

# Snimanje i analiza sila podatkovnom rukavicom

---

**Novaković, Petar**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:206649>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-14**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Petar Novaković**

Zagreb, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr.sc. Zoran Kunica, dipl.ing.

Student:

Petar Novaković

Zagreb, 2020.

**ZADATAK**

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



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

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

**ZAVRŠNI ZADATAK**Student: **Petar Novaković**

Mat. br.: 0035207048

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Snimanje i analiza sila podatkovnom rukavicom**Naslov rada na engleskom jeziku: **Capture and analysis of forces with data glove**

Opis zadatka:

Sile su jedan od osnovnih fenomena stvarnosti pa tako i inženjerskog interesa. Razvojem tehnologije omogućuje se stvaranje sve kvalitetnijih spoznaja o silama u radnim procesima, koji uključuju i tjelesne pokrete, posebno one povezane sa šakom.

U radu je potrebno:

1. objasniti značaj snimanja i analize sila pri pokretima za projektiranje radnih procesa i opisati trenutačni stupanj razvijenosti tehnologije
2. opisati postojeću podatkovnu rukavicu za snimanje sila pri pokretima
3. osmisлити eksperimente snimanja sila pri pokretima i predložiti načine obrade rezultata.

Zadatak zadan:  
28. studenog 2019.Datum predaje rada:  
1. rok: 21. veljače 2020.  
2. rok (izvanredni): 1. srpnja 2020.  
3. rok: 17. rujna 2020.Predviđeni datumi obrane:  
1. rok: 24.2. – 28.2.2020.  
2. rok (izvanredni): 3.7.2020.  
3. rok: 21.9. - 25.9.2020.

Zadatak zadao:

Prof. dr.sc. Zoran Kunica

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

## **IZJAVA**

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

Zahvaljujem mentoru prof. dr.sc. Zoranu Kunici na savjetima, uloženom trudu i vremenu posebno zbog situacije vezane uz ovogodišnju pandemiju.

Zahvaljujem svojoj obitelji i djevojci.

U Zagrebu, 15. rujna 2020.

Petar Novaković

## SADRŽAJ

ZADATAK.....	I
IZJAVA.....	II
POPIS SLIKA.....	V
POPIS TABLICA.....	VII
POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA.....	VIII
SAŽETAK.....	IX
SUMMARY.....	X
1. UVOD.....	1
2. STUDIJ RADA.....	3
2.1. Studij vremena.....	4
2.2. Studij pokreta.....	5
2.3. Ekonomija pokreta.....	8
2.4. Snimanje sila.....	13
3. ERGONOMIJA.....	14
3.1. Podjela ergonomije.....	16
3.1.1. Konceptijska ergonomija.....	16
3.1.2. Sistemska ergonomija.....	17
3.1.3. Fizikalna ergonomija.....	17
3.1.4. Organizacijska ergonomija.....	18
3.2. Zdravlje radnika.....	19
3.3. Metoda RULA (eng. <i>Rapid Upper Limb Assessment</i> ).....	23
3.4. Softver CATIA.....	27
3.5. Značaj snimanja sila pri pokretima za ergonomiju rada.....	32
4. AUTOMATIZACIJA RADA I PROIZVODNJE.....	34
5. PODATKOVNE RUKAVICE.....	38
5.1. Teleoperacija podatkovnom rukavicom – sustav robotskih ruku <i>Shadow</i> .....	39
5.2. Prva rukavica - <i>The Sayre Glove</i> .....	41
5.3. Rukavica <i>Power Glove</i> .....	41
5.4. Rukavice <i>Cyberglove</i> .....	43
5.5. Rukavice za astronaute.....	43
6. PODATKOVNA RUKAVICA RAZVIJENA NA FSB-u.....	45
6.1. Taktilni senzori.....	45
6.2. Sastavljanje podatkovne rukavice.....	48
6.3. Programiranje podatkovne rukavice.....	50
6.4. Umjeravanje senzora.....	53
7. EKSPERIMENTI.....	55
7.1. Otvaranje termos-boce.....	55
7.2. Uvrtanje i odvrtnje poklopca termos-boce.....	59

---

7.3. Montaža baterije u prijenosno računalo .....	62
7.4. Zaključak eksperimenata.....	64
8. ZAKLJUČAK.....	65
9. LITERATURA .....	67

## POPIS SLIKA

Slika 1. Struktura studija rada [6].....	4
Slika 2. Klasifikacija pokreta [1].....	11
Slika 3. Prikaz područja djelovanja ergonomije u sustavu čovjek-stroj-okolina [4] .....	15
Slika 4. Raspodjela radnika oboljelih od profesionalnih bolesti (bez bolesti uzrokovanih azbestom) u 2018. godini prema životnoj dobi u RH [6].....	19
Slika 5. Broj dana privremene radne nesposobnosti zbog profesionalne bolesti u pojedinim gospodarstvenim djelatnostima [6] .....	22
Slika 6. Prikaz radnih položaja ruke prema metodi RULA [4].....	25
Slika 7. Oznaka rezultata u naprednom modu [7].....	28
Slika 8. Primjer postojećeg radnog mjesta za montažu i pakiranje pumpe [7] .....	28
Slika 9. Zona radnog dosega pri montaži [7] .....	29
Slika 10. Analiza uzimanja motora na radnom mjestu [7].....	29
Slika 11. Nošenje sklopljene pumpe do prostora za pakiranje [7] .....	30
Slika 12. Rezultati analize nošenja pumpe [7] .....	30
Slika 13. Poboľjšano radno mjesto [7] .....	31
Slika 14. Broj u svijetu novouvedenih industrijskih robota godišnje, od 2008. do 2018. godine [8] .....	35
Slika 15. Broj robota na kraju godine po industrijama u svijetu [8] .....	36
Slika 16. Humanoidna robotska ruka The Shadow Hand [12].....	39
Slika 17. Teleoperacija robota podatkovnim rukavicama [15] .....	40
Slika 18. Prva podatkovna rukavica – <i>The Sayre Glove</i> [17] .....	41
Slika 19. Rukavica <i>Power Glove</i> za igraču konzolu Nintendo [19].....	42
Slika 20. Rukavica <i>CyberGloveII</i> [20].....	43
Slika 21. Rukavica za astronaute [21] .....	44
Slika 22. Oblikovani slojevi senzora: a) elektroda, b) sloj velostata, c) sloj spužvice, d) pamučna tkanina, e) pomoćni pribor [22] .....	46
Slika 23. Taktilni senzor [22].....	47
Slika 24. Električni otpor senzora: a) neopterećeno stanje, b) predmet postavljen na senzor, c) maksimalan pritisak senzora prstom [22].....	48
Slika 25. Podatkovna rukavica spojena izrađenim kablom na pločicu Arduino Uno .....	49
Slika 26. Shematski prikaz strujnog kruga rukavice [22] .....	50
Slika 27. Programski kôd za bilježenje odziva senzora .....	51



---

Slika 28. Analogno-digitalna pretvorba vrijednosti napona u ekvivalentne analogne vrijednosti [23] .....	52
Slika 29. Zapis vrijednosti varijabli za pet senzora.....	52
Slika 30. Odziv senzora rukavice prikazan alatom Serial Plotter .....	53
Slika 31. Termos-boca iz dva dijela korištena za provođenje eksperimenata.....	56
Slika 32. Pritisak na središnji ventil boce kažiprstom.....	57
Slika 33. Iznosi sile kažiprsta pri otvaranju ventila termos-boce.....	58
Slika 34. Hvatanje poklopca termos-boce prilikom njegovog uvrtnja i odvrtnja.....	59
Slika 35. Sile snimljene pri zavrtanju poklopca termos-boce .....	60
Slika 36. Sile pri odvrtnju (pritegnutog) poklopca termos-boce .....	61
Slika 37. Montaža baterije u prijenosno računalo .....	62
Slika 38. Sile prilikom montaže baterije .....	63

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Osnovni pokreti tijela [1] .....	11
Tablica 2. Najčešće profesionalne bolesti uzrokovane kumulativnom traumom klasificirane prema MKB-10 u prerađivačkoj industriji [6] .....	21
Tablica 3. Utjecaji ozljeda na radu [4] .....	23
Tablica 4. Matrica za ocjenu položaja ruku prema metodi RULA [4].....	26
Tablica 5. Matrica za konačnu ocjenu položaja tijela i ruku prema metodi RULA [4] .....	26
Tablica 6. Prikaz ocjene opterećenja tijela metodom RULA [4] .....	27
Tablica 7. Odziv senzora na poznata opterećenja .....	53

**POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA**

<b>Oznaka</b>	<b>Mjerna jedinica</b>	<b>Opis</b>
DZS		Državni zavod za statistiku
eng.		engleski
$F$	N	sila
HNB		Hrvatska narodna banka
MTM		eng. <i>Methods – Time Measurement</i> (Metode – Mjerenje vremena)
$m$	kg	masa
$R$	$\Omega$	električni otpor
$U$	V	električni napon
USD		američki dolar

## **SAŽETAK**

U svrhu povećanja produktivnosti tjelesnog rada i njegove ergonomske analize potrebno je ispitati metode rada. Podatkovnom rukavicom prikupljaju se autentični podaci o iznosu sila prilikom izvođenja rada. Na taj način dolazi se do važnih podataka i spoznaja o naravi pokreta, za ergonomske oblikovanje radnih procesa i evoluiranje prema automatskom izvođenju pokreta. U ovome radu provedeno je nekoliko eksperimenata podatkovnom rukavicom s ciljem stjecanja uvida o iznosima i raspodjeli sila prilikom ručnih radnji prisutnih u procesima kao što su montaža i demontaža. Uz ostalo, dan je prijedlog nadogradnje podatkovne rukavice dodatnim senzorima kojima bi se proširile mogućnosti njezine primjene.

**KLJUČNE RIJEČI:** podatkovna rukavica, sila, studij rada, ergonomija, taktilni senzor, Arduino Uno, automatizacija

## **SUMMARY**

In order to increase productivity of physical work and its ergonomic analysis, it is necessary to examine the work methods. The data glove collects authentic informations about force values while performing work. In this way, important data and insights into the nature of movement are obtained for the purpose of ergonomic design of the work process and evolution towards automatic execution of movement. In this paper, several data glove experiments were conducted with the aim of gaining insight into the amounts and distribution of forces during manual operations present in processes such as assembly and disassembly. Among other things, a proposal was made to upgrade the data glove with additional sensors that would expand the possibilities of its application.

**KEY WORDS:** data glove, force, work study, ergonomics, tactile sensor, Arduino Uno, automation

## 1. UVOD

Čovjek je kroz povijest stečenim znanjem i iskustvom razvijao vještine kojima je oblikovan suvremeni svijet. Jedinstvenim pokretima ruku stvorio je radne procese koji su doveli do organizirane industrijske proizvodnje. Proizvod je ishod proizvodnog procesa te ga karakterizira poseban tehnološki postupak kojim je dobiven i vrsta materijala od kojega je napravljen. Čovjek iskustvom, teorijskim i praktičnim razumijevanjem i rješavanjem problema stječe nova znanja kojima razvija nove proizvodne procese i poboljšava uporabna svojstva proizvoda. Na taj način čovjek kao pojedinac i društvo u cijelosti postižu materijalnu dobit i ostvaruju druge oblike napretka.

Razvoj sensorike omogućava bolji uvid u proizvodne procese i pokrete koji su potrebni za obavljanje rada. Informacije o savladavanim silama, položajima ruku i vremenima izvođenja pokreta, važne su za planiranje i optimiranje izvedbe ručnog rada, koji je i danas najzastupljeniji u mnogim proizvodnim procesima, napose montaže. Te su informacije ključne i za uređenje radnog mjesta u skladu sa ergonomskim načelima rada. Nadalje, težnja za razvojem tehnologije i povećanjem produktivnosti nameće potrebu za implementacijom mehatroničkih uređaja za automatsku izvedbu radnih procesa. Kako bi implementacija takvih strojeva bila moguća nužno je precizno snimiti radne pokrete čovjeka.

U ovom radu će se prikazati neki dosadašnji načini proučavanja tjelesnog rada u svrhu povećanja produktivnosti, uspostavljenih i poznatih u industrijskom i proizvodnom inženjerstvu kao područje studija rada i pokreta odnosno vremena. Provedbom studija nastoji se standardizirati (normirati) učinkoviti radni proces te poboljšati uvjeti rada zaposlenika. S tim u vezi, naznačit će se pozitivan učinak ergonomije na humanizaciju rada i njezina važnost u pogledu prevencije ozljeda na radu.

Opisat će se neki trendovi u automatizaciji rada kao i dosadašnji stupanj razvijenosti tehnologije.

Posebno, a u smislu dosad navedenog, u ovom radu će se raspoloživom podatkovnom rukavicom provesti snimanje sila pri pokretima radi testiranja njezine primjenjivosti i dobivanja daljnjih spoznaja za kvalitetno oblikovanje ručnih procesa, ali i evoluiranje prema onim automatskim.

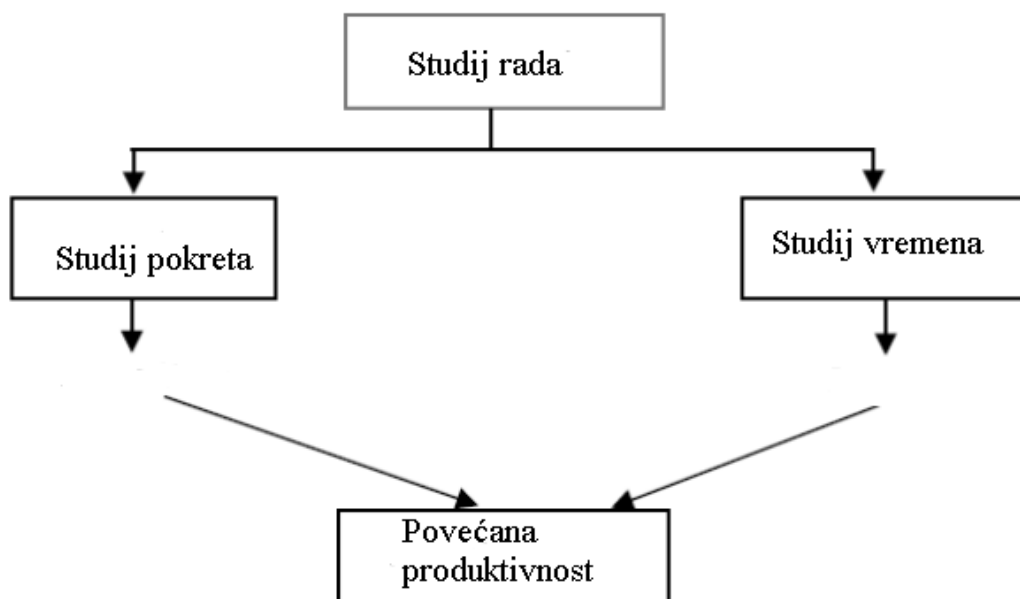
## 2. STUDIJ RADA

Glavni cilj svakog poduzeća bilo da je orijentirano proizvodnji ili uslužnoj djelatnosti je povećanje učinkovitosti rada. [1] Riječ je o efikasnom i efektivnom korištenju svih resursa. Resursi uključuju vrijeme, ljude, znanje, informacije, opremu, prostor, energiju, materijale. Neka poduzeća ne uspijevaju se natjecati s drugima upravo zbog niske produktivnosti. Produktivnost je djelotvornost kojega radnoga procesa ili jednoga njegova proizvodnog faktora, izražena u ostvarenom rezultatu i njegovu odnosu prema angažiranom novcu i utrošenom radnom vremenu. Produktivnost se najčešće veže uz vrijeme i pokret. Zakrčen prostor, potraćeni resursi, varijabilna kvaliteta, loša procjena troškova dovodi poduzeće u stanje niske razine produktivnosti. Tada poduzeća moraju razmotriti uvođenje novih koncepata, koje nudi industrijsko inženjerstvo, u svoje poslovanje. Studiji rada i pokreta jedni su od značajnijih koncepata za unaprjeđenje postojećih niskoproduktivnih metoda rada. Metoda rada određuje na koji će se način određeni pokreti izvoditi. Posljedično određuje i vrijeme koje je potrebno za pojedine operacije. Kako bi se moglo razlikovati učinkovite metode rada od neučinkovitih, razvijene su studije koje mijenjaju pristup vođenju procesa. Usredotočenost na bolje i vitkije procese proizvodnje dovodi do poboljšanih verzija metoda rada i uštede vremena što rezultira povećanjem dodane vrijednosti. Studijima se teži ukazati na sve nepotrebne pokrete, rasipanja materijala i vremena, neiskorištenosti prostora. Implementacijom predloženih poboljšanja nastoji se učiniti korist i za radnike. Tako se radnicima nastoji stvoriti povoljnije radno okruženje s manje stresa i umora, bolje ih nagraditi u obliku povećanja plaća, kvalitetnije raspodjele radnog i slobodnog vremena što sveukupno doprinosi većem zadovoljstvu poslom. Studij rada (Slika 1.) temelji se na tezi da za svaki posao postoji:

- jedan najbolji način za obavljanje posla
- znanstvena ekspertiza je najbolja i najsigurnija metoda za pronalazak najboljeg načina za obavljanje posla



- vrijeme koje je potrebno za obavljanje posla najboljim načinom može se izmjeriti i postaviti kao standard tj. norma.



Slika 1. Struktura studija rada [6]

## 2.1. Studij vremena

Studij vremena strukturirani je postupak izravnog promatranja i mjerenja ljudskog rada pomoću vremenskog uređaja za utvrđivanje vremena potrebnog za završetak posla. Promatrač prvo poduzima preliminarno promatranje rada (pilot studija) kako bi identificirao pogodne elemente rada koji se mogu naknadno jasno prepoznati i koji su prikladne duljine za mjerenje. Promatrač mjeri vrijeme svakog elementa pomoću štoperice ili drugog mjerača vremena, istodobno donoseći procjenu brzine rada radnika na definiranoj ljestvici ocjena. Jedan od glavnih razloga za mjerenje elemenata rada, a ne rada u cjelini, jest olakšavanje postupka ocjenjivanja. Bitno je da je promatrač vremenske studije pravilno obučen za tehniku, a posebno za ocjenjivanje. Broj ciklusa koje treba promatrati ovisi o varijabilnosti rada i razini potrebne točnosti. Mjerenja treba provesti u različitim uvjetima jer utječu na odstupanja rezultata i, kad je to moguće, mjerenja provesti na većem broju radnika. Jednom kada se odredi osnovno vrijeme za svaki element, dodjeljuju se dodaci (naprimjer, kako bi se radnik mogao oporaviti od fizičkih i mentalnih učinaka izvođenja posla) kako bi se dobilo

standardno vrijeme. Studij vremena vrlo je fleksibilna tehnika, prikladna za širok spektar poslova koji se izvode u širokom rasponu uvjeta rada. Uporaba elektroničkih uređaja za prikupljanje podataka i računala za njihovu analizu danas studij čini mnogo isplativijom nego prije.

Glavni ciljevi studija vremena jesu [1]:

- utvrditi standardno vrijeme za razne operacije koje pomažu u utvrđivanju stopa plaća i poticaja
- precizna procjena troškova proizvoda
- predvidjeti trajanje rada prema kojemu se planira isporuka
- odrediti broj strojeva kojima jedan radnik može rukovoditi
- odrediti optimalan broj ljudi i strojeva
- vremensko planiranje i određivanje rokova
- uravnotežiti rad svih radnika unutar grupe
- usporediti radnu učinkovitost različitih radnika.

Sistemi unaprijed određenih vremena (eng. MTM, *Methods – Time Measurement*) jedna je od metoda studije rada kojom se ručni rad raščlanjuje na osnovne pokrete. Svakom tom pokretu, na osnovi vrste pokreta i uvjeta pod kojima se izvodi, dodjeljuje se unaprijed određeni standard vremena. [2] Time se postižu prethodno navedeni glavni ciljevi studija vremena.

## 2.2. Studij pokreta

Studij pokreta je tehnika kojom se ocjenjuje učinkovitost rada. Pokretač ovog koncepta bio je Frank Gilbreth koji ga je objasnio kao znanost koja uklanja rasipnost proizašlu iz loše usmjerenih i neučinkovitih pokreta. Njome se želi utvrditi najbolja moguća praktična primjena ljudi i strojeva u obavljanju konkretnih aktivnosti. Svaki koristan rad čini nekoliko pokreta. Pokreti se produktivno izvode na radnome mjestu kako bi se postigla učinkovita metoda za obavljanje posla. Potrebno je planski provesti kritičku studiju neke postojeće metode izvršavanja zadataka s ciljem razvijanja najučinkovitijeg rješenja. Složeni pokreti rastavljaju se na male i jednostavne korake i mjere se parametri značajni za izvođenje pokreta.

Da bi se nova metoda široko primijenila u praksi potrebno ju je standardizirati. Kvalitetno provedena analiza i uspješna standardizacija dovodi do uklanjanja gubitaka koji proizlaze iz loše usmjerenih i neučinkovitih pokreta. Proučavanje kretanja može se smatrati poboljšanjem radnog sustava na mikro razini. Ovakve analize pogodne su za pokrete koji se često ponavljaju, stoga nalaze primjenu u industriji.

