

RAZVOJ I PRIMENA PAMETNIH IoT TEHNOLOGIJA ZA ODEĆU SPECIJALNE NAMENE

By Nikola Maksimović



¹
UNIVERZITET SINGIDUNUM
BEOGRAD
DEPARTMAN ZA POSLEDIPLOMSKE STUDIJE

DOKTORSKA DISERTACIJA

**RAZVOJ I PRIMENA PAMETNIH IoT
TEHNOLOGIJA ZA ODEĆU
SPECIJALNE NAMENE**

Mentor: Prof. dr Marko Tanasković

¹tudent: Nikola Maksimović
Broj indeksa:
466031/2016

Beograd, 2023. godina



SINGIDUNUM UNIVERSITY
BELGRADE
DEPARTMENT FOR POSTGRADUATE STUDIES

PHD THESIS

**DEVELOPMENT AND APPLICATION OF
SMART IoT TECHNOLOGIES FOR
SPECIAL PURPOSE CLOTHING**

Mentor: Professor Marko Tanasković

Student: Nikola Maksimović

Index number:

466031/2016

Belgrade, 2023.

Mentor:

Prof. dr Marko Tanasković , redovni profesor
Univerzitet Singidunum

Članovi komisije:

Prof. dr x, vanredni profesor
Univerzitet Singidunum

Prof. dr x, redovni profesor

Zahvalnica

RAZVOJ I PRIMENA PAMETNIH IoT TEHNOLOGIJA ZA ODEĆU SPECIJALNE NAMENE

Sažetak: Istraživanja su pokazala da nosiva tehnologija i senzori mogu efikasno da poboljšaju posturu ljudskog tela i smanje rizik od povreda u različitim radnim okruženjima, uključujući kancelarijska okruženja, proizvodne pogone i zdravstvene ustanove. Pored toga, nosiva tehnologija i senzori se mogu koristiti za praćenje fizioloških indikatora, kao što su otkucaji srca i nivoi stresa, da bi se identifikovali i rešili potencijalni ergonometrički rizici. Tehnologija i senzori u odeći specijalne namene imaju potencijal da značajno smanje ergonomske rizike pružanjem povratnih informacija u realnom vremenu i smernica o držanju posture, kretanju i mehanici tela. Ovo može pomoći pojedincima da se prilagode odgovarajućim ergonometričkim normama i smanje rizik od mišićno-skeletnih poremećaja i drugih povreda. Može se reći da upotreba nosive tehnologije i senzora za smanjenje ergonometričkog rizika je sveprisutnija oblast istraživanja sa značajnim potencijalom za poboljšanje bezbednosti i zdravlja na radnom mestu. Potrebna su ³³ **dalja istraživanja da bi se u potpunosti razumela** efikasnost i ograničenja ovih tehnologija u različitim okruženjima i populacijama.

U pogledu zaštite na radu, cilj ergonomije kao naučne discipline je proučavanje i prilagođavanje uslova rada, radne opreme i procesa izvođenja rada sa psihološkog, fiziološkog i anatomskeg aspekta, izbegavajući postupke prilagođavanja samog radnika potrebama konkretnog posla. U ovom radu će se razmatrati i analizirati potencijal senzora za praćenje položaja tela ugrađenog u odeću specijalne namene, kao i njegova perspektivna upotreba u standardnoj radnoj opremi koja treba da pomogne u ispravljanju nepravilnih i visoko rizičnih položaja gornjeg dela tela tokom produženih i statičnih radnih aktivnosti. Unakrsna referenca za obavljanje analize istraživanja zasnovana je na uvaženim alatima i metodama procene ergonometričkih rizika. Signali koje generiše nosivi senzor imaju za cilj da pomognu korisniku i posmatraču da pravovremeno i kontinuirano otkriju i isprave loše držanje tela. Rezultati koji su dobijeni nakon istraživanja pokazuju pozitivan trend i napredak kod držanja tela radnika u pravcu smanjenja ergonometričkih rizika obuhvaćenih ovim istraživanjem. Može se zaključiti da bi upotreba nosive

tehnologije i senzora umnogome doprinela ne samo stručnom posmatraču kao alat za procenu, već i korisniku da blagovremeno uoči faktore rizika i da ih samostalno-blagovremeno koriguje. Ova karakteristika bi vremenom pomogla korisnicima da nauče i izgrade ispravne navike u pogledu ispravljanja ergonomske neadekvatnosti držanja tela pri obavljanju radnih zadataka.

