Organizacijska ergonomija** je usredotočena na optimalizaciju društveno-tehničkih sustava, uključujući organizacijsku strukturu, pravila i procese te proučava komunikaciju, organizaciju rada i druge organizacijske segmente proizvodno-poslovnog sustava [13]. Relevantne teme organizacijske ergonomije uključuju komunikaciju, upravljanje resursima, radne projekte, vremensku organizaciju rada, timski rad, sudjelovanje na projektima, nove radne paradigme, kooperativni rad, organizacijsku kulturu, mrežne organizacije i upravljanje kvalitetom [6]. Područje organizacijske ergonomije temelji se na očitom opažanju da se sve radne aktivnosti odvijaju unutar sfere organizacije. Najvećim primjenama ergonomije u organizacijskom području ističu se [22]:

- modeliranje procesa za pripremu scenarija i skripti za organizacijske promjene,
- analiza zahtjeva novih organizacijskih projekata u smislu vještina, ograničenja i preostalih značajki, specificiranje potrebe za obukom i nove sposobnosti,

- izrada planova provedbe kako bi se spriječilo dezinvestiranje ili nedostatak korištenja znanja koje postoji, posebno na operativnoj razini,
- vještačenje i prevencija nesreća.

Organizacija rada treba biti primjerena psihofiziološkim osobinama radnika i prirodi posla koji obavlja. U tom kontekstu ergonomija ima važnu ulogu. Poboljšanje ergonomije u organizaciji može se poboljšati uključivanjem politike, kulture i okoline, uz različite vrste taktičkih analiza koje se mogu koristiti za postizanje ciljeva [23]. U rješavanju problema potrebno je sudjelovanje i drugih dionika.

**Fizička ergonomija** bavi se fizičkim opterećenjem na ljudsko tijelo pri obavljanju aktivnosti poput radnih aktivnosti, sporta, poslova kod kuće ili rada s proizvodima. Izloženost fizičkim opterećenjima i potencijalni učinci te izloženosti na ljudski organizam prikazani su na [Slika 3].



**Slika 3. Izloženost ljudskog organizma fizičkim opterećenjima [24]**

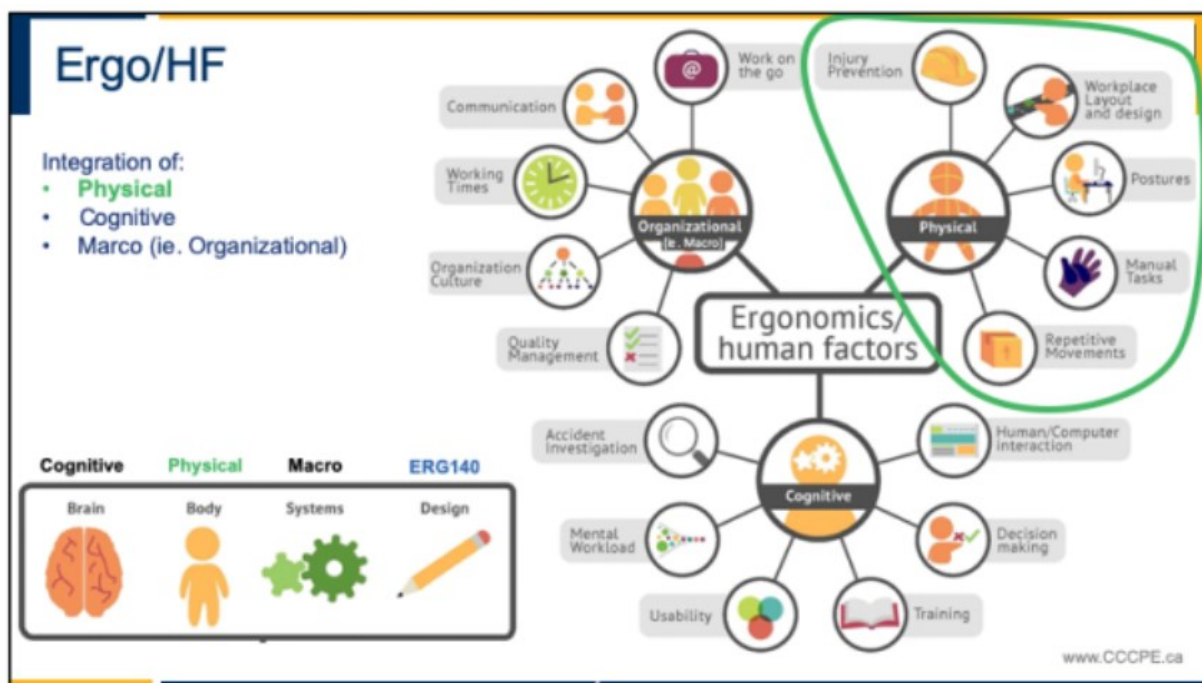
Na slici su prikazana unutarnja i vanjska opterećenja [24]. Ljudi su na poslu (izvana) izloženi raznim radnim situacijama (radni zahtjevi, radno okruženje) i radnim metodama (radnim aktivnostima koje trebaju obaviti). To dovodi do usvajanja specifičnih položaja ljudskog tijela i izvođenja pokreta, kao i nekih vanjskih sila na ljudsko tijelo. Nadalje, izloženost držanju, kretanju i sili dovodi do izlaganja ljudskog tijela unutarnjim silama na tjelesnu strukturu i do povišenih razina utroška energije (tj. unutarnje izloženosti). Mehanički i fiziološki odgovori kratkoročno su prisutni (akutni odgovori), dok se potencijalni dugoročni učinci koji prate akutne reakcije reflektiraju u poremećajima mišićno-koštanog sustava. Odgovori ovise o značajkama pojedinog radnika (uključujući dimenzije tijela, fizičku spremnost, stanje).



Glavno područje zanimanja fizičke ergonomije je procjena i prevencija rizika. Procjena rizika se odnosi na procjenu rizika za razvoj određene vrste mišićno-koštanih poremećaja povezanih s izlaganjem specifičnom tipu fizičkog opterećenja. Relevantni aspekti izloženosti u tom pogledu su: razina ili intenzitet izloženosti, trajanje izloženosti i učestalost izloženosti. Potrebno je, također, istaknuti kako je procjena prvi korak ka uspostavi dobrih uvjeta rada. U sljedećim koracima potrebno je razvijati, testirati i implementirati poboljšanja. Konačno, završna procjena trebala bi dokazati da poboljšana situacija ispunjava zahtjeve. Prevencija rizika podrazumijeva definiranje i provedbu mjera koje mogu smanjiti rizik od razvoja mišićno-koštanih poremećaja. Te mjere uključuju [25]:

- izbjegavanje rizika,
- procjenu rizika koji se ne mogu izbjeći,
- borbu protiv rizika na izvoru,
- prilagođavanje rada pojedincu, posebice u pogledu uređenja radnih mjesta, izbora opreme za rad i izbora načina rada i proizvodnje,
- prilagođavanje tehničkom napretku i dr.

Temeljem navedenog može se zaključiti kako je fizička ergonomija usmjerene na tijelo, kognitivna na mozak, a organizacijska za sustav i kulturu [Slika 4] .



Slika 4. Fizička, kognitivna i organizacijska ergonomija [26]

## 2.2. Logistika i komisioniranje

### 2.2.1. Logistika i logistički sustavi

Podrijetlo izraza logistika veže se uz grčke riječi *logistikos* što znači “vješt, iskusan u računanju, procjenjivanju”, *logo* što znači zamisliv, odnosno *logik* što znači logički misleći.

U literaturi je prisutan veći broj definicija logistike. Tako logistika obuhvaća sve djelatnosti kojima se planira, upravlja, realizira i kontrolira prostorno–vremenska transformacija dobara, kao i sve transformacije u svezi s količinama, vrstama i svojstvima dobara, rukovanja dobrima, te logističkog određivanja dobara. Zajedničkim se djelovanjem tih djelatnosti pokreću tijekovi dobara koji po mogućnosti učinkovito povezuju točku isporuke s točkom primitka. Učinkovito povezivanje točaka isporuka s točkom primitka znači da logistika treba osigurati: da je točka primitka opskrbljena od točke isporuke pravim proizvodima i/ili uslugama, u ispravnom i primjerenom stanju, u pravo vrijeme, na pravom mjestu, ali sve to uz minimalne troškove. U skladu s tim logistika se shvaća kao dio procesa u opskrbnom lancu u kojem se odvija planiranje, implementacija i provjera uspješnosti stvarnog tijeka i skladištenja robe, usluga i odgovarajućih informacija od mjesta polaska do mjesta potrošnje, a sve u skladu sa zahtjevima kupaca [27]. Slična je definicija prema kojoj je logistika planiranje, organizacija, realizacija i kontrola toka dobara od razvoja i kupovine preko proizvodnje i distribucije do krajnjeg kupca, s ciljem da se uz minimalne troškove i uz minimalno ulaganje kapitala zadovolji zahtjeve tržišta [28]. Logistika je, dakle, dio upravljanja lancem opskrbe, odnosno funkcija koja je odgovorna za kretanje (tijek) robe kroz lanac opskrbe. Ima širok raspon aktivnosti, a sve su aktivnosti usmjerene ka dostavi traženog proizvoda, adekvatne kvalitete i količine, na pravo mjesto u pravo vrijeme uz najniže troškove [29].

Logistički sustav sastoji se od logističkih usluga, informacijskih sustava te infrastrukture i resursa. Logističkih uslugama obuhvaćene su aktivnosti skladištenja odnosno mirovanja i transporta odnosno kretanja, koje omogućuju dvosmjernan tok materijala i proizvoda od njihovog izvora odnosno točke podrijetla do krajnje točke odnosno točke upotrebe (potrošnje). Informacijskim sustavima obuhvaćena je izrada modela i upravljanja procesima odlučivanja, dok infrastruktura obuhvaća ljudske resurse, financijske resurse, materijal za pakiranje, skladišta, transportna sredstva i komunikaciju [30]. U oblikovanju logističkih sustava ergonomija je jedan od osnovnih principa. Ergonomski aspekt logističkih usluga odnosi se na sve aktivnosti koje doprinose većoj učinkovitosti aktivnosti skladištenja i transporta toka materijala i proizvoda od točke njegovog podrijetla do točke njegove predaje krajnjem

korisniku. Ergonomski aspekt informacijskih sustava odnosi se na tehnologiju i alate koji podržavaju te sustave. Vezan je uz omogućavanje jednostavnog korištenja računalnog sustava, bez kojeg ne može funkcionirati niti jedan informacijski sustav. Ergonomski aspekt infrastrukture obuhvaća omogućavanje oblikovanja radnih procesa po mjeri čovjeka, logističke procese skladištenja, logističke procese komisioniranja i dr.

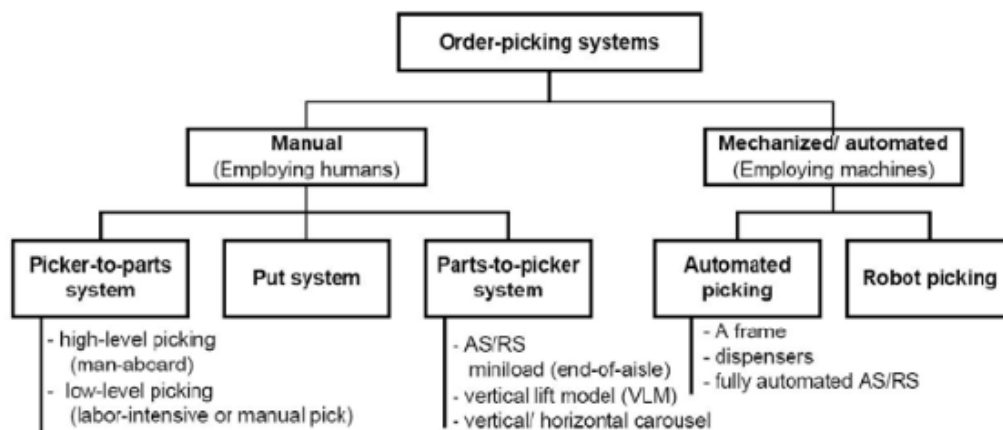
Logistika se može podijeliti na: poslovnu i tehničku logistiku. Poslovna logistika se bavi upravljanjem svim resursima i njihovim tokovima u procesu stvaranja nove vrijednosti, pri čemu dominiraju ekonomsko-gospodarski problemi. Kod ove logistike glavni objekt su poslovni procesi, a cilj je smanjenje troškova u funkciji povećanja profita. Zahvaljujući primjeni logističkih načela poduzeća mogu smanjiti troškove, odnosno povećati profit. Tehnička logistika podrazumijeva rješenje tehnike i tehnologije kretanja i mirovanja materijala (i informacija) u procesima proizvodnje ili u procesima uslužnih djelatnosti. Težište sadržaja i ciljeva tehničke logistike na onim procesima koji se temelje na stvaranju nove vrijednosti, u kojima je tok materijala temeljni tok [29]. S obzirom na funkciju, osnovna podjela logistike je na logistiku nabave, logistiku transporta i logistiku materijala. No, uz ove osnovne funkcije, može se govoriti i o logistici skladištenja, logistici komisioniranja, logistici pakiranja, logistici otpada i dr.

### **2.2.2. Logistički procesi komisioniranja**

Ako se uzme u obzir da je logistika proces planiranja i učinkovitog i djelotvornog upravljanja protokom i skladištenjem robe od točke proizvodnje do točke potrošnje kako bi se ispunili zahtjevi kupaca, onda je proces izuzimanja robe ili komisioniranja (engl. *Order-picking*) koji se odvija u skladištu sastavni dio logistike [31]. To je proces kojim se izuzima roba iz skladišnih lokacija temeljem narudžbe ili zahtjeva korisnika. Imajući na umu aktivnosti koje se odvijaju u skladištu, a koje se grupiraju u četiri skupine: prikupljanje odnosno prijam, odlaganje odnosno skladištenje, komisioniranje i izdavanje materijala, onda se komisioniranje može promatrati kao jedan od podsustava skladišnog sustava, a proces komisioniranja jednim od podprocesa skladišnog procesa [32].

Skladišta imaju ključnu ulogu u logističkim sustavima pružajući željenu razinu usluga korisnicima u kombinaciji s ostalim logističkim aktivnostima. U suvremenom poslovanju skladišta nisu mjesta gdje se roba samo odlaže, već se ona koriste i kao distributivni centri, pretovarna mjesta, *hubove* i sl., a cilj je robu koja se u njima smješta što prije otpremiti. Naime, držanje robe na skladištu predstavlja trošak za poduzeće. Roba na skladištu ne dobiva dodanu

vrijednost ako se na tom mjestu ne pakira, prepakira, deklarira i sl. Zbog toga se i dizajn skladišta značajno promijenio u proteklom razdoblju, a naglasak se stavlja na obavljanje aktivnosti u skladištu uz što veću efikasnost. Komisioni putovi ne prilagođavaju se robi, već se roba slaže kako bi se najefikasnije komisionirala. Ključan postaje manipulativan prostor, a doticaj s robom treba biti što manji (maksimalno 3-5 puta). Manipulativan prostor određuje brzinu izdavanja robe, pa se njemu daje poseban značaj u dizajniranju skladišta. Povećanjem manipulativnog prostora povećava se brzina komisioniranja i povećava protok robe u skladištu. Za komisioniranje se može reći da predstavlja jedan od najvažnijih procesa u pripremi proizvoda, jer je fokus na procesu u kojem se roba prikuplja izdvajanjem iz veće jedinice. U primjeni su ručni i automatizirani sustavi komisioniranja [Slika 5].



Slika 5. Sustav komisioniranja [33]

U literaturi se nailazi na različite kriterije klasifikacije komisioniranja, koji se mogu svrstati u okviru četiri glavne odluke [34]: tko preuzima robu (ljudi/strojevi), tko se kreće u području komisioniranja (komisionari/roba), koriste li se transporter i za povezivanje svake zone komisioniranja i koja se politika komisioniranja primjenjuje (izuzimanje po narudžbi ili prema artiklu). S obzirom na kretanje robe/komisionara, u praksi se primjenjuju dvije metode komisioniranja [32]: metoda “čovjek robi” (engl. *picker-to-part*) i metoda “roba čovjeku” (engl. *part-to-picker*). Kod prve metode “čovjek robi”, komisionar hoda ili se vozi u prolazima između regala kako bi izuzeo željeni artikl s polica ili paleta. Ova metoda se naziva i metoda “u prolazima” (engl. *in-the-aisle*). U okviru ove metode identificirane su četiri različite mogućnosti komisioniranja ovisno o razini automatizacije: ručni sustav komisioniranja, komisioniranje bez papira, komisioniranje potpomognuto automatizirano vođenim vozilima (engl. *Automated guided vehicles*, skr. AGV) i autonomnim mobilnim robotima (engl. *Autonomous mobile robots*, skr. AMR), te robotsko izuzimanje i transport [39]. Kod druge

metode, “roba čovjeku” proizvod se kreće prema komisionaru sa skladišnih lokacija koristeći se automatiziranim rješenjima, kao što su visokoregalna automatiziranja skladišta (engl. *automated storage retrieval system*, skr. AS/RS), moduli za vertikalno podizanje (VLM), vertikalni i horizontalni okretni regali i dr. Mjesto izuzimanja je na kraju prolaza, pa se ova metoda naziva i “na kraju prolaza” (engl. *eng-of-aisle*).

Unatoč značajnom tehnološkom napretku automatiziranih skladišnih sustava, većina poduzeća se još uvijek oslanja na *ručno komisioniranje*. Prema procjenama oko 80 % komisioniranja u skladištu upravlja se ručno, a dominantan tip komisioniranja u praksi predstavljaju skladišta “čovjek robi”. Kod ovog sustava komisioniranja sve elemente komisioniranja (postavljanje, kretanje, pretraživanje i izuzeće) izvodi komisionar, što može utjecati na njegove fizičke, mentalne, percepcijske i psihosocijalne aspekte. Proizvodi koji se ručno izuzimaju različitih su veličina, od malih do velikih. No, veliki proizvodi se komisioniraju uz pomoć viličara. Viljuškar ne samo da pomaže komisionaru u izuzimanju velikih proizvoda i paleta, već mu pomažu pri transportu do željenog mjesta. Smanjuje fizički napor vozača i povećava učinkovitost procesa komisioniranja. Suvremeni viljuškari za komisioniranje dizajnirani su kako bi zadovoljiti svestranim ergonomskim uvjetima rada, što uključuje platforme s amortizacijom vibracija, intuitivno postavljanje upravljačke ploče, nisku ulaznu visinu i dovoljno prostora za terminale i montažu nosača [Slika 6].



**Slika 6. Viljuškar za komisioniranje [35]**

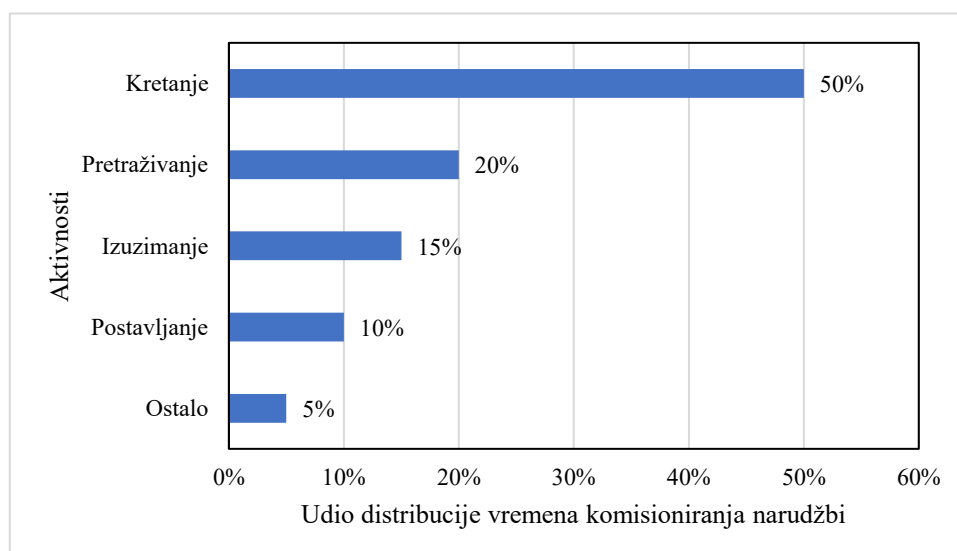
Ručni sustavi komisioniranja su fleksibilniji od automatiziranih pristupa, što je posebno važno u slučaju heterogenih i promjenjivih portfelja proizvoda, kao što je trenutni trend sa smanjenim životnim ciklusom i povećanim naporima za diferencijaciju proizvoda u industriji. Međutim,

visoka fleksibilnost koja dolazi uz zapošljavanje ljudskih operatera u komisioniranju dovodi do visokih troškova rada, što komisioniranje čini troškovno i vremenski intenzivnim procesom koji često čini oko 70 % vremena i 60 % troškova ukupnih operativnih troškova skladišta [35]. Kod ručnog komisioniranja postoji rizik od pogrešaka (obično se nazivaju pogreške izuzimanja, s obzirom da komisionari mogu odabrati pogrešku narudžbu ili netočan broj stavki (predmeta). Pogreške pri komisioniranju mogu uzorkovati kašnjenje isporuke ili financijske gubitke i negativno utjecati na zadovoljstvo korisnika [36]. Čovjek u sustavu, dakle, ima ključnu ulogu u izvedbi komisioniranja. Zbog složenosti i visokih troškova ovaj dio logistike je veoma zahtjevan, pa neke faze komisioniranja kao što je lokacija proizvoda u skladištu trebaju biti strateški planirane i pripremljene. Smanjenje vremena komisioniranja odnosno puta komisioniranja direktno je povezano uz niže troškove i ergonomičniji rad komisionara.

Elementi ljudskog rada u procesu komisioniranja uključuju [35]:

1. kretanje do, od i između lokacija izuzimanja,
2. izvlačenje predmeta iz skladišnih mjesta,
3. dohvat i zakretanje za pristup mjestima izuzimanja,
4. dokumentiranje transakcija komisioniranja,
5. razvrstavanje artikala u narudžbama,
6. pakiranje predmeta,
7. pretraživanje lokacija za izuzimanje.

Tipična distribucija vremena komisioniranja navedenih aktivnosti vidljiva je na [Slika 7].



**Slika 7. Distribucija vremena komisioniranja po aktivnostima [37]**

Kako je iz slike vidljivo, kretanje čini oko 50 % vremena koje se utroši na komisioniranje. Zbog toga se u literaturi ovoj komponenti komisioniranja pridaje veća pozornost, a u svrhu smanjenja vremena komisioniranja.

*Komisioniranje bez papira* je nastalo evolucijom ručnog komisioniranja gdje se koriste uređaji poput ručnog barkoda, RFID ručnih uređaja, komisioniranje svjetlom (engl. *pick to light*), komisioniranje glasom (engl. *pick to voice*) i dr. Ovi uređaji uglavnom prikupljaju podatke o proizvodu koji je potrebno izuzeti i usmjeravaju komisionara u potrazi za pravom skladišnom lokacijom. Takvim rješenjima se mogu smanjiti pogreške komisioniranja i poboljšati izvedba komisioniranja. Dakle, djeluju u smjeru poboljšanja percepcije komisionara. Osim toga, zadaci postavljanja i pretraživanja mogu biti automatizirani, jer rješenje vodi komisionara ka odabiru željenog proizvoda iz skladišta, čime se smanjuju zadaci za pripremu otpremne liste i pretraživanje proizvoda. No, aktivnosti poput kretanja i izuzimanja i dalje su ručni. Komisioniranje bez papira može se primijeniti na bilo koji proizvod komisioniranja, bilo kojeg oblika, od malih do velikih. No, komisioniranje svjetlom i komisioniranje glasom uglavnom se koristi kod komisioniranja malih i srednje velikih proizvoda sa regala.