Intencije studija pokreta jesu [3]:

- unaprijediti postupak obavljanja rada
- poboljšati razmještaj elemenata na radnom mjestu
- pronalazak najboljeg načina obavljanja posla
- smanjenje opasnosti po ljudsko zdravlje
- minimizirati nepotrebne ili neučinkovite pokrete
- učinkovitije korištenje materijala, strojeva, radnika
- educirati radnika o novoj standardiziranoj metodi rada
- poboljšanje cjelokupnog radnog okruženja.

Provođenje analize pokreta odvija se u nekoliko koraka koji do detalja ispituju metodu rada [3]:

#### 1. Raščlaniti rad na jednostavne operacije

Prvi korak je priprema detaljnog popisa svih operacija koje obuhvaća promatrana metoda obavljanja posla. Na popisu se nalaze svi detalji rada kao što su rukovanje materijalom, strojni i ručni rad.

#### 2. Preispitati svaki detalj operacije

Kritički ispitati način na koji se operacije provode, potrebnu opremu i alate, načine rukovanja. Postavljaju se slijedeća pitanja, kako slijedi:

- Namjera
  - Koja je svrha ove operacije?
  - Ispunjava li operacija predviđene zahtjeve?
  - Može li se operacija otkloniti?
- Lokacija
  - Gdje je najbolje izvoditi operaciju?
- Redoslijed

- Kada je najbolje obavljati ovu operaciju?
- Može li se izvoditi u isto vrijeme kao i prije ili u neko drugo bolje vrijeme?
- Kada je prikladnije i ekonomičnije izvoditi operaciju?
- Radna snaga
  - Tko će izvršiti ovu operaciju?
  - Može li tko izvršiti operaciju na bolji način?
- Sredstva
  - Kako se ta operacija može izvesti?
  - Koji se strojevi i alati koriste?
  - Može li se posao učiniti lakšim i sigurnijim za radnike i za opremu?

### 3. Razviti novu metodu

Nakon razmatranja prethodnih pitanja razvija se nova, bolja metoda. Prije dovršetka nove metode rada potrebno je razmotriti i slijedeće činjenice:

- Eliminacija – može li se operacija eliminirati iz procesa bez ikakve posljedice?
- Sjedinjenje – mogu li se dvije ili više operacija spojiti u jednu i postiže li se time ušteda vremena?
- Reorganizacija – ako reorganizacija slijeda operacija doprinosi pojednostavljenju posla ili efikasnosti treba ju provesti. Naprimjer, ako je u nekoj tvornici redoslijed operacija bio: montaža, skladištenje, kontrola, isporuka. U navedenom primjeru, kontrola je izvršena tek prije slanja pošiljke i neispravni dijelovi se vraćaju na doradu. Bili su na skladištu i čekali vrijeme isporuke, a tek kada je ono došlo uočeni su nedostaci. Reorganizacijom se može izbjeći skladištenje neispravnih dijelova zadavanjem slijedećeg redoslijeda: montaža, kontrola, skladištenje, isporuka.
- Pojednostavnjenje – ako je operaciju moguće izvesti jednostavnije, sigurnije ili ekonomičnije onda je rad potrebno pojednostaviti. To se može postići: korištenjem opreme za rukovanje materijalom, obavljanjem rada sa obje ruke, postavljanjem alata i materijala na za to predviđenim mjestima.

### 4. Primjena nove metode

Novu metodu potrebno je uvesti kao standardnu praksu za izvođenje operacije. Uvođenje nove metode rada odvija se po slijedećem postupku :

- I. Nova metoda mora biti odobrena od strane stručnjaka za nadzor, uprave i radnika.
- II. Radnike se mora osposobiti za rad prema novoj metodi
- III. Pratiti novu metodu rada dok ne poluči zadovoljavajuće rezultate.

#### 5. Održavanje nove metode rada

Nakon uvođenja nove metode rada, kako bi ona postala standardna mora biti praćena i provjeravana. Za održavanje nove metode rada savjetuju se slijedeći koraci :

- Podijeliti radnicima radne listove sa detaljnim uputama
- Provoditi planirane provjere kako bi utvrdili što se radi u suprotnosti od definirane metode
- Odabir i obuka radnika moraju se provesti u skladu sa specifikacijama nove metode.

#### 6. Snimanje nove metode rada

Nakon odabira određenog elementa rada koji će se analizirati moraju se zabilježiti relevantne informacije o vremenima izvođenja, silama u radnom procesu, broju uspješnih i neuspješnih pokušaja, protoku materijala, načinima rukovanja materijalom, oblicima transporta. Potrebno je zabilježiti iste informacije i prije primjene nove metode kako bi se usporedili rezultati i ocijenila učinkovitost studije. Rezultati se prikazuju grafovima radi jednostavnog prezentiranja i razumijevanja.

Ova studija provodi se s ciljem standardizacije pokreta i opreme koja pokrete izvodi samostalno ili se koristi kako bi čovjeku olakšala izvođenje pokreta. Studijom se također ispituje i mogućnost automatizacije rada i uvođenja robota u proizvodne procese.

### **2.3. Ekonomija pokreta**

Ekonomija pokreta bavi se generiranjem i poboljšavanjem planova za određenu grupu jednostavnih zadataka u industriji. S obzirom na željenu konfiguraciju proizvoda ili rasporeda radnog mjesta, nastoji se stvoriti plan koji temeljne ručne operacije čini jednostavnijim i

ergonomično prihvatljivijim. Temeljne ručne operacije podrazumijevaju korištenje ruku na ograničenom radnom prostoru. One ne zahtijevaju kretanja radnika kroz prostor niti korištenje drugih dijelova tijela osim ruku i šake. U proizvodnim procesima odvijaju se tijekom montaže i demontaže. Iako je primjetan trend uklanjanja takvih poslova u proizvodnom sustavu implementacijom industrijskih manipulatora, ručni postupci i dalje zauzimaju veliki dio radnog vremena. Iz tog razloga moraju se uzeti u obzir prilikom planiranja procesa i kreiranja metode rada. Načela ekonomije pokreta pomažu u postizanju veće produktivnosti, uklanjaju nesvrhovite pokrete, olakšavaju zadatke operaterima, smanjuju umor.

Ralph Mosser Barnes je sistematizirao načela ekonomije pokreta koji se uspješno koriste u industriji. Načela koja je Barnes predstavio nisu podjednako važna, niti uključuju sve čimbenike koji ulaze u određivanje boljih metoda za obavljanje posla. Načela međutim čine osnovnu strukturu pravila koja, ako ih primjenjuje operater obučen u skladu s njima, uvelike omogućuju povećanje proizvodnje ručnog rada s minimalnim umorom. Prema Barnesu, njih se može predstaviti u slijedeće tri grupe [1]:

1. Načela ekonomije pokreta povezana s ljudskim tijelom
2. Načela ekonomije pokreta povezana s uređenjem radnog mjesta
3. Načela ekonomije pokreta povezana s dizajnom alata i opreme.

U ovom radu bit će prezentirana i objašnjena samo načela ekonomije pokreta povezana s ljudskim tijelom, kako slijedi.

#### Dvije ruke trebale bi istodobno početi i dovršiti svoje pokrete

Prirodna tendencija većine ljudi je da svoju preferiranu ruku (desna ruka u dešnjaka, lijeva u ljevaka) koristi za većinu posla. Druga ruka služi sporednoj ulozi, poput držanja predmeta, dok preferirana ruka radi na njemu. Prvo načelo kaže da obje ruke treba koristiti podjednako. Razlog tomu je što obje ruke pojačavaju učinkovitost rada i pomažu u skraćivanju vremena za određeni zadatak. Za provedbu je ponekad potrebno osmisliti metodu koja rad ravnomjerno podijeli između desne i lijeve strane radnog mjesta. Ako se posao ne može ravnomjerno raspodijeliti između dvije ruke, preporučuje se oblikovanje radne metode koja bi potencirala rad preferiranom rukom. Preferirana ruka je brža, jača i praktičnija. Naprimjer, radni komadi trebali bi biti dobavljeni na radno mjesto sa strane radnikove preferirane ruke i otpremljeni s radnog mjesta na suprotnoj strani. Razlog je u tomu što prvo posezanje, hvatanje i kontrola

ranog komada zahtijeva veliku koordinaciju oka i šake, pa bi radnik trebao koristiti preferiranu ruku. Otpuštanje radnog komada na kraju ciklusa zahtijeva manju koordinaciju.

#### Dvije ruke ne bi trebale biti bez posla istovremeno

Metodu rada treba oblikovati tako da izbjegava razdoblja kada niti jedna ruka ne radi. Možda neće biti moguće potpuno uravnotežiti radno opterećenje između desne i lijeve ruke, ali trebalo bi biti moguće izbjeći da ruke budu u praznom hodu istovremeno. Izuzetak od ovog načela su pauze za odmor. Radni ciklus sustava radnik-stroj također može biti iznimka ako je radnik odgovoran za praćenje rada stroja tijekom njegovog automatskog ciklusa, a nadzor zahtijeva korištenje kognitivnih osjetila radnika, a ne ruku. Ukoliko nadzor stroja nije potreban, radniku se mora dodijeliti neka druga aktivnost za vrijeme automatskog ciklusa stroja.

#### Pokreti rukama trebaju biti simetrični i u suprotnom smjeru te se trebaju izvoditi istovremeno

Za većinu ljudi je korisno organizirati sličan rad na lijevoj i desnoj strani radnog mjesta, omogućujući tako lijevoj i desnoj ruci da se kreću zajedno izvodeći iste pokrete. Ovime će se smanjiti količina potrebne koordinacije oka i šake radnika, jer simetrični pokreti nastoje uravnotežiti jedni druge. Budući da obje ruke istodobno rade iste pokrete, potrebna je manja koncentracija i napor nego kad dvije ruke moraju izvoditi različite i neovisne pokrete.

#### Pokreti rukama i tijelom trebaju se vršiti na najnižem mogućem nivou pri kojem je posao moguće obaviti zadovoljavajuće

Tablica 1. navodi pet nivoa pokreta progresivnim redom. Najniži nivo pokreta zahtijeva najmanje vremena i truda i za pretpostaviti je da proizvodi najmanje umora. Klasifikacija pokreta (Slika 2.) prikazana je kako bi se naglasila da se radni komadi i alati trebaju nalaziti što bliže mjestu upotrebe i da pokreti ruku trebaju biti kraći koliko god to rad dopušta.

Tablica 1. Osnovni pokreti tijela [1]

Nivo pokreta	Glavna točka	Pokrenuti dio tijela
1	Zglob prsta	Prst (F)
2	Ručni zglob	Ruka (H)+(F)
3	Lakat	Podlaktica (FA)+H+F
4	Rame	Nadlaktica (UA)+FA+H+F
5	Trup	Torzo + UA+ FA+ H+F

Visoka brzina  
i preciznost



Niska brzina  
i preciznost

**1. nivo pokreta** Pokreti prsta  
Primjeri : tipkanje, uzimanje, pritiskanje

**2. nivo pokreta** Pokreti ručnog zgloba  
Primjeri : okretanje i pozicioniranje dijelova

**3. nivo pokreta** Pokreti podlaktice  
Primjer : postavljanje ili premješanje dijelova

**4. nivo pokreta** Pokreti nadlaktice i ramena  
Primjer : dohvaćanje predmeta sa visine

**5. nivo pokreta** Pokreti cijelog tijela, nogu, trupa  
Primjer: podizanje teškog tereta

Mala sila



Velika sila

Slika 2. Klasifikacija pokreta [1]

Iskoristiti zalet kao pomoć radniku, ali svesti ga na minimum kad god ga treba prevladati mišićnim naporom

Zalet ili količina gibanja (eng. *momentum*) nekog objekta definirana je kao umnožak mase i brzine. U proizvodnom okruženju ukupna količina gibanja koju radnik savladava može se sastojati od količine gibanja materijala i alata kojim rukuje kao i količine gibanja dijelova tijela koje pomiče. Često je moguće iskoristiti zalet ruku, alata ili materijala za obavljanje korisnog rada. Kada stolar čekićem udara čavao, koristi zamah kako bi si olakšao. Količina gibanja čekića ovisi o njegovoj masi i brzini kojom stolar zamahuje čekićem. Jasno je da bi primjena statičke sile na čavao koji treba utisnuti u drvo imala gotovo pa nikakav učinak.



Pokreti radnika trebaju biti izvedeni tako da se udarac dogodi u trenutku najveće količine gibanja. Stolarov rad primjer je glatkog i kontinuiranog pokreta izvedenog po zakrivljenoj putanji koji ilustrira benefit korištenja zaleta za olakšavanje radnog zadatka. Zalet može biti i nepoželjan kada mu se mišići moraju suprotstaviti.

#### Prioritet trebaju biti kontinuirani pokreti izvedeni po zakrivljenoj putanji umjesto pravocrtnih pokreta s naglom i oštrom promjenom smjera

Potrebno je manje vremena za kretanje kroz niz kontinuiranih blago zakrivljenih putanja nego kroz niz ravnih putanja koje imaju izmjenu smjera kretanja, iako je stvarna ukupna udaljenost zakrivljenih putanja veća. Razlog za primjenu ovog načela je taj što ravne putanje zahtijevaju radnje pokretanja i zaustavljanja (ubrzavanja i usporavanja), koje troše radničko vrijeme i energiju. Pokreti koji se izvode po blago zakrivljenim putanjama minimiziraju izgubljeno vrijeme pokretanja i zaustavljanja.

#### Balistički pokreti su brži, lakši i precizniji od ograničenih ili kontroliranih

Balistički pokret može se definirati kao mišićna kontrakcija koja dovodi do maksimalnih brzina i ubrzanja kao i proizvodnje velike sile u vrlo kratkom vremenu. Balistički udarac može se prekinuti kontrakcijom suprotnih mišića, preprekom ili gubitkom količine gibanja kao kod zamaha čekićem ili maljem.

#### Omogućiti lagan i prirodan ritam rada

Ritam se odnosi na pokrete koji se redovito ponavljaju i u ciklusima teku od jednog do drugog. Važan je za glatku i automatsku izvedbu bilo koje operacije. U mnogim poslovima postoji prilika za naglašavanje određenih točaka u ciklusu pokreta. Svaki ručni rad koji nastoji potiskom nešto sklopiti ili trajno spojiti predstavlja naglašenu točku u ciklusu koja diktira ritam. Pravilan slijed pokreta pomaže radniku u uspostavi ritma kojim rad pretvara u seriju automatskih pokreta kojima se posao izvršava bez mentalnog napora. Ispravno uređenje radnog mjesta, dobar raspored alata i toka materijala pridonosi ujednačenom i lakom obavljanju posla. U osnovi, radnik lovi ritam i izvodi pokrete bez razmišljanja, slično prirodnom i instinktivnom obrascu pokreta koji se događa prilikom hodanja.

## 2.4. Snimanje sila

Više nego ikada suvremeni čovjek oslanja se na sakupljanje podataka kako bi unaprijedio spoznaje o uzrocima i posljedicama događaja u svome fizičkom okruženju. Sve je veći broj predmeta, sklopova, uređaja i strojeva koji imaju mogućnost procesiranja i pohrane digitalnih podataka. Industrijska postrojenja su primjer sustava u kojima se generira golem broj informacija koje se vizualiziraju, prate i pohranjuju s krajnjim ciljem za analizom, razumijevanjem i unaprjeđivanjem stanja sustava.

Prvi korak u razvoju bolje i jednostavnije metode rada je dobiti točnu i potpunu sliku postojeće metode. To se postiže snimanjem svih pojedinosti u postupku obavljanja posla. Svrha studije pokreta je analizirati pokrete koje radnik koristi i razviti uputu za najekonomičniji način izvođenja.

Postavljaju se pitanja:

Kako unaprijediti ono što se ne može izmjeriti?

Kako izmjeriti učinak pokreta?

Koji je pokret djelotvoran i pridonosi produktivnosti, a koji je nedostatan?

Ako je propisana uputa preopćenita vjerojatno će biti apstraktna i malo korisna. S druge strane, ako se propišu usko specijalizirana i stroga pravila nedostajat će univerzalnost primjene. Rješenje je u prikupljanju autentičnih podataka o proizvodnim postupcima. Mjerenje iznosa sila, vremena trajanja i broja pokreta prilikom izvođenja rada čini svaku ručnu operaciju jedinstvenom i podložnom unaprjeđenju. Ono omogućuje bolje planiranje te kvalitetnije, detaljnije i preciznije opisivanje operacija u uputama za rad. **Korištenje podatkovne rukavice i računala pruža kontinuirano mjerenje sila uz prikaz rezultata u realnom vremenu i širi mogućnosti softverske simulacije proizvodnje.**

### 3. ERGONOMIJA

Ergonomija je znanost koja obuhvaća sadržaj više znanstvenih disciplina u jednu cjelinu. Stručnjaci iz raznih područja provode istraživanje te donose ergonomska načela kojima nastoje humanizirati interakciju stroja i čovjeka unutar radne okoline. Tim stručnjaka koji čine: psiholozi, fiziolozi, medicinari rada, konstruktori, projektanti, inženjeri koji proučavaju studiju rada i sigurnost na radu, svaki sa svog stajališta daju doprinos rješavanju problematike prilagođavanja rada čovjeku. Ergonomisti doprinose oblikovanju i vrednovanju zadataka, poslova, proizvoda, okoliša i sustava kako bi oni postali kompatibilni s potrebama, sposobnostima i ograničenjima čovjeka. Stoga je osnovni zadatak ergonomije (Slika 3.) prilagođavanje rada čovjeku s tri stajališta [4]:

- prilagođavanje strojeva i alata koji moraju biti projektirani tako da uvažavaju anatomske, fiziološke i psihofiziološke karakteristike čovjeka
- prilagođavanje metoda rada čovjeku u odnosu na radne položaje i pokrete, podjelu rada (radne operacije), organizaciju i sredstva za rad (stroj, predmet rada, alati, uređaji)
- prilagođavanje uvjeta radne okoline.

Discipline obuhvaćene ergonomijom jesu sljedeće.

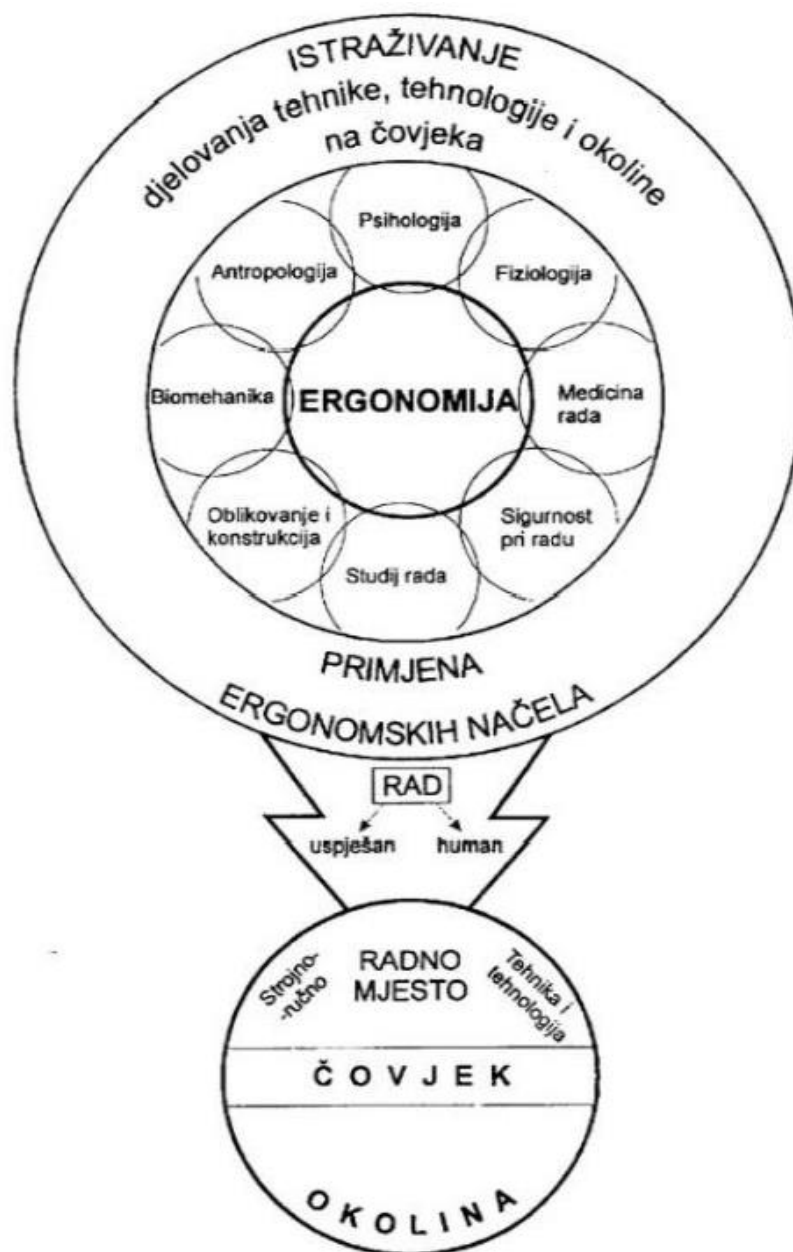
*Antropometrija* proučava tjelesne dimenzije čovjeka kako bi se omogućilo dobro oblikovanje odnosa sustava čovjek-stroj-okolina.