Samom nosivom uređaju ugrađenom u odevni predmet je omogućena bežična komunikacija i razmena podataka na mreži, ovim je praktično dobijen nosivi IoT uređaj. U kontekstu ergonomske analize rizika, IoT funkcionalnost se koristiti za prenošenje podatka u realnom vremenu o držanju, kretanju i mehanici tela na centralni server ili na cloud platformu radi dalje analize. Ovi podaci se dalje koriste za identifikaciju obrazaca i trendova koji mogu ukazivati na ergonomske rizike, kao što su neodgovarajući pokreti koji se ponavljaju, statične pozicije ili loše držanje. Nosivi uređaji sa IoT funkcionalnošću omogućavaju nadgledanje sa udaljene lokacije procenjivača ukazujući mu na potencijalne ergonomske rizike u realnom vremenu, omogućavajući pravovremene intervencije kako bi se sprečio nastanak rizika i ergonomske povrede. Možda najbitnija mogućnost koju donose nosivi IoT uređaji je da se mogu koristiti za praćenje efikasnosti ergonomske intervencije, kao što su programi obuke ili promene opreme kao alat za pružanje povratnih informacija o njihovoj efikasnosti zasnovane na podacima. Sve u svemu, korišćenje savremenih tehnoloških funkcionalnosti u odeći specijalne namene ima potencijal da značajno poboljša ergonomske analize i prevenciju rizika pružanjem podataka u realnom vremenu i omogućavanjem blagovremenih intervencija, cilj istraživanja ove disertacije je da dokaže opravdanost korišćenja ovakvih uređaja u polju zaštite na radu i potvrdi dobijene rezultate kroz ustanovljene metode procene ergonomske rizike.

Ključne reči: nosiva tehnologija, senzori, zaštita na radu, IoT, ergonomija.

1

Naučna oblast: Računarstvo

Uža naučna oblast: xxx

UDK broj: _____

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF SMART IoT TECHNOLOGIES FOR SPECIAL PURPOSE CLOTHING

Abstract: Research has shown that wearable technology and sensors can effectively improve posture and reduce the risk of injury in various work environments, including office environments, manufacturing, and healthcare facilities. In addition, wearable technology and sensors can be used to monitor physiological indicators, such as heart rate and stress levels, to identify and address potential ergonomic risks. Technology and sensors in specialty clothing have the potential to significantly reduce ergonomic risks by providing real-time feedback and guidance on posture, movement, and body mechanics. This solution can help individuals maintain proper ergonomics and reduce the risk of musculoskeletal disorders and other injuries. Overall, the use of wearable technology and sensors to reduce ergonomic risk is a promising area of research with significant potential to improve workplace safety and health. Further research is needed to fully understand the effectiveness and limitations of these technologies in different settings and populations.

In terms of safety at work, the goal of ergonomics as a scientific discipline is the study and adaptation of working conditions, work equipment, and work performance processes from a psychological, physiological, and anatomical aspect, avoiding the procedures of adapting the worker himself to the needs of the specific job. This paper will discuss and analyze the potential of body position monitoring sensors embedded in special-purpose clothing and their future use in standard work equipment that should help correct incorrect and high-risk positions of the upper body during prolonged and static work activities. The cross-reference to perform the research analysis refers to recognized ergonomic risk assessment tools and methods. The signals generated by the wearable sensor are intended to help the wearer and observer detect and correct poor posture in a timely and continuous manner. The results obtained after the research show a positive trend and progress in the workers' posture toward reducing the ergonomic risks included in this research. The use of wearable technology and sensors would significantly contribute not only to the expert observer as an assessment tool but also to the user to

spot risk factors promptly and independently correct them promptly. This feature would help workers learn and build correct habits in remedying ergonomically incorrect body postures when performing work tasks.

23 The wearable device embedded in the garment enables wireless communication and data exchange on the network, thus practically obtaining a wearable IoT device. In the context of ergonomic risk analysis, IoT functionality can transmit real-time data on posture, movement, and body mechanics to a central server or cloud platform for further analysis. This data is further used to identify patterns and trends that may indicate ergonomic risks, such as inappropriate repetitive movements, static positions, or poor posture. Wearable devices with IoT functionality enable monitoring from a remote location of the evaluator indicating potential ergonomic risks in real time and enabling timely interventions to prevent the occurrence of risks and ergonomic injuries. The most critical possibility brought by wearable IoT devices is that they are used to monitor the effectiveness of ergonomic interventions, such as training programs or equipment changes, as a tool to provide data-based feedback on their effectiveness. All in all, modern technological functionalities in special-purpose clothing can significantly improve ergonomic analysis and risk prevention by providing real-time data and enabling timely interventions. The research objective of this dissertation is to prove the justification of using such devices in the field of occupational safety and confirm results obtained through established ergonomic risk assessment methods.

Keywords: wearables, sensors, occupational safety, IoT, ergonomics, posture analysis.