*Komisioniranje potpomognuto AGV/AMR* je proces ručnog komisioniranja koje je potpomognuto automatizirano vođenim vozilima i autonomnim mobilnim robotima, čime se smanjuje neproduktivno kretanje [38]. AGV/AMR prate komisionara do željene skladišne lokacije i nakon što komisionar stavi stvari na AGV/AMR i kompletira narudžbu, vraća se na mjesto prikupljanja, a komisionar ostaje u skladišnom području čekajući sljedeći AGV/AMR s komisijskom listom. Na ovaj način, komisionar nema potrebe vraćati se na mjesto prikupljanja. U komisijskim zadacima, kretanje je automatizirano, čime se smanjuje fizički umor komisionara zbog kontinuiranog kretanja između skladišnih područja i mjesta prikupljanja. No, pretraživanje i preuzimanje proizvoda iz skladišta obavlja komisionar ručno. AGV/AMR se najčešće koristi za prijevoz teških i glomaznih predmeta koje komisionari ne mogu nositi. No, može se koristiti i za prijevoz malih i srednje velikih predmeta te se uglavnom koristi kao podrška komisionarima u skladištima s mješovitim policama [39].

Novi način komisioniranja “čovjek robi” je izuzimanje i prijevoz robotom, u kojem robot autonomno kreira listu komisioniranja i pretraživanja za proizvode koje treba komisionirati i izuzima željene proizvode te ih, konačno, proizvode transportira do mjesta prikupljanja. Svi zadaci komisioniranja su, pri tome, automatizirani, od postavljanja do izuzimanje proizvoda sa željenog mjesta bez ljudske pogreške. S obzirom da je riječ o relativno novom tehnološkom

rješenju, robotska ruka ne može još dohvatiti sve proizvode, što znači da je potreban i ručni rad. U takvom, hibridnom sustavu u kojem su angažirani ljudi i roboti, njegovim korištenjem može se poboljšati svi aspekti ljudskog faktora, ako se pri davanju zadataka uzmu u obzir ograničenja ljudi, kao i robota. Razine automatizacije i aktivnosti komisioniranja prikazane su u [Tablica 1].

**Tablica 1. Razine automatizacije i aktivnosti komisioniranja za metodu komisioniranja “čovjek-roba” [39]**

Aktivnost komisioniranja	Ručno	Komisioniranje bez papira	AGV potpomognuto komisioniranje	Robotsko izuzimanje i transport
Postavljanje	R	A/R	A/R	A
Kretanje	R	R	A	A
Pretraživanje	R	A/R	R	A
Izuzimanje	R	R	R	A

Cilj je težiti ka optimalnom komisioniranju kod kojeg će logistički troškovi biti svedeni na najmanju moguću razinu uz istovremenu kvalitetu obavljenog zadatka i zadovoljstvo korisnika.

### 2.3. Rizici od mišićno-koštanih poremećaja

Već je Bernardino Ramazzini (1633.-1714.) sustavno izučavajući odnos rada i ozljeda došao do spoznaja o nastajanju pojedinih kliničkih slika uslijed različitih čimbenika, prvenstveno poremećaja mišićno-koštanog sustava povezanog s radom (engl. *Work-related Musculoskeletal Disorders*, skr. WMSD). Poremećaji mišićno-koštanog sustava povezani s radom su skupina bolnih poremećaja mišića, tetiva i živaca. Primjeri takvih poremećaja su: sindrom karpalnog tunela, sindrom napetosti vrata i dr. Opasnosti i rizici u radnom okruženju koji mogu dovesti do takvih poremećaja su različiti, a najčešće se svrstavaju u četiri glavne vrste fizičkih opterećenja [24]:

- težak rad (dizanje teških tereta, nošenje teških tereta, guranje tereta, povlačenje tereta i dr.)
- rad koji se ponavlja,
- statički rad,
- sjedilački rad.

Poremećaji mišićno-koštanog sustava nastaju pokretima ruku i šaka kao što su savijanje,





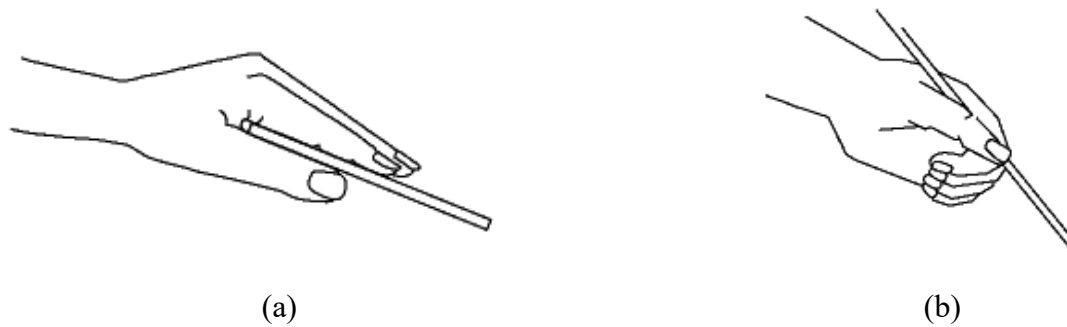
Drugi aspekt koji doprinosi koštano-mišićnim poremećajima je držanje vrata i ramena u fiksnom položaju. Za izvođenje bilo kojeg kontroliranog pokreta rukom, mišići ramena i vrata skupljaju se i ostaju kontrahirani onoliko dugo koliko zadatak zahtijeva. Skupljeni mišići stišću krvne žile, što ograničava protok krvi sve do mišića šake koje rade. No, krv je tu najpotrebnija zbog intenzivnog mišićnog napora. Posljedice se manifestiraju u prevelikom umoru mišića vrata odnosno ramena. Istovremeno, smanjena opskrba krvlju ostatka ruke ubrzava umor u mišićima koji su u pokretu, što ih čini sklonijim ozljedama.

Ponavljajući pokreti posebno su opasni kada zahvaćaju iste zglobove i mišićne skupine iznova i iznova, i kada se isti pokreti prečesto, prebrzo i predugo ponavljaju. Zadaci koji zahtijevaju ponavljajuće pokrete uvijek uključuju druge čimbenike rizika za mišićno-koštane poremećaje kao što su fiksni položaj tijela i sila. Kako bi proizveo određenu silu pri obavljanju određenog zadatka, mora držati rame i vrat u fiksnom položaju.

Rad koji uključuje ponavljajuće pokrete vrlo je zamoran jer se radnik ne može potpuno oporaviti u kratkim vremenskim intervalima između pokreta. U konačnici, radniku je potreban veći napor za izvođenje istih ponavljajućih pokreta. Nastavak radne aktivnosti, unatoč umoru, potencijalni je rizik i opasnost od ozljeda. Tempo rada određuje količinu raspoloživog vremena za odmor i oporavak tijela između ciklusa određenog zadatka. Što je tempo brži, to je manje dostupnog vremena za oporavak te je veći rizik od mišićno-koštanih poremećaja.

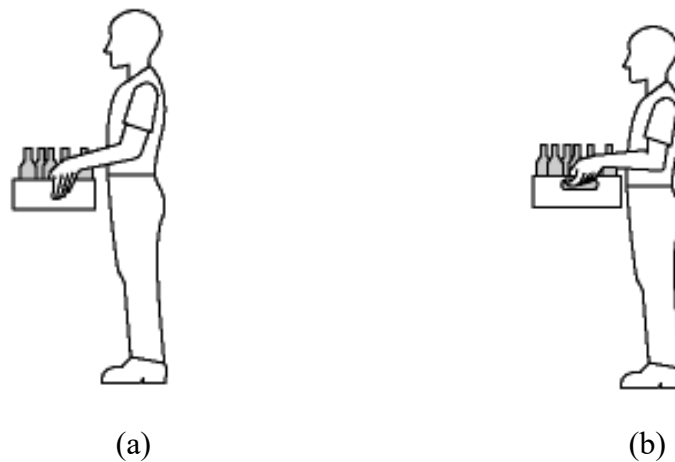
Indirektni čimbenik mišićnog-koštanih poremećaja je i stres. Radnik koji nema kontrolu nad vremenom i brzinom rada zbog vanjskih čimbenika kao što je brzina montažne trake ili sustava kvota, pod povećanom je razinom stresa. S višom razinom stresa dolazi i do napetosti mišića što uzrokuje umor i ponovno povećava rizik od mišićno-koštanih poremećaja. Vanjska kontrola tempa rada uskraćuje radniku fleksibilnost samostalnog određenja brzine rada. U prirodi je ljudi raditi različitim brzinama u različito doba dana.

Za podizanje predmeta, korištenje alata ili pomicanje predmeta čovjekovo se tijelo koristi odgovarajućom silom. Veća sila zahtijeva veći mišićni napor, što posljedično vodi i ka potrebi dužeg vremena oporavka između zadataka. S obzirom da u ponavljajućem radu, u pravilu, nema dovoljno vremena za oporavak, pokreti u kojima se koristi veća sila brže dovode do umora zaposlenika. Djelovanje sile u određenim položajima posebno je rizično za mišićno-koštane poremećaje, primjerice stiskanje [Slika 9 (a)], bočno stezanje [Slika 9 (b)], pritisak prstima, hvatanje predmeta i dr.



**Slika 9. Stiskanje prstima (a) i bočno stezanje (b) [40]**

Sila koja se koristi za obavljanje posla ovisi o velikom broju čimbenika, kao što su težina predmeta i njihov položaj u odnosu na tijelo. Tako je, primjerice, za podizanje i nošenje kutije s rukama iznad ispruženim i odmaknutim od tijela [Slika 10 (a)] potrebno više sile nego za nošenje kutije s rukama uz tijelo [Slika 10 (b)] .



**Slika 10. Nošenje kutije s položajem ruku (a) ispred tijela (b) uz tijelo [40]**

Oblik alata koji se koristi također ima važnu ulogu u upotrebi sile za obavljanje nekog zadatka. Alati koji ne dopuštaju najbolji položaj zapešća, lakta i ramena značajno povećavaju potrebnu silu, kao i istrošeni i neodržavani alati. Primjerice, tupe škare će zahtijevati veću radnu silu od naoštrenih. Rad koji uključuje snažne pokrete dovodi do umora, a uz nedostatak vremena za potpuni oporavak dolazi do povećanja napora. Nastavak radnih aktivnosti, unatoč umoru radnika, potencijalno dovodi do ozljeda.

Izloženost radnika stalnim vibracijama ima negativan učinak na tetive, mišiće, zglobove i živce. Radnici mogu biti izloženi ili vibracijama cijelog tijela (primjerice, radnici na bageru) ili lokaliziranim vibracijama (uslijed korištenja električnih alata, primjerice). Negativni učinci vibracija uglavnom se ogledaju u rezonanciji ljudskog tijela ili njegovih dijelova. Utjecaj može izazvati promjene funkcija živaca, krvožilnog sustava, mišićno-koštanog sustava, kostiju,

zglobova, tetiva i hrskavica. Učinak vibracija ogleda se u povećanju fizičkog i mentalnog umora zaposlenika, što dovodi, primjerice, do pojave ozljeda [5].

Opasnosti i rizike povezane uz mišićno-koštane poremećaje na radu najbolje je minimizirati i potpuno otkloniti na samo izvoru. Glavne napore u zaštiti radnika i njihovog zdravlja potrebno je usmjeriti na izbjegavanje ponavljajućih obrazaca rada kroz oblikovanje posla koji može uključiti mehanizaciju, rotaciju poslova, proširenje posla i obogaćivanje ili timski rad. U slučaju kada nije moguće ukloniti ponavljajuće obrasce rada, razmatraju se strategije prevencije koje uključuju raspored radnog mjesta, dizajn alata i opreme te radne prakse.

#### **2.4. Ergonomija i logistika u ručnom rukovanju materijalom**

Primjenom ergonomije u logistici nastoji se povećati efikasnost rada, pri čemu se u obzir uzimaju ograničenja osobe koja obavlja rad i izvršava radni zadatak, kao i ograničenja okoline u kojoj rad obavlja. Navedeno ukazuje na dvije osnovne funkcije ergonomije u logistici. Prva funkcija je pozitivan utjecaj na zdravstveno stanje, a u slučaju ovog rada na smanjenje opasnosti i rizika povezanih uz mišićno-koštane poremećaje na radu. Ova funkcija se povezuje s drugom funkcijom ergonomije u logistici, a odnosi se na povećanje efikasnosti rada u sustavu rukovanja materijalom. Skladišta su logistički sustavi, a rukovanje materijalom predstavlja važnu operaciju u skladištu za prebacivanje robe u i iz skladišta kao i za premještanje robe unutar samog skladišta na različite lokacije. Pri tome je potrebno istaknuti kako je u literaturi nailazi na različita pojašnjenja rukovanja materijalom, pri čemu neki autori, smatraju da se rukovanje materijalom odnosi samo na opremu koja se koristi za premještanje robe u skladištu (viljuškari i sl.), drugi pod tim pojmom podrazumijevaju ručno manipuliranje robom, no u biti i razvijena mehanička oprema i ručni rad, kao i njihova kombinacija mogu izvoditi operacije rukovanja materijalom. Pojednostavljeno, rukovanje materijalom u skladištu može se shvatiti kao efikasno premještanje materijala unutar skladišta i između skladišta i prijevoznog sredstva. Ključni čimbenik pri tome je efikasnost rukovanja materijalom, bilo da se pri tome premještanje materijala obavlja ručno, mehanički ili istovremeno kombinacijom i ručnog i mehaničkog.

Uvid u rukovanje materijalom može se dati pregledom njegovih osnovnih dimenzija. Prvo, imajući na umu da rukovanje materijalom uključuje premještanje materijala u i izvan skladišta, kao i unutar skladišta na različite lokacije, može se promatrati kao sredstvo koje omogućava da se premještanje materijala obavi efikasnije. Druga dimenzija rukovanja materijalom je vrijeme koje je određeno uporabom materijala. Materijal treba biti spreman za korištenje u

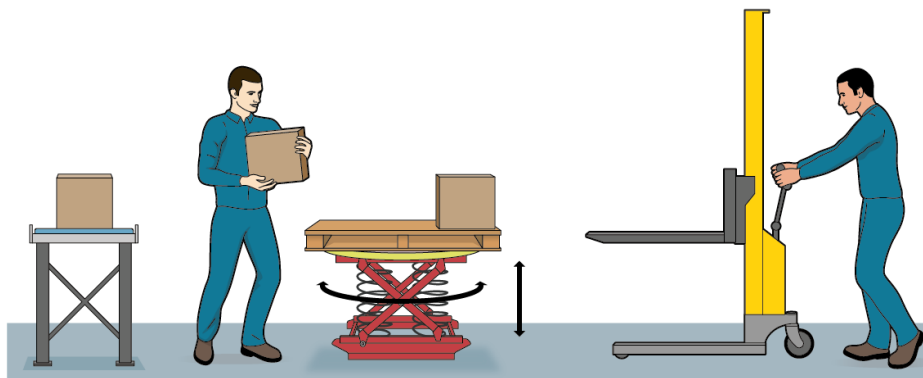
određenom vremenu za proces proizvodnje, ili za narudžbu kupcu i dr. Treća dimenzija rukovanja materijalom je količina. Rukovanje količinom materijala u skladištu ovisi o količini robe potrebne za proizvodnju (sirovine, poluproizvodi), narudžbi kupaca i dr. Četvrta dimenzija rukovanja materijalom je prostor. Skladište treba biti dizajnirano tako da se što efikasnije iskoristi prostor za skladištenje i rukovanje materijalom. Navedene četiri dimenzije rukovanja materijalom u međusobnoj su ovisnosti.

U rješavanju problema toka materijala i rukovanja materijalom koriste se egzaktne, teorijske spoznaje, ali se često koriste i empirijske, iskustvene spoznaje.

Kao pomoć u oblikovanju sustava rukovanja materijalom razvijene su brojne smjernice, među kojima su i principi rukovanja materijalom. *College-Industry of Material Handling Education* (skr. CICMHE) već je 1966. godine definirao 20 principa rukovanja materijalom koji su tijekom vremena revidirani s ciljem obuhvaćanja promjena koje su se dogodile na tom području. Danas je prihvaćeno 10 najznačajnijih principa [41], među kojima je ergonomski princip (engl. *Ergonomic principle*). Prema ovom principu ljudske sposobnosti i ograničenja trebaju se prepoznati te ih je potrebno poštivati u oblikovanju zadataka i opreme za rukovanje materijalom kako bi se osigurao siguran i učinkovit rad. To je u skladu s definicijom ergonomije prema kojoj je ona znanost koja nastoji prilagoditi rad ili radne uvjete kako bi odgovarali sposobnostima radnika. Ključne točke ergonomskeg principa su: odabir opreme koja eliminira ponavljajući i naporan ručni rad i koja je u učinkovitoj interakciji s korisnicima. Ergonomski princip obuhvaća i fizičke i mentalne zadatke. Radno mjesto za rukovanje materijalom i oprema koja se koristi za pomoć u obavljanju radnih zadataka trebaju biti tako projektirani da budu sigurni za ljude.

U logističkim operacijama, kako je već istaknuto, komisioniranje ima važnu ulogu. Iako je automatizacija komisioniranja moguća, ručno komisioniranje i dalje ima široku primjenu. Obrazloženje za to često se nalazi u većoj fleksibilnosti ljudi u odnosu na strojeve koji u neočekivano promjenjivim situacijama izuzimanja robe mogu brže reagirati od strojeva, posebice kada promjene zahtijevaju logističko rasuđivanje, ono što strojevi jednostavno još ne mogu. Zbog toga je od iznimne važnosti voditi računa o primjeni ergonomije u ručnom komisioniranju. Prema Sandersu i McCormicku (1993.) istraživanje ljudskih čimbenika i ergonomije ima dva glavna cilja [43]. Prvi se odnosi na efektivnost i efikasnost obavljanja radnih zadataka i drugih aktivnosti. To podrazumijeva povećanje učinkovitosti korištenja, smanjenje pogreške i povećanje produktivnosti. Drugi cilj je poboljšati određene poželjne vrijednosti ljudi, uključujući veću sigurnost, smanjenje umora i stresa, povećanje udobnosti,

veće prihvaćanje korisnika, veće zadovoljstvo poslom i poboljšanu kvalitetu života. Imajući na umu značaj koji ergonomija ima u logističkim procesima, mnoga poduzeća kontinuirano rade na smanjenju ergonomskih rizika povezanih s poslovima (uključujući i komisioniranje) koji se obavljaju ručno i koji se ponavljaju. Pri tome ergonomski alati sve više dobivaju na važnosti. Primjer takvog alata je ergonomski alat za ručno paletiranje i utovar paleta (PaletPal) koji drži paletu i proizvode, kutije ili predmete na ugodnoj razini pri utovaru i slaganju. Razina paleta se automatski podešava nakon što ih radnik složi na paletu [Slika 11]. PaletPal zadržava vrh paletiziranog tereta u visini struka radnika putem opružnog sustava. Rotirajuća ploča omogućava rotiranje palete što eliminira potrebu hodanja radnika oko palete. Ovakav alat smanjuje potrebu radnika za istežanjem i savijanjem kako bi složio predmete na paletu, a potom i umor tijela i rizik od ozljeda.



Slika 11. PaletPal [42]

Razvoj ergonomskih alata za komisioniranje je razumljiv slijed mišićno-koštanih poremećaja kod radnika na komisioniranju čije aktivnosti uključuju ponavljajuće zadatke, a posljedično uključuju izostanak s posla i troškove liječenja ozljeda nastalih takvim aktivnostima. Visoka razina sudjelovanja ručnog rada u komisioniranju rezultirala je značajnim istraživanjima u tom području. Istraživanje koje su proveli Grosse et al. pri planiranju aktivnosti komisioniranja i povećanja učinkovitosti tih sustava u samo središte stavljaju karakteristike radnika, odnosno ljudske faktore te predlažu modele planiranja aktivnosti komisioniranja kako bi se poboljšala učinkovitost sustava komisioniranja i dobrobiti radnika [43]. Unutar radova koji istražuju ergonomiju komisioniranja prisutan je određeni broj radova s primjenom metode Garg, Chaffin i Herrin koja se temelji na potrošnji kisika ili metaboličkoj potrošnji, a koja je predmet ovog rada. Među njima je i rad Calzavara et al. u kojoj se ova metoda na odgovarajući način primjenjuje u sustavima komisioniranja po principu čovjek-robi, te je ukratko prikazana u poglavlju 3.2.

### 3. PREGLED METODA ZA ERGONOMSKU PROCJENU

Jedan od zadataka ergonomije je prosudba težine rada, pri čemu je potrebno utvrditi kritična mjesta i granična opterećenja kod kojih dolazi do oštećenja zdravlja i ozljeda [44]. Zajedno s ergonomijom razvijale su se metode koje omogućuju procjenu ergonometričnosti ručnog rukovanja teretom, a temelje se na biomehaničkom, psihološkom ili fizičkom kriteriju. Biomehanička mjerenja ljudskog tijela daju objektivnu ljestvicu na kojoj se mogu uspoređivati različite vrste aktivnosti s obzirom na fizički napor i umor. Za ova mjerenja mogu se koristiti dva pristupa: energetski ili fiziološki pristup [13]. Proučavanje težine ljudskog rada s energetskog pristupa temelji se na utvrđivanju fizikalnih čimbenika kao što su potrošnja energije, dok se kod fiziološkog pristupa ono provodi mjerenjem mehaničkog rada ljudskog tijela. U primjeni je veći broj metoda. One omogućuju kontinuirano praćenje opterećenja radnika kod ručne manipulacije u logističkim sustavima te primjenu ergonometričnih načela pri oblikovanju radnog mjesta. Uglavnom analiziraju dizanje odnosno spuštanje, guranje odnosno povlačenje, repetitivne radnje i posture cijeloga ili jednog dijela tijela, s ciljem procjene rizika za mišićno-koštane poremećaje.

#### 3.1. Metode za procjenu ergonometričnosti podizanja tereta

Svaka čovjekova aktivnost povezana je uz određeno opterećenje i naprezanje. To je posebice izraženo pri ručnom rukovanju teretom koje je sastavni dio mnogih poslova. Ovdje je potrebno ukazati na termin “ručno prenošenje tereta” koji se definira kao prenošenje tereta koje se obavlja isključivo snagom ljudskog tijela [45]. Prenosanje tereta podrazumijeva guranje, vučenje ili podizanje tereta ljudskom snagom i druge slične radnje, a može uzrokovati širok raspon akutnih i kroničnih ozljeda i bolesti. Među tipičnim ozljedama identificirano je [45]:

- podizanje preteških ili preglomaznih predmeta koje rezultira ozljedom leđa, kao i loše držane i stav prilikom podizanja predmeta,
- pad predmeta rezultira ozljedom stopala,
- podizanje predmeta koji su pretopli ili koji imaju jako oštre rubove uzrokuje ozljede ruku.