*Fiziologija rada* daje podatke o funkcioniranju ljudskog organizma pri radu.

*Psihologija rada* daje podatke o psihičkim zahtjevima rada te odnosu čovjeka prema radu.

*Biomehanika* se bavi rješavanjem zadataka vezanih za pokretljivost tijela u radnom sustavu.

*Medicina rada* ima zadaću uskladiti odnose između čovjeka i rada te preventivnim mjerama spriječiti narušavanje zdravlja.



**Slika 3. Prikaz područja djelovanja ergonomije u sustavu čovjek-stroj-okolina [4]**

*Sigurnost na radu* uključuje niz mjera u pružanju sigurnih radnih uvjeta, očuvanju privatnosti, dostojanstva i integriteta čovjeka na radu.

*Studij rada* obuhvaća područje vezano za studij i analizu vremena i pojednostavljenje rada s ciljem utvrđivanja potrebnog radnog vremena korištenjem optimalnih metoda rada, a u svrhu smanjenja zamora, povećanja sigurnosti, smanjenja troškova i povećanja produktivnosti.

*Oblikovanje i konstrukcija* obuhvaća projektiranje radnog mjesta da bude funkcionalno, ekonomično i konstrukcijski podobno prilikom rada čovjeka.

*Ekologija rada* obuhvaća prilagođavanje radnih uvjeta (rasvjeta, mikroklimatski parametri, plin, para, zračenje) radniku.

Kako bi se uspješno i humano oblikovao rad, potrebno je upoznati mogućnosti čovjeka za njegovo obavljanje. Prilagođavanjem radne metode čovjeku postiže se povećanje produktivnosti uz smanjenje psihofizičkog opterećenja radnika.

### **3.1. Podjela ergonomije**

Ergonomija kao interdisciplinarna znanost koja obuhvaća znanja stručnjaka iz brojnih područja može se klasificirati u podskupine koje na osnovi znanstvenih spoznaja oblikuju radne sustave. Pri tome se razlikuje oblikovanje novih radnih sustava – onih koje tek treba uspostaviti, od preoblikovanja postojećih radnih sustava, čije se postojeće stanje želi poboljšati.

#### **3.1.1. Konceptijska ergonomija**

Konceptijska ergonomija dio je ergonomije koji se bavi oblikovanjem ergonomske mjere prilikom projektiranja radnih sustava. Primjenjuje se u samom početku konstruiranja radnog sustava da bi spriječila nastanak mogućih problema. Primjer je preventivnog djelovanja na radni sustav koji dovodi do ušteda. Njezina zadaća obuhvaća područje humanosti i ekonomičnosti.

Tako je na području humanosti potrebno [4]:

- smanjiti opterećenje radnika i opasnosti na radu
- učiniti rad ugodnim
- omogućiti uvid u rezultate rada i poboljšati dostupnost informacija
- predvidjeti sposobnost čovjeka te osigurati predahe i odmore
- smanjiti oštećenje zdravlja radnika
- utvrditi metodu rada
- poboljšati radni učinak
- povećati sadržajnost rada i zainteresirati za rad
- uzeti u obzir čovjekove socijalne potrebe izvan rada.

U okviru ekonomičnosti potrebno je pak:

- povećati kvalitetu i kvantitetu rada
- osigurati prirodni ritam rada
- optimizirati zahtjeve pri radu
- smanjiti mogućnost pojave pogrešaka
- smanjiti fluktuaciju radnika
- poboljšati iskorištenje vremena
- smanjiti ukupne troškove.

### **3.1.2. Sistemska ergonomija**

Zadaća systemske ergonomije je uskladiti sve funkcije proizvodnog sustava. Primjenjuje se u fazi projektiranja proizvodnog procesa kao nastavak na konceptijsku ergonomiju. Ona predstavlja metodički tehnološki postupak i priručnik nakon što se situacija konceptijski ustanovi. Područja interesa systemske ergonomije su [4]:

- oblikovanja organizacije radnog sustava
- organizacije tijeka radnog sustava
- oblikovanja radnog mjesta
- oblikovanja radne okoline
- izbora i obrazovanja radnog osoblja.

### **3.1.3. Fizikalna ergonomija**

Fizikalna ergonomija bavi se ljudskim anatomskim, fiziološkim i biomehaničkim karakteristikama te načinom kako one utječu na fizičku aktivnost. Istražuje radni položaj, rukovanje materijalom, ponavljajuće pokrete, utjecaj rada na poremećaje mišićno-koštanog sustava. Ergonomija ovdje predstavlja znanost kojom se dizajnira način obavljanja rada, oprema i radni prostor na način koji odgovara radniku.

Ergonomski dizajn nužan je radi sprječavanja ozljeda nastalih ponavljajućim pokretima i radnji koje s vremenom mogu dovesti do invaliditeta. Najčešći uzroci takvih ozljeda jesu brzi i ponavljajući pokreti, neprirodni položaj, uporaba sile prilikom manipuliranja teretom i nedostatak odmora.

Primarni zadatak fizikalne ergonomije je poboljšanje ugodnosti rada i smanjenje bolova. Nastoji osmisliti sustav koji smanjuje fizikalni utjecaj okoline na tijelo radnika na najmanju moguću mjeru. Fizikalna ergonomija tako prezentira ljudsku sposobnost, logiku i razum da shvati, prepozna, i poboljša uvjete rada i kvalitetu života. Za ostvarenje ciljeva fizikalne ergonomije potrebno je prepoznati i razumjeti kako i kada rad negativno utječe na čovjeka i njegovo zdravlje.

Čovjek tijekom rada dolazi u kontakt s rizicima koji mogu biti rizici od ozljeda i rizici od bolesti uzrokovanih radom. Ozljede mogu kratkotrajno, ali i dugotrajno oštetiti zdravlje i narušiti radnu sposobnost. Oboljenja uzrokovana radom gotovo su uvijek dugotrajna i u svojoj boli i u utjecaju na radnu sposobnost. U opasnosti na radu spadaju utjecaji na tijelo radnika koji uzrokuju dugoročna zdravstvena oštećenja. Kao opasnost naznačuje se fizički napor, odnosno bilo koje radnje koje zahtijevaju dinamičan ili statičan napor. U mehaničke opasnosti rada ubraja se sve što nastaje utjecajem mehaničkog rada, tj. utjecajem sredstava rada na tijelo radnika, bilo u stanju odmora ili stanju obavljanja rada. Stoga služba zaštite na radu mora djelovati preventivno unutar svakog proizvodno-poslovnog sustava. U interesu poslodavca je briga o sigurnosti i zdravlju radnika jer imaju utjecaj na produktivnost i efikasnost rada i to na sljedeće načine [4]:

- direktno utječe na održivost radnog kapaciteta
- smanjuje trošak zamjene radnika odsutnih zbog ozljede ili oboljenja
- eliminira mogućnost troškova naknade radnicima oboljelih od profesionalnih bolesti
- ima pozitivan učinak na percepciju poduzeća u javnosti, a time i na tržištu rada
- smanjuje nezadovoljstvo radnika koje bi inače bilo prisutno zbog nepredvidivih situacija u radnom procesu.

#### **3.1.4. Organizacijska ergonomija**

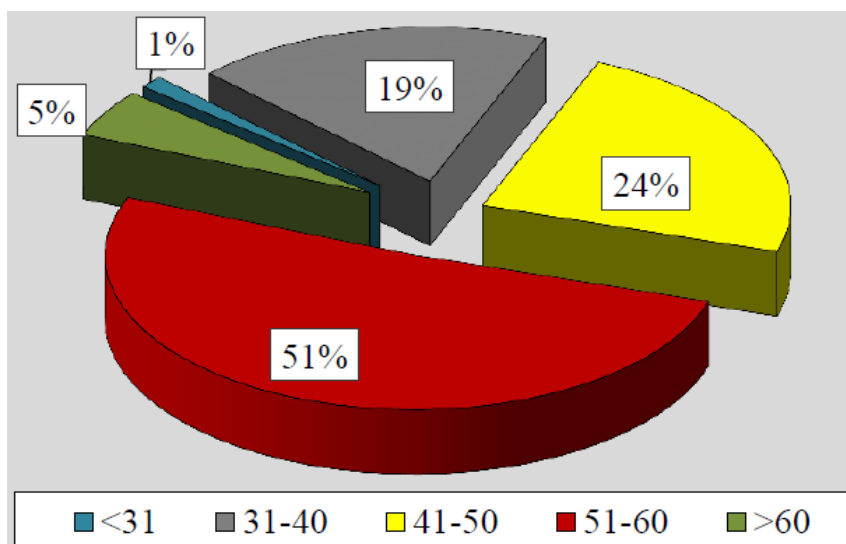
Organizacijska ergonomija bavi se optimizacijom socio-tehničkih sustava, uključujući njihovu organizacijsku strukturu, politike i procese. Proučava komunikaciju, organizaciju rada, i ostale organizacijske dijelove proizvodno-poslovnog sustava. Raspodjela ukupnog rada na više manjih individualnih poslova ili grupa zadataka vrši se dijeljenjem poslova kroz radni tjedan pojedinim radnicima ili grupi radnika. Moderna organizacijska ergonomija stavlja

naglasak na važnost načina na koji se pristupa procesu rada te timskom međuodnosu zaposlenika koji na njemu rade.[4]

### 3.2. Zdravlje radnika

U svijetu se svake godine dogodi 50 milijuna ozljeda ili 160 000 svakog dana. Podaci o ozljedama na radu u Europskoj uniji za 2017. godinu pokazuju da tri milijuna ozljeda godišnje uzrokuje izostanke s posla u trajanju od najmanje četiri dana. Dva milijuna ozlijeđenih su muškarci, jedan milijun su žene, dok je broj smrtno stradalih osoba 3 739. Prema tim podacima najčešće su površinske ozljede i lakše ozljede mišićno-koštanog sustava. [5]

Slika 4. prikazuje raspodjelu oboljelih od profesionalnih bolesti u Republici Hrvatskoj prema dobi. Uočava se da je čak 51 % radnika upravo u skupini čija je životna dob od 51 do 60 godina života, odnosno u onoj dobi kada u postupku priznavanja profesionalne bolesti nije teško zadovoljiti kriterij duljine izloženosti određenoj štetnosti ili naporu.



**Slika 4. Raspodjela radnika oboljelih od profesionalnih bolesti (bez bolesti uzrokovanih azbestom) u 2018. godini prema životnoj dobi u RH [6]**

Vidljivo je kako je prosječna životna dob u trenutku dijagnosticiranja i priznavanja profesionalne bolesti iznad 40 godina. Iako bi se uzrok tome mogao tražiti u sve boljim radnim uvjetima u kojima sve kasnije nastaju oštećenja zdravlja, na jednak ga način treba potražiti u potrebi za održanjem egzistencije te sve težom mogućnošću zapošljavanja s



preostalom radnom sposobnošću iz čega proizlazi potreba za zadržavanjem radnog odnosa pod svaku cijenu, čak i u slučaju bolesti. Još jedan bitan uzrok ovakve situacije nalazi se u činjenici da liječnici obiteljske medicine kao i liječnici drugih specijalnosti često ne pomišljaju da je riječ o promjenama zdravlja uzrokovanim radom na pojedinom radnom mjestu.

Nadalje, s obzirom na mogućnost uvida u kompletnu medicinsku i ostalu dokumentaciju temeljem koje se provodi priznavanje profesionalne etiologije bolesti, nameće se zaključak da se radnici javljaju sve kasnije od početka tegoba, tj. tek onda kada je bolest potrebno liječiti dulje, a dijagnostiku provoditi kompliciranijim, financijski i stručno zahtjevnijim metodama. Osim toga, najveći broj oboljelih najčešće dolaze iz niže i srednje obrazovne skupine zanimanja djelatnosti šumarstva i proizvodnje, pa zbog toga vrlo često preostalu radnu sposobnost ne mogu s uspjehom plasirati na tržište rada.

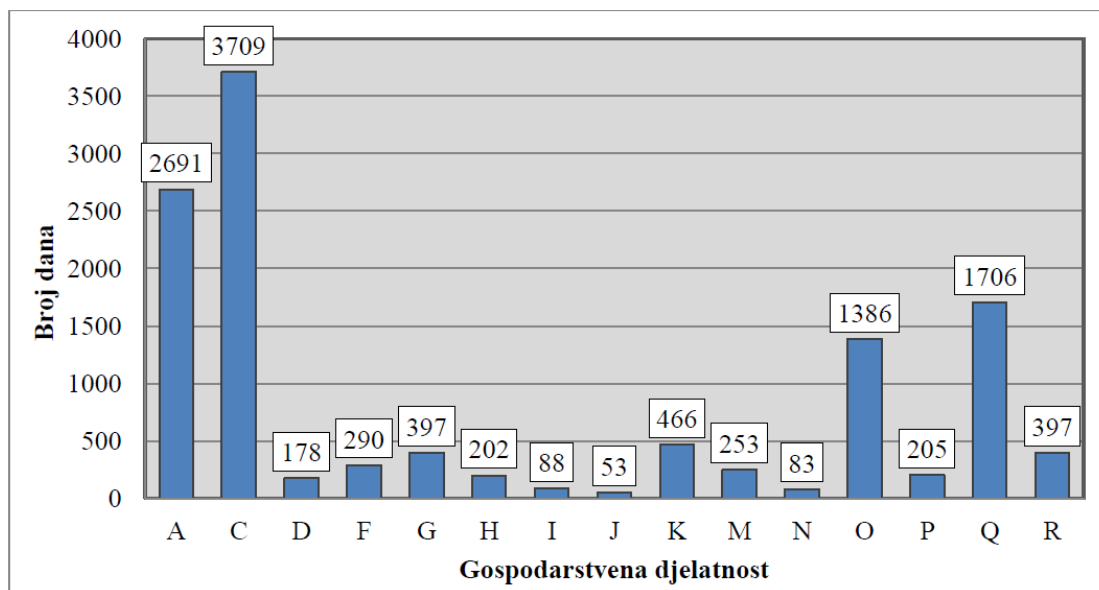
Prosječni radni staž radnika oboljelih od profesionalnih bolesti na radnom mjestu koje je uzrokovalo profesionalnu bolest iznosi 20,35 godina. Najveći broj profesionalnih bolesti zabilježen je u skupini radnika s radnim stažem od 11 do 20 godina, a skoro je jednak broj i onih radnika koji imaju 21 do 30 godina radnog staža što odgovara činjenici da je velik udio profesionalnih bolesti za čiju je pojavu potrebna dulja izloženost, kao što su sindromi prenaprezanja. Obično se u toj skupini nalaze oštećenja zdravlja koja bitno narušavaju kvalitetu života i radnu sposobnost pa radnik naprosto nema izbora već pokrenuti postupak utvrđivanja profesionalne etiologije bolesti i često ocjenu radne sposobnosti u sklopu mirovinskog osiguranja. Činjenica da je najviše oboljelih od profesionalnih bolesti upravo u dobi od 51 do 60 godina i od 41 do 50 godina, govori u prilog činjenici da su u Hrvatskoj i dalje profesionalnim bolestima zahvaćeni najviše radno sposobni muškarci i žene u najproduktivnijim godinama radnog vijeka i života. Po broju profesionalnih bolesti kao i po stopi na 100 000 zaposlenih, najzastupljenija zanimanja su u skupini tehničari/tehničarke.

Prema učestalosti u ukupnom broju profesionalnih bolesti (Tablica 2..) na prvom mjestu su sindromi prenaprezanja uzrokovani kumulativnom traumom koji su najčešći u prerađivačkoj industriji, javnoj upravi i obrani, obaveznom socijalnom osiguranju te u poljoprivredi, šumarstvu i ribarstvu, odnosno u onim radnim procesima gdje tijekom obavljanja poslova postoje ponavljajući pokreti, pritisak i prisilan položaj tijela. [6]

**Tablica 2. Najčešće profesionalne bolesti uzrokovane kumulativnom traumom klasificirane prema MKB-10 u prerađivačkoj industriji [6]**

Bolesti prema MKB-10		Prosječna životna dob u trenutku dijagnosticiranja PB (god.)	Prosječno trajanje ekspozicijskog staža u trenutku dijagnosticiranja PB (god.)
Bolesti živčanog sustava	Sindrom kapilarnog kanala G56.0 i G 56.2	51	21,84
Bolesti mišićno-koštanog sustava	Lumbargo s išijasom M 51.1	47,8	20,4
	Ostali sinovitis i tenosinovitis M 65.8		
	Sindrom rotacijske manšete M 75.1		
	Kalcificirajući tendinitis ramena M 75.3		
	Medijalni epikondilitis M 77.0		

Ukupan broj dana privremene radne nesposobnosti zbog profesionalne bolesti u pojedinim gospodarstvenim djelatnostima prikazuje Slika 5. Najveći je broj dana privremene radne nesposobnosti u djelatnosti prerađivačke industrije. Značajan broj dana privremene radne nesposobnosti zabilježen u djelatnosti poljoprivrede, šumarstva i ribarstva. Radi se prvenstveno o radnicima sjekačima motornom pilom kod kojih je utvrđen profesionalni vibracijski sindrom. U prerađivačkoj industriji najučestalije dijagnoze dolaze iz spektra sindroma prenaprezanja kod kojih su smetnje u trenutku priznavanja značajno izražene, a liječenje često kirurško uz dugotrajan postupak rehabilitacije. Ovo je ujedno i grupa poremećaja koji bitno narušavaju radnu sposobnost pa se često radnik ne može vratiti na radno mjesto na kojem je radio prije liječenja.



\*Gospodarstvene djelatnosti prema Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti

	Naziv djelatnosti-NKD 2007
A	Poljoprivreda, šumarstvo i ribarstvo
C	Prerađivačka industrija
D	Opskrba električnom energijom, plinom, parom i klimatizacija
E	Opskrba vodom, uklanjanje otpadnih voda, gospodarenje otpadom
F	Građevinarstvo
G	Trgovina na veliko i na malo; popravak motornih vozila i motocikala
H	Prijevoz i skladištenje
I	Djelatnosti pružanja smještaja te pripreme i usluživanja hrane
J	Informacije i komunikacije
K	Financijske djelatnosti i djelatnosti osiguranja
M	Stručne, znanstvene i tehničke djelatnosti
N	Administrativne i pomoćne uslužne djelatnosti
O	Javna uprava i obrana; obavezno socijalno osiguranje
P	Obrazovanje
Q	Djelatnosti zdravstvene zaštite i socijalne skrbi
R	Umjetnost, zabava i rekreacija
S	Ostale uslužne djelatnosti

**Slika 5. Broj dana privremene radne nesposobnosti zbog profesionalne bolesti u pojedinim gospodarstvenim djelatnostima [6]**

Najveći broj dana privremene radne nesposobnosti uzrokovali sindromi prenaprezanja. Uglavnom se radilo o sindromu karpalnog kanala te bolestima zglobnih sveza i tetiva. U 2018. godini su zbog ovih zdravstvenih problema radnici bili privremeno radno nesposobni 5916 dana, a prosječno trajanje privremene radne nesposobnosti je iznosilo oko tri mjeseca. Ovaj podatak je očekivan, jer se radi o bolestima koje često zahtijevaju operativno liječenje i dugi rehabilitacijski postupak. Budući da je broj sindroma prenaprezanja iz godine u godinu sve veći, uz dugotrajno liječenje i dugu privremenu radnu nesposobnost, ova skupina

profesionalnih bolesti sigurno zahtijeva veću pozornost i primjenu učinkovitijih preventivnih mjera. Procjenjuje se da ukupni gubitak uzrokovan smanjenom produktivnošću zbog oboljenja, ozljeda i za njih potrebne zdravstvene skrbi iznosi preko 10 milijardi eura godišnje (Tablica 3..). [4]

**Tablica 3. Utjecaji ozljeda na radu [4]**

	<b>Utjecaj na zdravstveno stanje radnika</b>	<b>Ekonomski utjecaj</b>
<b>Ozlijeđeni radnik u poduzeću</b>	fizička bol psihološki problemi	smanjeni prihodi dodatni troškovi smanjena produktivnost
<b>Ozlijeđeni samozaposleni radnik</b>	psihološki problemi smanjena mogućnost ostalih aktivnosti	financijske poteškoće
<b>Tvornica/Pogon</b>	nelagoda zabrinutost panika	smanjeni prihodi prekomjerni rad osposobljavanje novih radnika
<b>Proizvodno-poslovni prostor</b>	poremećena radna atmosfera narušena reputacija	smanjena produktivnost šteta na sredstvima rada Isplata odštete
<b>Društvo</b>	smanjen broj radno sposobnog stanovništva	smanjenje ukupne proizvodnje povećane cijene osiguranja smanjenje kupovne moći

### **3.3. Metoda RULA (eng. *Rapid Upper Limb Assessment*)**

Metoda RULA razvijena je na institutu za profesionalnu ergonomiju sveučilišta u Nottinghamu. Razvili su ju Lynn McAtamney i Nigel Corlett s ciljem da se odredi stupanj izloženosti radnika nepovoljnim radnim položajima, silama i mišićnoj aktivnosti. Metoda RULA koristi se za opažanje i ocjenjivanje bio mehaničkih položaja cijelog tijela pri čemu su obuhvaćene ruke (nadlaktica, podlaktica, šaka), vrat, trup i noge, te djelovanje mišića dijelova tijela. Metoda RULA provodi se u tri stupnja [4]:











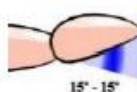





- prikupljanje podataka putem upitnika o radnom okruženju i radnim zadacima, te zahtjevima radnog procesa, utvrđivanje ključnih pokreta i položaja tijela koji uzrokuju opterećenje i koje je potrebno detaljnije analizirati
- provođenje snimanja i ocjenjivanja položaja tijela po pojedinim segmentima pri čemu se analiziraju lijeva i desna ruka (nadlaktica, podlaktica, šaka), a potom vrat, trup i noge

- određivanje stupnja opterećenja po segmentima tijela korištenjem ocjenjivačkih tablica te određivanje konačnog stupnja opterećenja prethodno dobivenog po segmentima tijela.