Scientific field: Computer Science

Narrow scientific field: xxx

UDK number: _____

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1. PREDMET ISTRAŽIVANJA, HIPOTEZE I CILJ	4
1.2. DOPRINOSI DISERTACIJE	7
1.3. SADRŽAJ DISERTACIJE	10
2. NOSIVA TEHNOLOGIJA	11
2.1. DEFINICIJA NOSIVE TEHNOLOGIJE	11
2.1.1. Osnovni pojmovi i polja primene nosive tehnologije	13
2.1.2. Pregled istraživanja prevencije nastanka ergonomske rizika	16
2.2. MOTIVACIJA	22
2.2.1. Prednosti upotrebe nosive tehnologije	25
2.3. UPOTREBA NOSIVE TEHNOLOGIJE U ERGONOMIJI	27
2.3.1. Ostali primeri nosive tehnologije	32
2.4. KLASIFIKACIJE NOSIVIH SENZORA	35
2.5. RAZVOJNE PLATFORME	41
2.6. IZAZOVI IMPLEMENTACIJE	44
3. ERGONOMSKI RIZICI	49
3.1. DEFINICIJA ERGONOMSKIH RIZIKA	49
3.1.1. Osnovni pojmovi analize ergonomske rizika	54
3.2. UZROCI NASTANKA ERGONOMSKIH RIZIKA	56
3.3. METODE PROCENE ERGONOMSKIH RIZIKA	57
4. RAZVOJ ODEĆE SPECIJALNE NAMENE	65
4.1. EVALUACIJA PODATAKA ODABRANE METODE	65
4.2. ADAPTACIJA METODE NA STUDIJU SLUČAJA	71
4.2.1. Analiza sličnih rešenja	72
4.2.1. Adaptacija na studiju slučaja	79

5. APLIKACIONI INŽENJERING	84
5.1. Razvoj senzora	84
5.1.2. Kreiranje senzora i njegova adaptacija krajnjoj nameni	86
5.2. Integracija mikrokontrolera	92
5.2.1. Adaptacija mikrokontrolera nameni	95
5.2.2. Programiranje mikrokontrolera.....	99
5.2.3.Integracija senzora u odevni predmet	104
5.2.4.Testiranje i kalibracija gotovog proizvoda	106
5.3.Integracija IoT sposobnosti u sistem nosive tehnologije	107
6. Procena ergonomskih rizika	114
6.1.Evaluacija ergonomskih rizika standardnim tehnikama	114
6.2.Evaluacija ergonomskih rizika korišćenjem nosive tehnologije.....	117
6.3.Analiza dobijenih podataka iz evaluacije	122
7.DISKUSIJA	125
8. Zaključak	126
8.1.Pravci daljeg istraživanja	127
10. LITERATURA	129
11. INDEKS SLIKA	143
12. INDEKS TABELA	146

1. UVOD

Tendencije savremene industrije oslonjene na ljudski rad sve više ukazuju na potrebu prilagođavanja radnog okruženja čovekovim fizičkim i fiziološkim osobinama. Cilj je da to okruženje stvori uslove koji omogućavaju minimalni negativni uticaj na sveobuhvatno zdravstveno stanje zaposlenog, a da se u isto vreme poveća kvalitet i produktivnost rada. Važno je napomenuti da ergonomske uslovi imaju dve grane, fizičku i kognitivnu. Poznata je činjenica da veliki broj radnika odsustvuje sa posla ili radi otežano zbog bolesti ili stanja izazvanih radnim aktivnostima, a ergonomske poremećaji su najbrže rastuća od svih kategorija profesionalnih oboljenja. 30% do 50% povreda na radnom mestu je na neki način povezano sa ergonomijom. Neki od najugroženijih su zaposleni u proizvodnoj industriji, kancelarijama, maloprodaji i uslužnim delatnostima. Od najvećeg značaja je prevencija i smanjenje ergonomske rizika koji se odnosi na faktore fizičkog stresa i uslove na radnom mestu koji nose rizik od oštećenja ili oboljenja mišićno-skeletnog sistema zaposlenih. Ergonomske rizici su povezani sa ustaljenim pogrešnim položajem tela i pokretima tokom rada, što može dovesti do bolova u leđima, ramenima ili rukama, zamora i drugih fizičkih poteškoća. Ovakvi rizici su česti u industriji gde radnici prolongirano ostaju u neudobnim položajima ili izvode ponavljajuće radnje. U cilju smanjenja negativnih uticaja radnog okruženja koriste se inženjerske metode adaptacije i dizajna poslovnih procedura, radnog prostora i alata koje dalje prati obuka i kontinualni nadzor aktivnog radnog procesa.