Posljedice koje uzrokuju nepravilno podizanje tereta ukazuju na potrebu mjerenja opterećenja i naprezanja radnika. Metode za procjenu ergonometričnosti podizanja tereta razvijene su u svrhu pronalazanja objektivnog kvantificiranja aspekata povezanih s podizanjem tereta te preciznog predviđanja visine rizika i poduzimanja određenih intervencija. U primjeni su brojne metode koje analiziraju podizanje tereta i uzimaju u obzir različite ulazne parametre, te daju različite izlazne podatke i različito ih interpretiraju. Neke od tih metoda su: *Rapid Upper Limb*

*Assessment (RULA), Rapid Entire Body Assessment (REBA), Occupational Repetitive Action (OCRA), Ovako Working posture Assessment System (OWAS), National Institute of Occupational Safety and Health lifting equation (NIOSH), American Conference of Governmental Industrial Hygienists lifting threshold limit values (ACGIH TLV), The Liberty Mutual "Snook" Lifting Tables (Snook), 3D static strength prediction program (3DSSPP), WISHA Lifting Calculator [46]. Sve su metode ograničene određenim parametrima (sila, temperatura okoline, način podizanja tereta, podizanje neobičnih i nestabilnih tereta i dr.). Ovim metodama može se dodati i *The Lifting Fatigue Failure Tool (LiFFT)* koja omogućava procjenu "dnevne doze" kumulativnog opterećenja donjeg dijela leđa povezanog sa zadatkom podizanja tereta sa samo tri varijable: težina tereta, maksimalna vodoravna udaljenost od kralježnice do tereta i broj ponavljanja za zadatke izvršene tijekom radnog dana [47]*

### **3.1.1. RULA metoda**

RULA (engl. *Rapid Upper Limb Assessment*) metoda razvijena je za brzu procjenu izloženosti radnika ergonomskim čimbenicima rizika povezanim s mišićno-koštanih poremećajima cijelog tijela. Razvili su je McAtamney L. i Corlett E.N. 1993. godine. Alat za ergonomsku procjenu RULA razmatra zahtjeve biomehaničkog i posturalnog opterećenja radnih zadataka na vratu, trupu i gornjim ekstremitetima. Temelji se na subjektivnom anketiranju promatrača na pojedinom radnom mjestu. Uglavnom se koristi za ocjenu položaja tijela, pokreta i sila kod sjedećih radnih zadataka. Omogućava mjerenje rizika od ozljede, usporedbu ergonomske situacije prije i poslije intervencije, procjenu produktivnosti i prikladnosti opreme, odnosno korištenog alata, te edukaciju radnika o opasnostima od ozljede, kako bi promijenili loše navike povezane uz obavljanje radnih zadataka. Kada se kod radnika uoči nepovoljan položaj koji uzrokuje mišićno-koštani poremećaj, vizualno se dokumentira, te se pokaže radniku i sugerira mu se na promjenu položaja kako ne bi došlo do ozljeda. Nedostaci ove metode su što ne uzima u obzir trajanje radnog zadatka, dostupno vrijeme oporavka radnika ili vibracije šaka-ruka.

RULA metoda se koristi tako što se ocjenjuje držanje tijela prema definiranim pravilima i tablicama. Radna lista je sastavljena od A i B strane na kojima se nalaze slikovni prikazi temeljem kojih se ocjenjuje položaj tijela. Na strani A nalazi se položaj ruku, ramena i ručnog zgloba [Slika 12], a na B strani položaj vrata, držanje trupa i položaj nogu. Na svakom slikovnom prikazu su ocjene upotrebe mišića i razina opterećenja te tablice kojima se



vrednuje svaki određeni položaj. Rezultati obje tablice križaju se u C tablicu iz koje se, potom, iščitava razina cjelokupne procjene RULA metodom.

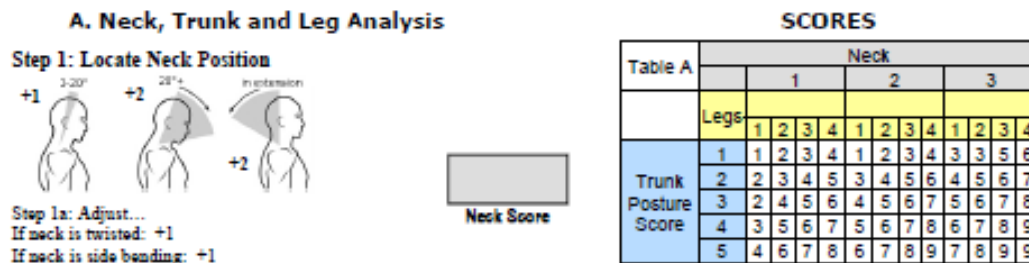
Ruka - nadlaktica						- ramena podignuta [+1] - nadlaktica ispružena [+1] - ruka naslonjena [-1]
	+1	+2	+2	+3	+4	dodatni položaji
Ruka - podlaktica						
	+1	+2	+2	+1		
Ruka - šaka						
	+1	+2	+3	+3	+1/ dodatni položaj	
Rotacija šake			Opterećenje ruke: - nema opterećenja (opterećenje manje od 20 N) [0] - malo opterećenje ( 20 N-100 N) [+1] - statičko opterećenje (20-100 N)/ponavljajući intervali (20-100 N) /isprekidano opterećenje (>100 N) [+2] - statičko opterećenje (1001 N)/ ponavljajući intervali (100 N) // - veliko opterećenje (> 100 N [+3]			
	+1	+2				
Rad mišića ruke: - položaj ruke je većinom statičan (trajanje duže od 1 min) [+1] - rad ruku je ponavljajući [+1]						

Slika 12. Prikaz radnih položaja ruke prema RULA metodi [13]

### 3.1.2. REBA metoda

REBA metodu (engl. *Rapid Entire Body Assessment*) razvili su 2000. godine Sue Hignett i Lynn Mcatamney, za posturalnu analizu, kako bi procijenili rizik koji nastaje kao posljedica nepredvidivih položaja tijela tijekom rada u zdravstvu i drugim uslužnim djelatnostima [48]. Metoda se koristi kako bi se dobili podaci o položaju tijela, utjecaju radne okoline i samog rada na tijelo radnika, vrstama pokreta te kako položaj tijela kod nošenja i različitih zahvata koje radnik izvodi na predmetima ili drugim ljudima (npr. pacijentima) utječe na radnikovo tijelo [13].

Princip primjene metode REBA je kombinacija RULA i NIOSH metoda iz kojih je REBA metoda nastala. Metoda REBA koristi tablice uz pomoć kojih se može identificirati 144 različitih položaja tijela kako bi se dobio rezultat procjene mišićno-koštanih oboljenja i rizika povezanih s ergonomskim dizajnom povezanim s radom [Slika 13].



Slika 13. Prikaz radnih položaja vrata prema REBA metodi [48]

REBA je metoda promatranja osjetljivosti tijela na mišićno-koštane poremećaje u različitim položajima tijela pri obavljanju radnih zadataka. Metoda dijeli tijelo na segmente tako da se može zabilježiti pojedinačno, u odnosu na ravninu kretanja. Provođi se u šest koraka [13]:

1. promatranje radnog zadatka,
2. odabir nepovoljnog radnog položaja za procjenu,
3. ocjenjivanje položaja,
4. obrada rezultata,
5. određivanje REBA ocjene,
6. utvrđivanje razine rizika i potrebe intervencije na radnom mjestu.

Pruža sustav bodovanja za mišićnu aktivnost uzrokovanu statičkim, dinamičkim, promjenjivim ili nestabilnim položajem. Rezultati dobiveni provedbom REBA metode daju prag intervencije s naznakom hitnog stanja.

### 3.1.3. OCRA metode

OCRA (engl. *The Occupational Repetitive Actions*) metoda koristi se za procjenu izloženosti gornjih ekstremiteta rizicima od ozljeda. OCRA indeks metoda i OCRA metoda kontrolne liste uzimaju u obzir: ponavljanje, silu, nezgodne položaje i pokrete, vrijeme odmora te mehaničke, okolišne, organizacijske i druge čimbenike. Postupak primjene OCRA metode sastoji se od sljedećih koraka:

1. utvrđivanje ponavljajućih zadataka koje karakteriziraju ciklusi sa značajnim trajanjem,
2. pronalaženje niza tehničkih radnji u određenom ciklusu svakog zadatka,
3. opisivanje i klasificiranje čimbenika rizika unutar svakog ciklusa,
4. zajednički prikaz podataka o ciklusima u svakom zadatku tijekom cijele radne smjene, uzimajući u obzir trajanje, redoslijed različitih zadataka i razdoblja oporavka,
5. kratka i strukturirana procjena čimbenika rizika za rad u cjelini.

OCRA indeks metoda je prva OCRA metoda, dok je OCRA lista za provjeru pojednostavljenje OCRA indeksa te se koristi za brzu procjenu. OCRA indeks se dobiva kao omjer ukupnog broja tehničkih radnji (odnosno faza rada) tijekom smjene i broja preporučenih tehničkih radnji u smjeni (1):

$$\text{OCRA indeks} = \frac{\text{ATA}}{\text{HTA}} \quad (1)$$

gdje je:

ATA – stvarne tehničke radnji po smjeni

HTA – preporučene tehničke radnje

Navedeno ukazuje da za dano vrijeme radnog ciklusa, trajanje smjene ima izravan linearan odnos s brojem uočenih radnji u smjeni i to se linearno odražava na ocjenu OCRA indeksa [49]. Ukupan broj tehničkih radnji provedenih u smjeni (ATA) može se izračunati organizacijskom analizom kao broj radnji po ciklusu ili broj radnji u minuti, pri čemu se posljednja mnogi za neto trajanje ponavljajućih analiziranih zadataka. Ukupan broj preporučenih tehničkih radnji unutar smjene (HTA) računa se pomoću sljedeće jednadžbe (2):

$$\text{HTA} = \sum_{j=1}^n [k_f (F_{Mj} \times P_{Mj} \times R_{eMj} \times A_{Mj}) \times t_j] \times (R_{CM} \times t_M) \quad (2)$$

gdje je:

n – broj ponavljajućih radnji tijekom smjene

j – ponavljajuća radnja

$k_f$  – frekvencijska konstanta za tehničke radnje u minuti (= 30)

$F_M$  – faktor sile za svaku ponavljajuću radnju

$P_M$  – faktor pozicije ili položaja za svaku ponavljajuću radnju

$R_{eM}$  – faktor ponavljanja za svaku ponavljajuću radnju

$A_M$  – dodatni faktor za svaku ponavljajuću radnju

$t$  – neto trajanje svake ponavljajuće radnje (min)

$R_{cM}$  – faktor oporavka

$t_M$  – faktor trajanja.

Kako bi se utvrdio ukupan broj preporučenih tehničkih radnji tijekom smjene (RTA) dane su sljedeće smjernice:

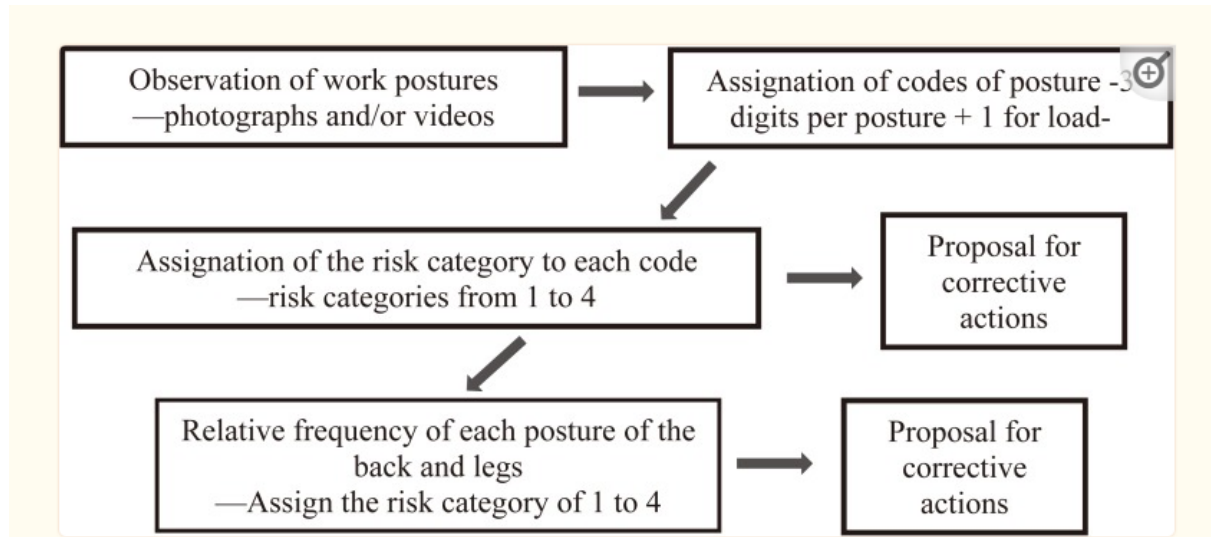
1. za svaku ponavljajuću radnju počinje se od  $k_f = 30$ ,
2. za svaku radnju, frekvencijska konstanta  $k_f$  mora se korigirati zbog prisutnosti i stupnja sljedećih čimbenika rizika: sila, držanje i dodatni čimbenici,
3. dobivena frekvencija za svaku pojedinu radnju množi se s brojem minuta svake ponavljajuće radnje,
4. zbrajanje dobivenih vrijednosti za različite zadatke,
5. dobivena vrijednost množi se faktorom za razdoblja oporavka,
6. posljednji faktor množenja uzima u obzir ukupno vrijeme provedeno u ponavljajućim zadacima,
7. dobivena vrijednost predstavlja ukupni broj preporučenih radnji (RTA) u radnoj smjeni.

#### **3.1.4. Metoda OWAS**

Metoda OWAS (engl. *Ovako Working posture Assessment System*) jedna je od metoda koja se koristi za procjenu radnog položaja, kako bi se radniku osigurala sigurnost i udobnost pri obavljanju radnog zadatka [50] te se može primijeniti u različitim područjima. Sustav procjene radnog položaja (OWAS) formuliran je u Finskoj, u tvrtki Ovako Oy 1973. godine, vodećem europskom proizvođaču čeličnih šipki i profila. Sustav je korišten za procjenu radnog opterećenja u procesu popravka peći za taljenje.

Prvobitno je kreiran identifikacijom 72 položaja utvrđenih fotografiranjem radnih položaja korištenih u različitim radnim područjima u tvrtki Ovako Oy. Cilj je bio identificirati učestalost i vrijeme provedeno u usvojenim položajima pri obavljanju određenog zadatka, proučiti i evaluirati situaciju te, na temelju istraživanja preporučiti korektivne radnje.

OWAS identificira najuobičajenija četiri položaja leđa kod radnika, tri položaja ruku, sedam položaja nogu i tri kategorije težine tereta s kojim se rukuje. Sve to podrazumijeva do 252 moguće kombinacije. Postupak primjene OWAS-a sastoji se od zapažanja radnih zadataka, kodificiranja položaja, dodjele kategorija rizika i predlaganja korektivnih radnji [Slika 14].

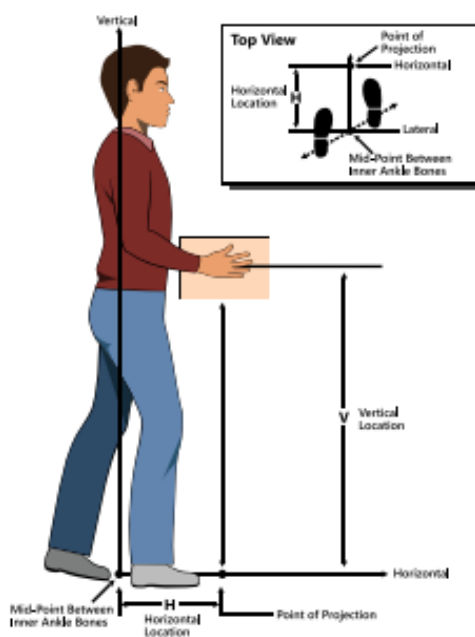


Slika 14. Dijagram toka procesa primjene OWAS metode [50]

### 3.1.5. Metoda NIOSH

Metoda NIOSH je općenito priznata i široko primjenjivana metoda u cijelom svijetu. Ovu metodu za određivanje rizika od ozljeda pri podizanju tereta razvio je 1981. godine američki Nacionalni institut za profesionalnu sigurnost i zdravlje (engl. *National Institute for Occupational Safety & Health*). Godine 1991. donosi revidiranu metodu kojom su otklonjeni nedostaci metode iz 1981. godine. Posljednja revizija bila je u rujnu 2021. godine. Jednadžba dizanja je alat za procjenu fizičkog naprezanja pri ručnom dizanju tereta s dvije ruke. Oblikovana je tako da zadovolji specifične kriterije vezane uz podizanje koji obuhvaćaju bimehaničke, fiziološke i psihofizičke uvjete rada. Metoda obuhvaća dvije jednadžbe: indeks preporučene granice težine (engl. *Recommended Weight limit*, skr. RWL) i indeks dizanja za specifične zadatke podizanja tereta (engl. *Lifting Indeks*, skr. LI).

RWL je definiran za određeni skup uvjeta zadatka koje bi gotovo svi zdravi radnici mogli izvesti tijekom značajnog vremenskog razdoblja (npr. do osam sati) bez povećanog rizika od razvoja boli u donjem dijelu leđa povezanog s dizanjem [Slika 15]. Pod zdravim radnicima podrazumijevaju se radnici koji nemaju štetne zdravstvene uvjete koji bi povećali njihov rizik od mišićno-koštanih ozljeda.



Slika 15. Varijable NIOSH jednadžbe [51]

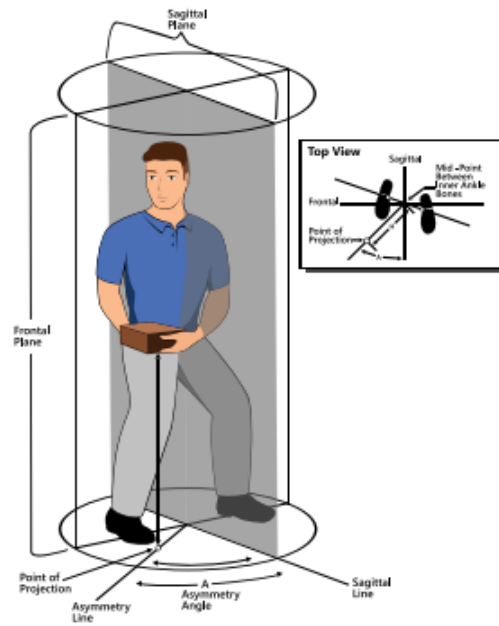
RWL je sastavljen od šest varijabli i prikazan jednadžbom (3) [51]:

$$RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM \quad (3)$$

gdje je:

- LC – konstantno opterećenje [23,13 kg]
- H – horizontalni položaj objekta u odnosu na tijelo
- V – vertikalni položaj objekta u odnosu na pod
- D – udaljenost objekta po vertikalnoj osi
- A – kut asimetrije ili uvijanje [Slika 15]
- F – učestalost i trajnost aktivnosti dizanja
- C – spoj ruku ili kvaliteta radnikova držanja objekta.

Detaljan opis pojedinačnih komponenti jednadžbe dan je na [Slika 15].



Slika 16. Prikaz asimetrije [51]

Indeks dizanja je pojam koji daje relevantnu procjenu razine fizičkog stresa povezanog s određenim zadatkom ručnog podizanja. Procjena razine fizičkog stresa definirana je odnosom težine podignutog tereta i preporučene granice težine. Indeks dizanja definiran je jednadžbom (4) [51]:

$$LI = \frac{\text{Težina podignutog tereta}}{\text{Preporučene granice težine}} = \frac{L}{RWL} \quad (4)$$

Varijable u jednadžbi RWL izračunavaju se na sljedeći način:

- Horizontalni multiplikator (engl. *Horizontal Multiplier*)

$$HM = \frac{25}{H} \quad (5)$$

gdje H označava horizontalni položaj odnosno udaljenost između tijela radnika i mjesta s kojeg treba podići teret [Slika 16]. Ako je H manji ili jednak 25 cm, tada je množitelj 1,0. HM se smanjuje s rastom vrijednosti H. Multiplikator za H se smanjuje za 0,4 kada je H = 63 cm. Ako je H veći od 63 cm, tada je HM = 0. Vrijednosti HM mogu se izračunati ili se mogu preuzeti iz [Tablica 2].

**Tablica 2. Vrijednosti horizontalnog multiplikatora (HM) [51]**

H cm	HM
≤ 25	1,00
28	0,89
30	0,83
32	0,78
34	0,74
36	0,69
38	0,66
40	0,63
42	0,60
44	0,57
46	0,54
48	0,52
50	0,50
52	0,48
54	0,46
56	0,45
58	0,43
60	0,42
53	0,40
>63	0,00

- Vertikalni multiplikator (engl. *Vertical Multiplier*)

$$VM=1 - (0,003 \times |V-75|) \quad (6)$$

gdje V označava vertikalni položaj (eng. *Vertical Location*), odnosno udaljenost objekta od poda. Vrijednost VM može se izračunati izravno ili odrediti na temelju podataka iz tablice 3.

**Tablica 3. Vrijednosti vertikalnog multiplikatora (VM) [51]**

V cm	VM
0	0,78
10	0,81
20	0,84
30	0,87
40	0,90
50	0,93
60	0,96
70	0,99
80	0,99
90	0,96
100	0,93
110	0,90
120	0,87
130	0,84
140	0,81
150	0,78
160	0,75
170	0,72
175	0,70
>175	0,00



Za određivanje VM koristi se apsolutna vrijednost ili odstupanje V od optimalne visine od 75 cm. Visina od 75 cm iznad razine poda smatra se “visinom zgloba” za radnike prosječne visine 165 cm. Kada je V 75 cm, VM je 1,00. Vrijednost VM linearno se smanjuje s povećanjem ili smanjenjem visine iz tog položaja. U razini poda, VM je 0,78, a na visini od 175 cm, VM je 0,7. Ako je V veći od 175 cm, tada je VM = 0.

- Multiplikator udaljenosti (engl. *Destince Multiplier*) (7)

$$DM = 0,82 + \left(\frac{4,5}{D}\right) \quad (7)$$

gdje D označava vertikalnu udaljenost pomaka ruku radnika između ishodišta i odredišta dizanja. Izračunava se oduzimanje vertikalne lokacije (V) na početku dizanja (ishodišta) od odgovarajuće lokacije (V) na odredištu dizanja odnosno završne točke dizanja (tj. D je jednako V na odredištu minus V na ishodištu). Pretpostavlja se da je varijabla (D) min. 25 cm, i da nije veća od 175 cm. Ako je na udaljenosti manjoj od 25 cm, onda je treba postaviti na minimalnu udaljenost od 25 cm. Vrijednosti multiplikatora udaljenosti prikazane su u [Tablica 4].