Za potrebe provođenja ocjenjivanja radnih položaja tijela prilikom izvođenja radnih zadataka dani su slikovni prikazi za položaj ruku (Slika 6.). Prema metodi RULA razlikuje se pet osnovnih položaja nadlaktice (s tri dodatna položaja nadlaktice), četiri položaja podlaktice, četiri položaja šake (s jednim dodatnim položajem šake), dva položaja rotacije šake, dva stanja za aktivnost i dinamičnost šake, četiri stanja za opterećenost ruke kod prijenosa mase. [4]

U postupku vrednovanja opterećenosti ruke zasebno se ocjenjuju lijeva i desna ruka (Tablica 4.). U prvom koraku analizira se i ocjenjuje nadlaktica odgovarajućom ocjenom. Dobivenoj vrijednosti dodaje se ocjena dodatnog položaja nadlaktice čime se dobiva prva ocjena. Potom se analizira i ocjenjuje položaj podlaktice što čini drugu ocjenu. Slijedi ocjena položaja šake čijoj vrijednosti se dodaje dodatak za abdukciju šake čime se dobiva treća ocjena. U sljedećem koraku analizira se i ocjenjuje rotacija šake čime se dobiva četvrta ocjena. Dobivenoj ocjeni dodaje se ocjena za aktivnost i dinamičnost ruke, te opterećenost ruke s obzirom na masu.

Dobivena ocjena za položaj ruku, nakon ocjene tijela, očitava se kao ukupno opterećenje (Tablica 5.). S obzirom na dobivenu ocjenu, utvrđuje se stupanj opterećenja i potreba preoblikovanja radnog mjesta s ciljem smanjenja zamora i opterećenja radnika (Tablica 6.).[4]

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 6. Prikaz radnih položaja ruke prema metodi RULA [4]

**Tablica 4. Matrica za ocjenu položaja ruku prema metodi RULA [4]**

		Šaka									
		1		2		3		4			
		Rotacija šake									
		1	2	1	2	1	2	1	2		
Nadlaktica	1	Podlaktica	1	1	2	2	2	2	3	3	3
			2	2	2	2	2	3	3	3	3
			3	2	3	3	3	3	3	4	4
	2	1	2	3	3	3	3	4	4	4	
		2	3	3	3	3	3	4	4	4	
		3	3	4	4	4	4	4	5	5	
	3	1	3	3	4	4	4	4	5	5	
		2	3	3	4	4	4	4	4	5	
		3	4	4	4	4	4	5	5	5	
	4	1	4	4	4	4	4	5	5	5	
		2	4	4	4	4	4	5	5	5	
		3	4	4	4	5	5	5	6	6	
	5	1	5	5	5	5	5	6	6	7	
		2	5	6	6	6	6	7	7	7	
		3	6	6	6	7	7	7	7	8	
	6	1	7	7	7	7	7	8	8	9	
		2	8	8	8	8	8	9	9	9	
		3	9	9	9	9	9	9	9	9	

**Tablica 5. Matrica za konačnu ocjenu položaja tijela i ruku prema metodi RULA [4]**

		Rezultat: TIJELO						
		1	2	3	4	5	6	7+
Rezultat: RUKA	1	1	2	3	3	4	5	5
	2	2	2	3	4	4	5	5
	3	3	3	3	4	4	5	6
	4	4	3	3	3	4	5	6
	5	4	4	4	5	6	7	7
	6	4	4	5	6	6	7	7
	7	5	5	6	6	7	7	7
	8+	5	5	6	7	7	7	7

**Tablica 6. Prikaz ocjene opterećenja tijela metodom RULA [4]**

ocjena	Opis opterećenja
1-2	položaj tijela prihvatljiv; preoblikovanje radnog mjesta nije potrebno
3-4	nisko opterećenje položaja tijela; istražiti detaljnije; preoblikovanje radnog mjesta možda potrebno
5-6	srednje opterećenje položaja tijela; istražiti detaljnije; preoblikovanje radnog mjesta potrebno u doglednom vremenu
7+	visoko opterećenje položaja tijela; istražiti detaljnije; preoblikovanje radnog mjesta potrebno odmah

Ovom analizom radnih zadataka nastoje se prikupiti podaci o preopterećenosti dijelova tijela. Prekomjerno opterećenje radnika najčešće uzrokuju neadekvatne metode rada u kombinaciji s nepovoljno oblikovanim radnim mjestom. Detektiranje nepravilnih radnih položaja ili pokreta ključno je za pravilno ergonomsko oblikovanje radnog mjesta kao i povoljne metode rada. Razvojem računalnih sustava razvijeni su i programi koji sadrže analize RULA, kao što je softverski paket CATIA.

### 3.4. Softver CATIA

CATIA je vodeće svjetsko softversko rješenje za svekoliko oblikovanje proizvoda i proizvodnje (CAD, CAM, CAE, PLM). Koristi se u gotovo svim granama industrije. Razvija ju francuski Dassault Systemes. Omogućava cjelovito 3D modeliranje i razne simulacije, pa tako CATIA posjeduje i razvijenu platformu za ergonomiju koja korisniku omogućava oblikovanje opreme i oblikovanje rada na način koji najmanje opterećuje radnika. Za modeliranje rada i proračun sila koje djeluju na čovjeka pri izvođenju rada koristi se alatna traka „Ergonomics Design and Analysis“. Ovaj alat omogućava realnu simulaciju radnog procesa i utjecaj sila i opterećenja na čovjeka za vrijeme rada.

Na temelju varijabli kao što su težina, učestalost i udaljenost analizira se držanje virtualno stvorenog čovjeka. Analiza RULA ispituje čimbenike rizika te se svi čimbenici kombiniraju kako bi se dobio ukupan rezultat koji se kreće od ocjene 1 do 7. Rezultat se povezuje s bojom i to od zelene preko žute i narančaste do crvene, ovisno o ukupnom rezultatu. Rezultate je moguće prikazati u osnovnom i naprednom modu.

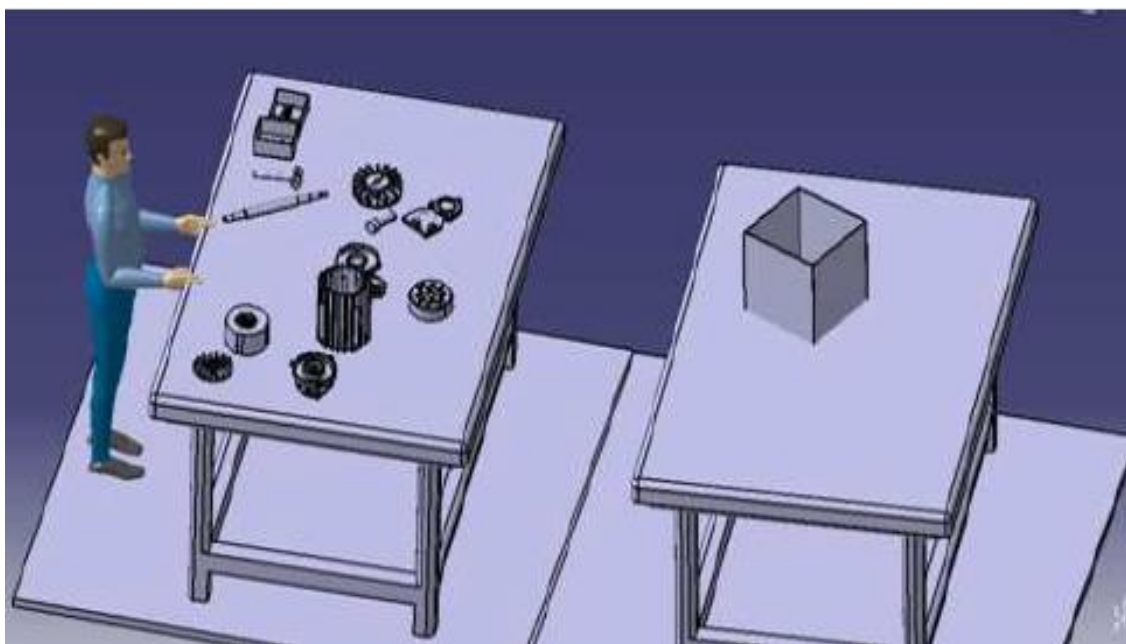


U osnovnom modu ocjene rada, ocjene 1 i 2 prikazane su zelenom bojom i označavaju da je držanje tijela prihvatljivo ako se takvo ne održava dulje vrijeme ili ne ponavlja često. Ocjene 3 i 4 dobivaju oznaku žute boje, a takav rezultat ukazuje da je potrebno dodatno istraživanje kao i da bi mogle biti potrebne određene preinake. Ocjene 5 i 6 povezane su s narančastom bojom te ukazuju na potrebu za skorijim istraživanjem i promjenama u radu. Rezultat 7 prikazuje se crvenom bojom i takav zahtijeva hitnu istragu i preinaku metode rada. Označavanje rezultata u naprednom načinu rada povezano je s različitim dijelovima tijela kako prikazuje Slika 7.

Segment	Score Range	Color associated to the score					
		1	2	3	4	5	6
Upper arm	1 to 6	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
Forearm	1 to 3	Green	Yellow	Red	Grey	Grey	Grey
Wrist	1 to 4	Green	Yellow	Orange	Red	Grey	Grey
Wrist twist	1 to 2	Green	Red	Grey	Grey	Grey	Grey
Neck	1 to 6	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
Trunk	1 to 6	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Red

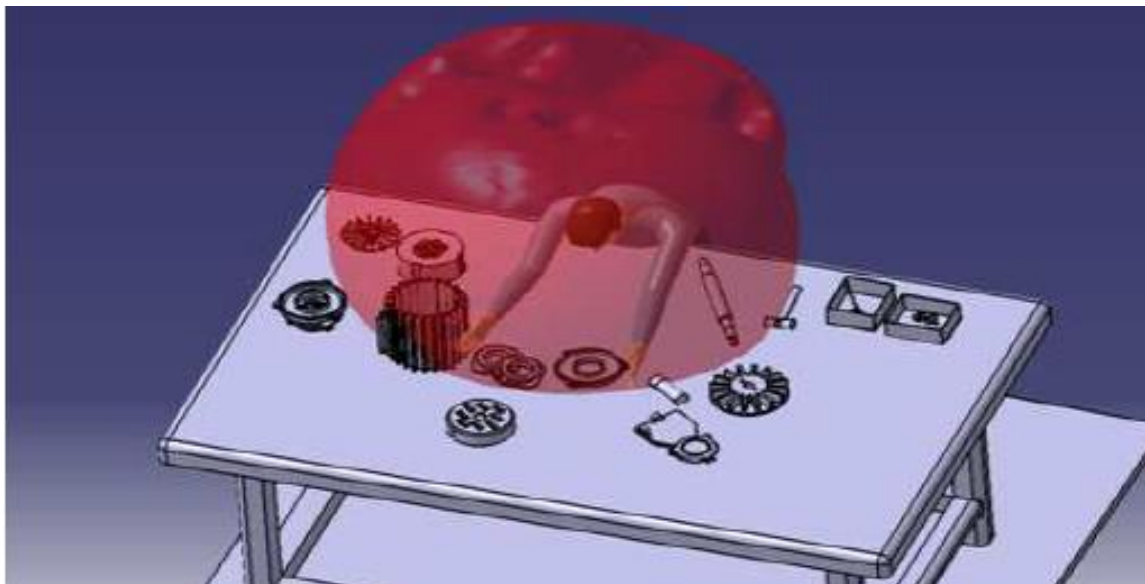
Slika 7. Oznaka rezultata u naprednom modu [7]

U nastavku slijedi primjer korištenja analize RULA u softveru CATIA. Slika 8. prikazuje primjer postojećeg radnog mjesta za montažu i pakiranje pumpe.



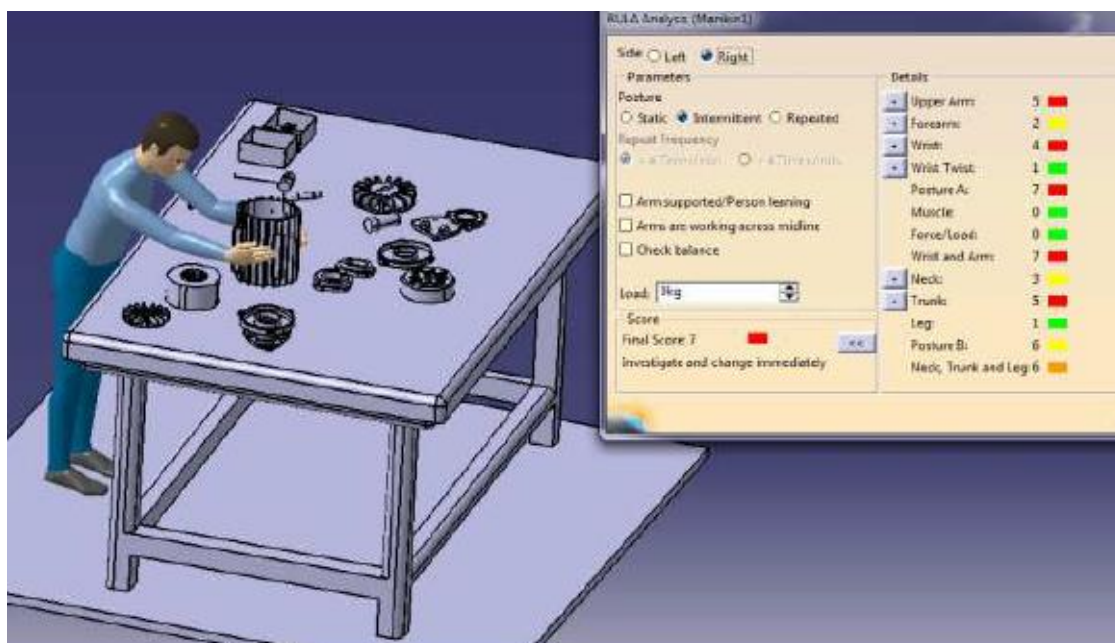
Slika 8. Primjer postojećeg radnog mjesta za montažu i pakiranje pumpe [7]

Prilikom rada važno je da su svi elementi rada unutar zone radnog doseg. Zona radnog doseg je ono područje radnog mjesta unutar kojega su svi elementi rada dohvatljivi pokretima ruku (Slika 9.).



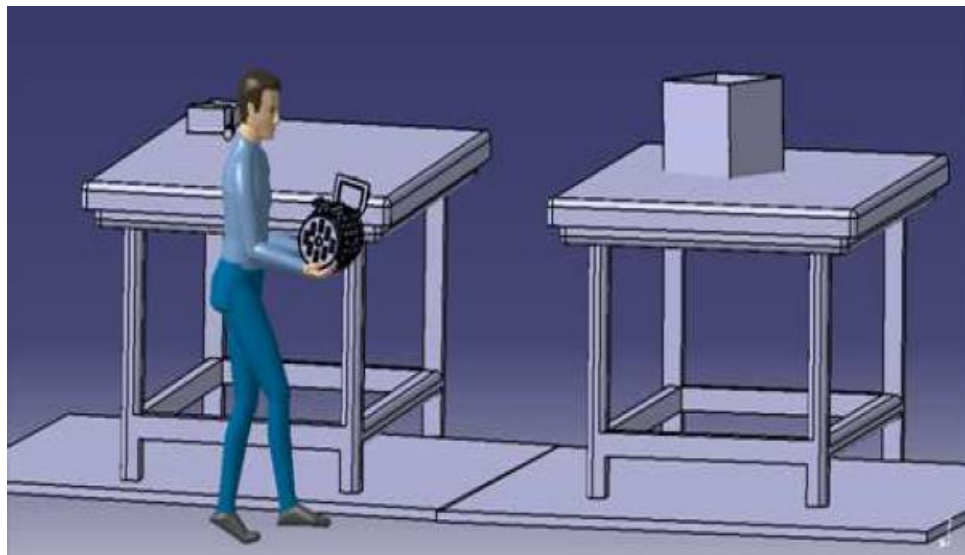
Slika 9. Zona radnog doseg pri montaži [7]

Provedena analiza za posezanje motora dobiva ocjenu 7 što ukazuje na potrebu za cjelovitim promjenama. Rezultate analize prikazuje Slika 10.

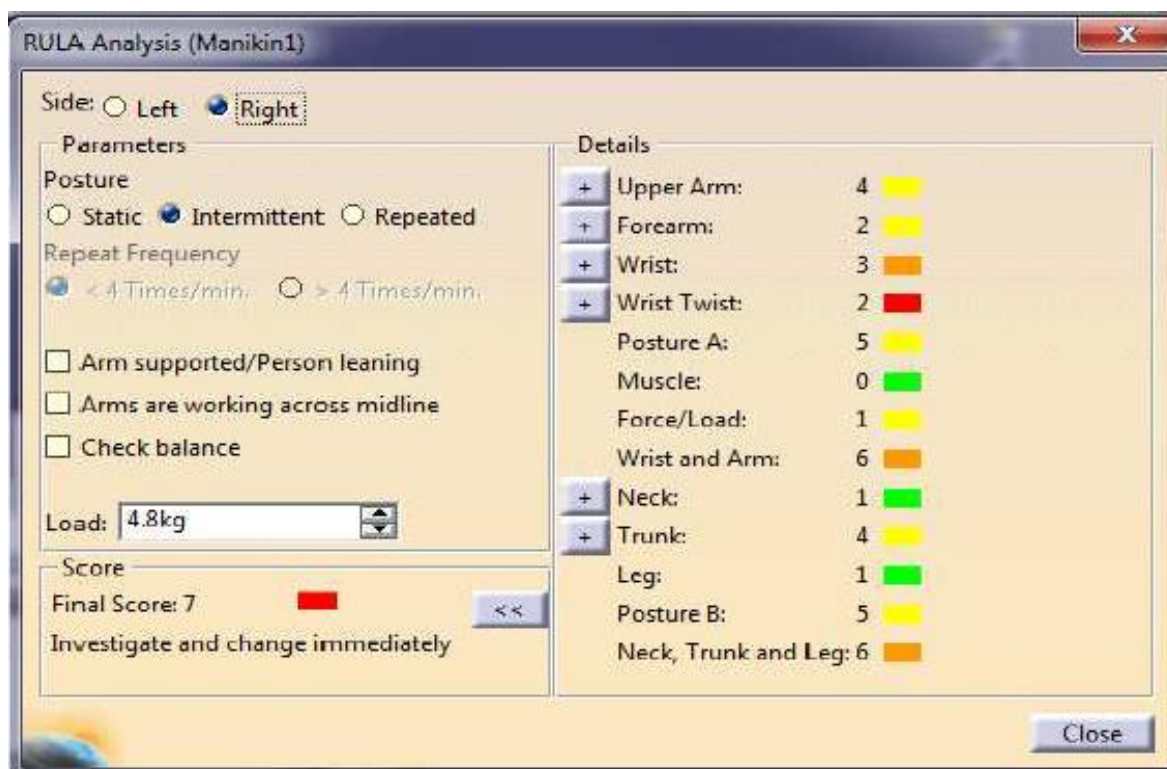


Slika 10. Analiza uzimanja motora na radnom mjestu [7]

Slika 11. prikazuje kako radnik nosi sklopljenu pumpu od stola za montažu do prostora za pakiranje. RULA analizom ponovno se dodjeljuje ocjena 7 za cjelodnevno nošenje s prekidima, pumpe čija je masa oko 5 kg (Slika 12.).