Istraživanja su zaključila da većina profesionalaca iz oblasti ergonomije ne koristi napredne uređaje ili tehnološka rešenja za uočavanje ergonomske rizika, već se koristi metodom ličnog opažanja u terenskim uslovima. Prilikom obuke i nadzora zaposlenih uočeno je da primena senzorskih i računarskih sistema daje pozitivne rezultate na polju kvaliteta i brzine usvajanja novih procedura, ali poseban napredak se uočava kroz mogućnost analitičke analize dobijenih podataka u realnom vremenu koji se dalje mogu koristiti u procesu odlučivanja. Najneinanzivniji pristup implementacije ovih tehnoloških rešenja predstavlja razvoj pametne odeće specijalne namene koja se bazira na regularnim odevnim predmetima i ne ometa zaposlenog u obavljanju svakodnevnih

radnih aktivnosti. Ovakav pristup ne zahteva adaptaciju ustaljenih radnih procedura i ne utiče negativno na rutinu i produktivnost zaposlenog. Pozicije senzora i obrada podataka se adekvatno projektuje prema zahtevima određene radne aktivnosti ili potrebi analize što omogućava da pametna odeća bude korišćena u redovnim radnim aktivnostima, a ne samo kao platforma za analizu i obuku. Pametna odeća je nova tehnološka tendencija u industriji radne odeće koja koristi senzore, mikrokontrolere i bežičnu tehnologiju da bi se pratila i poboljšala fizička aktivnost i zdravlje korisnika. Pametna odeća može pomoći u smanjenju ergonomske rizika na više načina. Senzori u odeći mogu pratiti položaj tela radnika i upozoriti ga ako se nalazi u neprikladnom položaju ili ako izvodi pokrete koji mogu biti štetni po zdravlje. Ove informacije mogu da se koriste za identifikovanje aktivnosti koje predstavljaju rizik za radnika i da se radnik uputi da ih izbegava ili da ih izvodi na adekvatan način. Na primer, ako radnik ima tendenciju da se previše nagne ili da se previše savija tokom rada, pametna odeća može da upozori radnika da koriguje položaj tela, način rada ili da pauzira i odmori se. Različiti senzori mogu da prate i radne uslove radnika i da upozore ako se pojave neke opasnosti ili neadekvatni uslovi kao što je neka opasna materija ili ako je temperatura radnog mesta previsoka, pametna odeća može da upozori radnika da se pribegne odgovarajućim merama zaštite ili da se povuče iz radnog mesta dok se problem ne reši.

Mikrokontroleri u odeći mogu takođe pomoći u poboljšanju ergonomije radnog mesta tako što će automatski regulisati radnu poziciju radnika ili pomoći prilikom podešavanja radnog okruženja da bi se ono prilagodilo potrebama radnika. Takođe, pomoću njihove prilagođene arhitekture se može ostvariti komunikacija sa internetom gde bi ovakav odevni predmet efektivno postao IoT uređaj sposoban da razmenjuje podatke na mreži. Najefektivniji način analize ovakvih podataka bi bila razmena podataka sa prilagođenim algoritmom platforme veštačke inteligencije AI. Implementacija AI-ja sa odećom specijalne namene podrazumeva korišćenje AI tehnologija za analizu podataka dobijenih sa senzora i elektronike u pametnoj odeći specijalne namene. Ovakva implementacija može da donese mnoge koristi i da poboljša rad pametne odeće u mnogim različitim oblastima. Jedna od glavnih koristi implementacije AI-ja sa pametnom odećom je automatizacija analize podataka. AI algoritmi mogu da obrađuju velike količine podataka brže i preciznije nego ergonomske specijalisti za analizu, što omogućava da se brže dobiju rezultati i da se donesu odluke na osnovu tih rezultata. Kada se koristi AI za analizu