**Tablica 4. Vrijednosti multiplikatora udaljenosti (DM) [51]**

D cm	DM
≤25	1,00
40	0,93
55	0,90
70	0,88
85	0,87
100	0,87
115	0,86
130	0,86
145	0,85
160	0,85
175	0,85
>175	0,00

- Multiplikator asimetrije (engl. *Asymmetric Multiplier*) (8):

$$AM = 1 - (0,0032A) \quad (8)$$

gdje se asimetrija (A) odnosi na podizanje koje počinje ili završava izvan srednje saginalne ravnine [Slika 16]. Općenito se preporuča izbjegavanje asimetričnog podizanja, no ako to nije moguće, preporučena ograničenja težine predmeta koji se podiže su manja nego kod simetričnog podizanja. Asimetrični multiplikator je maksimalne vrijednosti 1,0, kada se teret podiže izravno ispred tijela. AM linearno opada kako raste kut asimetrije (A). Raspon vrijednosti je od 0,57 pri 135° asimetrije do vrijednosti od 1,0 pri 0° asimetrije (tj. simetrično

podizanje). Ako je  $A$  veći od  $135^\circ$ , tada je  $AM = 0$ , a opterećenje je nula.  $AM$  vrijednosti se mogu izračunati izravno ili odrediti uz pomoć [Tablica 5].

**Tablica 5. Vrijednosti asimetrijskog multiplikatora (AM) [51]**

A stupnjevi	AM
0	1,00
15	0,95
30	0,90
45	0,86
60	0,81
75	0,76
90	0,71
105	0,66
120	0,62
135	0,57
>135	0,00

- Multiplikator učestalosti (engl. *Frequency Multiplier*)  $FM$  definiran je: 1) brojem dizanja u minuti (učestalost), 2) vremenskim trajanjem aktivnosti dizanja (trajanje) i 3) vertikalnom visinom dizanja od poda. Učestalost dizanja ( $F$ ) odnosi se na prosječan broj podizanja u minuti, mjereno u vremenu od 15 minuta. Vrijednost  $FM$  ovisi o prosječnom broju podizanja u minuti ( $F$ ), okomitom položaju ( $V$ ) ruku na početku i trajanju neprekidnog podizanja. Za dizanje s frekvencijom manjom od 0,2 dizanja u minuti, frekvencija ( $F$ ) je jednaka 0,2 dizanja u minuti. Za rijetka dizanja odnosno  $F < 0,1$  dizanja/minuti, razdoblje oporavka će biti dovoljno za korištenje kategorije trajanja od jednog sata. Vrijednosti  $FM$  prikazane su u [Tablica 6].

**Tablica 6. Vrijednosti frekvencijskog multiplikatora (FM) [51]**

Učestalost podizanja/ minuti (F)	≤ 1 sat		> 1 ili ≤ 2 sata		> 2 ili ≤ 8 sati	
	V<30	V≥30	V<30	V≥30	V<30	V≥30
≤ 0,2	1,00	1,00	0,95	0,95	0,85	0,85
0,5	0,97	0,97	0,92	0,92	0,81	0,81
1	0,94	0,94	0,88	0,88	0,75	0,75
2	0,91	0,91	0,84	0,84	0,65	0,65
3	0,88	0,88	0,79	0,79	0,55	0,55
4	0,84	0,84	0,72	0,72	0,45	0,45
5	0,80	0,80	0,60	0,60	0,35	0,35
6	0,75	0,75	0,50	0,50	0,27	0,27
7	0,70	0,70	0,42	0,42	0,22	0,22
8	0,60	0,60	0,35	0,35	0,18	0,18
9	0,52	0,52	0,30	0,30	0,00	0,15
10	0,45	0,45	0,26	0,26	0,00	0,13
11	0,41	0,41	0,00	0,23	0,00	0,00
12	0,37	0,37	0,00	0,21	0,00	0,00
13	0,00	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00
>15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

- Multiplikator povezivanja (engl. *Coupling Multiplier*) CM mjeri učinkovitost spajanja radnikovih ruku na predmet ili hvatanja predmeta. Hvat ruku može utjecati na silu koju radnik može ili mora primijeniti na objekt, ali i vertikalni položaj ruku tijekom podizanja. Dobrim spojem ruku na predmet smanjiti će se maksimalna potrebna sila hvatanja i povećati prihvatljiva težina za podizanje, dok će loš spoj ruku na predmet općenito zahtijevati veće maksimalne sile hvatanja i smanjiti prihvatljivu težinu za podizanje. Učinkovitost spoja nije statična, no može varirati ovisno o udaljenosti objekta od tla, tako da dobar spoj može postati loš tijekom jednog podizanja i obrnuto. Definirane su tri kategorije prijanjanja: dobro prijanjanje (ocjena 1), zadovoljavajuće prijanjanje (ocjena 2) i slabo prijanjanje (ocjena 3). Dobro prijanjanje kod spremnika (tj. kutije i sl.) podrazumijeva da su ručke ili utori za ruke optimalno dizajnirani, kod zadovoljavajućeg da su ručke ili utori za ruke lošiji od optimalnog dizajna, a kod slabog prijanjanja lošiji od optimalnog dizajna, da su dijelovi labavi, ili nepravilni (tj. glomazan, težak za rukovanje, oštih rubova i dr.) [51]. Slijedeći klasifikaciju prijanjanja i vertikalnu lokaciju podizanja, određene su vrijednosti multiplikatora spajanja kako je to prikazano u [Tablica 7].

**Tablica 7. Vrijednosti multiplikatora povezivanja (CM) [51]**

Vrsta prijanjanja	V<75 cm	V≥75 cm
Dobro	1,00	1,00
Zadovoljavajuće	0,95	1,00
Slabo	0,90	0,90

Jednadžba podizanja može se koristiti za procjenu zadatka podizanja i spuštanja s dvije ruke koje izvodi jedna osoba u stojećem položaju. Ne može se koristiti ako se podizanje ili spuštanje tereta izvodi jednom rukom, više od osam sati, dok radnik sjedi ili kleči, tijekom guranja ili povlačenja, kod nestabilnih predmeta, u ograničenom radnom prostoru, s kolicima ili s loptom, velikom brzinom, neadekvatnim spajanjem stopala/pod (<0,4 koeficijent trenja između stopala i poda), u nepovoljnom okruženju (tj. temperatura značajno iznad raspona (19-26°C); relativna vlažnost iznad raspona od 35-50 %). Upotreba metode NIOSH u navedenim situacijama mogla bi rezultirati pod- ili precijenjenošću učinkovitosti fizičkog stresa povezanog s određenom radnom aktivnošću.

### 3.1.6. Metoda ACGIH TLV

Metoda *American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) Threshold Limit Value (TLV) for Hand Activity* uglavnom se temelji na NIOSH metodi, ali je oblikovana kako bi bila svrsishodnija od NIOSH-a, odnosno kako bi se otklonili nedostaci NIOSH metode. Godine 2001. *American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)* objavila je prag granične vrijednost (engl. *Threshold Limit Value*, skr. TLV) za ručne aktivnosti kao smjernice za sprječavanje rizika posla povezanih s mišićno-koštanim poremećajima šake, zapešća i lakta među radnicima s intenzivnim zadacima. TLV je granica do koje radnici mogu biti više puta izloženi riziku ručnih aktivnosti bez štetnih zdravstvenih učinaka. Prekoračenje praga povećava rizik od mišićno-koštanih poremećaja, dok niži prag, granica aktivnosti (engl. *Action Limit*, skr. AL), identificira “umjerenu” izloženost riziku [Slika 17]. Evaluacija se temelji na procjeni aktivnosti ruku i razini napora kod tipičnog držanja predmeta tijekom podizanja tereta u kratkom ciklusu. U svrhu procjene koristi se obrazac za prikupljanje podataka [Tablica 7] koji služi kao vodič za prikupljanje informacija o riziku posla. Prvi korak je identificirati razinu aktivnosti ruku na ljestvici od 0 do 10, pri čemu 0 ne predstavlja nikakvu aktivnost do razine 10 (najveće zamislive aktivnosti ruke). Aktivnost ruku u kvalitativnoj ocjeni uzima u obzir kombinirane utjecaje ponavljanja napora i trajanja napora. Drugi korak karakterizira razinu napora bilježeći napor povezan s tipično velikom silom unutar radnog ciklusa. Normalizirana vršna sila (engl. *normalized peak force*, skr. NPF) je relativna razina napora na skali od 0 do 10 koju bi osoba prosječne snage uložila u istom položaju koji zahtijeva zadatak. Predlažu se tri metode za procjenu NPF-a: bilježenje izmjerenog postotka najveće dobrovoljne kontrakcije i subjektivno izvješće o percipiranom naporu (engl. *Subjective Scale*), kao i metoda promatranja iz Moore-Garg Strain Indexa. Treći korak je locirati kombinaciju razine ručne aktivnosti (engl. *Hand Activity Level*, skr. HAL) i NPF na TLV grafikonu [Slika 17].

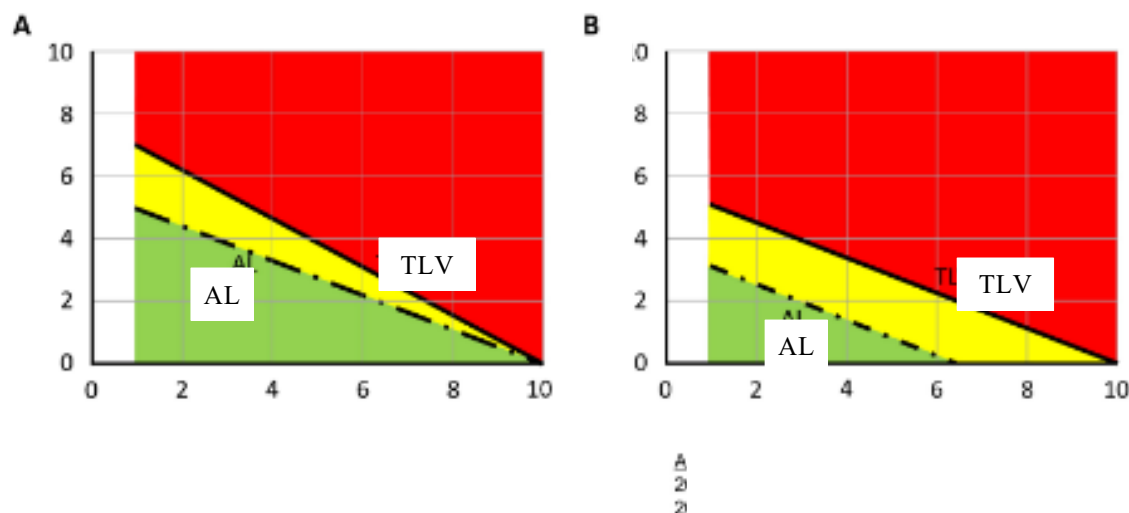
Tablica 8. Obrazac ACGIH TLV za ručnu aktivnost [52]

Posao	Analičar	Podatak
	Lijevo	Desno
Razina ručne aktivnosti (engl. <i>Hand Activity Level</i> ) (HAL)		
Normalizirana vršna sila (engl. <i>Normalized Peak Force</i> ) (NPF)		
Omjer = NPF/(10-HAL)		
Odredite rezultat	> TLV <input type="checkbox"/>	> TLV <input type="checkbox"/>
	AL do TLV <input type="checkbox"/>	AL do TLV <input type="checkbox"/>
TLV = 0,78	< AL <input type="checkbox"/>	< AL <input type="checkbox"/>
AL = 0,56		

0	2	4	6	8	10
Ruke većinu vremena ne rade; nema redovitih napora	Uočljive dosljedne duge stanke; ili vrlo usporene kretnje	Spore ravnomjerne kretnje/ napori; česte kratke stanke	Ravnomjerno kretanje/ napori; rijetke stanke	Brzo ravnomjerno kretanje/ napori; nema redovitih pauza	Brzo ravnomjerno kretanje/ poteškoće u održavanju ili kontinuirani napor

## Procjena normalizirane vršne sile ručnog pritiska

% MVC	Bod	Opis	Moore-Garg skala promatranja (alternativna metoda)	NPF
0	0	Bez napora		0
5	0,5	Ekstremno slabo (samo primjetno)	Jedva primjetan ili opušten napor	0,5
10	1	Vrlo slabo		1
20	2	Slabo (Lagano)	Primjetan ili odlučan napor	2
30	3	Umjereno		3
40	4		Očigledan napor, ali nepromijenjenog izraza lica	4
50	5	Jak (Težak)		5
60	6		Znatan napor s promijenjenim izrazom lica	6
70	7	Vrlo jak		7
80	8			8
90	9		Koristi rame ili kamion za silu	9
100	10	Ekstremno jak (gotovo maksimum)		10



**Slika 17.** ACGIH TLV za ručnu aktivnost regresijske jednadžbe za graničnu vrijednost praga i granicu aktivnosti za (A) smjernice iz 2001. i (B) revidirane smjernice iz 2018. [53]

Metoda je 2018. godine revidirana (2018 TLV ®). U osnovi metode, omjer opažene sile i preporučene sile treba biti  $< 1,0$  za određeni HAL rezultat. Za razliku od metode iz 2001. godine u kojoj se omjer HAL-a i normalizirane vršne sile kategorizirao u tri različita raspona: 1) ispod granice djelovanja, 2) iznad granice djelovanja, ali ispod TLV ®, ili 3) na ili iznad TLV ®, u verziji 2018 TLV ® koriste se formule za izračunavanje preporučene granice sile za bilo koji HAL rezultat. Za izračunavanje odgovarajućeg NPF za TLV i za AL koriste se jednadžbe (9)(10):

$$\text{NPF}_{\text{TLV}} = 0,56 \times (10 - \text{HAL}) \quad (9)$$

$$\text{NPF}_{\text{AL}} = \text{NPF}_{\text{TLV}} - 2 \quad (10)$$

Indeks vršne sile (engl. *Peak force index*, skr. PFI) i AL izračunava se na sljedeći način:

$$\text{PFI}_{\text{TLV}} = \text{NPF}_{\text{OBS}} / \text{NPF}_{\text{TLV}} \quad (11)$$

$$\text{PFI}_{\text{AL}} = \text{NPF}_{\text{OBS}} / \text{NPF}_{\text{AL}} \quad (12)$$

Korištenjem obje jednadžbe  $\text{PFI}_{\text{TLV}}$  i  $\text{PFI}_{\text{AL}}$  moguća je kategorizacija: 1) ispod AL, 2) između AL i TLV i 3) iznad TLV. Za određenje klasifikacije izloženosti TLV korištene u verziji 2001 (tablica 8) bodovi se računaju uz pomoć sljedeće jednadžbe:

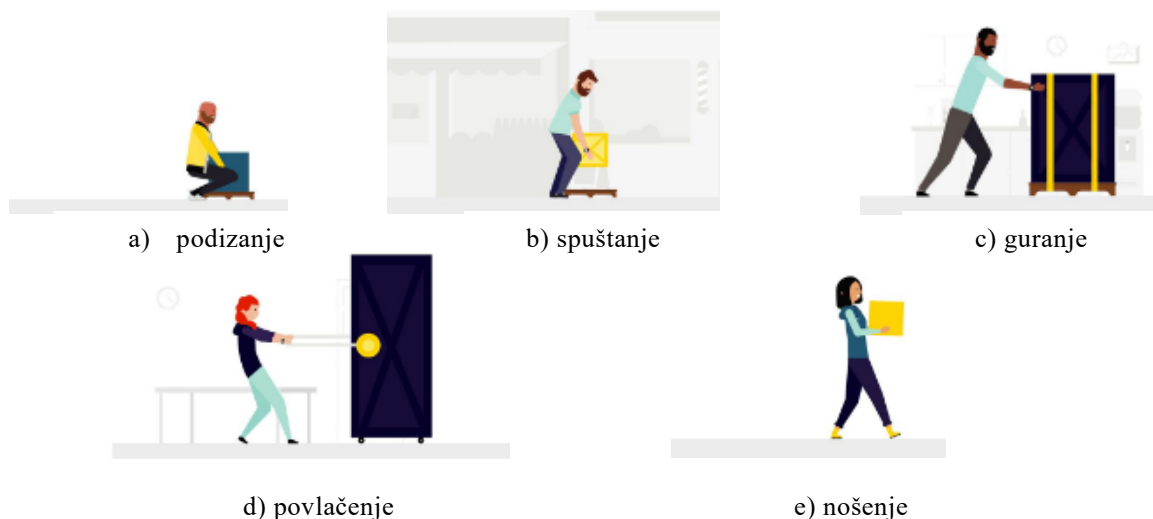
$$\text{Bod} = \text{NPF}_{\text{OBS}} / (10 - \text{HAL}) \quad (13)$$

Dobiveni rezultat se iščitava na sljedeći način: ispod AL (bod  $\leq 0,56$ ), između AL i TLV (bod između 0,56 i 0,78) i iznad TLV (bod  $\geq 0,78$ ).

2018 TLV ® metoda koristi se u prevenciji smanjenja mišićno-koštanih ozljeda na radu gornjih ekstremiteta, te je koristan alat za predviđanje rizika od ozljeda na radnom mjestu te pokretanje kontrolnih ergonomskih mjera kada se granice rizika premaše.

### 3.1.7. Metoda “Snook”

The Liberty Mutual “Snook” Lifting Tables (Snook Tables) je alat koji koristi psihofizičku metodologiju za proučavanje radnih zadataka, s ciljem postavljanja prihvatljive granice opterećenja i sila kako bi se ozljede na radu mogle spriječiti ergonomskim dizajnom zadataka [54]. Snook tablice ocrtavaju prihvatljive težine i sile potrebne za izvršenje različitih zadataka rukovanja materijalom. Temelje se na istraživanju dr. Stovera Snooka i dr. Vincenta Ciriella u Liberty Mutual Research Institut for Safaty. Tablice daju ciljeve kojima treba težiti pri dizajnu radnog mjesta, izražene u mjerama težine ili sile, za koje se smatra da su prihvatljive za definirani postotak populacije. To se postiže usporedbom podataka za svaki od specifičnih zadataka ručnog rukovanja s podacima u odgovarajućoj tablici. Tablice su se prvi put pojavile 1978. godine, a od tada su revidirane i vrlo popularne u području ergonomije te su zajedno s podacima iz drugih psihofizičkih studija bile ključne u revidiranju NIOSH jednadžbe podizanja. Tablicu je Thomas E. Bernard sa Sveučilišta Južne Floride prilagodio uz određenu potporu OSHA Salt Lake Technical Center. Ova prilagodba omogućava ocjenjivanje ergonometričnosti različitih zadatke podizanja, spuštanja, guranja, povlačenja i nošenja [Slika 18] [55].



Slika 18. Radni zadaci [55]

Za ergonomsku procjenu radnog zadatka pomoću Snook tablice potrebno je prethodno prikupiti podatke o poslu, obaviti razgovor s nadzornicima i radnicima te promatrati radnike koji obavljaju tražene ručne zadatke rukovanja materijalom. Zadatke za ocjenjivanje treba odabrati prema najtežim i najzahtjevnijim zadacima podizanja, spuštanja, nošenja i guranja ili povlačenja. Primjerice, ocjenjujući zadatke dizanja, potrebno je odabrati zadatke s najtežim predmetima podignutim iz najnezgodnijeg položaja (ispod koljena, iznad ramena i/ili najdalje nazad na vrh), ili kad se procjenjuju zadaci guranja i povlačenja, potrebno je odabrati najjače zahtjeve zadatka ili od niskih ili od visokih točaka potiskivanja.

Varijable zadatka potrebne za provedbu ocjenjivanja pomoću Snook tablica su: težina objekta, potrebna sila (početna sila potrebna za pomicanje predmeta i trajna sila potrebna da se predmet pomakne), udaljenost podizanja/spuštanja, udaljenost ruke (vodoravni položaj ruke), visina ruke, udaljenost guranja/povlačenja/nošenja, frekvencija, zona podizanja/spuštanja. Primjerice za radni zadatak podizanja predmeta iznad ramena [Slika 19] potrebno je odrediti sljedeće varijable [55]:

- donja točka podizanja – iznad ramena (iznad 137 cm)
- učestalost – 1 radnja svakih 5 minuta (12 radnji na sat)
- horizontalna udaljenost – 25 cm (prednja strana tijela do sredine šaka)
- udaljenost dizanja – 76 cm (podiže se od kolica na od 63 cm do 140 cm)
- stvarna težina – 14,5 kg.



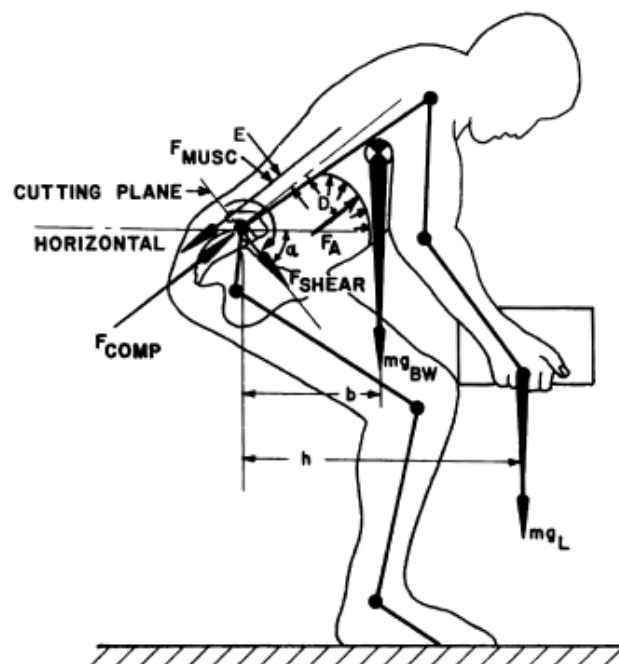
**Slika 19. Podizanje iznad ramena [55]**

Dobiveni rezultati ocjenjuju se uz pomoć Snook tablica ili suvremeni softverskim alatima kalkulacije Snook tablica.



### 3.1.8. 3D Static Strength Prediction Program (3D SSPP)

3D Static Strength Prediction Program™ (3D SSPP™) je ergonomska analiza posla i oblikovanja alata za kvantificiranje biomehaničkih zahtjeva tijekom rukovanja materijalom, čiji je razvoj započeo s istraživanjima D. Chaffinom osnivačem *University of Michigan Center for Ergonomics* 1969. godine. Chaffin je razvio 2D mehanički model ljudskog tijela, pridonoseći stvaranju robusnog programa koji je danas u primjeni [Slika 20]. U 1970-im godinama dodani su koraci za analizu ručnog zadatka. Tijekom 1980-ih godina dodaju se komponente držanja i podaci o podizanju. Uspoređuje kapacitete snage populacije s 24 različite snage zglobnog mišića i omogućuje procjenu asimetričnih napora koji uključuju jednu ili obje ruke. Predstavlja koristan alat za analiziranje sposobnosti statičke snage zaposlenika u odnosu na biomehaničke i fizičke zahtjeve radnog okruženja. Uključuje ulazne podatke kao što su podaci o držanju, parametri sile i antropometrija za muškarce/žene kako bi pružili približnu 3D simulaciju posla. Rezultati 3D simulacije uključuju višestruke analize biomehaničkih značajki kao što su: sile kompresije u donjem dijelu leđa, razinu sposobnosti prema snazi zglobova i ograničenjima populacije, predviđanje mogućeg gubitka ravnoteže i klizanja, lokalizirani umor, mjesta za ruke [56].