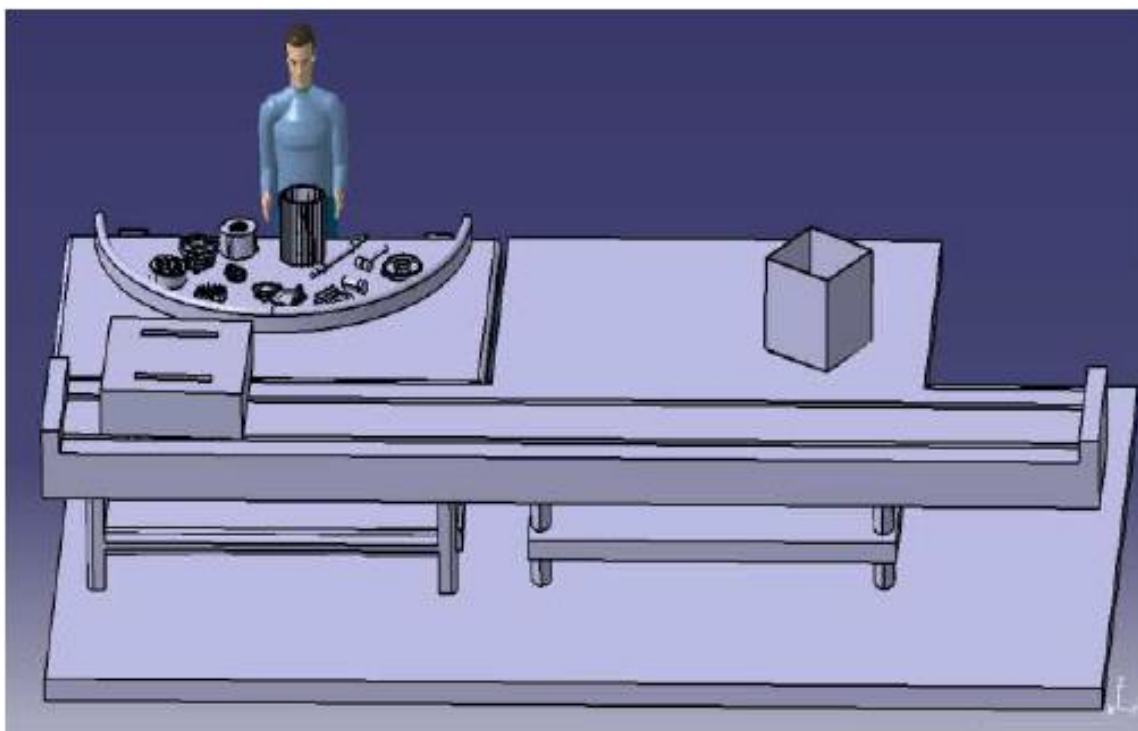
Slika 11. Nošenje sklopljene pumpe do prostora za pakiranje [7]



Slika 12. Rezultati analize nošenja pumpe [7]

Kao što se vidi iz rezultata analize RULA, jasno je da treba provesti dodatna istraživanja i promijeniti postojeće radno mjesto kao i metodu rada kako bi se radnika zaštitilo od poremećaja mišićno-koštanog sustava.

Poboljšano radno mjesto prikazuje Slika 13. Predlaže se promjena dimenzija stola za montažu koji bi imao identifikacijske oznake koje označuju granice maksimalnog doseg radnika. Kada su svi elementi rada unutar zone maksimalnog radnog doseg, radnik može s lakoćom manipulirati elementom rada. Valjčani konvejer s ručnim pogonom može se koristiti za nošenje sklopljene pumpe do odjela za pakiranje, što eliminira opterećenje na ruke radnika. Ovim unaprjeđenjima radnog mjesta i metode rada dobiva se na uštedi vremena trajanja operacija. Treba razmotriti i opciju automatizacije rada i kupovinu nekih strojeva. Akumulatorski odvijač za pritezanje vijaka, hidraulička preša za pojedine montaže, automatski konvejer za premještanje tereta. Iako bi početna ulaganja vjerojatno bila velika to zasigurno dovodi do boljeg radnog okruženja za zaposlenike i povećanja stope proizvodnje.



Slika 13. Poboljšano radno mjesto [7]

### 3.5. Značaj snimanja sila pri pokretima za ergonomiju rada

Kako bi se spriječio nastanak zdravstvenih poremećaja potrebno je prikupljati podatke o rizicima na radnom mjestu. Oni su svakako povezani sa silama koje se pojavljuju u radu.

Snimanje sila podatkovnom rukavicom nalazi primjenu u oblikovanju ergonomskih mjera za izvođenje radnog procesa. Snimanjem se olakšava utvrđivanje prisutnosti štetnosti. Izravnim mjerenjem egzaktno se određuju intenzivnost opterećenja i trajanje izloženosti njemu. Osim radi smanjivanja opasnosti po zdravlje, postupak se provodi i radi oblikovanja radnog mjesta prema sposobnostima čovjeka, smanjenja gubitka radnog vremena i povećanja učinkovitosti rada. Metoda kojom se vrši mjerenje jednostavna je, pa se može koristiti za analizu svakog rada i pokreta za vrijeme njihova izvođenja bez narušavanja produktivnosti rada. Sile koje mehanički preopterećuju komponente lokomotornog sustava (mišići, tetive, skelet, hrskavice, ligamenti, živci) jače od iznosa koje oni mogu podnijeti izravno su odgovorne za istegnuća, rupturu, frakture, neprimjetne mikrofrakture i degenerativne promjene.

Naime, prema [6], najviše dana privremene nesposobnosti za rad generirano je u djelatnosti prerađivačke industrije (3709 dana), a najveći broj dana bolovanja je nastao kao posljedica utjecaja ponajprije kumulativne traume (sindromi prenaprezanja, 5916 dana).

Postupkom snimanja i analize sila može se utvrditi: iznos i smjer sile, trajanje izloženosti, broj repeticija u vremenskom periodu (frekvencija) i položaj tijela. Analizom rezultata ustanovljuje se prisutnost sila visoke intenzivnosti te kritični period i frekvencija izloženosti.

Metodom se može mjeriti veliki broj radnih pokreta šake i prstiju koji se često izvode kao što su: hvatanje, postavljanje, prilagođavanje položaja elementa rada, upotrebljavanje, sklapanje, rasklapanje, ispuštanje, pružanje, prijenos tereta, biranje, traženje, držanje. Snimanje sila idealno bi bilo provesti u razdoblju razvijanja radnog procesa kad je najveća mogućnost djelovanja na proces i radni sustav u cjelini.

Kasno otkrivanje nedostataka ograničava djelokrug ergonomije na rad i vjerojatno dovodi do novih troškova. Iz tog razloga softveri za projektiranje rada poput CATIA-je posjeduju alate za analizu utjecaja rada na ljudsko tijelo. Na ovaj način omogućeno je računalno mjerenje radnih opterećenja u karakterističnim položajima. Upravo metoda izravnog snimanja sila

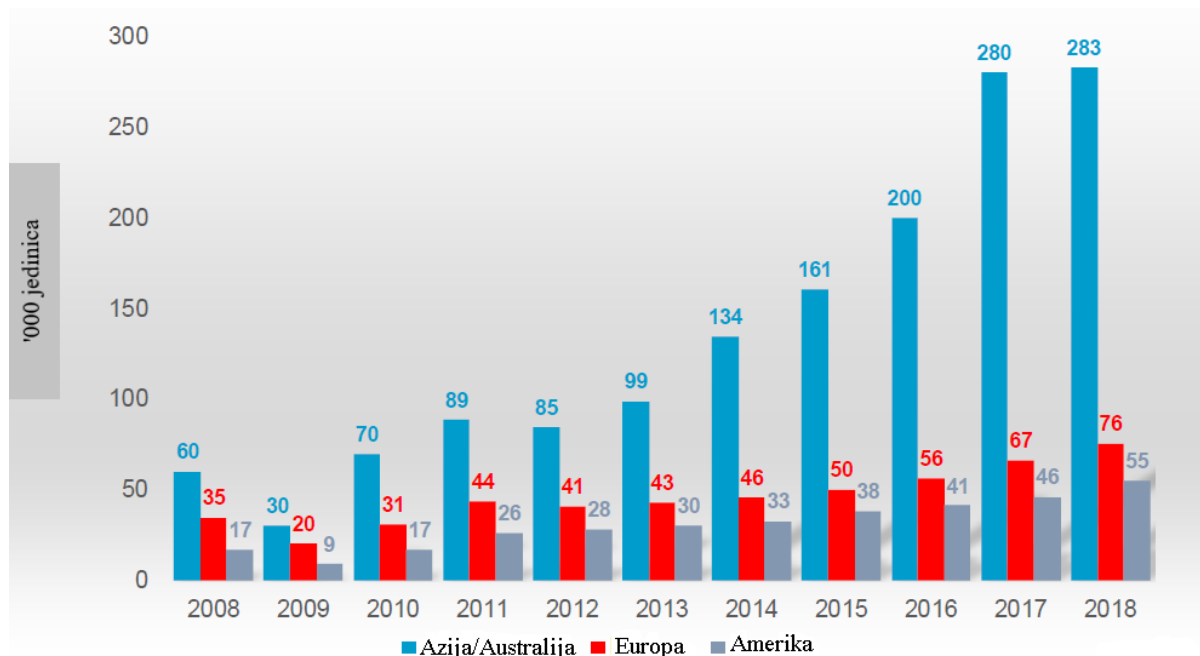
može se primijeniti u realnim situacijama analize radnog djelovanja unutar nekog referentnog radnog prostora, što do sada nije bilo moguće već se oslanjalo isključivo na računalne simulacije. Izravno snimanja sila moglo bi unaprijediti te simulacije, otkriti pogreške te doprinijeti preciznosti njenih rezultata.

#### 4. AUTOMATIZACIJA RADA I PROIZVODNJE

U proizvodnim procesima, zbog njezine učestalosti, montaži obično pripada i znatan udio troškova proizvodnje. Zbog toga su učinkovite strategije montaže važno pitanje u mnogim industrijskim granama. Učinkovitost se često postiže automatizacijom, što je poželjno za ručno sastavljanje s obzirom na vrijeme, ponovljivost i točnost. Ipak, automatizacija je prikladna samo za vrlo specifičnu paletu proizvoda, kojima se lako može rukovati i proizvesti u velikim količinama. Možda nije isplativa za proizvodnju manjih količina što je trend u proizvodnji radi prilagodbe željama kupca (eng. *Mass Customization*). Izazov takve automatizirane proizvodnje je fleksibilnost koja zahtjeva reprogramiranje stroja nakon svake izrade. Unatoč značajnom napretku na polju umjetne inteligencije i industrijske automatizacije ljudska inteligencija daleko je superiornija u pogledu rasuđivanja, razumijevanja jezika, vizije i domišljatosti. Stoga su ljudi još uvijek potrebni za upravljanje složenim aktivnostima montaže personaliziranih i sklopivih proizvoda. Međutim, sposobnost čovjeka u nekim slučajevima ometaju fizičke barijere. Naprimjer, proizvodnja mikroproizvoda zahtijeva finu motoriku pokreta i dobru vizualnu percepciju kako bi se izradili visoko precizni dijelovi. Štoviše, neki materijali mogu imati štetne učinke na ljudsko zdravlje ili su previše glomazni da bi se njima moglo ergonomski rukovati. Uzimajući u obzir ove i druge proizvodne trendove u društvu i gospodarstvu, postaje očito da su potrebne nove tehnike montaže. Obećavajuće rješenje za suočavanje sa spomenutim izazovima u ručnom sastavljanju je razvoj haptičke tehnologije (eng. *Haptic Technology* – tehnologija dodira). Sve donedavno ova tehnologija se rijetko primjenjivala u industriji.

Suvremena industrija teži sve većoj mehanizaciji i automatizaciji rada. Kontinuirani proces usavršavanja proizvodnje danas pokazuje snažan porast broja industrijskih robota. Uspješno zamjenjuju čovjeka u teškim, opasnim i monotonim poslovima. Oni značajno pridonose efikasnosti proizvodnih sustava kroz povećanje kvalitete gotovih proizvoda, smanjenja škarta, povećanja sličnosti proizvoda, smanjenu broja radnika te smanjenu troškova proizvodnje.

Prema podacima koje je objavio Međunarodni savez za robotiku (eng. *International Federation of Robotics*) jasno je da vodeće ekonomije svijeta razvoj temelje na proizvodnji u kojoj se koriste roboti (Slika 14.).



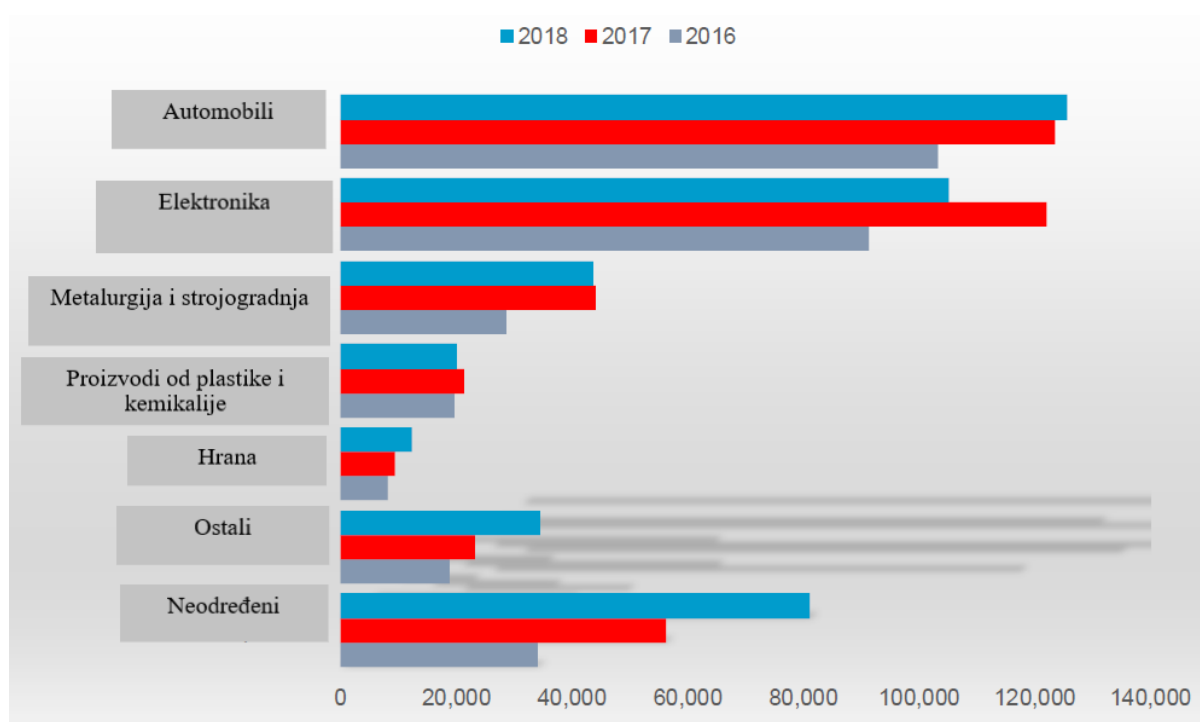
**Slika 14. Broj u svijetu novouvedenih industrijskih robota godišnje, od 2008. do 2018. godine [8]**

Dva od tri novo instalirana robota (67 %) raspoređena su u Aziji koja je najveće tržište industrijskih robota (Slika 14.). Čak 74 % implementiranih industrijskih robota nalazi se u Kini, Japanu, SAD, Južnoj Koreji te Njemačkoj. U Kini se godišnje u proizvodne procese instalira više robota nego li u Europi i Americama zajedno. Kako prikazuje Slika 15. automobilska industrija najveći je korisnik industrijskih robota. Gotovo 30 % svih industrijskih robota koriste se za proizvodnju vozila. Nakon ekonomske krize 2008. i 2009. godine proizvođači automobila počeli su restrukturirati svoje poslovanje. Od 2010. godine ulaganja u nove proizvodne kapacitete na tržištima u nastajanju i ulaganja u modernizaciju proizvodnje u glavnim zemljama proizvođačima automobila pokreću potražnju za robotima. [8] Zbog širine spektra koji obuhvaća jedan je od najvećih svjetskih gospodarskih sektora po prihodima. Danas se automobilska industrija smatra vodećom granom ekonomskog sektora svih država koje ju imaju. Preko tri četvrtine dodane vrijednosti u automobilskoj industriji ostvaruje se upravo u proizvodnji dijelova za ugradnju te djelatnostima vezanim uz razvoj vozila i prateće djelatnosti. Na hrvatskom tržištu prisutne su i kompanije koje su se uspješno integrirale u sustav dobavljača rezervnih dijelova za vrhunske svjetske proizvođače automobila (PSA, GM, Fiat, BMW, Audi, Ford, Renault, Toyota, Volvo i drugi), a oko 90 %



prihoda automobilske industrije generira se izvozom. Prema podacima Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja Republike Hrvatske obilježja automobilske industrije u Hrvatskoj jesu [9]:

- 463 kompanije u industriji proizvodnje motornih vozila i ostalih prijevoznih sredstva (DZS, 2018.)
- 11 794 zaposlenih u industriji proizvodnje motornih vozila i ostalih prijevoznih sredstva (DZS, 2018.)
- 1 121 EUR, iznos je prosječne bruto plaće (DZS, 2019.)
- 9,8 % udjela u ukupnom izvozu RH (DZS, 2019.)



**Slika 15. Broj robota na kraju godine po industrijama u svijetu [8]**

Gotovo nijedna industrijska grana nije toliko obilježena brzim napretkom i promjenama kao elektronička industrija. Današnji trendovi već sutra postaju standardi. Inovacije osiguravaju tržišne udjele, a revolucionarna dostignuća obilježavaju novu generaciju uređaja. Robotske instalacije u industriji elektroničkih uređaja (uključujući računala i opremu, radio, televiziju, komunikacijske uređaje, medicinsku opremu, precizne i optičke instrumente) povećavaju se u prosjeku za 24 % od 2013. godine. U 2017. godini iznosili su 31 % ukupnih instalacija i uskoro su trebali zamijeniti automobilsku industriju. Međutim, u 2018. godini globalna potražnja za elektroničkim uređajima i komponentama znatno se smanjila. Ova industrija najviše je pogođena trgovinskim sukobom između SAD-a i Kine, jer su Azijske zemlje lideri

u proizvodnji elektroničkih proizvoda i komponenti. Instalacije robota u elektroničkoj industriji smanjile su se za 14% s njihove najviše razine u 2017. godini. [8] U Hrvatskoj poslovanje razvijaju velika poduzeća kao što su: SIEMENS, Ericsson, IBM, SAP, Microsoft, ENVOX. Zajedno sa drugim poduzećima ICT sektor u Hrvatskoj čini [10]:

- Udio ICT industrije u BDV-u je 4,9 % (HNB, 2019.)
- 7 399 kompanija (DZS, 2018.)
- 45 128 zaposlenih (DZS, 2018.)
- 1 687 EUR, iznos prosječne bruto plaće (DZS, 2019.).

## 5. PODATKOVNE RUKAVICE

Bez obzira na prodor robotizacije, u industriji se i danas mnogi poslovi obavljaju ručno, pri čemu taj ručni rad nije primjereno analiziran, stabiliziran i normiran. Ipak, očit je prodor automatizacije i u područje ručnih izvođenja poslova (interakcija čovjek-robot). U tome smislu, upravo se korištenjem podatkovne rukavice mogu prikupljati podaci o izvođenju ručnih radnji, kako bi se, s jedne strane, **optimirali, stabilizirali i normirali ručni procesi**; dok bi se s druge strane na taj način olakšano **evoluirali ručni procesi prema automatskim** (bilo potpuno automatskim, bilo kolaborativnim čovjek-robot). Naprimjer, automobili nove generacije ispunjeni su brojnim elektroničkim uređajima. Proizvodnja elektroničkih uređaja zahtijeva montažu komponenti malih dimenzija i lake lomljivosti. Njihova ugradnja pak zahtijeva veliku točnost i oprezno rukovanje. Podatkovna rukavica je jednostavno i jeftino rješenje za kodiranje procesa montaže prilikom proizvodnje i ulazni uređaj za izravnu interakciju čovjeka i stroja.

Brojnim sensorima moguće je bilježiti fizičke podatke važne za visoku preciznost i pouzdanost pokreta te mjerenja stupnjeva slobode ljudskih ruku. Podatkovna rukavica je višesenzorni uređaj koji generira veliku količina podataka i složenija je od ostalih ulaznih uređaja. Međutim, većina istraživača i dalje prihvaća podatkovnu rukavicu jer je njezino prirodno povezivanje s ljudskim bićem (navlačenje rukavice na šaku) način da se poboljšaju manipulacije predmetima koji se primjenjuju u mnogim specifičnim poljima ljudskih djelatnosti kao što su teleoperativan rad i robotsko upravljanje, medicinske aplikacije u području kirurgije, sustavi VR, industrijska proizvodnja i CAD/CAM sustavi.