podataka o kretanjima i aktivnostima radnika tokom rada, AI može da identifikuje aktivnosti koje predstavljaju tendencije za razvoj ergonomske rizika kod radnika i da uputi radnika da ih izbegava ili da ih izvodi na adekvatan način. Druga korist implementacije AI-ja sa pametnom odećom je poboljšanje preciznosti i tačnosti podataka. AI algoritmi mogu da uče iz podataka i da se prilagođavaju novim situacijama, što omogućava da se dobiju tačniji rezultati. Prilikom analize podataka o opterećenju pojedinih delova tela radnika, AI može da se prilagodi različitim vrstama rada i da preciznije izračuna nivo opterećenja pojedinih delova tela. Treća korist implementacije AI-ja sa odećom specijalne namene je poboljšanje personalizacije. AI algoritmi mogu da razlikuju različite osobe i da se prilagode njihovim potrebama i navikama. Na primer, ako se koristi AI za prilagođavanje radnog rasporeda radnika i radnih operacija, AI može da uzme u obzir specifične potrebe i navike svakog radnika i da kreira raspored koji odgovara njihovim osobinama i sposobnostima. Ako se radi o poslu koji zahteva preciznost i tačnost, AI može da kontroliše pokrete ruku ili drugih delova tela radnika i da ih usmerava ka cilju. Ovo može da pomogne da se spreče greške i da se poboljša kvalitet rada, dok se u isto vreme analiziraju ergonomske faktori. Ako radnici ne trpe bolove ili fizičke poteškoće, oni će biti u stanju da rade duže vreme i sa većom koncentracijom i motivacijom, što će dovesti do povećanja produktivnosti. Razvoj pametne odeće specijalne namene može imati veliki uticaj na smanjenje ergonomske rizika u industriji i poboljšanje produktivnosti radnika i da smanji broj povreda i bolesti povezanih sa radom.

Ova doktorska disertacija se bavi ispitivanjem funkcionalnog prototipa pametne odeće specijalne namene za proizvodnog radnika i analizom dobijenih podataka njenog korišćenja u industrijskim uslovima. Razvijen je senzor koji prati poziciju tela radnika prikom rada, podaci sa senzora se obrađuju pomoću nosivog mikrokontrolera koji dalje prosleđuje izlazne signale za potrebe obrade i analize prema utvrđenim metodološkim procedurama. Osnovni cilj istraživanja je validacija uticaja ovakvog rešenja na smanjenje ergonomske rizika poređenjem sa referentim uzorkom uz korišćenje ustanovljenih ergonomske metoda procene.

Uvodno poglavlje se bavi opisom predmeta istraživanja disertacije i postavljanjem hipoteza, zatim se daje pregled doprinosa ove disertacije. Na kraju je predstavljena struktura disertacije.

1.1. PREDMET ISTRAŽIVANJA, HIPOTEZE I CILJ

Kao širi predmet istraživanja doktorske disertacije može se uzeti metodološka analiza procedura, tehnoloških izazova i načina primene pametne odeće specijalne namene čiji je zadatak da prepozna i smernicama pomogne smanjivanju uslova za nastanak ergonomske rizika u radnim okruženjima. Fokus rada je na aplikacionom inženjeringu.

Uži predmet istraživanja ove disertacije je empirijska procena podataka dobijenih upotrebom odeće specijalne namene sa ugrađenim senzorom detekcije pozicije tela tokom obavljanja radnih operacija u cilju dokazivanja pozitivnih rezultata i tendencija u smanjivanju ergonomske rizika, time da dokaže da postoji opravdan razlog i mogućnost za dalji razvoj i primenu nosive tehnologije za potrebe zaštite na radu.

6 Opšta hipoteza od koje se krenulo u istraživanje u disertaciji je:

Hipoteza X: Usvajanjem pametne odeće u radnom okruženju će dovesti do smanjenja definisanih uzročnika nastanka ergonomske rizika. Pametna odeća je bazirana na regularnim odevnim predmetima sa ugrađenim senzorima za nadzor i procenu ergonomske rizika ima pozitivan uticaj na smanjenje rizika po zdravlje i bezbednost radnika, jer omogućava praćenje fizičkih uslova, radnih okolnosti i identifikaciju izvora rizika u realnom vremenu. Ova hipoteza se može testirati kroz empirijska istraživanja koja bi se fokusirala na procenu efekata pametne odeće na smanjenje ergonomske rizika u različitim industrijskim sektorima.

1 Posebna hipoteza koja proizilazi iz opšte i koja se odnosi na obrađivanje delova predmeta istraživanja glasi:

X0.1: Upotrebom pametne odeće specijalne namene se može uticati na smanjenje ergonomske rizika nastalih u radnom okruženju.

Daljim preciziranjem navedene posebne hipoteze, formulišu se pojedinačne, koje se odnose na elementarne činioce predmeta istraživanja:

X0.1.1: Nosivi senzori se mogu ugraditi u odevne predmete uz minimalne proizvodno-tehnološke adaptacije samih odevnih predmeta, nakon kojih su oni spremni za neometanu praktičnu upotrebu.

X0.1.2: Dobijeni podaci su relevantni za korišćenje u konvencionalnim, empirijskim metodama. Analizu kreiranih podataka je moguće obaviti uz pomoć ustanovljenih metoda za procenu rizika u istraživačkom polju ergonomije. Struktura podataka je kompatibilna za upotrebu u različitim metodama i platformama.