Slika 20. Jednostavan konzolni model dizanja s niskim leđima kako ga je prilagodio Chaffin (1975.) za statičke komplanarne analize dizanja [57]

### 3.1.9. WISHA Lifting Calculator

WISHA *Lifting Calculator* kojeg je razvio američki Washington State Department of Labor and Industries vrlo je učinkovit i praktičan alat za procjenu rizika ručnog rukovanja materijalom, te vrlo jednostavan u dizajnu i primjeni. To je adaptacija revidiranog NIOSH Lifting Equation, koja se temelji na znanstvenim istraživanjima primarnih uzroka ozljeda leđa na radu. Može se koristiti u svrhu jednostavne ergonomske procjene rizika za širok raspon zadataka ručnog podizanja i spuštanja, a može biti i koristan alat za provjeru identifikacije zadataka dizanja koju treba analizirati pomoću NIOSH-ove jednadžbe dizanja.

WISHA *Lifting Calculator* ima određena ograničenja, tako što koristi manje precizno mjerenje varijabli zadatka dizanja i ne uključuje komponente vertikalne udaljenosti (D) ili komponentu spajanja (D) iz NIOSH-ove jednadžbe dizanja. Komponente WISHA kalkulatora dizanja su: granica težine i indeks dizanja [55].

Granica težine (ili granica podizanja) definira maksimalnu prihvatljivu težinu (opterećenje) koju bi gotovo svi zdravi zaposlenici mogli podići ili spustiti bez povećanja rizika od mišićno-koštanih poremećaja povezanih s podizanjem. Indeks dizanja se izračunava kako bi pružio relativnu procjenu razine fizičkog stresa i rizika od mišićno-koštanih poremećaja povezanih s ručnim dizanjem. Vrijednost indeksa od 1,0 ili manje ukazuje na nominalni rizik za zdrave zaposlenike, veći od 1,0 označava da je dizanje visokog rizika za određeni dio populacije. S povećanjem vrijednosti indeksa dizanja, razina rizika od ozljeda na određeni način raste. Cilj je, dakle, da se poslovi dizanja oblikuju tako da se postigle  $LI \leq 1$ .

### 3.2. Metode potrošnje energije

S ciljem procjene razine ergonomičnosti pojedinih aktivnosti razvijen je veći broj metoda koje kao glavni faktor uzimaju potrošnju energije. Jedna od tih metoda, koja je i predmet ovog diplomskog rada je metoda koju su razvili Garg, Chaffin i Herrin 1978. godine. Jednostavnost ove metode dovela je do široke primjene u mnogim područjima, poput medicinskog, vojnog i industrijskog sektora. Formulacija koju su uveli Garg, Chaffin i Herrin omogućava procjenu potrošnje energije svakog izvršenog pojedinačnog zadatka, poput spuštanja ili podizanja tereta, hvatanja predmeta s određene udaljenosti, hodanja i stajanja u fiksnom položaju. Slična je tradicionalnim metodama procjene vremena, kao što su Sustavi za unaprijed određivanje vremena gibanja (engl. *Predetermined Motion Time System*, skr. PMTS) i Sustavi za određivanje energije gibanja (engl. *Predetermined Motion Energy System*, skr. PMES) kod

kojih je ukupno vrijeme za izvršavanje zadataka zbroj standardno unaprijed određenog vremena i funkcije pojedinačni pokreta koji čine dotičnu operaciju.

Metoda Garg, Chaffin i Herni nastojala je otkloniti nedostatke metoda koji su, do tada, najčešće primjenjivane, kao što su *metoda mjerenja potrošnje kisika na poslu*, “*makro studije*” i “*mikro studije*”.

**Metoda mjerenja potrošnje kisika na poslu** je, u biti, najjednostavnija metoda za utvrđivanje metaboličkih zahtjeva postojećeg posla. No, ova je metoda pokazala određene nedostatke, kao što je ometanje mjerne opreme u uobičajenim uvjetima rada. Osim toga, u poslovima ručnog rukovanja dolazi do neprestanih promjena metoda, radnih operacija, težina i veličina materijala kojim se ručno rukuje, kao i radnika koji obavljaju poslove. Stoga obavljena mjerenja možda neće biti valjana u nekom vremenu u budućnosti [1]. Osim toga čimbenici zadatka utječu na metaboličko radno opterećenje pa jedno mjerenje ne može biti objektivan pokazatelj.

Zbog svoje jednostavnosti Garg, Chaffin i Gary metoda primjenjiva je u različitim područjima djelovanja. Calzavara et al. ovu metodu na odgovarajući način primjenjuju na aktivnosti komisioniranja u skladištu. Pri tome su dali detaljni opis pojedinih zadataka, kako slijedi [2]:

- Stajanje: operater stoji pored kolica za komisioniranje i ispred mjesta za skladištenje.
- Hodanje: operater se kreće od kolica za komisioniranje do mjesta skladištenja (i natrag).
- Spustiti se u čučanj i podignuti iz čučnja: ako se predmet koji se izuzima skladišti u niskom položaju (na primjer na paleti na podu), radnik se mora spustiti (savijajući noge) da podigne predmet.
- Podizanje i spuštanje ruke: ako se predmet koji se izuzima skladišti u visokom položaju (na primjer na paleti koja se nalazi u gornjem položaju police), radnik mora podići ruke da uhvati predmet i zatim spustiti ruke.
- Nošenje: nakon što je radnik dohvatio traženi predmet, on/ona ga prenosi s mjesta zaliha do kolica.

Calzavara et al. predlažu korištenje koncepta Garg, Chaffin i Gary za procjenu ergonomske utjecaja rasporeda regala, te su uz korištenje ovog koncepta razvili model potpore odluci za procjenu različitih rasporeda stalaka s obzirom na njihov utjecaj na vrijeme komisioniranja i potrošnju energije [1]. Koncept potrošnje Calzavara et al. su koristili i u razvijanju analitičkog modela za procjenu metaboličkih troškova pomoću koncepta potrošnje energije [2]. Komisioniranje se u većini skladišta izvodi ručno uz tehničku podršku, pa radnici imaju važnu ulogu u obavljanju ručnih logističkih zadataka. Ručno rukovanje teretom u skladištima izlaže

radnike visokom riziku od razvoja mišićno-koštanih poremećaja. Calzavara et al. su ukazali na jaz između ekonomskih i ergonomskih mjera izvedbe zadataka u slučaju komisioniranja palete, polupaleta i polupaleta opremljenih sustavom za izvlačenje te su predložili zamjenu tradicionalnog sustava za skladištenje paleta sa sustavom polupaleta na izvlačenje na nižem rangu u svrhu poboljšanja ergonomije i ekonomskih performansi.

Betini et al. su metodu Garg, Chaffin i Gary koristili kako bi poboljšali tradicionalne metode za ergonomsku procjenu te pojednostavili procjenu i omogućili brzu procjenu ergonomske razine analiziranih poslova. Metodu koju su razvili nazvali su PMES [59].

“**Makro studije**” imaju zajednički cilj utvrditi metaboličku energiju koju troše radnici koji obavljaju složene ručne aktivnosti pod različitim uvjetima, poput rukovanja kutijama, rad u visokim temperaturnim uvjetima, građevinski radovi i dr. Vrijednosti iz tablica koje se koriste u “makro studijama” daju grubu aproksimaciju metaboličkog opterećenja posla. Pogreške su moguće zbog prevelikog pojednostavljenja posla, što je jedan od nedostataka “makro studija”. Procjene metaboličke potrošnje energije dostupne su u literaturi za više od 1.000 različitih aktivnosti, no one se odnose na određene radne situacije prisutne u vrijeme mjerenja i većinom ne odražavaju učinke osobnih karakteristika radnika i zadataka, kao što su frekvencije, težine, visina i dr.

“**Mikro-studije**” povezuju metaboličku energiju koju radnik troši s veličinom različitih uobičajenih fizičkih mjera ručne aktivnosti. Ograničene su na metaboličku potrošnju kod hodanja, dizanja i nošenja, te ne uključuju druge aktivnosti poput ručnog rukovanja teretom, poput spuštanja, guranja, držanja i različitih vrsta kretanja ruku.

**Sustavi za unaprijed određeno vrijeme kretanja (PMTS)** temelje se na analizi rada unutar osnovnih ljudskih pokreta, klasificiranih kroz prirodu svakog pokreta i uvjeta pod kojima je pokret napravljen. Vrijeme osnovnih ljudskih pokreta koristi se, dakle, za određivanje vremena potrebnog za rad. PMTS baza podataka je obično sastavljena od osnovnih elemenata pokreta s povezanim vrijednostima vremena, zajedno sa skupom postupaka za primjenu podataka za analizu ručnih zadataka i uspostavljanje normalnog i standardnog vremena za analiziranje zadatke (MOST).

Prvi PMTS (označeni kao sustavi “prve razine”) bili su dizajnirani kako bi osigurali potrebno vrijeme za detaljan ručni rad te su se sastojali od temeljnih pokreta (dohvat, hvatanje, pomicanje itd.) i povezanih vremena. S obzirom da su za proizvodnju PMTS podataka potrebne velike količine istraživanja, prikupljanja podataka, analize, sinteze i validacije, a takvih sustava je malo, osmišljeni su sustavi “više razine”, najčešće kombiniranjem tih temeljnih pokreta u uobičajene, jednostavne ručne zadatke. Takvi sustavi više razine dizajnirani su za brže

standardno postavljanje aktivnosti dužeg ciklusa. Kritike PMTS-a odnose se na nemogućnost pružanja podataka za pokrete napravljene u “neprirodnim” uvjetima, kao što je rad u skućenim uvjetima ili s neprirodnim položajem tijela, ili na mentalne procese i njihovu poteškoću u suočavanju s radom koji je podložan prekidima. Kao jedna od značajnijih prednosti PMTS-a navodi se zahtjev za detaljnim opisom metode rada, pa su korisni za proučavanje načina na koji se rad obavlja, kao i mjerenje potrebnog vremena.

**Sustavi za određivanje energije gibanja (PMES)** slijede koncept PMTS-a te je na isti način razvijeno nekoliko tablica kako bi se ubrzala procjena utroška energije zadatka, počevši od osnovnih ljudskih kretnji kako su ih definirali Garga i suradnici 1978. godine. Ovu su metodu predstavili 2015. godine, a koristi se za jednostavnu procjenu potrošnje energije u tipičnim ručnim zadacima [59]. Metoda koristi stopu potrošnje energije koju su razvili Garg, Chaffin i Herrin kako bi se procijenila ergonomska razina svakog zadatka, a vrlo je slična metodama analize i poboljšanja tradicionalnog PTMS: *Methods Time Measurement* (MTM) ili *Maynard's Operation Sequence Technique* (MOST), koje se koriste za analizu ljudskih pokreta tijekom radne aktivnosti i pokušavaju poboljšati i optimizirati zadane postupke, kako bi bili što učinkovitiji [60]. PMES metoda omogućava jednostavan proračun potrošnje energije pri svakom zadatku. U svrhu razumijevanja ove metode navodi se sljedeći primjer [59]:

Operator od 80 kg ( $BW = 80$ ) mora komisionirati odnosno odabrati komponentu (čelični okvir) od 10 kg ( $L = 10$ ) s palete koja se nalazi na podu ( $h = 0,1$  m) na udaljenosti od 3 metra od radne stanice. Zatim podiže okvir i stavlja ga u radnu stanicu na  $h = 1$  m.

- Pokret 1: hodanje (1 m/s) 3 metra do palete (= 3 s)
- Pokret 2: podizanje predmeta od 10 kg u čučnju od  $h = 0,1$  do  $h = 0,8$  (= 4 s)
- Pokret 3: nošenje predmeta 3 metra (3 s) za povratak na radnu stanicu (= 3 s)
- Pokret 4: podizanje predmeta rukom od  $h = 0,8$  m do  $h = 1$  m (= 2 s)

Ukupno potrebno vrijeme posla je 12 s.

Koristeći relativnu tablicu, procjenjuje se utrošak energije za svaki dio posla na sljedeći način:

- Pokret 1 iz tablice za hodanje:  $E_1 = 2,5420 \cdot 3/60 + 0,3032 \cdot 0 \cdot 3/60 = 0,1271$  kcal/pokret
- Pokret 2 iz tablica za podizanje iz čučnja:  $E_2 = 0,2920 + 0,0153 \cdot 10 + 0,0043 \cdot 10 \cdot 0 = 0,4887$  kcal/pokret

- Pokret 3 iz tablica za nošenje:  $E_3 = 2,7120 \cdot 3/60 + 1,5480 \cdot 3/60 + 0,0379 \cdot 0 \cdot 3/60 + 0,3032 \cdot 0 \cdot 3/60 = 0,213$  kcal/ pokret
- Pokret 4 iz tablica za podizanje ruku:  $E_4 = 0,0094 + 0,0064 \cdot 10 + (-0,0010) \cdot 0 \cdot 10 = 0,0734$  kcal/ pokret

Energija za održavanje držanja tijela može se procijeniti pomoću jednadžbe za stojeći stav:

$$= 0,024 \cdot 80 = 1,92 \text{ kcal/min}$$

Dakle, utrošak energije za cijeli posao je zbroj svih komponenti:

$$= 1,92 \cdot 12/60 + (0,1271+0,4887+0,213+0,0734) = 1,2862 \text{ kcal/posao.}$$

### 3.3. Metode procjene nelagode radnika

Ručni rad može izazvati osjećaj nelagodu kod radnika uslijed neadekvatno dizajniranog radnog mjesta, radnog položaja i sl. Među metodama za ergonomsku procjenu ručnog rada uvrštene su i metode procjene nelagode radnika. U skladištu je uz ostvarenje ekonomskog cilja minimiziranja vremena ciklusa, veoma je važno minimizirati nelagodu radnika u kontekstu komisioniranja odnosno izuzimanja narudžbi. Larco, Koster, Roodbergen i Dul predložili su 2015. godine *metodu dvo-kriterijskog odlučivanja*, koja uzima u obzir utjecaj visine regala na vrijeme potrebno za komisioniranje. Potrebno je istaknuti da je tek nekoliko radova koji su prepoznali utjecaj visine police na vrijeme komisioniranja. Ti radovi uglavnom koriste strategiju tzv. zlatne zone, prema kojoj proizvode koji se često preuzimaju treba smještati na visinu između struka i ramena prosječnih komisionara [61]. Ekonomsko opravdanje vidi se u tome što će za lokacije unutar “zlatne zone” trebati manje vremena za identifikaciju i preuzimanje proizvoda u odnosu na lokacije izvan te zone. No, kritičari ističu kako, pri tome, učinkovitost odabira mjesta skladištenja na učinkovitost komisioniranja nije empirijski ispitana za različite kontekste niti je poznato kako kvantificirati takav učinak.

Ispravno pozicioniranje proizvoda ima i društveno opravdanje kada se uzme u obzir dobrobit komisionara jer ono može smanjiti učestalost rada u neudobnim položajima. Nelagoda koju osjećaju zaposlenici je sveprisutan problem u skladištima i utvrđeno je da je prediktor budućih dugotrajnih bolova u mišićima, kao i profesionalnih poremećaja kao što su mišićno-koštani poremećaji. Smanjenje nelagode je, stoga, izravno povezano s dobrobiti radnika, a također može donijeti dugoročne ekonomske koristi kroz veću produktivnost, smanjenje zdravstvenih troškova radnika, izostanak s posla i stope napuštanja.

## **4. METODA ZA ERGONOMSKU PROCJENU (PREDVIĐANJE) METABOLIČKE POTROŠNJE ENERGIJE U RUČNIM LOGISTIČKIM ZADACIMA**

Garg, Chaffin i Herrin su, kako je već istaknuto, 1978. godine metodu koja koristi analitički ergonometrijski sustav temeljen na potrošnji kisika ili metaboličkoj potrošnji, pri čemu svaki pokret ima specifičnu potrošnju energije. Metoda je vrlo jednostavna što je omogućilo njezinu široku primjenu. Razvijena je na pretpostavci da se svaki posao može podijeliti na jednostavne zadatke odnosno na elemente aktivnosti te da se prosječna stopa potrošnje metaboličke energije može predvidjeti na temelju poznate potrošnje energije za jednostavne zadatke i vremensko trajanje zadatka. Garg, Chaffin i Herrin su pretpostavili da se podjelom posla na elemente zadatka i dodjeljivanjem metaboličke potrošnje svakom zadatku na temelju mjerljivih čimbenika sile, udaljenosti, učestalosti, držanja tijela, tehnike i dr. može izračunati energija potrebna za izvršenje određenog zadatka [1].

Prednost ove metode je što omogućava procjenu potrošnje svakog izvršenog zadatka pojedinačno.

### **4.1. Opće značajke metode i postupak primjene**

Metoda koju su razvili Garg, Chaffin i Gary je jedna od najpopularnijih metoda za izračunavanje metaboličke potrošnje. Metoda omogućava procjenu metaboličkih zahtjeva poslova na temelju karakteristika radnika i opisa posla [1].

Garg, Chaffin i Gary su uveli jednadžbu za procjenu metaboličke potrošnje ili stope potrošnje energije u kcal/min za osnovne zadatke, poput dizanja, spuštanja, stajanja, hodanja ili guranja. Njihov koncept potrošnje energije omogućuje procjenu metaboličke potrošnje povezane s izvođenjem ručnih zadataka. To je vrlo jednostavna i učinkovita metoda koja omogućuje uspješnu primjenu u različitim istraživačkim doprinosima. Koncept potrošnje energije zagovara da veća kumulativna potrošnja energije dovodi do veće razine umora koja izaziva veće rizike od ozljeda, što smanjuje ergonometrijsku kvalitetu razmatrane aktivnosti [1]. Sa stajališta ergonomije, ističe se potreba smanjenja potrošnje energije povezane s izvršenjem ručnih logističkih zadataka.

Svi ručni logistički zadaci mogu se podijeliti na jednostavne zadatke, odnosno na elemente zadatka te se zatim procjenjuje stopa prosječne potrošnje metaboličke energije za svaku

pojedinu aktivnosti uz poznatu potrošnju energije za jednostavne zadatke i vremensko trajanje zadatka. Pri tome se koriste mjerljivi čimbenici: sila, udaljenost, učestalost, držanje tijela, tehnika, spol, tjelesna težina i vrijeme potrebno za obavljanje svakog zadatka.

#### 4.1.1. *Prosječna potrošnja metaboličke energije*

Prosječna potrošnja metaboličke energije je suma energetske potrebe zadatka i održavanja položaja tijela, prosjek u određenom vremenu. To se može izraziti i matematički jednadžbom (14) [1]:

$$\bar{E}_{zad} = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} \dot{E}_{pos} x t_i + \sum_{i=1}^n \Delta E_{task_i}}{T} \quad (14)$$

gdje je:

$\bar{E}_{zad}$  – stopa prosječne potrošnje energije posla [Kcal/min]

$\dot{E}_{pos}$  – stopa potrošnje metaboličke energije tijekom  $i^{th}$  položaja [Kcal/min]

$t_i$  – vrijeme trajanja  $i^{th}$  položaja [min]

$n_i$  – ukupan broj položaja tijela angažiranih na poslu

$\Delta E_{task_i}$  – neto potrošnja metaboličke energije  $i^{th}$  zadatka u stabilnom položaju [Kcal/min]

$n$  – ukupan broj zadataka na danom poslu

$T$  – vrijeme trajanja posla [Kcal/min].

Stopa metaboličke potrošnje energije za održavanje položaja tijela ( $\dot{E}_{pos}$ ) je funkcija spola, tjelesne težine i položaja tijela. U slučaju kada se procjenjuju zadaci poput podizanja, spuštanja, guranja u visini klupe, bočnog kretanja ruku od 90 stupnjeva koristi se varijabla spola jer se u ovim zadacima pokazala značajnom, dok se kod procjene zadataka hodanja i nošenja ne koristi jer je od male važnosti.

Na neto povećanje metaboličke potrošnje energije zadatka ( $\Delta E_{task_i}$ ) utječe i dinamički i statički rad. Osobine radnika i varijable zadatka koje se koriste pri procjeni kako bi se objasnili njihovi učinci na neto povećanje metaboličke potrošnje energije zadatka ( $\Delta E_{task_i}$ ) su: spol, tjelesna težina, težina tereta ili sila koja se primjenjuje rukama, učestalost opterećenja tijela (tempo), vertikalni raspon visine zadatka, pomicanje ruku naprijed i bočno u vodoravnoj ravnini, vertikalno okretanje tijela, stupanj i sastav površine na kojoj se hoda, brzina hodanja i nošenje tereta, držanje tijela, tehnika korištena za izvršavanje zadatka i



vremensko trajanje zadatka. Na metaboličku potrošnju energije zadatka utječe i dob, fizička spremnost, trening, veličina i nespretnost opterećenja, brzina izvođenja zadatka, dizajn rukohvata, temperatura i vlaga. No, u umjerenim do teškim ručnim zadacima rukovanja teretom na maksimalnoj razini u normalnim radnim uvjetima (pri čemu temperatura, vlaga i socijalno okruženje nisu u ekstremnim uvjetima), neki od njih imaju manje važnu ulogu. Neke od njih je i teško izmjeriti te se ne uključuju u procjenu potrošnje energije u ručnim logističkim zadacima.

#### 4.1.2. *Neto metabolički trošak zadatka*

Ovisno o zadatku za koji se procjenjuje potrošnja energije koriste se odgovarajuće jednadžbe. Razvijene su 22 jednadžbe za neto metabolički trošak zadatka.