## 5.1. Teleoperacija podatkovnom rukavicom – sustav robotskih ruku *Shadow*

Nastavno na prethodno, naprimjer, Shadow Dexterous Hand (Slika 16.) je humanoidni sustav robotskih ruku koji je razvilo britansko poduzeće The Shadow Robot Company iz Londona. Ovo je najnaprednija robotska ruka te vrste na svijetu jer najbliže moguće reproducira kinematiku i spretnost ljudske ruke. Robotska ruka je veličinom i oblikom usporediva s ljudskom. Sadrži 24 zglobova koje pokreće 20 motora, 40 mjerača naprezanja, 25 temperaturnih senzora i senzora pritiska na svakom vrhu prsta. Jedina je ruka robota na tržištu koja ima 24 pokreta i 20 stupnjeva slobode za veću fleksibilnost u hvatanju i manipulaciji niza predmeta. Svaki se prst neovisno pomiče, za neusporedivu spretnost, a postoji ukupno 129 senzora za postizanje preciznosti na visokoj razini. [11]



**Slika 16. Humanoidna robotska ruka The Shadow Hand [12]**

Robotskom rukom može se izravno upravljati pomoću podatkovne rukavice CyberGlove što omogućuje teleoperaciju robota (Slika 17.). Poduzeće je nedavno prezentiralo teleoperaciju u suradnji s operatorom u Kaliforniji koji je upravljao robotskom rukom koja se nalazila 8 560 kilometara daleko u Londonu. Operator je s velike udaljenosti mogao osjetiti iste podražaje kao i robotska ruka zahvaljujući sensorima na vrhovima prstiju uređaja Shadow koji prenose haptičke povratne informacije rukavici koju nosi operator. [13]

Zajednička primjena rukavice i robotske ruke može ljude izvesti iz štetnih radnih situacija i omogućuje izvršavanje radnih zadataka bez fizičke prisutnosti na radnom mjestu. Može se upravljati robotskom rukom s udaljenosti, iz kontrolne sobe ili čak s drugog kontinenta. Robotska ruka oponaša pokrete i izvršava zadatke s velikom preciznošću i pouzdanošću bez rizika za sigurnost radnika. Rukuje materijalima i izvršava zadatke, a da radnik fizički ne rukuje bilo kojim sadržajem. Ključna je za obavljanje poslova koji su monotoni, prljavi, teški ili opasni. Prikazana visoka tehnologija bez premca ima svoju budućnost i u rukovanju i spajanju ugradbenih elemenata prilikom proizvodnje. Teleoperativnost podatkovnom rukavicom povećava stupanj fleksibilnosti montaže zbog jedinstvenog načina učenja stroja (eng. *Machine Learning*) novim i drugačijim pokretima prilikom sklapanja. Također, ova tehnologija donijet će i pozitivne promjene u odnosu proizvodnosti i fleksibilnosti radnih procesa montaže. Prednosti teleoperacije robotske ruke su [14]:

- stvara sigurnosni razmak između operatera i radnog zadatka
- izbjegava kontaminaciju radnika radnim materijalom
- primjenjuje alat za vrlo spretne manipulacije
- povećava produktivnost, učinkovitost i pouzdanost
- optimizira procese naprednom preciznošću i točnošću
- smanjuje ukupne troškove.



Slika 17. Teleoperacija robota podatkovnim rukavicama [15]

## 5.2. Prva rukavica - *The Sayre Glove*

Daniel J. Sandin i Thomas DeFanti su 1977. godine u istraživačkom laboratoriju Sveučilišta Illinois u Chicagu razvili prvu podatkovnu rukavicu (Slika 18.). Rukavicom su htjeli bilježiti savijanje prstiju. Na rukavicu su postavili savitljive cjevčice koje su na jednome kraju imale izvor svjetla, a na drugome fotootpornik, mali i jeftini senzor čiji se električni otpor smanjuje s povećanjem intenziteta ulazne svjetlosti. Svjetlost od izvora putuje kroz cijevi do fotootpornika i ovisno o tome koliko je prst savijen senzor prima više ili manje svjetlosti. Na temelju toga mogli su izmjeriti koliko je prst savijen i to pretvoriti u računalnu informaciju. To je bio početni projekt za razvoj podatkovnih rukavica i prepoznavanja pokreta. [16]



Slika 18. Prva podatkovna rukavica – *The Sayre Glove* [17]

## 5.3. Rukavica *Power Glove*

*Power Glove* (Slika 19.) bila je prva komercijalno dostupna rukavica razvijena kao kontroler za igranje video igara. U prodaju je puštena u listopadu 1989. godine. Koštala je 75 USD i bila je primjenjiva tek za dvije igre na igraćoj konzoli Nintendo. Rukavica može detektirati

zakret oko uzdužne osi i savijanje četiri prsta. Uređaj je sadržavao stalak s tri ultrazvučna senzora koji se postavljao kraj televizora. Odašiljanjem ultrazvučnih signala s dva ultrazvučna odašiljača u rukavici, i mjerenjem vremena koje je potrebno zvuku da dopre do ultrazvučnih senzora, triangulacijom se izračunavao  $X$ ,  $Y$  i  $Z$  položaj rukavice. Ovi senzori mogu se lako ometati drugim zvukovima, vibracijama ili jednostavnim pokretima, što je uvelike smanjilo mogućnosti praćenja položaja rukavice. Radi slabe prodaje dviju igara s kojima se koristila i kritiziranja zbog nepreciznosti rukavica je s tržišta povučena nakon jedne godine. [18]



Slika 19. Rukavica *Power Glove* za igraću konzolu Nintendo [19]

## 5.4. Rukavice *Cyberglove*

Poduzeće *CyberGloveSystems* svjetski je lider u tehnologiji podatkovnih rukavica i nudi najsofisticiranija rješenja usmjerena na 3D snimanje pokreta. Razvili su četiri različite rukavice kao i pripadajući softver. Bežična podatkovna rukavica bilježi kretanje prstiju i šake korisnika i pomoću softvera preslikava kretanje grafičkom rukom na zaslonu računala te omogućuje korisniku manipuliranje digitalnim objektima kao da su fizički stvarni.

*CyberGlove II* (Slika 20.) bežična rukavica, u potpunosti opremljena, sadrži 22 senzora. Na svakome prstu ima po tri senzora savijanja, senzore rotacije i senzora savijanja ručnog zgloba. Kompatibilna je sa Dassaultovim CATIA softverom te omogućuje teleoperaciju robotske ruke *The Shadow Hand*.



Slika 20. Rukavica *CyberGloveII* [20]

## 5.5. Rukavice za astronaute

Europska svemirska agencija predstavila je novi koncept svemirskih rukavica koje bi osim za zaštitu služile i za upravljanje bespilotnim letjelicama i drugim robotima za istraživanje svemira. [21]

Slika 21. prikazuje rukavicu francuske tvrtke Comex izrađene u sklopu projekta Pextex koji razvija nove materijale za svemirska odijela. Osim što štite ruke astronauta od vakuuma,



rukavice imaju tri dodatne funkcije. Mogu se koristiti za upravljanje marsovskim dronom ili lunarnim roverom samo gestikulacijom ruku. Imaju integrirano lasersko svjetlo koje može mjeriti udaljenosti i ciljati objekte. Imaju zaslon koji prikazuje status zaliha, poput razine kisika. Trenutna svemirska odijela imaju ovaj zaslon na trupu, a astronauti koriste zrcalo na zapešću da bi ga mogli vidjeti. Buduće će misije imati za cilj uspostaviti trajnu prisutnost na Mjesecu, a nova će se svemirska odijela koristiti dulje i češće od onih iz doba Apolla. [21]



Slika 21. Rukavica za astronaute [21]

## 6. PODATKOVNA RUKAVICA RAZVIJENA NA FSB-u

Ivan Štivić je u sklopu svog diplomskog rada na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu razvio vlastitu podatkovnu rukavicu. [22] Njegov cilj je bio razvoj rukavice za prikupljanje podataka o silama koje nastaju pri izvođenju pokreta jer je većina postojećih podatkovnih rukavica orijentirana prikupljanju podataka o poziciji prstiju i šake. Također, željelo se istražiti mogućnost realizacije kvalitetne podatkovne rukavice, a na osnovi što nižih troškova.

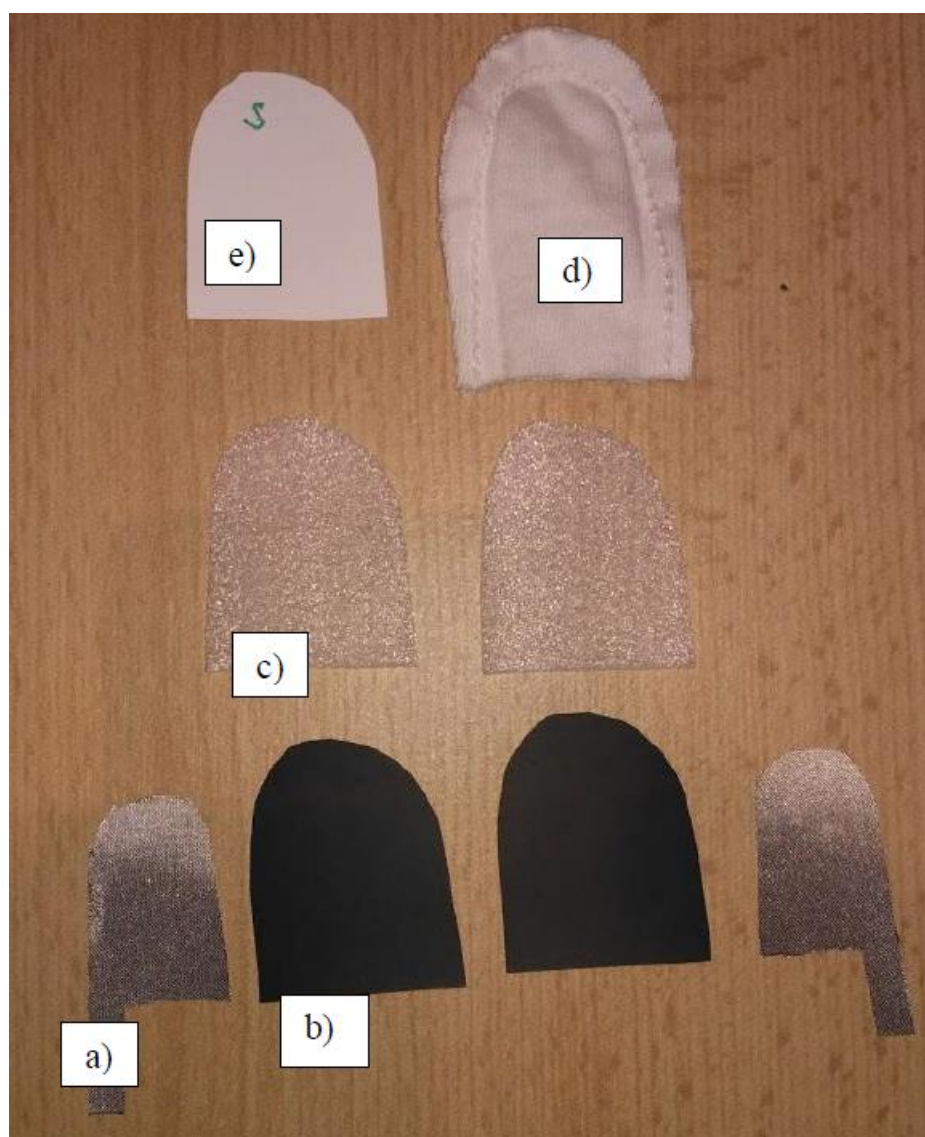
U ovome radu, dodatno će se ispitati primjenjivost i pouzdanost razvijene rukavice dodatnim eksperimentima. Prije toga, opisat će se građa i način rada rukavice.

### 6.1. Taktilni senzori

Taktilni senzori ove podatkovne rukavice izrađeni su od tekstila. Senzor čine dvije elektrode između kojih je materijal promjenjivog otpora. U neopterećenom stanju otpor materijala od kojeg je senzor izrađen je maksimalan te se smanjuje razmjerno intenzitetu dodira (pritiska). Mjerenjem promjene otpora u istosmjernom strujnom krugu rukavice dobivaju se podatci o opterećenju. Elektrode su izrađene od elektrovodljivog tekstila ručno izrezanog u prilagođeni oblik za primjenu na prstima. U konstrukciju tekstila upletene su bakrom ili niklom metalizirane niti koje mu daju električnu vodljivost. Izmjeren otpor materijala je konstantan i iznosi  $6 \Omega$ . Velostat je materijal promjenjivog električnog otpora koji je umetnut između elektroda. Sastoji se od polimerne folije impregnirane crnim ugljičnim vlaknima što mu daje električnu provodnost. Otpor materijala se mijenja pod djelovanjem opterećenja. U neopterećenom stanju otpor je konstantnog iznosa  $130 \text{ k}\Omega$ . Senzor je složen prema sljedećem nizu:

- 1) sloj spužvice
- 2) prva elektroda
- 3) dva sloja velostata
- 4) druga elektroda
- 5) spužvica.

Slika 22. prikazuje slojeve senzora koji se prema prethodno spomenutom nizu slažu jedan na drugog i zatvaraju se unutar pamučne tkanine radi fiksacije. [22] Slika 23. prikazuje konačan oblik senzora.

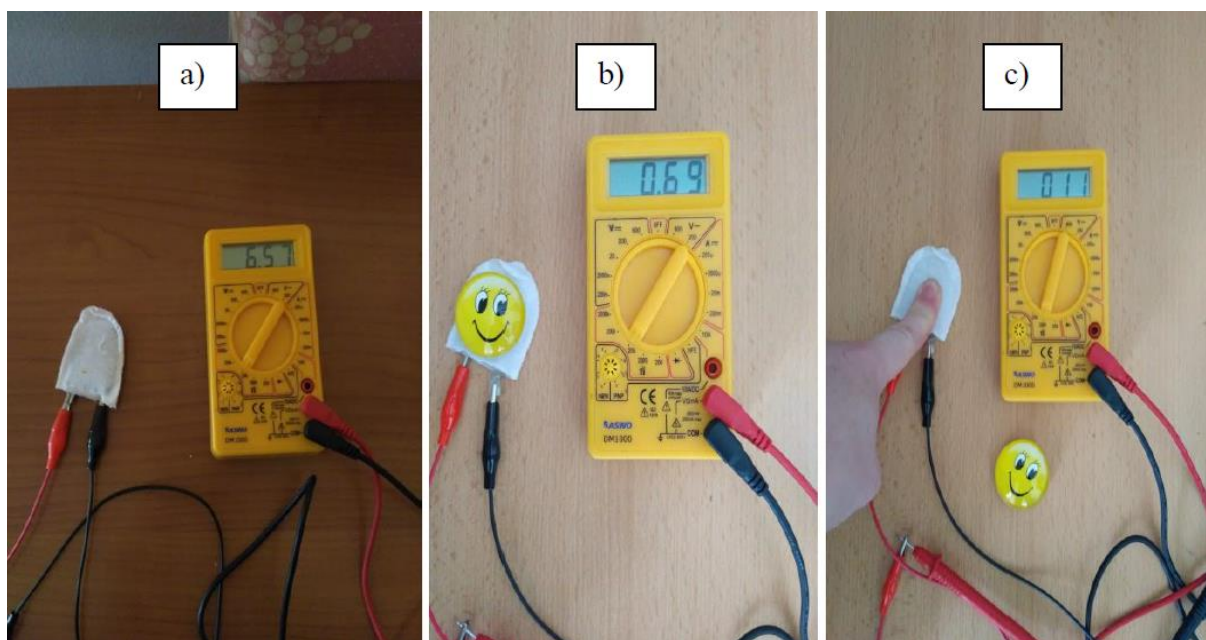


**Slika 22. Oblikovani slojevi senzora: a) elektroda, b) sloj velostata, c) sloj spužvice, d) pamučna tkanina, e) pomoćni pribor [22]**



**Slika 23. Taktilni senzor [22]**

Mjerenjem električnog otpora senzora u neopterećenom stanju dobiven je rezultat od prosječno 7 k $\Omega$ . Malim pritiskom zabilježene su velike promjene otpora, a sve jačim pritiskom otpor smanjenje otpora bilo je sve manje. Postupak mjerenja električnog otpora senzora prikazuje Slika 24.



Slika 24. Električni otpor senzora: a) neopterećeno stanje, b) predmet postavljen na senzor, c) maksimalan pritisak senzora prstom [22]

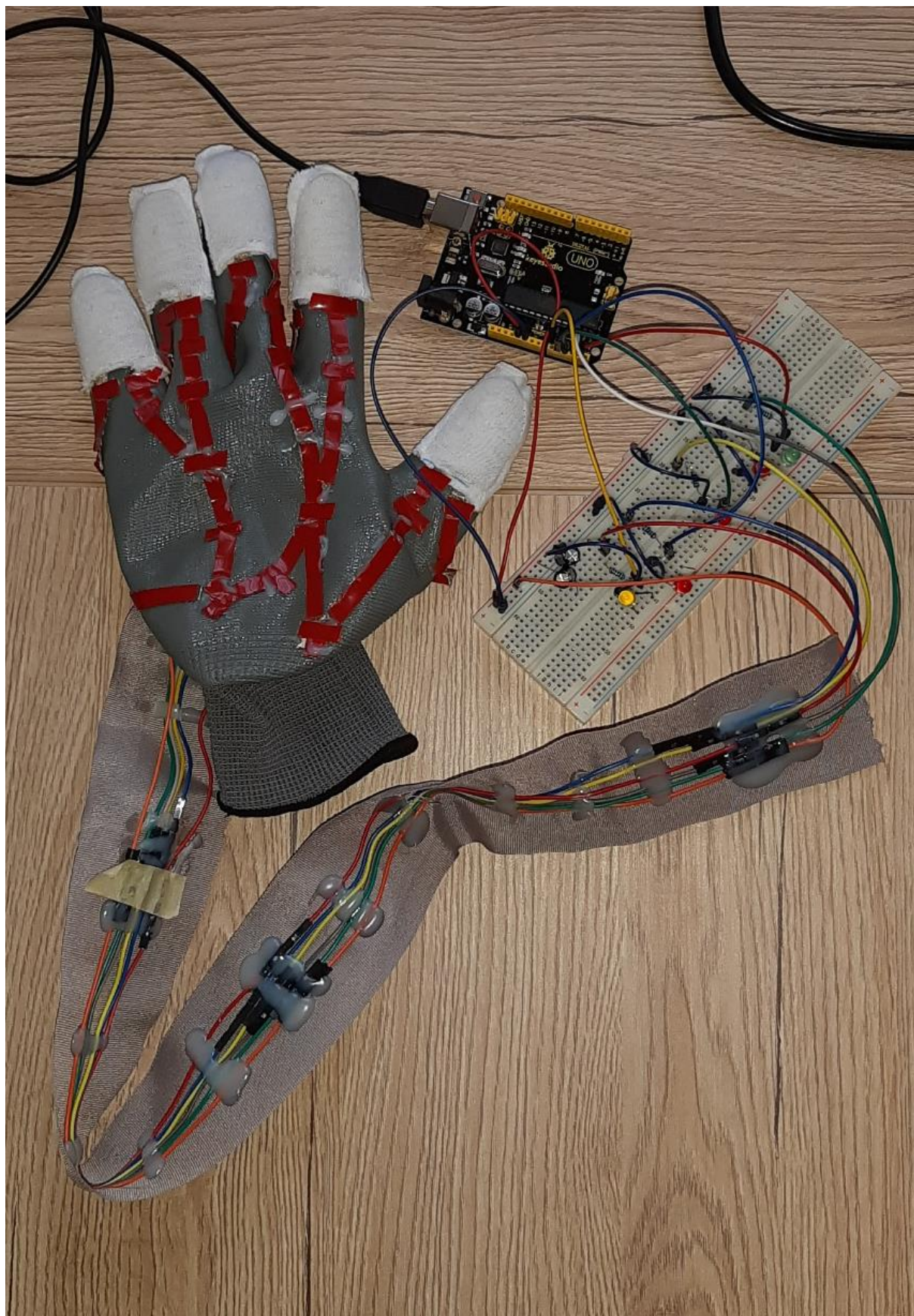
## 6.2. Sastavljanje podatkovne rukavice

Taktilni senzori zalijepljeni su na vrtnu rukavicu u jagodičnom dijelu prsta. Senzori su povezani u strujni krug preko pločice Arduino Uno i dodatne pločice za spajanje komponenti (*breadbord*).

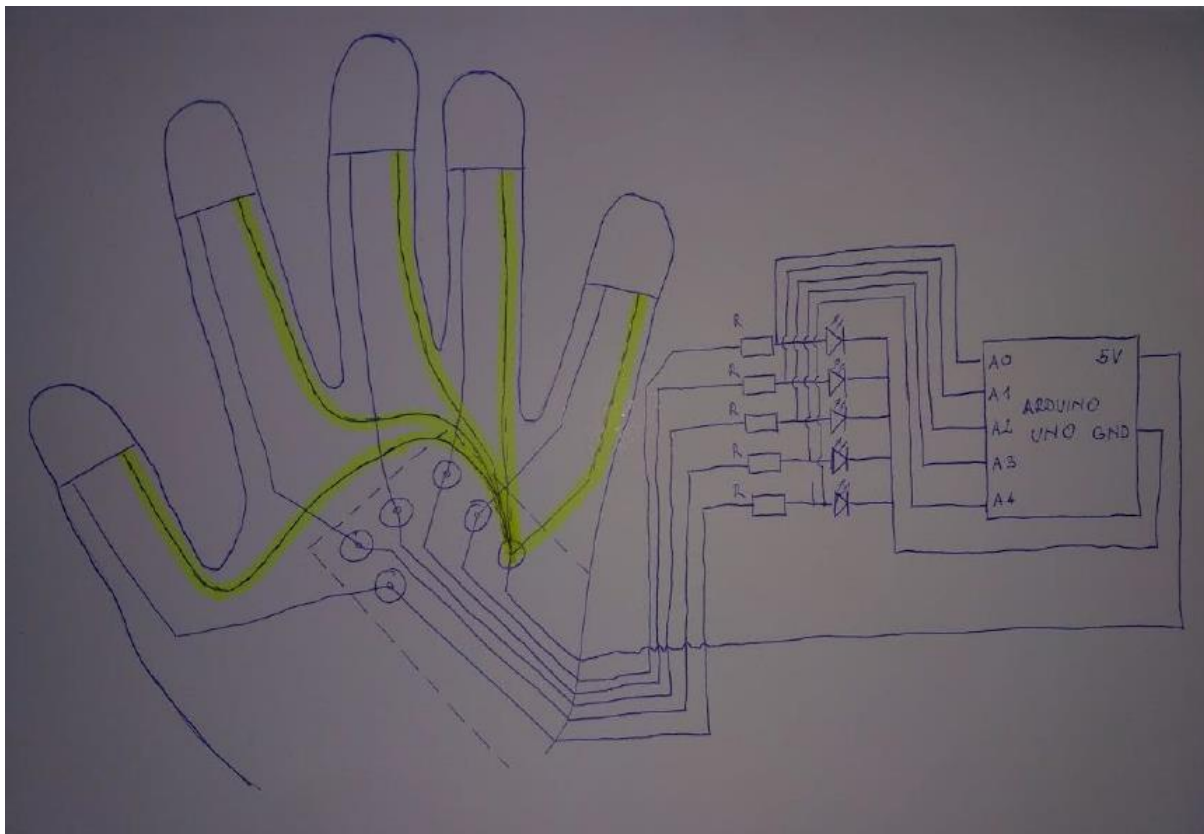
Rukavica je preko metalnih kopči i kabela spojena na pločicu Arduino Uno.