Osnovni cilj ove doktorske disertacije je da se ispita novi originalni pristup u razvoju pametne odeće specijalne namene sa akcentom na ergonomske izazove. Na osnovu predmeta istraživanja, koji su definisani u prethodnom delu, daju se sledeći podciljevi:

- Identifikacija faktora rizika po zdravlje i bezbednost radnika koji se javljaju na radnom mestu.
- Procenu učinka pametne odeće sa senzorima na smanjenje rizika po zdravlje i bezbednost radnika.
- Poboljšanje dizajna pametne odeće sa senzorima kako bi se povećala njihova preciznost i održivost.
- Istraživanje mogućnosti povećanja autonomije pametne odeće sa senzorima kako bi se produžio vremenski period pre nego što je potrebno da se pune ili zamenjuju.
- Adaptacija interfejsa između pametne odeće i korisnika, kako bi se omogućilo lakše korišćenje i pristup podacima.
- Istraživanje mogućnosti integracija pametne odeće sa drugim tehnologijama, kao što su internet stvari (IoT), platforme veštačke inteligencije (AI) i računarske mreže, kako bi se omogućilo praćenje i analiza podataka u realnom vremenu.

- Analiza načina za povećanje primene pametne odeće u različitim industrijskim sektorima, kako bi se smanjili rizici po zdravlje i bezbednost radnika.

Ovi podciljevi predstavljaju primene znanja iz različitih oblasti koji se objedinjeno koriste u svrši doprinosa osnovne teze istraživanja.

Metodologija istraživanja bazirala se na praktičnim eksperimentima, istraživanju stručne literature i analizi postojećih rešenja u ovoj oblasti. U skladu sa izabranom problematikom, definisanim ciljevima istraživanja i postavljenim naučnim hipotezama radi definisanja naučnih i stručnih zaključaka i pronalaženja mogućih rešenja upotrebiće se teorijska analiza uz korišćenje rezultata istraživanja iz međunarodne naučne literature, odnosno saznanja naučnika i drugih autora koji su istraživali problematiku kojom se bavi i ovaj rad. Istražena su naučno-teorijska saznanja, relevantna literatura i savremena praksa korišćenjem većeg broja metoda, i to: istorijske metode, deskriptivne, induktivne i deduktivne metode, metode analize i sinteze, metode generalizacije i specijalizacije, metode dokazivanja i opovrgavanja, metode kompleksnog posmatranja i analize sadržaja, kao i metod studije slučaja.

Kontrolisano istraživanje je uključivalo seriju snimaka manuelnih radnih zadataka kod odabranih ispitanika u proizvodnom okruženju u skladu sa smernicama metodologije ergonomije i studija rada, pri čemu je radnik u odeći nosio ugrađen senzor dok je obavljao redovne radne zadatke. Podaci prikupljeni tokom korišćenja senzora upoređeni su sa podacima prikupljenim bez nosivih senzora za iste radne zadatke koje obavlja ista osoba pod istim uslovima rada. Korišćene su metode za procenu rizika ergonomije poput RULA (Rapid Upper Limb Assessment) i REBA (Rapid Entire Body Assessment). Ergonomske metode RULA i REBA se koriste za procenu rizika povreda zbog nezgodnog položaja tela i pokreta tokom rada. Ove metode se temelje na analizi položaja i pokreta ruku, nogu i celokupnog tela i proceni nivoa rizika po zdravlje. Za oba slučaja u ovom poređenju, podaci o proceni su uzeti u različitim periodima tokom dnevne smene radnika i sumirani u označene sate, uzimajući u obzir faktor umora i efikasnosti radnika na nivou vremenskog okvira cele dnevne smene u trajanju od 7,5 h. Obim ovog istraživanja ima za cilj da obuhvati observaciju držanja trupa i vrata odvojeno od drugih rizičnih stanja; ocena držanja trupa i vrata je deo kompletnog alata za brzu procenu gornjih ekstremiteta

(RULA). Vrednosti sile koju je stvorio radnik tokom evaluiranog zadatka, a koji je podrazumevao manipulaciju alatima i delovima proizvoda, merene su dinamometrom i izračunate zajedno sa učestalošću pojavljivanja u kalkulatoru ocene rizika ergonomije.