- održavanje položaja tijela: stajanje (15)

$$\dot{E} = 0,024 BW \quad (15)$$

- održavanje položaja tijela: sjedenje (16)

$$\dot{E} = 0,023 BW \quad (16)$$

- stajanje, savijeni položaj (17)

$$\dot{E} = 0,028 BW \quad (17)$$

gdje je:

BW – tjelesna težina

- neto metabolička potrošnja saginjanja u podizanju [kcal/podizanju] (18):

$$\Delta E = 10^{-2}[0,325 BW (0,81 - h_1) + (1,41L + 0,76S \cdot L)(h_2 - h_1)] \quad (18)$$

za  $h_1 < h_2 \leq 0,81$

- neto metabolička potrošnja dizanja u čučnju [kcal/podizanju] (19):

$$\Delta E = 10^{-2}[0,514 BW (0,81 - h_1) + (2,19L + 0,62S \cdot L)(h_2 - h_1)] \quad \text{za} \quad (19)$$

$h_1 < h_2 \leq 0,81$

- podizanje šakom [kcal/podizanju] (20):

$$\Delta E = 10^{-2}[0,352 BW (0,81 - h_1) + 3,03L (h_2 - h_1)] \quad (20)$$

- podizanje tereta rukama [kcal/podizanju] (21):

$$\Delta E = 10^{-2}[0,062 BW (h_2 - 0,81) + (3,19L - 0,52S \cdot L)(h_2 - h_1)] \quad (21)$$

za  $0,81 < h_1 \leq h_2$

- spuštanje tereta saginjanjem [kcal/ spuštanju] (22):

$$\Delta E = 10^{-2}[0,268 BW (0,81 - h_1) + 0,675L (h_2 - h_1) + 5,22S (0,81 - h_1)] \quad (22)$$

za  $0,81 < h_1 \leq h_2$

- spuštanje tereta iz čučnja [kcal/ spuštanju] :

$$\Delta E = 10^{-2}[0,511 BW (0,81 - h_1) + 0,701L (h_2 - h_1)] \quad (23)$$

za  $h_1 < h_2 \leq 0,81$

- spuštanje tereta rukama [kcal/ spuštanju] (24):

$$\Delta E = 10^{-2}[0,093 BW (h_2 - 0,81) + (1,02L + 0,37S \cdot L)(h_2 - h_1)] \quad (24)$$

za  $0,81 < h_1 < h_2$

- hodanje [kcal] (25):

$$\Delta E = 10^{-2}[51 + 2,54 BW \cdot V^2 + 0,379 BW \cdot G \cdot V] \cdot t \quad (25)$$

- nošenje, teret koji se drži na dužini ruke sa strane (u jednoj ili u obje ruke) [kcal] (26):

$$\Delta E = 10^{-2}[80 + 2,43 BW \cdot V^2 + 4,63 L \cdot V^2 + 4,62L + 0,379(L + BW)G \cdot V]t \quad (26)$$

- nošenje, teret prislonjen uz bedra ili na struk [kcal] (27):

$$\Delta E = 10^{-2}[68 + 2,54 BW \cdot V^2 + 4,08 L \cdot V^2 + 11,4L + 0,379(L + BW)G \cdot V]t \quad (27)$$

- držanje, uz struk [kcal] (28):

$$\Delta E = 0,062 L \cdot t \quad (28)$$

- držanje, na dužini ruke u jednoj ruci [kcal] (29):

$$\Delta E = 0,088 L \cdot t \quad (29)$$

- guranje/povlačenje na visini klupe (0,8 m) [kcal/guranju] (30):

$$\Delta E = 10^2 X(0,112 BW + 1,15F + 0,505 S \cdot F) \quad (30)$$

- guranje/povlačenje, na 1,5 m visine [kcal/guranju] (31):

$$\Delta E = X(0,086 + 0,036F) \quad (31)$$

gdje je:

X – horizontalno pomicanje radnog komada (m)

F – prosječna sila guranja/povlačenja primijenjena rukama (kg)

- lateralno kretanje ruku za 180 stupnjeva, obje ruke [kcal/ lateralnom kretanju ruku] (32):

$$\Delta E = 10^{-2}(0,11 BW + 0,726 L) \quad (32)$$

- lateralno kretanje ruku za 180 stupnjeva, jedna ruka [kcal/ lateralnom kretanju ruku] (33):

$$\Delta E = 10^{-2}(0,097 BW + 0,946 L) \quad (33)$$

- lateralno kretanje ruku za 90 stupnjeva, u stajaćem položaju, jedna ili obje ruke [kcal/ lateralnom kretanju ruku] (34):

$$\Delta E = 10^{-2}[3,31 + 0,629 L + 0,143 S \cdot L] \quad (34)$$

- lateralno kretanje ruku za 90 stupnjeva, u sjedećem položaju, obje ruke [kcal/ lateralnom kretanju ruku] (35):

$$\Delta E = 10^{-2}[3,5 + 0,682 L + 0,321 S \cdot L] \quad (35)$$

- lateralno kretanje ruku za 90 stupnjeva, u sjedećem položaju, jedna ruka [kcal/ lateralnom kretanju ruku] (36):

$$\Delta E = 10^{-2}[2,54 + 1,1 L + 0,248 S \cdot L] \quad (36)$$

- kretanje ruku prema naprijed, stojeći, jedna ili obje ruke [kcal/ pokretu ruke] (37):

$$\Delta E = 10^{-2} X(3,57 + 1,23 L) \quad (37)$$

- kretanje ruku prema naprijed, stojeći, jedna ili obje ruke [kcal/ pokretu ruke] (38):

$$\Delta E = 10^{-2} X(6,3 + 2,71 L) \quad (38)$$

gdje je:

$\dot{E}$  = metabolička stopa [kcal/min]

$\Delta E$  = [kcal] za hodanje, nošenje ili držanje; za sve ostale zadatke mjera je kcal/izvođenju

F = prosječna sila ruku kod guranja ili povlačenja [kg]

G = nagib površine za hodanje [%]

$h_1$  = visina od poda [m]; početna točka podizanja i završna točka spuštanja

$h_2$  = visina od poda [m]; završna točka podizanja i početna točka spuštanja

$L$  = težina predmeta [kg]

$S$  = spol, 1 za muškarce; 0 za žene

$V$  = brzina hodanja [m/s]

$t$  = vrijeme [min].

Neto metabolička stopa za tijelo u položaju stajanja ili sjedenja koristi se jednadžba (39) [1]:

$$\Delta \dot{E} = \dot{E} - \dot{E}_s \quad (39)$$

gdje je:

$\Delta \dot{E}$  – neto metabolička stopa [kcal/min]

$\dot{E}$  – ukupna brzina metabolizma u ravnoteži [kcal/min]

$\dot{E}_s$  – stopa metabolizma u mirovanju, stajanju i sjedenju (prema potrebi) [kcal/min].

Jednadžbe procjene prikazane su kao neto metabolički trošak po izvedbi (npr. kcal/podizanju). Stoga se ove jednadžbe mogu, također, koristiti za procjenu neto metaboličkih troškova zadataka koji se rijetko javljaju ili elemenata koji se pojavljuju u posebnim ciklusima ponavljajućeg posla. Model se može koristiti i na ponavljajuće i na poluponavljajuće poslove. U [Tablica 9] prikazana je procjena radnog opterećenja šake i ruke za određene zadatke.

**Tablica 9. Procjena radnog opterećenja šake i ruke za odabrane zadatke [1]**

Vrsta posla	Neto metabolička stopa [Kcal/min]
Rad šake, lagani	0,2
Rad šake, teški	0,6
Rad s jednom rukom, lagan	0,7
Rad s jednom rukom, težak	1,5
Rad s obje ruke, lagan	1,2
Rad s obje ruke, težak	2,2

Zadaci prikazani u tablici trebaju se tretirati kao bilo koji zadatak. Primjerice, ako u određenom poslu radnik izvodi težak rad s jednom rukom tijekom  $t_1$  minuta, metabolička komponenta tog zadatka u modelu bi bila  $1,5 t_1$  kcal.

## 4.2. Primjer primjene metode

U ovom dijelu projekta daje se uvid u primjenu prethodno opisane metode. Pri tome se koristi primjer rukovanja čeličnim okvirima. Posao se sastoji od primarnog podizanja čeličnog okvira, njegovo nošenje do kolica, slaganje na kolica i vraćanje do stroja. Trajanje posla je 5,27 min.

**I. korak:** raščlamba posla na jednostavne zadatke.

Posao obavljaju dva radnika, muškog spola, teška 91 kg. Vrijeme trajanja posla je 5,27 min (radno vrijeme + 15 % odmora). Okvir je težak 61,4 kg i pretpostavlja se da je težina predmeta podjednako raspoređena na radnike (30,7 kg). Kako bi se procijenila potrošnja energije, posao se raspoređuje na pet jednostavnih zadataka:

1. podizanje,
2. nošenje,
3. lateralno gibanje ruku za 90°,
4. spuštanje,
5. hodanje.

Radnici moraju podignuti čelični okvir, zatim taj okvir nose do kolica. Slijedeće što trebaju učiniti je lateralno pomaknuti ruke za 90°, nakon čega slijedi funkcija spuštanja tereta na kolica. Nakon što su čelični okvir složili na kolica hodaju nazad do početne točke.

Prilikom podizanja tereta radnici moraju savladati vertikalnu visinu od 0,25 m na 1,2 m od poda. Taj raspon visine, zbog različitog položaja tijela i opterećenja, te različitih funkcija i potrošnje energije, dijeli se u dva dijela:

- od 0,25 do 0,8 m,
- od 0,8 m do 1,2 m.

U ovom zadatku evidentirana su dva položaja tijela: saginjanje i podizanje tereta rukama [Slika 21] te je zadatak podijeljen na četiri zadatka.

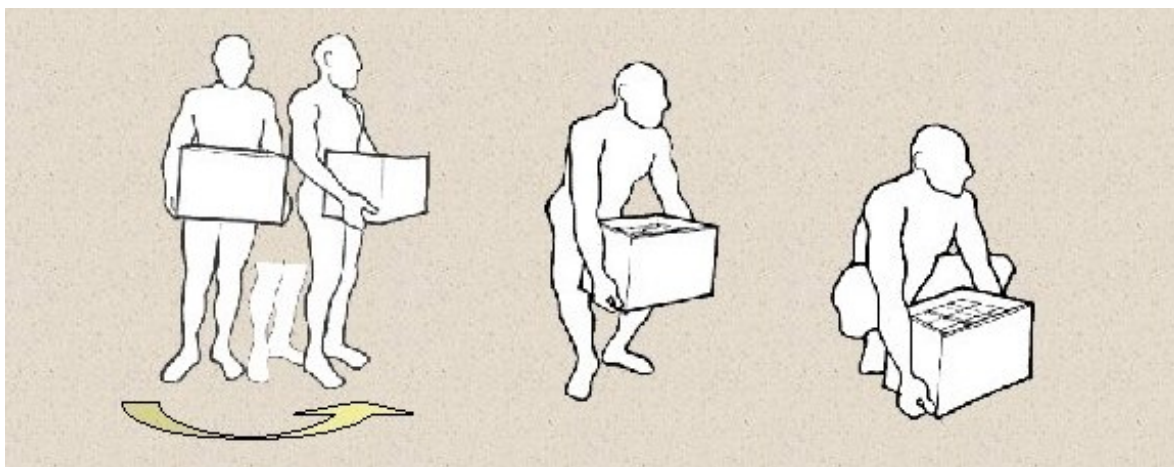


**Slika 21. Zadatak podizanja tereta: saginjanje i podizanje tereta rukama [5]**

I kod zadatka spuštanja tereta [Slika 22] izvršena je raščlamba zadatka. Teret se spušta s visine od 1,2 m na visinu kolica od 0,51 m. Raspon visine je podijeljen u dva dijela:

- od 1,2 m do 0,8 m,
- od 0,8 m do 0,51 m.

Kao i kod zadatka podizanja tereta, tako je i u kod zadatka spuštanja tereta izvršena raščlamba zadatka u četiri jednostavna zadatka.



**Slika 22. Zadatak spuštanja tereta: spuštanje tereta rukama i saginjanje [5]**

**II. korak:** za svaki pojedinačni zadatak potrebno je procijeniti neto metabolički trošak

### 1) Podizanje

Neto metabolički trošak prvog zadatka, *Podizanje*, procjenjuje se pomoću sljedećih jednadžbi:

- neto metabolički trošak saginjanja u podizanju [kcal/podizanju]:

$$\Delta E = 10^{-2}[0,325 BW (0,81 - h_1) + (1,41L + 0,76S \cdot L)(h_2 - h_1)]$$

$$\text{za } h_1 < h_2 \leq 0,81$$

- neto metabolički trošak podizanja tereta rukama [kcal/podizanju]:

$$\Delta E = 10^{-2}[0,062 BW (h_2 - 0,81) + (3,19L - 0,52S \cdot L)(h_2 - h_1)]$$

$$\text{za } 0,81 < h_1 \leq h_2$$

### 2) Nošenje tereta

Za obavljanje zadatka *nošenja tereta* radnicima je bilo potrebno 7,5 koraka u 0,092 minute. Na temelju laboratorijskog ispitivanja prosječan broj koraka osoba koja nosi 15 kg tereta pri brzini od 0,89 i 1,34 m/s je 88 i 112 u minuti [1]. Stoga je u danom primjeru procijenjeno da bi 7,5 koraka u 0,092 minute približno odgovaralo brzini hoda od 0,83 m/s (3 km/h). Pri tome je potrebno imati na umu da duljina koraka može varirati ovisno o težini tereta i duljini nogu, posebice kada je riječ o timskom radu, kada dvije osobe zajedno nose neki predmet. Sigurno je da to može utjecati na brzinu hodanja. Procijenjena brzina hodanja od 0,83 m/s može biti bruto aproksimacija stvarne brzine hodanja [1].

Uz procijenjenu brzinu hodanja radnika, 0,83 m/s, neto metabolički trošak za nošenje tereta izračuna se iz sljedeće jednadžbe:

- neto metabolički trošak nošenja, teret prislonjen uz bedra ili na struk [kcal]:

$$\Delta E = 10^2[68 + 2,54 BW \cdot V^2 + 4,08 L \cdot V^2 + 11,4L + 0,379(L + BW)G \cdot V]t$$

### 3) Lateralno gibanje ruku za 90°

Nakon izvršenja zadatka nošenja tereta slijedi zadatak lateralnog gibanja ruku za 90° u stojećem položaju. Neto metabolički trošak ovog zadatka procjenjuje se iz sljedeće jednadžbe:

- neto metabolički trošak lateralnog gibanja ruku za 90° u stojećem položaju, s jednom ili obje ruke [kcal]:

$$\Delta E = 10^{-2}[3,31 + 0,629 L + 0,143 S \cdot L]$$

### 4) Spuštanje tereta

Spuštanje tereta, kao i podizanje tereta podijeljeno je, kako je već istaknuto u četiri zadatka, a njihov neto metabolički trošak procjenjuje se iz sljedećih jednadžbi:

- neto metabolički trošak saginjanja u spuštanju [kcal/spuštanju]:

$$\Delta E = 10^{-2}[0,268 BW (0,81 - h_1) + 0,675L(h_2 - h_1) + 5,22S(0,81 - h_1)]$$

$$\text{za } h_1 < h_2 < 0,81$$

- neto metabolički trošak spuštanja tereta rukama [kcal/spuštanju]

$$\Delta E = 10^{-2}[0,093 BW (h_2 - 0,81) + (1,02L + 0,37S \cdot L)(h_2 - h_1)]$$

$$\text{za } 0,81 < h_1 < h_2$$

### 5) Hodanje

Za procjenu neto metaboličkog troška hodanja koristi se jednadžba kako slijedi:

- neto metabolički trošak hodanja [kcal]:

$$\Delta E = 10^{-2}[51 + 2,54 BW \cdot V^2 + 0,379 BW \cdot G \cdot V] \cdot t$$

Tablica 10] prikazana je podjela posla na zadatke i procijenjeni neto metaboličkih troškovi za ukupno jedanaest zadataka.

**Tablica 10. Podjela posla na zadatke i procijenjeni neto metabolički troškovi zadataka [1]**

Broj zadatka	Zadatak	Tehnika	Broj izvedenih izvedbi	Težina [kg]	Vertikalni raspon rada od	Opis zadatka ili vertikalno pomicanje radnog predmeta [m]		Neto procijenjen metabolički trošak
						od	do	
1	Podizanje	sagibanje	14	30,7	0,25	1,17	-	10,74
2	Podizanje	ruka	4	30,7	1,17	1,52	-	1,29
3	Podizanje	ruka	2	30,7	1,17	1,78	-	1,03
4	Podizanje	ruka	1	30,7	1,17	2,03	-	0,71
5	Nošenje	ispred	14	30,7	7,5	koraci	0,92	9,69
6	Lateralno pomicanje ruku za 90°	stajanje, obje ruke	28	30,7	-	-	-	3,78
7	Spuštanje	sagibanje	1	30,7	1,17	0,51	-	0,29
8	Spuštanje	ruka	4	30,7	1,17	0,81	-	0,54
9	Spuštanje	ruka	1	30,7	1,52	1,17	-	0,18
10	Spuštanje	ruka	2	30,7	1,78	1,17	-	0,58
11	Hodanje	-	14	0	7,5	Koraci	0,15	2,54

Suma neto metaboličkih troškova za jedanaest zadataka prikazani u tablici 2 iznosi ukupno 31,37 kcal.

Radnici su tijekom cijelog trajanja obavljanja posla (5,27 min) bili u stojećem položaju, pa se njihova posturalna komponenta metaboličkih troškova izračunava iz jednadžbe:

- odražavanje položaja tijela: stajanje

$$\dot{E} = 0,023BW$$

te iznosi 2,18 kcal/min.



Na temelju dobivenih podataka izračuna se prosječna brzina metabolizma iz sljedeće jednadžbe [59]:

$$\bar{\dot{E}}_{\text{zad}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} \dot{E}_{\text{pos}} x t_i + \sum_{i=1}^n \Delta E_{\text{task}_i}}{T}$$

$$\bar{\dot{E}}_{\text{zad}} = \frac{2,18 \cdot 5,27 + 31,37}{5,27} = 8,13 \text{ kcal/min}$$

### III. korak: uočavanje problema i predlaganje rješenja

S obzirom da je procjenom dobivena poprilično visoka brzina metabolizma, 8,13 kcal/min, realno se ne može očekivati da će radnik obavljati posao tijekom radnog vremena od osam sati bez odmora. Dvije komponente koje utječu na tako visoku brzinu metabolizma su: podizanje (zadatak 1) (sagibanje u podizanju tereta) i nošenje (zadatak 5). Neto procijenjeni metabolički trošak za zadatak podizanja iznosi 10,74 kcal/min, a za zadatak nošenja 9,69 kcal/min. Za usporedbu neto procijenjeni metabolički trošak za zadatak podizanja rukom iznosi 1,29 kcal/min, dok za zadatak sagibanja u spuštanju iznosi tek 0,29 kcal/min. Stoga je potrebno smanjiti brzinu metabolizma kod ove dvije komponente, sagibanje u podizanju tereta i nošenje tereta.

Jedno od mogućih rješenja koje može dovesti do smanjenja brzine metabolizma radnika u navedene dvije komponente je stavljanje kolica blizu operacije podizanja. Na taj način se izbjegavanje nošenje i metabolički trošak hoda.

## 5. PRIMJENA METODE ZA ERGONOMSKU PROCJENU METABOLIČKE POTROŠNJE ENERGIJE KOMISIONIRANJA IZ VERTIKALNIH I HORIZONTALNIH OKRETNIH REGALA

U svrhu boljeg razumijevanja primjene metode za ergonomsku procjenu metaboličke potrošnje energije za vertikalne i horizontalne okretno regale, uvodno se daju njihove opće značajke.

Okretni regali (koji se još nazivaju i karuseli) su oprema za skladištenje. Oni se koriste i kao samostalni uređaji i kao sustav s više karusela, kako bi se povećala produktivnost i izbjeglo čekanje na okretanje karusela. Karuseli omogućuju visoke iznose komisioniranja i gustoću skladištenja. U uporabi su [62]:

- vertikalni karuseli – koriste se najčešće u proizvodnim pogonima, laboratorijima, manjim skladištima,
- horizontalni karuseli – koriste se najčešće u distribucijskim centrima.

Vertikalni i horizontalni karuseli međusobno su vrlo slični što se tiče njihovih prednosti i nedostataka, ali su i međusobno jako različiti. Različitost se prvenstveno očituje u njihovom vanjskom i unutarnjem izgledu. Dok su vertikalni karuseli primjenjivi u uskim i visokim skladištima, jer popunjavaju skladišni prostor od poda do vrha, horizontalni karuseli su pogodni za niža i šira skladišta, s obzirom da popunjavaju skladišni prostor po dužini. Osim toga vertikalni karuseli se okreću u vertikalnom smjeru prema gore ili dolje, a horizontalni karuseli se okreću u horizontalnom smjeru, lijevo ili desno, ovisno o položaju robe. Horizontalni, kao i vertikalni karusel imaju istu funkciju, dovesti predmet koji se izuzima do radnika koji obavlja preuzimanje. Vrijeme izuzima predmeta šteti se automatiziranim principom rada, a greške se svode na minimum.

Proces komisioniranja je vrlo naporan s obično ergonomski rizičnim položajima savijanja ruke, dohvatanja i podizanja predmeta, međutim istraživački radovi o ergonomiji (ljudskim čimbenicima) u procesima komisioniranja su rijetki i tek su se nedavno pojavili. Štoviše, uglavnom se fokusiraju na ručne sustave komisioniranja, odnosno sustave “čovjek-robi”, gdje se komisioniranje obavlja iz statičnih sustava kao što su police ili paletni regali, hodanjem ili vožnjom između lokacija izuzimanja. Iako su vertikalni i horizontalni okretni regala sve više u upotrebi, u literaturi je vrlo malo radova koji se bave kvantitativnom usporedbom okretnih regala sa sustavima polica [63].

U ovom primjeru obuhvaćeno je ručno izuzimanje sitnih proizvoda iz vertikalnih i

horizontalnih karusela, te se izračunavaju predikcije metaboličke potrošnje energije primjenom Garg, Chaffin i Herrin metode. Usporedna analiza s obzirom na intenzitet rada (produktivnost) komisioniranja i masu komada kojima se rukuje u procesu daje uvid troši li radnik više energije kod izuzimanja iz vertikalnog karusela u odnosu na horizontalni, kao i da li se u određenim situacijama troši previše energije što bi dovelo do umaranja radnika.

### 5.1. Vertikalni karusel

Vertikalni karusel [Slika 23] je automatizirani skladišni sustav koji radi na principu robačovjeka. U upotrebi je od ranih 1970-ih godina u skladištima i industrijskim postrojenjima. Prve verzije su bile znatno sporije i s ograničenom sposobnošću u zadacima skladištenja i pronalaženja predmeta. Suvremeni vertikalni karuseli pružaju povećanu radnu brzinu, veći kapacitet u kombinaciji s automatiziranim sustavima upravljanja i korisničkim sučeljem jednostavnim za korištenje [63]. Glavni razlozi razvoja današnjih sofisticiranih vertikalnih automatiziranih karusela odnose se na ispunjenje zahtjeva za propusnošću malih predmeta i ograničenja vezana uz raspored. Vertikalni karusel se sastoji od niza spremnika pričvršćenih na fiksnim mjestima koje pokreće lančani pogon. Pokreće ih motor, koji šalje spremnike u okomitoj petlji oko staze u smjeru naprijed – natrag. Predmeti se pohranjuju u rotirajuće police u spremnike, tako da je svaka polica dolazi do korisnika, koji se ne mora pomicati, bilo da pohranjuje ili preuzima predmete. U ovom slučaju police s predmetima dolaze do korisnika umjesto da korisnik dolazi do polica. Sustav usvaja optimalni algoritam za automatski odabir najkraćeg puta, tako da materijal može brzo doći do operatera. Predmeti se izuzimaju kroz ergonomski pozicionirani pristupni otvor s radnim pultom.

U odnosu na skladišta s fiksnim policama, površina skladišta s vertikalnim karuselima je značajno manja. S obzirom da se poslovima skladištenja i dostave može upravljati centralno, radnici ne moraju hodati po skladištu i tražiti predmete na policama, a visina rada je uvijek konstantna, što uveliko doprinosi uštedi rada. Veliki broj karusela opremljen je i tehnologijom 'odaberi prema svijetlu', što dodatno olakšava rad zaposlenicima.



**Slika 23. Primjer vertikalnog karusela [64]**

Neke od prednosti vertikalnog karusela su sljedeće [64]:

- optimalizacija prostora i radnog vremena,
- povećanje brzine i točnost operacije izuzimanja, automatski dohvat predmeta i dovođenje pritiskom na dugme do operatera,
- izbjegavanje sigurnosnih problema korištenja viličara i ljestvi,
- usvojen ergonomski dizajn kako bi se smanjile ozljede prilikom izuzimanja i nošenja teških predmeta,
- kroz vertikalno skladištenje može se iskoristiti 80 % skladišnog prostora.