Kabel je izrađen od više međusobno odvojenih i izoliranih žica i njime se ostvaruje fleksibilnost i mogućnost primjene na većem radnom prostoru. Jedna metalna kopča na rukavici spojena je na izvor napona od 5 V te je preko iste kopče spojena jedna vodljiva nožica svakog senzora. Druga vodljiva nožica svakog senzora paralelno se spaja u strujni krug. Svakom senzoru serijski je spojen jedan otpornik od  $1k\Omega$  i LED dioda. Signal se dovodi na analogne ulazno/izlazne pinove (A0, A1, A2, A3, A4). Strujni krug (Slika 26.) zatvara se u masu (GND).

Slika 25. prikazuje podatkovnu rukavicu spoјenu na pločicu Arduino Uno izrađenim kabelom.



**Slika 25. Podatkovna rukavica spojena izrađenim kablom na pločicu Arduino Uno**



Slika 26. Shematski prikaz strujnog kruga rukavice [22]

### 6.3. Programiranje podatkovne rukavice

Mikrokontroler pločice programira se softverom IDE (*Integrated Development Environment*). Softver je besplatan za preuzimanje na službenoj internetskoj stranici proizvođača pločice. Programski kôd za bilježenje odziva senzora prikazuje Slika 27.

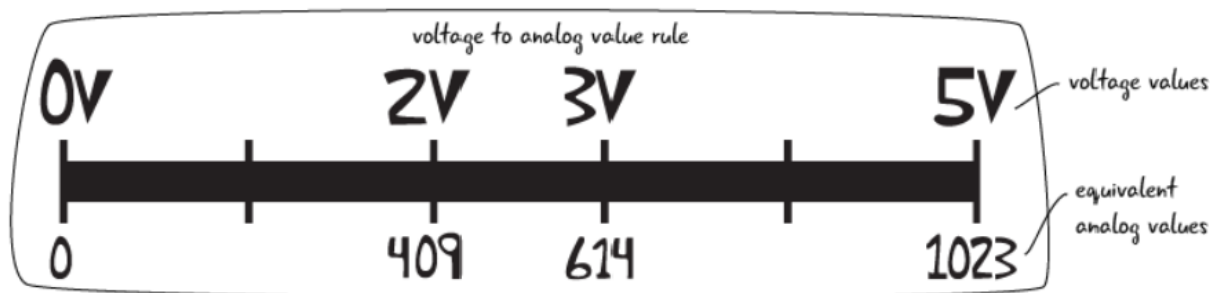
```
pet_senzora | Arduino 1.8.13
Datoteka Uredi Škica Alati Pomoć
pet_senzora
// definiranje pet varijabli : a, b, c, d, e.
int a;
int b;
int c;
int d;
int e;
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  // Pokretanje serijske komunikacije sa računalom brzinom od 9600 bitova u sekundi
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  a=analogRead(A0);// Čitanje vrijednosti napona s analognog pina A0 i dodjeljivanje vrijednosti varijabli a
  delay(50); // Stanka od 50 milisekundi
  b=analogRead(A1);// Čitanje vrijednosti napona s analognog pina A1 i dodjeljivanje vrijednosti varijabli b
  delay(50);// Stanka od 50 milisekundi
  c=analogRead(A2);// Čitanje vrijednosti napona s analognog pina A2 i dodjeljivanje vrijednosti varijabli c
  delay(50);// Stanka od 50 milisekundi
  d=analogRead(A3);// Čitanje vrijednosti napona s analognog pina A3 i dodjeljivanje vrijednosti varijabli d
  delay(50);// Stanka od 50 milisekundi
  e=analogRead(A4);// Čitanje vrijednosti napona s analognog pina A4 i dodjeljivanje vrijednosti varijabli e
  Serial.print(a);// Ispis vrijednosti varijable a
  Serial.print(" "); // Ispis praznog mjesta
  Serial.print(b); // Ispis vrijednosti varijable b
  Serial.print(" "); // Ispis praznog mjesta
  Serial.print(c); // Ispis vrijednosti varijable c
  Serial.print(" "); // Ispis praznog mjesta
  Serial.print(d); // Ispis vrijednosti varijable d
  Serial.print(" "); // Ispis praznog mjesta
  Serial.println(e); // Ispis vrijednosti varijable e i početak novog retka
  delay(50);// Stanka od 50 ms
}
```

Slika 27. Programski kôd za bilježenje odziva senzora

Na početku kôda mikrokontroleru je definirano pet varijabli. Slijedi naredba za uspostavljanje serijske komunikacije između računala i mikrokontrolera brzinom prijenosa od 9600 bitova u sekundi. Vrijednosti napona na analognim ulazima ovise o pritisku na senzor, a moguće je očitati od 0 do 5 V.

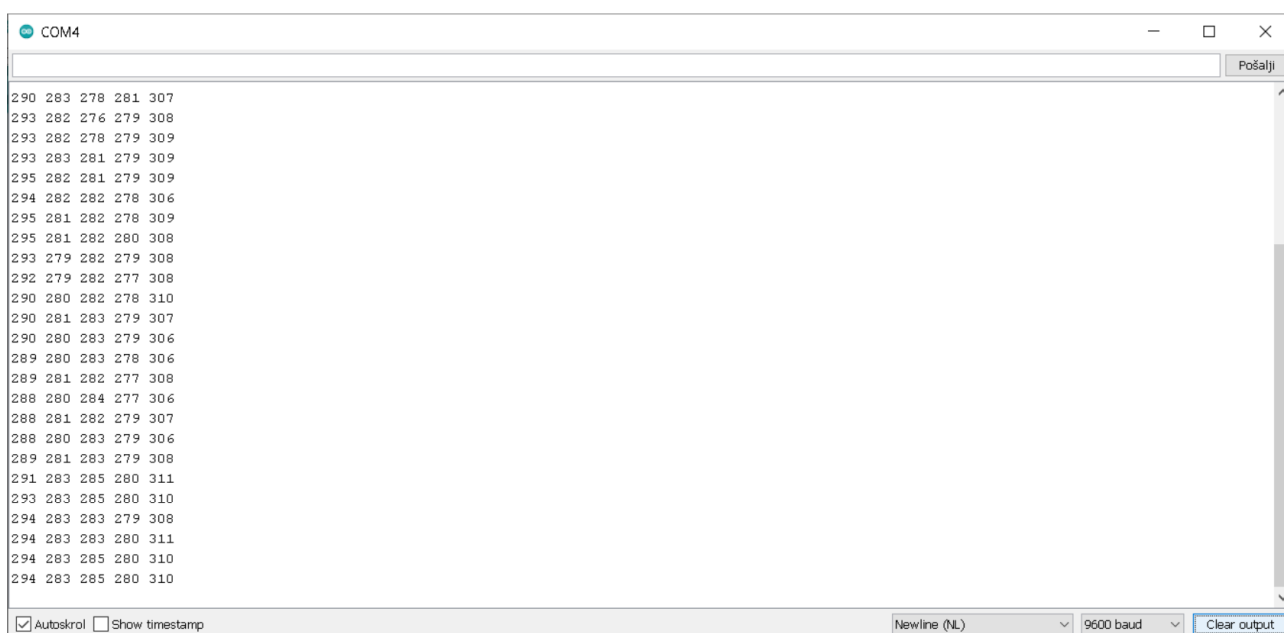
Arduino pretvara vrijednost napona između 0 i 5 V u cjelobrojni podatak cjelobrojnog tipa od 0 do 1023. Taj se proces naziva analognog-digitalna pretvorba. [23] Slika 28. prikazuje neke vrijednosti napona i njihove ekvivalentne analogne vrijednosti.





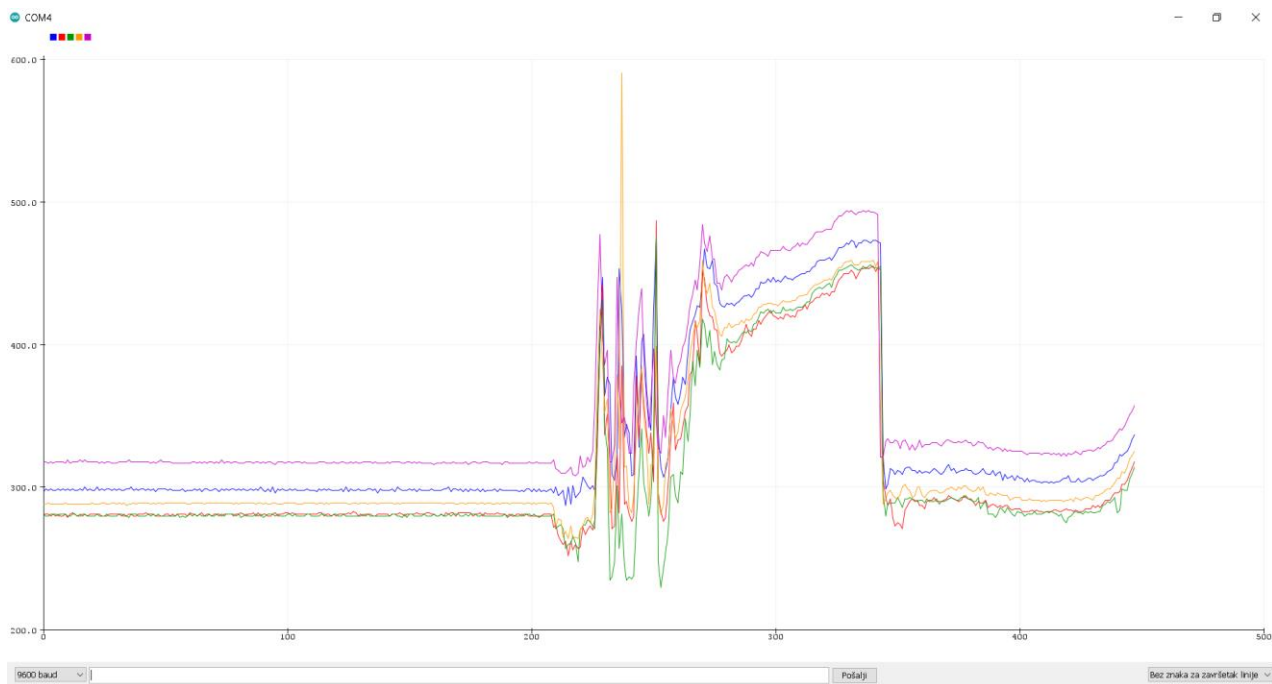
**Slika 28. Analogno-digitalna pretvorba vrijednosti napona u ekvivalentne analogne vrijednosti [23]**

Vrijednosti u rasponu od 0 do 1023 dodjeljuju se definiranim varijablama te se zapisuju u linijama teksta za svaki od pet senzora. Svakih 50 milisekundi generira se novi zapis u novom retku (Slika 29.).



**Slika 29. Zapis vrijednosti varijabli za pet senzora**

Za vizualizaciju vrijednosti varijabli prilikom provođenja eksperimenata korišten je alat Serial Plotter u programu IDE. Alat crta krivulje za svaki senzor u stvarnom vremenu. Slika 30. pokazuje krivulje pet senzora najprije u neopterećenom stanju, a potom prilikom izvođenja pokreta.



Slika 30. Odziv senzora rukavice prikazan alatom Serial Plotter

## 6.4. Umjeravanje senzora

Senzorom snimljene vrijednosti su neki cjelobrojni podatci kojima je potrebno dati značenje.

Kako bi se barem otprilike znalo kolike sile su snimljene, provodi se umjeravanje senzora poznatim opterećenjima. Na senzoru kažiprsta više puta su izmjerene vrijednosti i provedena je aproksimacija dobivenih rezultata (Tablica 7.).

Tablica 7. Odziv senzora na poznata opterećenja

Masa opterećenja [g]	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Pripadajuća sila [N]	<b>0</b>	<b>0,981</b>	<b>1,962</b>	<b>2,943</b>	<b>3,924</b>	<b>4,905</b>	<b>5,886</b>	<b>6,867</b>	<b>7,848</b>	<b>8,829</b>	<b>9,81</b>
IZMJERENE VRIJEDNOSTI NA SENZORU											
1.	283	301	312	325	330	335	340	342	346	348	350
2.	285	303	315	330	333	336	339	342	346	349	351
3.	285	304	317	330	335	340	339	344	347	349	351
4.	284	300	318	329	335	339	341	344	345	348	350
5.	285	301	318	329	333	339	343	345	349	349	352
Prosječna vrijednost na senzoru	<b>284</b>	<b>302</b>	<b>316</b>	<b>329</b>	<b>333</b>	<b>338</b>	<b>340</b>	<b>343</b>	<b>347</b>	<b>349</b>	<b>351</b>

Interpolacijom brojčanih vrijednosti dobivenih na senzoru i pripadajućih sila opterećenja senzora moguće je rezultate mjerenja dobivenih eksperimentima povezati sa iznosima sila.

## **7. EKSPERIMENTI**

### **7.1. Otvaranje termos-boce**

Za snimanje ovog pokreta korištena je termos boca koja se sastoji od dva dijela (Slika 31.) Metalni dio boce služi za zapreminu tekućine, a poklopac boce izrađen od polipropilena se montira (zavrće) na vrh. Pritiskom na BMW logo u sredini poklopca, otvara se ventil za protok tekućine.

U prvom eksperimentu mjerena je sila koja je potrebna za otvaranje ventila pritiskom na središnji gumb. Otvaranje ventila realizira se pritiskom kažiprsta u trajanju od 0,5 sekunde (Slika 32.).

Rezultate provedenog eksperimenta otvaranja ventila termos-boce kažiprstom prikazuje Slika 33.

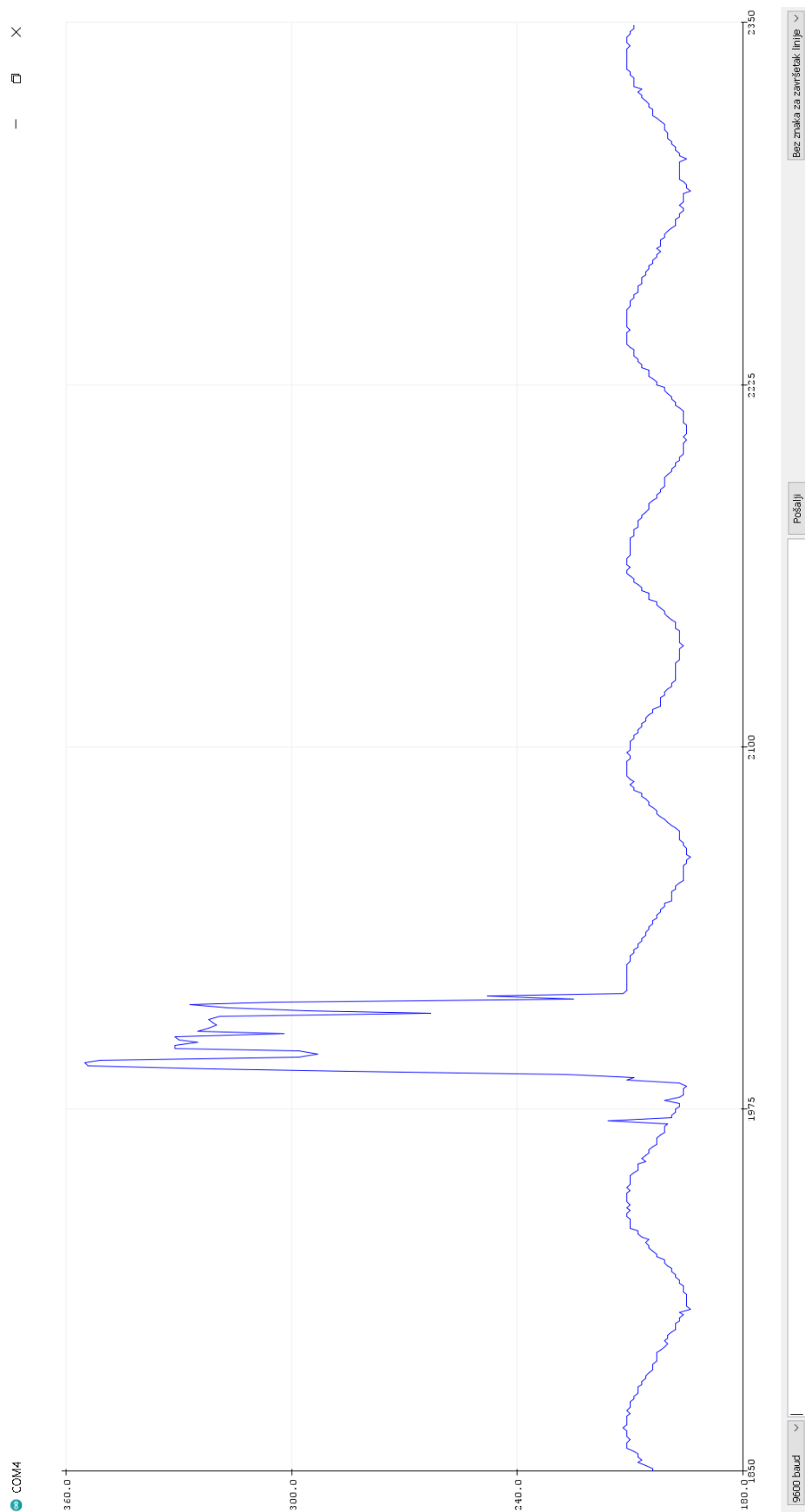
Mjerenje pokazuje da je za otvaranje ventila termos-boce potrebna sila od 8,55 N.



**Slika 31. Termos-boca iz dva dijela korištena za provođenje eksperimenata**



**Slika 32. Pritisak na središnji ventil boce kažiprstom**



Slika 33. Iznosi sile kažiprtsa pri otvaranju ventila termos-boce

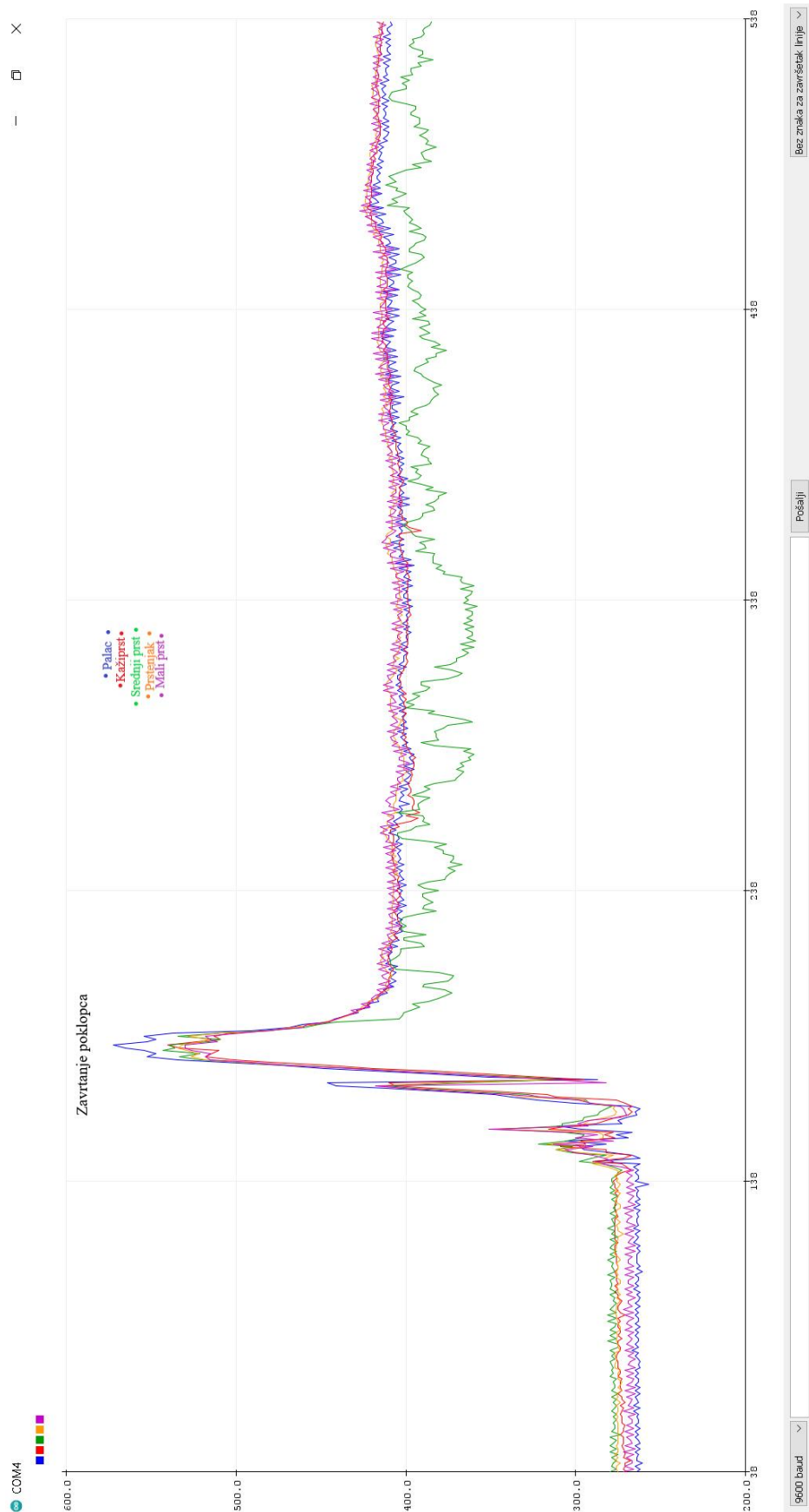
## 7.2. Uvrtnanje i odvrtnanje poklopca termos-boce

Poklopac termos-boce promjera 78 mm montira se uvrtnjem na metalni spremnik (Slika 34.). Prilikom zavrtnanja (Slika 35.) i odvrtnanja (Slika 36.) poklopca mjerene su sile na svih pet prstiju. Trajanje izvođenja pojedinog pokreta je dvije sekunde. Snimanje pokazuje da je za zavrtnanje poklopca sila podjednako raspoređena među prstima, a najveća na palcu (39,4 N) i srednjem prstu (35 N). Za odvrtnanje pritegnute boce potrebne su veće sile, a najveće su na palcu (50 N) i prstenjaku (46 N).

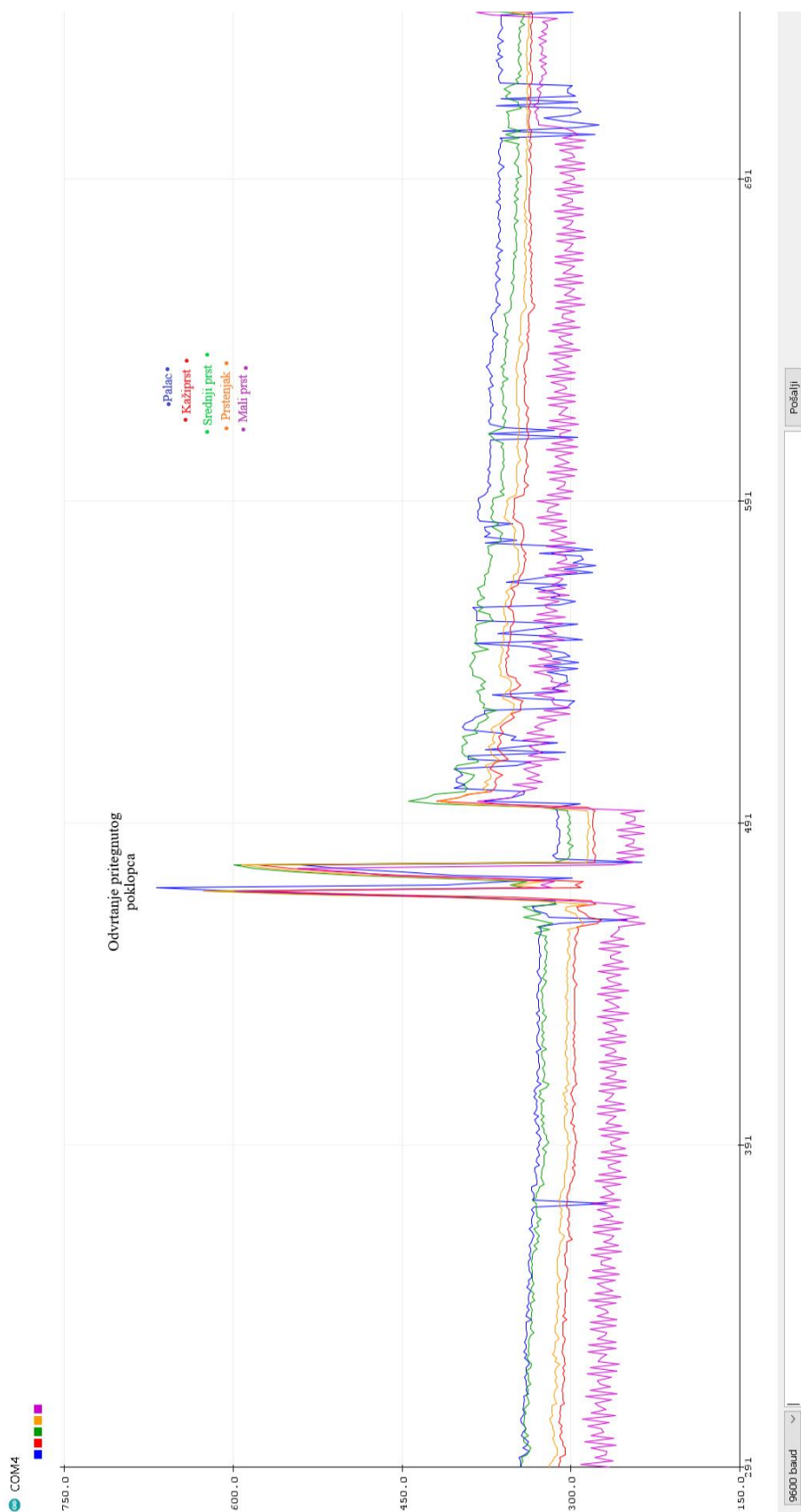


Slika 34. Hvatanje poklopca termos-boce prilikom njegovog uvrtnanja i odvrtnanja





Slika 35. Sile snimljene pri zavrtnanju poklopca termos-boce



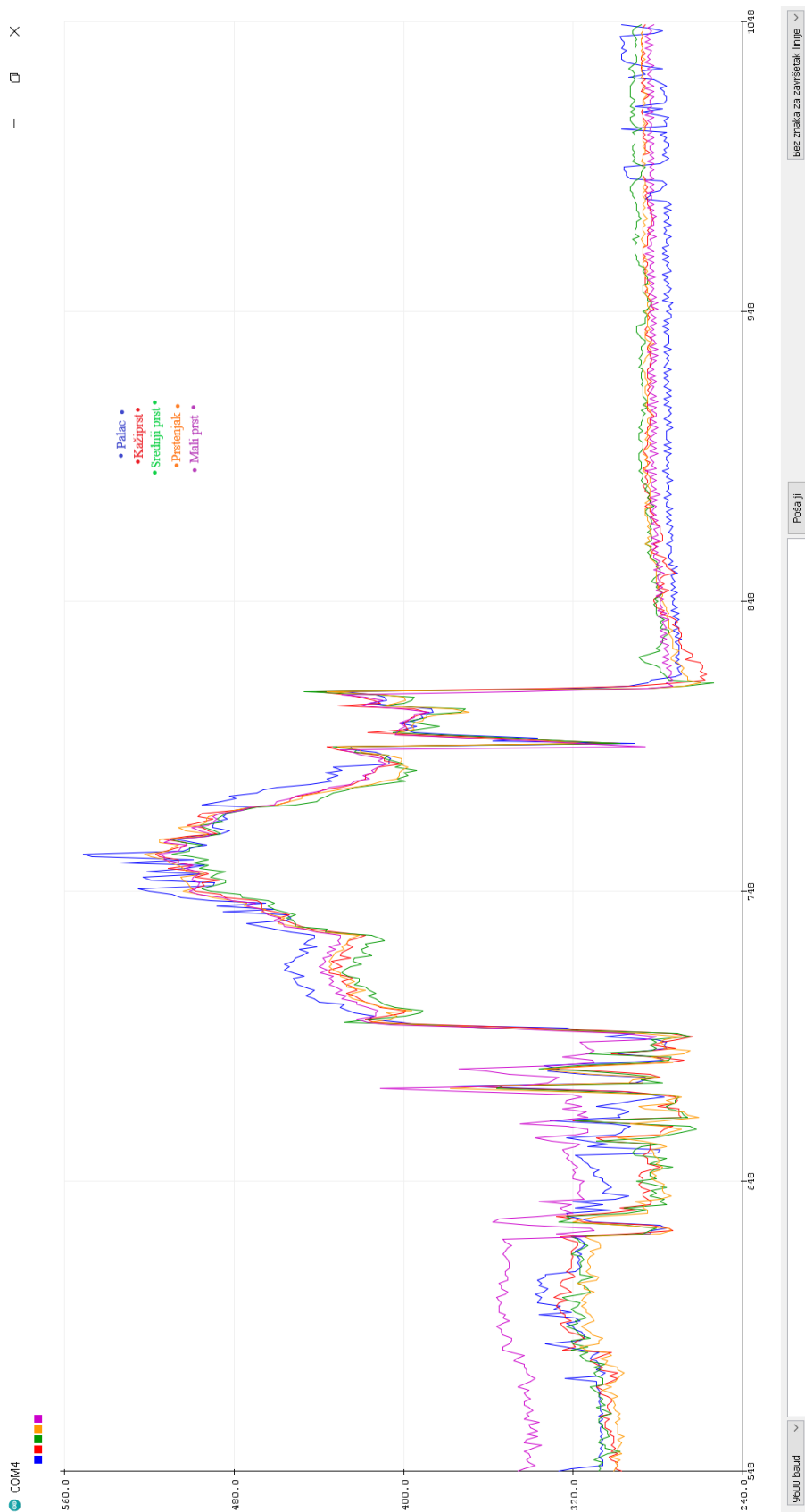
Slika 36. Sile pri odvrtnanju (pritegnutog) poklopca termos-boce

### 7.3. Montaža baterije u prijenosno računalo

Montaža se izvodi najprije hvatanjem baterije, zatim postavljanjem baterije u utor i na kraju utiskivanjem baterije svim prstima (Slika 37.). Snimljene su sile prilikom montaže baterije u prijenosno računalo (Slika 38.). Cijela montaža odvija se u trajanju od 10 sekundi. Najveću silu prilikom utiskivanja baterije razvio je palac (36 N).



Slika 37. Montaža baterije u prijenosno računalo



Slika 38. Sile prilikom montaže baterije

## 7.4. Zaključak eksperimenata

Prvim eksperimentom snimanja sile prilikom otvaranja termos-boce pritiskom na ventil u sredini poklopca uočena je ograničenost izvedbe senzora. Pritiskana površina primjetno je manja od površine senzora (Slika 32.) što narušava mogućnost preciznog mjerenja prilikom dodira na malim površinama. Iz tog razloga potrebno je razviti rukavicu s više manjih taktilnih senzora što će omogućiti bolju točnost mjerenja prilikom dodira malih površina. Izmjerena sila za otvaranje ventila termos-boce je 8,55 N. Tako velik iznos sile je očekivan zbog toga što je boca namijenjena za spremanje tekućine visoke temperature i nužno je spriječiti njezino izlijevanje.

Dodir senzora i poklopca termos-boce je ostvaren na cijeloj površini senzora prilikom eksperimenta uvrtanja i odvrtnja poklopca termos-boce (Slika 34.). Raspodjela opterećenja na prstima šake prilikom uvrtnja i odvrtnja poklopca u velikoj mjeri se poklapa s raspodjelom opterećenja kod uvrtnja i odvrtnja čepa boce u prije obavljenim eksperimentima [22]. S druge strane, primijećena je razlika u iznosima sila od 30 N za obavljanje sličnog pokreta. Razlog tomu je navoj većeg faktora trenja jer se u termos-boci oslobađa para prilikom čuvanja tekućina visoke temperature. Osim toga, razlog je veća dimenzija poklopca termos-boce u odnosu na čep plastične boce za vodu te razlika u materijalima. Izmjerena sila prilikom odvrtnja je 50 N što bi pri većem broju ponavljanja kroz duži period izazvalo bol u prstima. Ručna montaža ovakvog proizvoda stoga bi predstavljala rizik po zdravlje radnika.

U okviru trećeg eksperimenta snimljena je montaža baterije u prijenosno računalo. Prilikom montaže koja uključuje posezanje za baterijom, hvatanje baterije, postavljanje baterije te utiskivanje baterije svim prstima u utor, primijećen je nedostatak praćenja položaja ruke. Za automatizaciju ovog rada osim iznosa sila potrebno je zabilježiti i sve pozicije šake unutar radnog prostora. Stoga je rukavicu potrebno nadograditi sensorima za mjerenje položaja.

## 8. ZAKLJUČAK

Proizvodnja, kao organizirano čovjekovo djelovanje, predstavlja proces stvaranja nove vrijednosti s ciljem zadovoljavanja potreba društva i pojedinca. Budući razvoj proizvodnje ovisi o napretku znanja, proizvodnih sredstava te uvjetima rada. S jedne strane, proizvodnja je društvena funkcija kojom se postiže prosperitet zajednice podjelom rada, dok je s druge strane pojedinačna situacija u čijem je središtu ljudski rad smješten unutar društvene podjele rada.

Cilj svakog proizvodnog procesa je postizanje visoke produktivnosti. To podrazumijeva efikasno korištenje svih resursa. Čovjekov rad glavni je resurs proizvodnje i važno ga je kvalitetno iskoristiti. Stoga se redovito analiziraju metode rada. Studijima vremena i pokreta nastoji se unaprijediti rad uvođenjem produktivni(ji)h metoda rada. Prikupljanje autentičnih podataka o postojećim radnim metodama kroz mjerenje iznosa sila pri pokretima, kao i potrebnog vremena za izvođenje operacija, stvaraju se osnove za unaprjeđenje stanja sustava. Iskorak u načinu prikupljanja potrebnih podataka je realizacija podatkovne rukavice. Njezino prirodno povezivanje s ljudskom rukom, koje ne ometa izvođenje rada, značajno olakšava njezino korištenje i daje joj široke mogućnosti upotrebe.

Podatkovna rukavica, u osnovi je rukavica opremljena elektroničkim sensorima koji prate pokrete ruke i pretvaraju ih u podatke pogodne za obradu na računalu. Računalni se podaci obrađuju pomoću softvera dajući korisnu informaciju o svakom pokretu. Izmjereni pokret može se klasificirati kao djelotvoran, nedostatan ili rizičan za zdravlje radnika. Rezultati dobiveni primjenom podatkovne rukavice stvaraju nova znanja potrebna za oblikovanje radnih procesa i ergonomsko uređenje radnog mjesta.

Također, podatkovna rukavica može se koristiti kao alat za generiranje kôdova potrebnih za automatizaciju rada. Velik broj različitih pokreta se kodira i tako povećava fleksibilnost primjene robota u automatiziranim sustavima što olakšava prilagodbu željama kupaca (naprimjer, teleoperacije za opasna radna okruženja).

U radu su provedeni eksperimenti podatkovnom rukavicom razvijenom na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Cilj provođenja eksperimenata bio je izmjeriti iznose aktivnih opterećenja na prstima šake prilikom izvođenja određenih pokreta. U tu svrhu provedeni su eksperimenti kojima se nastojalo snimiti učestale pokrete prisutne u procesima kao što su montaža (uvrtanje, pritiskanje) i demontaže (odvrtanje).

U okviru prvog eksperimenta primijećena je prevelika površina senzora na rukavici. Za točnije rezultate mjerenja dodira na malim površinama potrebni su senzori manjih dimenzija. Utvrđeno je poklapanje raspodjele opterećenja na prstima šake kod u ovom radu provedenog eksperimenta uvrtanja i odvrtanja poklopca termos-boce, i prije izvedenog eksperimenta s plastičnom bocom. Zbog velikog iznosa sila prilikom ručne montaže poklopca na metalni dio boce, taj se pokret karakterizira kao zdravstveno rizičan. Kod montaže baterije u prijenosno računalo uočen je nedostatak senzora za mjerenje položaja, koji su ključni za cjelovito opisivanje pokreta.

Kod rukovanja predmetima većih dimenzija primijećena je nedostatna pokrivenost rukavice taktilnim sensorima u području dlana. To može biti značajno za kvalitetnu usporedbu rezultata koji se dobivaju softverskom analizom radnog opterećenja metodom RULA (korištenoj u softveru CATIA).

U svrhu budućih istraživanja, bilo bi korisno rukavicu nadograditi sensorima pomaka koji bi omogućili izvođenje eksperimenata teleoperacije robota i ispitati mogućnosti primjene teleoperativnih sustava u industriji.

Također, kao rješenje za praćenje pokreta ruke moguće je iskoristiti tehnologiju *leap controllera*. Povezivanje *leap controllera* za praćenje pokreta i podatkovne rukavice za snimanje sila može biti predmet budućih ispitivanja primjene za projektiranje radnih procesa u virtualnoj i proširenoj stvarnosti.

## 9. LITERATURA

- [1] Barnes, R. M. 1949. Motion and Time Study. John Wiley and Sons, Decker. New York.
- [2] Kunica, Zoran. Zavarivanje i montaža, nastavni materijal, FSB, Zagreb, 2019.
- [3] <https://www.economicdiscussion.net/engineering-economics/motion-study-meaning-objectives-and-procedure/21683> Pristupljeno: 2020-08-22.
- [4] Kirin, Snježana. 2019. Uvod u ergonomiju. Veleučilište u Karlovcu. Karlovac
- [5] Eurostat. Pristupljeno: 22.08.2020. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Accidents\\_at\\_work\\_statistics#Number\\_of\\_accidents](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Accidents_at_work_statistics#Number_of_accidents) Pristupljeno: 2020-09-01.
- [6] Hrvatski zavod za zaštitu zdravlja i sigurnost na radu. 2019. Registar profesionalnih bolesti i statistička analiza uzroka profesionalnih bolesti. Zagreb. Dostupno na: <https://www.hzzzs.hr/index.php/profesionalne-bolesti-i-ozljede-naradu/profesionalne-bolesti/profesionalne-bolesti-u-republici-hrvatskoj/> Pristupljeno: 2020-09-01.
- [7] Arun Prakash R.; Arun, B.S.; Nithin Narayanan; Yeshwanth, V. 2013. Design of workplace for the assembly of monoblock pump. International Journal of Research in Engineering and Technology. Dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/276321053\\_Design\\_of\\_workplace\\_for\\_the\\_assembly\\_of\\_monoblock\\_pump](https://www.researchgate.net/publication/276321053_Design_of_workplace_for_the_assembly_of_monoblock_pump) Pristupljeno: 2020-09-01.
- [8] International Federation of Robotics. 2019. Executive Summary World Robotics 2019 Industrial Robots. Dostupno na: <https://ifr.org/downloads/press2018/Executive%20Summary%20WR%202019%20Industrial%20Robots.pdf> Pristupljeno: 2020-09-01.
- [9] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja. Automobilski sektor, brošura. Dostupno na: <http://investcroatia.gov.hr/wp-content/uploads/2018/11/Automotive-Industry-Croatia.pdf> Pristupljeno: 2020-09-01.



- [10] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja. ICT brošura.  
[http://investcroatia.gov.hr/wp-content/uploads/2018/11/AIK\\_ICTinvest\\_web-1.pdf](http://investcroatia.gov.hr/wp-content/uploads/2018/11/AIK_ICTinvest_web-1.pdf)  
Pristupljeno: 2020-09-01.
- [11] <https://www.shadowrobot.com/dexterous-hand-series/> Pristupljeno: 2020-09-01.
- [12] <http://www.gelecekrobotik.com.tr/shadow-dexterous-hand/> Pristupljeno: 2020-09-01.
- [13] <https://www.shadowrobot.com/press-release-government-boost-for-touch-transmitting-technology/> Pristupljeno: 2020-09-01.
- [14] <https://www.shadowrobot.com/teleoperation/> Pristupljeno: 2020-09-01.
- [15] <https://www.shadowrobot.com/telerobots/> Pristupljeno: 2020-09-01.
- [16] <https://medium.com/@b00062378/the-evolution-of-gloves-as-input-devices-84efe6ff72bb/> Pristupljeno 2020-09-05
- [17] <https://www.evl.uic.edu/entry.php?id=2162/> Pristupljeno: 2020-09-05.
- [18] [https://en.wikipedia.org/wiki/Power\\_Glove/](https://en.wikipedia.org/wiki/Power_Glove/) Pristupljeno: 2020-09-05.
- [19] <https://gamecrate.com/gaming-literacy-power-glove-nintendo%E2%80%99s-first-virtual-reality-device/18303/> Pristupljeno: 2020-09-05.
- [20] <http://www.cyberglovesystems.com/cyberglove-ii#photos/> Pristupljeno: 2020-09-05
- [21] [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2020/04/Power\\_glove/](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2020/04/Power_glove/) Pristupljeno: 2020-09-05.
- [22] Štivić, Ivan. 2019. Podatkovna rukavica za snimanje i analizu pokreta . Diplomski rad. Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb.
- [23] <http://arduinotogo.com/2017/02/28/chapter-6-analog-input//> Pristupljeno: 2020-09-07.