Vertikalni karusoli mogu biti samostojeći [Slika 23] ili integrirani u višekatne zgrade s više od jednog pristupnog otvora, te se mogu koristiti kao samostalno rješenje ili spojeni na umreženi sustav, čime se osigurava visoka razina učinkovitosti, fleksibilnosti i individualnosti.

## 5.2. Horizontalni karusel

Horizontalni karusel [Slika 24] je oblikovan za brzo izuzimanje i dostavu predmeta, materijala, robe male težine. Oblikovanjem ovog ergonomskog alata minimalizira se neproduktivno vrijeme kretanja radnika do police i pretraživanje. Spremnici su postavljeni na ovalnu stazu koja se vodoravno rotira kako bi pohranjeni artikli stigli do komisionara. Značajke horizontalnih karusela su ušteda prostora, smanjenje troškova rada, povećanje protoka materijala te smanjenje grešaka narudžbi.

Horizontalni karuseli su dostupni u različitim širinama i visinama, te se mogu prilagoditi različitim namjenama. Širina i visina spremnika varira, a moguće je podešavanje visine postavljanjem polica na različite visine [65].



Slika 24. Primjer horizontalnog karusela [65]

## 5.3. Izračun potrošnje metaboličke energije komisioniranja iz vertikalnih i horizontalnih karusela

U izračunu predikcije metaboličke potrošnje energije odabrana su tri slučaja intenziteta komisioniranja iz vertikalnih i horizontalnih karusela u kombinaciji s tri predmeta različite mase koje komisionar izuzima. Pri tome se pretpostavljaju tri slučaja intenziteta izuzimanja predmeta:

- prvi slučaj: jedan karusel s intenzitetom od 150 izuzimanja u minuti,
- drugi slučaj: dva karusela s intenzitetom 300 izuzimanja u minuti,
- treći slučaj: tri/četiri karusela bez čekanja.

Za sva tri slučaja definirane su sljedeće pretpostavke:

- masa predmeta: 0,1 kg , 1 kg i 2 kg
- dimenzije radne plohe vertikalnog karusela: visina od poda 1 m, dubina 0,3 m.
- visina stola na koji komisionar odlaže predmete iz horizontalnog karusela: 1 m.
- visina polica vertikalnog karusela: 0,5 m
- radna zona vertikalnog karusela: visina od poda: 1,0 – 1,5 m,
- radna zona horizontalnog karusela: visina od 1,0 – 1,5 m,
- visina na koju se predmet podiže, odnosno spušta: 0,24 m.
- radni zadatak obavlja radnik, muškog spola, težine 85 kg.

U sljedećem tekstu dan je izračun za tri slučaja izuzimanja iz vertikalnog karusela uz tri intenziteta, odnosno tri različite produktivnosti izuzimanja.

### **1. slučaj: Izuzimanje predmeta mase 0,1 kg, 1 kg i 2 kg iz samostalnog vertikalnog karusela, jedan karusel s intenzitetom 150 izuzimanja u minuti**

Pretpostavlja se da je iz jednog samostalnog vertikalnog regala produktivnost komisioniranja 150 stavki po satu. Ako se po jednom satu rada uzme maksimalni broj stavki 150, vrijeme trajanja jednog ciklusa je:

$$t_c = \frac{3600}{150} = 24 \text{ sekunde}$$

Pretpostavlja se da radnik 25 % ciklusa vremena izuzima, a 75 % ciklusa vremena stoji i čeka da se zakrene sljedeća lokacija, što znači da šest sekundi komisionira, a 18 sekundi čeka.

- raščlamba zadatka:

Pretpostavlja se da radnik u poziciji čekanja ima spuštene ruke. Kako bi se procijenila potrošnja energije pri komisioniranju predmeta težine 0,1 kg iz vertikalnog okretnog regala, radni zadatak se raspoređuje na jednostavne zadatke:

1. lateralno kretanje ruke za 90 stupnjeva, u stajaćem položaju
2. pružanje ruke naprijed (za dohvata predmeta), u stajaćem položaju, jedne ruke,
3. ručno podizanje predmeta iz spremnika
4. povlačenje ruke unatrag (za spuštavanje predmeta), u stajaćem položaju, jedne ruke,

5. ručno spuštanje (odlaganje predmeta na stol),
6. lateralno kretanje ruke za 90 stupnjeva, u stajaćem položaju, potvrda izuzimanja.

Pretpostavlja se da kod malih težina, kao što je predmet težine 0,1 kg, radnik upotrebljava jednu ruku. Lateralno pomicanje ruke podrazumijeva savladavanje visine od 0,4 m, a pomicanje ruke prema naprijed i natrag radnik savladava u dužini od 0,5 m. Cjelokupni zadatak podijeljen je u šest jednostavnih zadataka, među kojima se dva zadatka ponavljaju. Kod procjene potrošnje energije za svaki zadatak koristi se odgovarajuća jednadžba, kako slijedi:

- neto metabolička potrošnja lateralnog kretanja ruku za 90 stupnjeva, u stajaćem položaju, jedna ili obje ruke [kcal/ lateralnom kretanju ruku]:

$$\Delta E = 10^{-2} (3,31 + 0,629 \cdot L + 0,143 S \cdot L)$$

- neto metabolička potrošnja pomicanja ruku prema naprijed, stajaći položaj, jedna ili obje ruke [kcal/ pokretanje ruku]:

$$\Delta E = 10^{-2} X (3,57 + 1,23L)$$

- podizanje jednom rukom [kcal/ podizanje]:

$$\Delta E = 10^{-2} [0,352 \cdot BW (0,81-h_1) + 3,03 \cdot L (h_2 - h_1)]$$

- spuštanje [kcal/ spuštanju]

$$\Delta E = 10^{-2} [0,268 \cdot BW (0,81-h_1) + 0,675 \cdot L (h_2 - h_1) + 5,22 \cdot S (0,81 - h_1)]$$

pri čemu je:

BW – tjelesna težina radnika [85 kg]

L – težina predmeta [0,1 odnosno 1 kg]

S – spol radnika (1 – muškarci, 0 – žene)

X – horizontalno pomicanje predmeta [0,5 m]

$h_1$  – vertikalna visina od poda; početna točka za dizanje i krajnja točka za spuštanje [0 m]

$h_2$  – vertikalna visina od poda; krajnja točka za dizanje i početna točka za spuštanje [0,24 m]

U [Tablica 11] prikazana je podjela poslova i procijenjena neto metabolička potrošnja energije za ukupno šest zadataka za tri predmeta različite mase: 0,1 kg, 1 kg i 2 kg.

**Tablica 11. Podjela posla na zadatke i procijenjena neto metabolička potrošnja energije zadatka kod vertikalnog karusela**

Broj zadatka	Zadatak	Tehnika	Broj izvedenih izvedbi	Težina [kg]	Vertikalni raspon rada od	Opis zadatka ili vertikalno pomicanje radnog predmeta [m]		Neto procijenjen metabolički trošak
						od	do	
<b>1) Neto metabolička potrošnja energije za predmet težine 0,1 kg</b>								
1	Lateralno pomicanje ruku za 90°	ruka	1	0,1	0,40	-	-	0,033
2	Pomicanje ruke prema naprijed	ruka	1	0,1	0,50	-	-	0,018
3	Podizanje jednom rukom	ruka	1	0,1	0,24	0,00	0,24	0,025
4	Pomicanje ruke natrag	ruka	1	0,1	0,50	-	-	0,018
5	Spuštanje	ruka	1	0,1	0,24	0,24	0,00	0,227
6	Lateralno pomicanje ruku za 90°	ruka	1	0,1	0,40	-	-	0,033
	Ukupno							0,573
<b>2) Neto metabolička potrošnja energije za predmet težine 1 kg</b>								
1	Lateralno pomicanje ruku za 90°	ruka	1	1	0,40	-	-	0,033
2	Pomicanje ruke prema naprijed	ruka	1	1	0,50	-	-	0,018
3	Podizanje jednom rukom				0,24	0,00	0,24	0,250
4	Pomicanje ruke natrag	ruka	1	1	0,50	-	-	0,024
5	Spuštanje	ruka	1	1	0,24	0,24	0,00	0,229
6	Lateralno pomicanje ruku za 90°	ruka	1	1	0,40	-	-	0,033
	Ukupno							0,587
<b>3) Neto metabolička potrošnja energije za predmet težine 2 kg</b>								
1	Lateralno pomicanje ruku za 90°	ruka	1	2	0,40	-	-	0,033
2	Pomicanje ruke prema naprijed	ruka	1	2	0,50	-	-	0,018
3	Podizanje jednom rukom				0,24	0,00	0,24	0,257
4	Pomicanje ruke natrag	ruka	1	2	0,50	-	-	0,030
5	Spuštanje	ruka	1	2	0,24	0,24	0,00	0,230
6	Lateralno pomicanje ruku za 90°	ruka	1	2	0,40	-	-	0,033
	Ukupno							0,601

Suma neto metaboličke potrošnje energije za šest zadataka prikazani u iznosi ukupno:

- za predmet težine od 0,1 kg – 0,573 kcal
- za predmet težine od 1 kg – 0,587 kcal
- za predmet težine od 2 kg – 0,601 kcal



Radnici su tijekom cijelog obavljanja posla ( $T = 24$  sek) bili u stojećem položaju, pa se njihova posturalna komponenta metaboličkih troškova izračunava iz jednadžbe:

- neto metabolička stopa za tijelo u položaju stajanja:

$$\Delta \dot{E} = \dot{E} - \dot{E}_s$$

$$\dot{E} = 0,023 \cdot 85 = 1,955 \text{ kcal/min}$$

$$\dot{E}_s = 1 \text{ kcal za svaki kg težine radnika/sat} = 1 \cdot 85 = 85 \text{ kcal/sat, odnosno } 1,41 \text{ kcal/min}$$

$$\Delta \dot{E} = 1,955 - 1,41 = 0,545$$

te iznosi 0,545 kcal u min.

Temeljem dobivenih podataka izračuna se prosječna brzina metabolizma iz sljedeće jednadžbe:

$$\bar{\dot{E}}_{zad} = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} \dot{E}_{pos} t_i + \sum_{i=1}^n \Delta E_{task_i}}{T}$$

$$\bar{\dot{E}}_{zad} (0,1 \text{ kg}) = \frac{(0,545 \cdot 0,4) + 0,572556}{0,4} = 1,98 \text{ kcal/min}$$

$$\bar{\dot{E}}_{zad} (1 \text{ kg}) = \frac{(0,545 \cdot 0,4) + 0,586094}{0,4} = 2,01 \text{ kcal/min}$$

$$\bar{\dot{E}}_{zad} (2 \text{ kg}) = \frac{(0,545 \cdot 0,4) + 0,601136}{0,4} = 2,05 \text{ kcal/min}$$

Iz navedenog slijedi da radnik izuzimanjem predmeta težine 0,1 kg iz vertikalnog karusela ima prosječnu metaboličku potrošnju energije od 1,98 kcal/min, za izuzimanje predmeta težine 1 kg prosječna metabolička potrošnja energije mu raste te iznosi 2,01 kcal/min, a za izuzimanje predmeta težine 2 kg prosječna metabolička potrošnja energije nastavlja rasti te iznosi 2,05 kcal/min.

## 2. slučaj: Izuzimanje predmeta mase 0,1 kg, 1 kg i 2 kg iz dva vertikalna karusela s intenzitetom 300 izuzimanja po satu

Pretpostavlja se da je iz dva vertikalna okretna regala produktivnost komisioniranja dvostruko veća nego iz jednog karusela te produktivnost iznosi 300 izuzimanja po satu. Stoga je vrijeme trajanja jednog ciklusa:

$$t_c = \frac{3600}{300} = 12 \text{ sekundi}$$

Pretpostavka je da radnik 50 % ciklusa vremena izuzima, a 50 % ciklusa vremena stoji i čeka da se zakrene sljedeća lokacija, što znači da šest sekundi komisionira, a 6 sekundi čeka. Stoga je ukupna prosječna brzina metabolizma za svaku masu predmeta:

$$\bar{E}_{zad} (0,1 \text{ kg}) = \frac{(0,545 \cdot 0,2) + 0,572556}{0,2} = 3,41 \text{ kcal/min}$$

$$\bar{E}_{zad} (1 \text{ kg}) = \frac{(0,545 \cdot 0,2) + 0,586094}{0,2} = 3,48 \text{ kcal/min}$$

$$\bar{E}_{zad} (2 \text{ kg}) = \frac{(0,545 \cdot 0,2) + 0,601136}{0,2} = 3,55 \text{ kcal/min}$$

### 3. slučaj: Izuzimanje predmeta mase 0,1 kg, 1 kg i 2 kg iz sustava vertikalnih karusela bez čekanja – 600 izuzimanja po satu

Pretpostavlja se da radnik komisionira iz sustava vertikalnih karusela bez čekanja, pri čemu mu je za izuzimanje potrebno 6 sekundi, a produktivnost rada je 600 izuzimanja po satu. Ukupna prosječna brzina metabolizma za svaku masu predmeta je kako slijedi:

$$\bar{E}_{zad} (0,1 \text{ kg}) = \frac{(0,545 \cdot 0,1) + 0,572556}{0,1} = 6,27 \text{ kcal/min}$$

$$\bar{E}_{zad} (1 \text{ kg}) = \frac{(0,545 \cdot 0,1) + 0,586094}{0,1} = 6,41 \text{ kcal/min}$$

$$\bar{E}_{zad} (2 \text{ kg}) = \frac{(0,545 \cdot 0,1) + 0,601136}{0,1} = 6,56 \text{ kcal/min}$$

U sljedećem tekstu dan je izračun za tri slučaja izuzimanja iz **horizontalnog karusela** uz tri intenziteta, odnosno tri različite produktivnosti izuzimanja.

### 1. slučaj: Izuzimanje predmeta mase 0,1 kg, 1 kg i 2 kg iz horizontalnog karusela s intenzitetom 300 izuzimanja po satu

Radnik komisionira iz horizontalnog karusela na trećoj razini kako bi visina s koje radnik komisionira bila ista razini radnog stola vertikalnog karusela, odnosno na visini od 1,0. S obzirom da horizontalni karusel nema radnu plohu na koju radnik može odložiti predmet, radnik ga odlaže na kolica koja se nalaze na udaljenosti od 1 m od horizontalnog karusela. Stoga je uz zadatke navedene kod vertikalnog karusela pri raščlambi zadatka dodana još jedna komponenta:

- neto metabolička potrošnja nošenja, teret koji se drži uz bedra ili struk [kcal]

$$\Delta E = 10^{-2} [68 + 2,54 \cdot BW \cdot V^2 + 4,08 L \cdot V^2 + 11,4 \cdot L + 0,379 (L + BW)G \cdot V]t$$

V – brzina hodanja [m/s] (m/s), u primjeru [0,83 m/s – najniža brzina hodanja prema Garg, Chaffin i Herrin]

G – nagib površine za hodanje [stupnjevi],

pa se posao sastoji od sedam zadataka, a procijenjena neto potrošnja energije za svaki zadatak prikazana je u [Tablica 12].

**Tablica 12. Podjela posla na zadatke i procijenjeni neto metabolička potrošnja energije zadatka kod horizontalnog karusela**

Broj zadatka	Zadatak	Tehnika	Broj izvedenih izvedbi	Težina [kg]	Vertikalni raspon rada od	Opis zadatka ili vertikalno pomicanje radnog predmeta [m]		Neto procijenjen metabolički trošak
						od	do	
<b>1) Neto metabolička potrošnja energije za predmet težine 0,1 kg</b>								
1	Lateralno pomicanje ruku za 90°	ruka	1	0,1	0,40	-	-	0,033
2	Pomicanje ruke prema naprijed	ruka	1	0,1	0,50	-	-	0,018
3	Podizanje jednom rukom	ruka	1	0,1	0,24	0,00	0,24	0,024
4	Pomicanje ruke natrag	ruka	1	0,1	0,50	-	-	0,018
5	Nošenje	hodanje	1	0,1	koraci	koraci	koraci	0,023
6	Spuštanje	ruka	1	0,1	0,24	0,24	0,00	0,010
7	Lateralno pomicanje ruku za 90°	ruka	1	0,1	0,40	-	-	0,033
	Ukupno							0,583
<b>2) Neto metabolička potrošnja energije za predmet težine 1 kg</b>								
1	Lateralno pomicanje ruku za 90°	ruka	1	1	0,40	-	-	0,033
2	Pomicanje ruke prema naprijed	ruka	1	1	0,50	-	-	0,018
3	Podizanje jednom rukom	ruka	1	1	0,24	0,00	0,24	0,250
4	Pomicanje ruke natrag	ruka	1	1	0,50	-	-	0,024
5	Nošenje	hodanje	1	1	koraci	koraci	koraci	0,023
6	Spuštanje	ruka	1	1	0,24	0,24	0,00	0,011
7	Lateralno pomicanje ruku za 90°	ruka	1	1	0,40	-	-	0,033
	Ukupno							0,598
<b>3) Neto metabolička potrošnja energije za predmet težine 2 kg</b>								
1	Lateralno pomicanje ruku za 90°	ruka	1	2	0,40	-	-	0,033
2	Pomicanje ruke prema naprijed	ruka	1	2	0,50	-	-	0,018
3	Podizanje jednom rukom	ruka	1	2	0,24	0,00	0,24	0,257
4	Pomicanje ruke natrag	ruka	1	2	0,50	-	-	0,030
5	Nošenje	hodanje	1	2	koraci	koraci	koraci	0,023
6	Spuštanje	ruka	1	2	0,24	0,24	0,00	0,012
7	Lateralno pomicanje ruku za 90°	ruka	1	2	0,40	-	-	0,033
	Ukupno							0,613

Suma neto metaboličke potrošnje energije za sedam zadataka prikazani u [Tablica 12] iznosi ukupno:

- za predmet težine od 0,1 kg - 0,583 kcal
  - za predmet težine od 1 kg – 0,598 kcal
  - za predmet težine od 2 kg – 0,613 kcal
- neto metabolička stopa za tijelo u položaju stajanja je 0,545 kcal/min, te se izračunava prosječna metabolička potrošnja energije, kako slijedi:

$$\bar{E}_{\text{zad}} (0,1 \text{ kg}) = \frac{(0,545 \cdot 0,4) + 0,583464}{0,4} = 2,00 \text{ kcal/min}$$

$$\bar{E}_{\text{zad}} (1 \text{ kg}) = \frac{(0,545 \cdot 0,4) + 0,597641}{0,4} = 2,04 \text{ kcal/min}$$

$$\bar{E}_{\text{zad}} (2 \text{ kg}) = \frac{(0,545 \cdot 0,4) + 0,613394}{0,4} = 2,08 \text{ kcal/min}$$

Iz navedenog slijedi da radnik izuzimanjem predmeta težine 0,1 kg iz horizontalnog karusela ima prosječnu metaboličku potrošnju energije od 2,0 kcal/min, za izuzimanje predmeta težine 1 kg prosječna metabolička potrošnja energije mu raste te iznosi 2,04 kcal/min, a za izuzimanje predmeta težine 2 kg nastavlja se povećavati prosječna metabolička potrošnja energije te iznosi 2,08 kcal/min.

## 2. slučaj: Izuzimanje predmeta mase 0,1 kg, 1 kg i 2 kg iz dva horizontalna karusela s intenzitetom 300 izuzimanja po satu

Pretpostavka je da je intenzitet izuzimanja predmeta iz dva karusela 300 izuzimanja na sat, pa je vrijeme potrebno za komisioniranje 12 sekundi, od čega se pretpostavlja 50 % vremena potrebnog za izuzimanje (6 sekundi) i 50 % vremena (6 sekundi) radnik čeka dok ne dođe sljedeći predmet do njega. Stoga je ukupna prosječna brzina metabolizma za svaku masu predmeta:

$$\bar{E}_{\text{zad}} (0,1 \text{ kg}) = \frac{(0,545 \cdot 0,2) + 0,583464}{0,2} = 3,46 \text{ kcal/min}$$

$$\bar{E}_{\text{zad}} (1 \text{ kg}) = \frac{(0,545 \cdot 0,2) + 0,597641}{0,2} = 3,53 \text{ kcal/min}$$

$$\bar{E}_{\text{zad}} (2 \text{ kg}) = \frac{(0,545 \cdot 0,2) + 0,613394}{0,2} = 3,61 \text{ kcal/min}$$

### 3. slučaj: Izuzimanje predmeta mase 0,1 kg, 1 kg i 2 kg iz sustava horizontalnog karusela bez čekanja – 600 izuzimanja po satu

Pretpostavlja se da radnik komisionira iz sustava vertikalnih karusela bez čekanja, pri čemu mu je za izuzimanje potrebno 6 sekundi, a produktivnost rada je 600 izuzimanja po satu. Ukupna prosječna brzina metabolizma za svaku masu predmeta je kako slijedi:

$$\bar{E}_{zad} (0,1 \text{ kg}) = \frac{(0,545 \cdot 0,1) + 0,583464}{0,1} = 6,38 \text{ kcal/min}$$

$$\bar{E}_{zad} (1 \text{ kg}) = \frac{(0,545 \cdot 0,1) + 0,597641}{0,1} = 6,52 \text{ kcal/min}$$

$$\bar{E}_{zad} (2 \text{ kg}) = \frac{(0,545 \cdot 0,1) + 0,613394}{0,1} = 6,68 \text{ kcal/min}$$

U [Tablica 13] dan je pregled prosječne potrošnje energije radnika u svakom od prikazanih slučajeva izuzimanja iz vertikalnog i horizontalnog karusela.

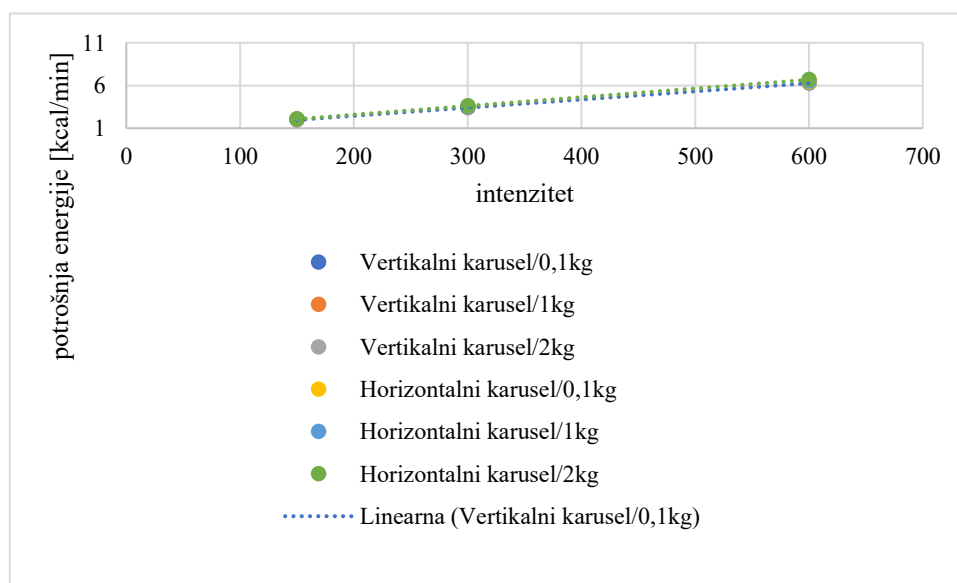
**Tablica 13. Prosječna metabolička potrošnja energije komisioniranja iz vertikalnog i horizontalnog karusela**

Red. br.	Težina predmeta	Produktivnost		
		150 izuzimanja/sat	300 izuzimanja/sat	600 izuzimanja/sat
<b>Vertikalni karusel</b>				
1.	0,1 kg	1,98	3,40	6,27
2.	1 kg	2,01	3,47	6,40
3.	2 kg	2,05	3,55	6,44
<b>Horizontalni karusel</b>				
1.	0,1 kg	2,00	3,46	6,38
2.	1 kg	2,04	3,53	6,52
3.	2 kg	2,08	3,61	6,68

Temeljem navedenih podataka u [Tablica 13] može se vidjeti da metabolička potrošnja energije komisioniranja raste s povećanjem težine i povećanjem intenziteta. Za izuzimanje predmeta iz vertikalnog karusela mase 0,1 kg s povećanjem intenziteta sa 150 na 300 izuzimanja prosječna metabolička potrošnja energije radnika povećala se za 74,7 %, dok je s povećanjem intenziteta na 600 izuzimanja metabolička potrošnja energije povećana je za 84,1 %. U sličnom omjeru dolazi i do povećanja metaboličke potrošnje energije izuzimanjem predmeta mase 1 kg i 2 kg s

porastom intenziteta izuzimanja sa 150 na 300 i 600 izuzimanja na sat. Isto se odnosi i na izuzimanje iz horizontalnih karusela.

Izračunom se došlo i do saznanja o većoj metaboličkoj potrošnji energije komisioniranja u horizontalnim karuselima u odnosu na vertikalne karusele. Potrošnja energije u horizontalnim karuselima veća je u rasponu od 1,0 % kod izuzimanja predmeta mase 0,1 kg intenziteta 150 izuzimanja na sat do 2,0 % kod izuzimanja predmeta mase 2 kg intenziteta 300 izuzimanja na sat. Vidljiv je rast razlike potrošnje energije u horizontalnom karuselu i vertikalnom karuselu s povećanjem intenziteta i mase [Slika 25]. Dok za masu od 0,1 kg izuzimanjem iz horizontalnog karusela radnik potroši 0,02 kcal/min više nego kod izuzimanjem iz vertikalnog karusela pri istom intenzitetu od 150 izuzimanja, rastom intenziteta ta se razlika povećava te pri intenzitetu od 300 izuzimanja iznosi 0,06 kcal/min, a kod intenziteta od 600 izuzimanja 0,11 kcal/min. Razlika je vidljiva i s povećanjem mase. S izuzimanjem predmeta mase 1 kg i intenziteta 150 izuzimanja, razlika između potrošnje energije radnika izuzimanjem iz horizontalnog karusela veća je za 0,3 kcal/min (u odnosu na 0,2 kcal/u min. kod mase predmeta od 0,1 kg), te se povećava na 0,12 kcal/min kod intenziteta od 600 izuzimanja (0,11 kcal/min kod predmeta mase 0,1 kg). Najveća razlika može se uočiti između potrošnje energije radnika kod izuzimanja predmeta mase 2 kg (0,24 kcal) i intenziteta 600 izuzimanja. Kod intenziteta od 300 izuzimanja razlika između veće potrošnje energije iz horizontalnog u odnosu na vertikalni karusel bila je na istoj razini (0,6 kcal/min) kod sve tri mase predmeta.



**Slika 25. Vrijednosti prosječne metaboličke potrošnje energije komisioniranja iz vertikalnog i horizontalnog karusela**

Ako se uzme u obzir granica zamora od 5,2 kcal/min prema Garg, Chaffin i Herrin [1] onda se može zaključiti da će izuzimanje predmeta mase 2 kg rezultirati zamorom radnika. Uvrštenjem manjih masa predmeta omogućilo bi točniju prosudbu koja je to masa koja će u danim uvjetima rezultirati zamorom radnika. Može se pretpostaviti da bi masa oko 1,7 kg bila granična masa do koje ne bi došlo do zamora radnika pri izuzimanju predmeta u vertikalnim karuselima pri intenzitetu od 600 izuzimanja na sat, dok bi u horizontalnim karuselima ona bila nešto manja, oko 1,6 kg.

U oba izuzimanja i kod vertikalnih i kod horizontalnih karusela mogao bi se uključiti dodatak za rad šake koji prema Garg, Chaffin i Herrin [1] za lagani rad šake iznosi 0,2 kcal/min, što bi povećalo metaboličku potrošnju energije te smanjilo masu predmeta kod kojih bi pri intenzitetu od 600 izuzimanja na sat došlo do zamora radnika.

Potrošnja energije izuzimanja veća je u horizontalnim karuselima u odnosu na vertikalne, a s obzirom na rast potrošnje s obzirom na masu i intenzitet potrebno je o tome voditi računa pri oblikovanju radnog zadatka i skladištenju materijala.

## 6. ZAKLJUČAK

Ovim diplomskim radom predstavljena je metoda za ergonomsku procjenu potrošnje energije koju su razvili Garg, Chaffin i Herrin 1978. godine, a koja je primjenjiva i u ručnim logističkim zadacima. Ergonomiji se u ručnim logističkim zadacima treba dati ključna važnost, jer narušavanje zdravlja radnika uslijed neadekvatnih radnih uvjeta, dovode do smanjenja produktivnosti i učinkovitosti obavljanja poslova. Veoma je važno uspostaviti ravnotežu između ekonomskih i ergonomskih mjera izvedbe zadataka, a u svrhu povećanja produktivnosti i efikasnosti.

Metoda koju su razvili Garg, Chaffin i Herrin temelji se na procjeni potrošnje energije potrebne za obavljanje standardnih operacija, kao što su podizanje ili dizanje tereta, hodanje, stajanje i sl. u ovisnosti o metaboličkoj potrošnji kisika. Metoda je vrlo jednostavna što je utjecalo na njenu široku primjenu. Pretpostavka za razvijanje metode bila je da velika opterećenja dovode do značajne metaboličke potrošnje, što uzrokuje zdravstvene rizike za radnike. Metoda raščlanjuje ukupan posao na pojedinačne zadatke, te se za svaki zadatak procjenjuje metabolički trošak. Na taj način može se ustanoviti koji zadatak iziskuje veći trošak te se odgovarajućim rješenjima metabolička potrošnja na određenom zadatku može smanjiti, i time povećati zdravstvenu sigurnost i zaštitu ljudi koji obavljaju poslove ručnog rukovanja teretom.

U ovom radu metoda je korištena za usporedbu ergonometričnosti vertikalnog i horizontalnog karusela. Analizirano je ručno komisioniranje sitnih predmeta iz vertikalnih i horizontalnih karusela te se izračunavala predikcija metaboličke potrošnje energije primjenom Garg, Chaffin i Herrin metode. Usporedna analiza s obzirom na intenzitet rada (produktivnost) komisioniranja i masu komada kojima se rukuje u procesu daje uvid troši li radnik više energije kod izuzimanja iz vertikalnog karusela u odnosu na horizontalni, kao i je li metabolička potrošnja energije u određenim situacijama veća od preporučene što bi dovelo do umaranja radnika.

Rezultati analize pokazali su da radnik pri komisioniranju iz horizontalnog karusela ima metaboličku potrošnju energije veću u odnosu na komisioniranje iz vertikalnog karusela. Također je pokazala da s povećanjem mase predmeta koji se izuzima raste i metabolička potrošnja energije radnika. Rast metaboličke potrošnje energije radnika u korelaciji je s intenzitetom izuzimanja. Visoka razina produktivnosti radnika, pri kojoj radnik ne čeka između dva izuzimanja predmeta, pokazala je da je prosječna metabolička potrošnja energije radnika iznad preporučene razine prema Garg, Chaffin i Herrinu te da se kod nje javlja zamor radnika.



Rješenje se vidi u oblikovanju radnog zadatka radnika odgovarajuće mase i odgovarajućeg intenziteta kako ne bi došlo do zamora radnika. Uvođenje pauze pri većim težinama i većem intenzitetu također je jedno od rješenja, koje će rezultirati smanjenjem rizika umora kod radnika i posljedično smanjenja rizika od mišićno-koštanih poremećaja radnika i povećanje dobrobiti radnika.

**LITERATURA**

- [1] Calzavara et al. (2017). Analysis of economic and ergonomic performance measures of different rack layouts in an order picking warehouse. *Computers & Industrial Engineering*, vol. 111, pp. 527-536, doi:10.1016/j.cie.2016.07.001 (20.05.2021.)
- [2] Calzavara et al. (2016). Models for an ergonomic evaluation of order picking from different rack layouts. *IFAC – PapersOnLine*, vol. 49, no. 12, pp. 1715-1720, doi:10.1016/j.ifacol.2016.07.829 (20.05.2021.)
- [3] Garg, A., Chaffin, D. B., Herrin, G.D. (1978). Predict of metabolic rates for manual materials handling jobs. *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 39, no. 8., pp. 661-674.
- [4] Batini, D. et al. (2016). Human energy expenditure in order picking storage assignment: A bi-objective method. *Computers & Industrial Engineering*, vol. 94, pp. 147-157.
- [5] Beño, R. (2013). *Ergonomics in business logistics*. Universitätsverlag Ilmenau, Bratislava, [https://www.db-thueringen.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dbt\\_derivate\\_00028469/ilm1-2013100091.pdf](https://www.db-thueringen.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dbt_derivate_00028469/ilm1-2013100091.pdf) (18.12.2021.)
- [6] International Ergonomics Association, What is Ergonomics?, <https://iea.cc/what-is-ergonomics/> (17.05.2021.)
- [7] Cohen, A. L. et al. 1997. *Elements of ergonomics programs. A Primer Based on Workplace Evaluations of Musculoskeletal Disorders*, NIOSH, Cincinnati, US, <https://www.cdc.gov/niosh/docs/97-117/pdfs/97-117.pdf>
- [8] Wilson, J. R. (2000). Fundamentals of ergonomics in theory and practice. *Applied Ergonomics*, vol. 31, no. 6, pp. 557-567.
- [9] Ribarić Gruber, A. (2008). Ergonomija i obveze. *Open infoTrend*, <http://www.infotrend.hr/clanak/2008/5/ergonomija-i-obveze,12,298.html> (17.05.2021.)
- [10] Mijović, B., Lončar, R. (2008). Ergonomsko oblikovanje sjedećeg radnog mjesta pri radu s računalom. *Sigurnost*, vol. 50, no. 1, pp. 9-15.
- [11] Attwood, D. A., Deep, J. M. Danz-Reece, M. E. (2004). *Ergonomic Solutions for the Process Industries*. Elsevier.
- [12] Wickens, C.D., Gordon, S.E., Liu, Y. (1998). *An Introduction to Human Factors Engineering*. Addison-Wesley, New York.
- [13] Kirin, S. (2019). *Uvod u ergonomiju*. Veleučilište u Karlovcu, Karlovac.

- [14] Franco, G., Fusetti, L. (2004). Bernardino Ramazzini's early observations of the link between musculoskeletal disorders and ergonomic factors. *Appl Ergon*, vol. 35., br. 1, pp. 67-70., doi: 10.1016/j.apergo.2003.08.001
- [15] Hrvatska tehnička enciklopedija, Pojam ergonomija, <https://tehnika.lzmk.hr/ergonomija/> (7.01.2022.)
- [16] Ergonomic Inventions throughout History, Minnadmin, Business Ideas, <http://www.minnesotainventorscongress.org/category/business-ideas/> (11.01.2022.)
- [17] Mikšić, D. (1997). Uvod u ergonomiju. Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- [18] ChairOffice, The Ergonomics of a Chair Explained. <https://www.chairoffice.co.uk/blog/the-ergonomics-of-a-chair-explained/> (17.12.2021.)
- [19] Couffe, C., Michael, G.A. (2017). Failures due to interruptions or distractions: A review and a new framework. *The American Journal of Psychology*, vol. 130, br. 2, pp. 163-181, <http://doi.org/10.5406/amerypsyc.130.2.0163>
- [20] Foroughi, C.K. et al. (2014). Do Interruptions Affect Quality of Work? *Human Factors*, vol. 56, br. 7, pp. 1209-1221, <https://doi.org/10.1177/0018720814531786>
- [21] Kalokoski, V. et al. (2020). Effects of a cognitive ergonomics workplace intervention (CogErg) on cognitive strain and well-being: a cluster-randomized controlled trial. A study protocol. *BMC Psychology*, vol. 8, br. 1., <https://doi.org/10.1186/s40359-019-0349-1>
- [22] Bau, L. M. S. et al. (2012). Organizational ergonomics of occupational health methods and processes in a Brazilian oil refinery. *Work*, vol. 41, no. 1, pp. 2817-2821, doi: 10.3233/WOR-2012-0529-2817
- [23] Chandra, S., Khan, I. (2020). Organizational Ergonomics and its Framework. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, vol. 8, br. 6, pp. 776-783.
- [24] De Looze, M., Koningsveld, E. Physical ergonomics. OSH Wiki, [https://oshwiki.eu/wiki/Physical\\_ergonomics#Introduction](https://oshwiki.eu/wiki/Physical_ergonomics#Introduction) (11.01.2022.)
- [25] Council Directive 89/391/EEC of 12 June 1989 on the introduction of measures to encourage improvements in the safety and health of workers at work, Official Journal L 183, Retrieved 14 October 2013, <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31989L0391:en:HTML> (4.01.2022.)

- [26] Center for Occupational & Environmental Health. The Difference between Physical Ergonomics, Cognitive Ergonomics, and Macroergonomics. <https://www.coeh.berkeley.edu/post/the-difference-between-physical-ergonomics-cognitive-ergonomics-and-macroergonomics> (4.01.2022.)
- [27] Šamanović, J. (1999). *Logistički i distribucijski sustavi*. Split: Ekonomski fakultet Sveučilišta u Splitu.
- [28] Zekić, Z. (2000). *Logistički menadžment*. Rijeka: Glasa.
- [29] Đukić, G. (2004). Tehnička logistika i upravljanje logističkim lancima, prezentacija, <https://www.slideserve.com/octavius/tehnicka-logistika-i-upravljanje-logistickim-lancima> (25.06.2021.)
- [30] Zekić, Z. (2017). Logistika kao integrativna upravljačka funkcija – fokus suvremenog menadžmenta. *Oeconomica Jadertina*, vol. 7, no. 2, pp. 96-105.
- [31] Al-Khazraji, H., Khلیل, S., Alabacy, Z. (2020). Industrial Picking and Packing Problem: Logistic Management for Products Expedition. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, vol. 43, no. 2, pp. 74-80.
- [32] Đukić, G. (2004). *Istraživanje komisijiranja u regalnim skladištima*. Doktorska disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- [33] Manzini, R., Accorsi, R., Pattitoni, L., Regattieri, A. (2011). A Supporting Decisions Platform for the Design and Optimization of a Storage Industrial System. *U: Efficient Decision Support System – Practice and Challenges in multidisciplinary Domains*, doi:105772/16861
- [34] Dallari, F., Marchet, G., Melacini, M. (2008). Design of order picking system. *International Journal of Advanced Manufacturing*, no. 42, pp. 1-12, doi:10.1007/s00170-008-1571-9
- [35] Habazin, J., Glasnović, A., Bajor, I. (2017). Order picking process in warehouse: case study of dairy industry in Croatia. *Promet – Traffic & Transportation*, vol. 29, no. 1, pp. 57-65.
- [36] Grosse, E. H., Glock, C. H., Neumann, W. P. (2016). Human factors in order picking: a content analysis of the literature. *International Journal of Production Research*, vol. 55, no. 5, br. 1260-1276., doi: 10.1080/00207543.2016.118629

- [37] Tompkins, J.A., White, J.A., Bozer, Y.A., Tanchoco, J.M.A. (2010). *Facilities Planning*. Fourth edition, John Wiley & Sons, Danver, [https://www.academia.edu/44877867/Facilities\\_Planning\\_John\\_A\\_White\\_Yavuz\\_A\\_Bozer\\_J\\_M\\_A\\_Tanchoco\\_by\\_James\\_A\\_Tompkins\\_z\\_lib\\_org\\_\(9.01.2022.\)](https://www.academia.edu/44877867/Facilities_Planning_John_A_White_Yavuz_A_Bozer_J_M_A_Tanchoco_by_James_A_Tompkins_z_lib_org_(9.01.2022.))
- [38] He, Z., Aggarwal, V., Nof, S.Y. (2018). Differentiated service policy in smart warehouse automation. *International of Production Research*, pp. 1-15, doi:10.1080/00207543.2017.1421789
- [39] Vijayakumar, V., Sgarbossa, F. (2021). A literature review on the level of automation in picker-to parts order picking system: research opportunities. *IFAC PapersOnline* 54-1, pp. 438-443, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896321007680> (14.01.2022.)
- [40] Canadian Centre for Occupational Health and Safety. Work-related Musculoskeletal Disorders (WMSDs). <https://www.ccohs.ca/oshanswers/diseases/rmirsi.html> (7.01.2022.)
- [41] The Ten Principles of Material Handling, The Key to Greater, Productivity, Customer Service, and Profitability, Material Handling Institute, [https://www.mhi.org/downloads/learning/cicmhe/guidelines/10\\_principles.pdf](https://www.mhi.org/downloads/learning/cicmhe/guidelines/10_principles.pdf) (10.04.2022.)
- [42] The 4 Ergonomic Sins of Manual Palletizing & Depalletizing, <https://supplychainequip.co.za/manual-palletizing/> (11.03.2022.)
- [43] Grosse, E., Grock, C., Jaber, M.Y., Neumann, W.P. (2014). Incorporating human factor in order picking planning models: Framework and research opportunities, *International Journal of Production Research*, vol. 53, no. 3, str. 695-717., doi:10.1080/00207543.2014.919424
- [44] Jurčević Lulić, T., Runjak, M. (2013). Procjena opterećenja radnika pri podizanju tereta. *Sigurnost*, vol. 55, no. 2, pp. 125-131.
- [45] Perić, Z. (2017). Ručno podizanje, prenošenje i rukovanje različitim vrstama tereta. *Sigurnost*, vol. 59, no. 2, pp. 157-162.
- [46] Russell, S. J. et al. (2007). Comparing the results of five lifting analysis tools. *Applied Ergonomics*, vol. 38, no. 1, str. 91-97.
- [47] Gallagher, S. et. al. (2017). Development and validation of an easy-to-use risk assessment tool for cumulative low back loading: The Lifting Fatigue Failure Tool (LiFFT), vol. 58, no. 5, pp. 667-682.

- [48] Rapid Entire Body Assessment (REBA), [https://www.physio-pedia.com/Rapid\\_Entire\\_Body\\_Assessment\\_\(REBA\)](https://www.physio-pedia.com/Rapid_Entire_Body_Assessment_(REBA)) (10.04.2022.)
- [49] Hignett, S., McAtamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, vol. 31, str. 201-205, [https://www.researchgate.net/publication/12603778\\_Rapid\\_entire\\_body\\_assessment\\_REBA](https://www.researchgate.net/publication/12603778_Rapid_entire_body_assessment_REBA) (10.04.2022.)
- [50] Lavatelli, I., Schaub, K., Caragnano, G. (2012). Correlations in between EAWS and OCRA Indeks concerning the repetitive loads of the upper limbs in automobile manufacturing industries. *work* 41, str. 4436-444., doi:10.3233/WOR-2012-0743-4436
- [51] Gómez-Galán, M., Pérez-Alonso, J., Callejón-Ferre, Á-J., López-Martínez, J. (2017.). Musculoskeletal disorders: OWAS review, *Industrial Health*, vol. 55, no. 4, str. 314-337., doi:10.2486/indhealth.2016-0191
- [52] Waters, T.R., Putz-Anderson, V., Garg, A., Cincinatti, D. (2021). Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation. U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 94-110, doi: <https://doi.org/10.26616/NIOSHPUB94110revised092021>
- [53] American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) (2002). Threshold limit values and biological exposure indices for 2001. Cincinnati: ACGIH. <https://health.usf.edu/publichealth/tbernard/~media/096358E538A0473DBD9F7145C175FDAA.ashx> (2.02.2022.)
- [54] Yung, M. et al. (2019). Modeling the Effect of the 2018 Revised ACGIH<sup>®</sup> Hand Activity Threshold Limit Value<sup>®</sup> (TLV) at Reducing Risk for Carpal Tunnel Syndrome. *Journal of Occupational and environmental hygiene*, vol. 19, no. 9, pp. 628-633., doi://doi.org/10.1080/15459624.2019.1640366
- [55] Potvin, J. R. et al. (2021). The Liberty Mutual manual materials handling (LM\_MMH) equations. *Ergonomics*, vol. 64, no. 8, pp. 955-970, <http://doi.org/10.1080/00140139.2021.1891297> (11.01.2022.)
- [56] ErgoPlus Industrial (2021). *Manage Ergonomics the Modern Way*. <https://ergo-plus.com/wp-content/uploads/Step-by-Step-Guides-v-1.2.pdf?x69419> (18.01.2022.)
- [57] VelocityEHS. Svijet budućnosti za 3D SPP<sup>TM</sup> – 3D program, <https://www.ehs.com/2020/11/a-bright-future-for-3d-sspp-3d-static-strength-prediction-program/> (18.01.2022.)

- [58] Don B. Chaffin. Development of Computerized Human Static Strength Simulation Model for Job Design. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, vol. 7, no. 4, pp. 305-322, <http://hdl.handle.net/2027.42/35211> (7.02.2022.)
- [59] Battini, D., Delorme, X., Dolgui, A., Persona, A. (2015). Ergonomics in assembly line balancing based on energy expenditure: A multi-objective model. *International Journal of Production Research*, vol. 54, no. 3, pp. 1-22, doi:10.1080/00207543.2015.1074299 (17.02.2022.)
- [60] Viharos, Z. J., Bán, B. (2020). Comprehensive Comparison of MTM and BasicMOST, as the Most Widely Applied PMTS Analysis Methods. *17th IMEKO TC 10 and EUROLAB Virtual Conference "Global Trend sin Testing, Diagnostics & Inspection for 2030"*, 2020., <https://www.imeko.org/publications/tc10-2020/IMEKO-TC10-2020-058.pdf> (11.05.2021.)
- [61] Larco, J.A., de Koster, R., Roodbergen, K.J., Dul, J. (2016). Managing warehouse efficiency and worker discomfort through enhanced storage assignment decisions. *International Journal of Production Research*, vol. 55, no. 21, pp. 6407-6422, doi:10.1080/00207543.2016.1165880 (7.02.2022.)
- [62] Đukić, G. (2020). Tehnička logistika. Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb.
- [63] Đukić, G. et al. (2008). Space, time and ergonomic assessment of order-picking using vertical lift modules. *ICIL 2018 Conference Proceedings*, u: Sinuany-Stern, Z., Cohen, Y. (ur.). Beer-Sheva: Ben-Gurion University, Israel, str. 68-74.
- [64] Vertical Carousel Module (VCM), <https://www.kardex.com/en/products/megamat-vertical-carousels> (11.04.2022.)
- [65] MHI, The Industry that makes supply chains work, Horizontal Carousels, <https://www.mhi.org/solutions-community/solutions-guide/horizontal-carousels> (05.04.2022.)