Inicijalne kalibracije očitavanja mikrokontrolera su potrebne da bi se obezbedilo ispravno očitavanje podataka. Inicijalne kalibracije su usklađene sa antropometrijskim parametrima osobe, koji su zatim upoređivane sa vrednostima pragova metode unapred određenih vrednosti ili očitavanja dinamometra, nakon toga odevni predmet je spreman za nošenje sa senzorom koji sada aktivno detektuje svako odstupanje od unapred određenih vrednosti u svakom trenutku. Programirana brzina jednog očitavanja na mikrokontroleru je 0,1 s. Ceo proces se odvija u realnom vremenu u tri faze. Prvi je otkrivanje podataka o vrednosti dobijenih sa senzora, druga je obrada i evaluacija prikupljenih podataka, a poslednja je adekvatan signal obaveštenja o stepenu rizika. Veličina odeće i senzor su usklađeni da odgovaraju antropometrijskim merenjima veličine tela u skladu sa ISO 8559-1:2017 i ISO 8559-2:2017 koje je odobrio CEN (Evropski komitet za standardizaciju). ISO 8559-2:2017 specificira primarne i sekundarne dimenzije za određene tipove odevnih predmeta koji se koriste u kombinaciji sa ISO 8559-1 koji pokriva antropometrijske definicije za merenje tela.

Rezultati dobijeni primenom ergonomske metode se koriste za empirijsku identifikaciju faktora rizika po zdravlje i bezbednost radnika i procenu uticaja pametne odeće na smanjenje rizika. Ovi rezultati se mogu koristiti za poboljšanje dizajna pametne odeće i prilagođavanje njenih funkcija potrebama radnika u različitim industrijskim sektorima. Pored toga, rezultati istraživanja bi se mogli koristiti za predlaganje mera za poboljšanje zdravlja i bezbednosti radnika u industriji, kao i za promovisanje primene pametne odeće kao sredstva za smanjenje rizika po zdravlje i bezbednost radnika

1.2. DOPRINOSI DISERTACIJE

Ishod istraživanja razvoja i upotrebe pametne odeće specijalne namene za nadzor i procenu ergonomske rizika bi mogao da bude u poboljšanju zdravlja i bezbednosti

radnika. Ove tehnologije omogućavaju praćenje fizičkih uslova i radnih okolnosti u realnom vremenu i identifikaciju izvora rizika, što može da doprinese smanjenju povreda i bolesti povezanih sa radom.

Originalni pristup se svodi na dizajn senzora za detekciju pragova ergonomske rizika baziranim na rastezljivim elektroprovodljivim bojama implementiranim na fleksibilnim tekstilnim površinama u cilju detekcije pokreta i položaja tela. Naglasak je stavljen na minimalno ometanje korisnika kako se kvalitet prikupljenih podataka ne bi ugrozio zbog toga jer se radnik oseća nelagodno ili ima smetnje pri radu. Ovo podiže potencijal za svakodnevnu upotrebu u stvarnom scenariju koji bi neizbežno smanjio obolenja vezana za radne aktivnosti uzrokovane lošim ergonomske navikama i okruženjem. Osnovni naučni doprinosi ovog rada su:

- Istraživanja bi mogla da pruže precizne podatke o fizičkim uslovima i radnim okolnostima radnika i da identifikuju izvore rizika u realnom vremenu.
- Istraživanje može da doprinese poboljšanju dizajna pametne odeće i povećanju njene primene, robusnosti i autonomije, što bi omogućilo dugotrajnije korišćenje ovih tehnologija. Rezultati istraživanja bi mogli da pomognu u razvoju interfejsa koji bi bio lakši za korišćenje i pristup podacima, što bi olakšalo korišćenje ovih tehnologija u svakodnevnom radu.
- Takođe mogli bi se odnositi na integraciju pametne odeće sa drugim tehnologijama, kao što su (IoT) i (AI), što bi omogućilo praćenje i analizu podataka u realnom vremenu.
- Rezultati ovog istraživanja bi mogli da doprinesu povećanju primene pametne odeće u različitim industrijskim sektorima, što bi dovelo do smanjenja rizika po zdravlje i bezbednost radnika, poboljšanju radnih uslova, što bi moglo da dovede do smanjenja troškova lečenja i bolovanja i povećanja produktivnosti rada.

¹ Očekivani rezultat, odnosno ishod koji se dobio nakon sprovedenog istraživanja jeste da su se postavljene hipoteze dokazale. Rezultati istraživanja koji su prikazani u ovoj doktorskoj disertaciji validirani su od strane svetske naučne zajednice objavljivanjem u jednom istaknutom međunarodnom časopisu, domaćim i međunarodnim konferencijama:

- ² Maksimović N., Čabarkapa M., Tanasković M., Randjelović D., Challenging Ergonomics Risks with Smart Wearable Extension Sensors, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), Basel, Switzerland, 2022., Volume 11, Issue 20, (ISSN: 2079-9292, IF 2.690, Electronics, M21).
- Čolović G., Maksimović N., Improving Health at Work Using Ergonomic Methods, International Eurosa Conference, 12-15. 9. 2023, Brzece (zbornik u štampi) M33
- Čolović G., Maksimović N., Marković A., ³ Application of Ergonomic Standards to Increase Safety and Health in the Garment Industry, ³ VI International conference „Contemporary trends and innovations in the textile industry“, 14-15th September, 2023, Belgrade, pp 260-263, publisher: SITTS; editor: Urošević S.; ISBN: 978-86-900426-6-1 (M33)
- Maksimovic N., Colovic G., Paunovic D., Conductive inks for textile surfaces, SITTS, pp 361- 365, 2019.
- Colovic G., Maksimovic N., Paunovic D., ³ Ergonomics Workplace Design of the Sewing Operator, ¹³ III IV International Scientific Conference Contemporary Trends Innovations in the Textile Industry, SITTS, 2020, pp 247-256. (M33).
- Colovic G., Paunovic D., Maksimovic N., ³ Application of Ergonomic QEC to Increase Productivity in the Garment Manufacturing, Списание за Текстил, Облекло, Кожи и Технологии, Number 8/2020, pp 183-185
- Paunović D., Stojanović O., ³ Maksimović N., Zlatev Z., Correlation of Consumers and Innovation in Smart Clothes, ³ IV International Scientific Conference Contemporary Trends Innovations in the Textile Industry, SITTS, 2021. pp.
- Colovic G., Maksimovic N., Paunovic D., Paunovic M., ³ Analysis of Workplaces in the Fashion Industry by RULA Tool, ³ V International conference „Contemporary trends and innovations in the textile industry“ Belgrade, Serbia, 15-16th September, 2022, pp 299-304, publisher: SITTS; editor: Urošević S.; ISBN: 978-86-900426-4-7.

1.3. SADRŽAJ DISERTACIJE

Struktura rada pratiće postupak istraživanja, uz uvažavanje osnovnih principa i pravila za pisanje doktorske disertacije. Disertacija će da sadrži uvod, osam poglavlja i zaključak.

U prvom, uvodnom poglavlju su definisani problem, predmet i ciljevi istraživanja doktorske disertacije. Zatim su postavljene hipoteze koje će se u radu ispitati, naznačeni su očekivani rezultati i doprinosi, da bi na kraju bila izložena struktura rada.

U okviru drugog poglavlja daje se pregled relevantnih oblasti zajedno sa osnovnim definicijama nosive tehnologije, njihova klasifikacija i implementacija razvoja istih. Ovo poglavlje takođe sadrži podatke o opštim izazovima implementacije i razvoja nosive tehnologije.

Treće poglavlje se bavi definicijom i klasifikacijom ergonomske rizika, obrascima ponašanja i njihovom analizom.

Četvrto poglavlje razmatra izazove razvoja nosive tehnologije specijalne namene u oblasti procene ergonomske rizika, razmatra se odabrana metoda razvoja, adaptacija metode na studiju slučaja i analiza sličnih rešenja iz ove oblasti.

U petom poglavlju opisan je aplikacioni inženjering gde su predstavljena tehnološka i tehnička rešenja upotrebljena u izradi nosivog tehnološkog sistema kao što su razvoj senzora, platforme i omogućavanje IoT funkcionalnosti.

Šesto poglavlje se bavi obradom podataka prikupljenih u terenskom ispitivanju u radnim uslovima, predstavljeni su rezultati procene ergonomske rizika dobijenih upotrebom prethodno obrađenog odevnog predmeta opremljenog sistemom nosive tehnologije.

Sedmo poglavlje se bavi evaluacijom dobijenih rezultata.

Zaključak i osvrt na naučno/stručne doprinose kao i pravci daljih istraživanja dati su u osmom poglavlju.

2. NOSIVA TEHNOLOGIJA

¹ U ovom poglavlju se opisuje pojam, oblast i klasifikacija nosive tehnologije korišćene za odeću specijalne namene, obradiće se prednosti i izazovi njene implementacije u radno okruženje. Biće predstavljena dosadašnja dostupna rešenja i polja primene.

2.1. DEFINICIJA NOSIVE TEHNOLOGIJE

Nosiva tehnologija (eng. "wearable technology") se odnosi na elektronske uređaje nadzora fizičkih ili fizioloških parametara koji se nalaze na ili oko tela korisnika i koji se mogu udobno nositi tokom svakodnevnih aktivnosti. Ove tehnologije se obično nose kao deo odeće ili opreme i imaju za cilj da pruže informacije ili da obavljaju određene funkcije pomoću senzora, mikrokontrolera i drugih elektronskih komponenti [1]. Nosiva tehnologija se koristi u različitim oblastima uključujući zdravstvo, sport, bezbednost, zabavu i drugo. Zadatak joj je da bude korisna u poboljšanju kvaliteta života i rada ljudi. Primeri nosive tehnologije uključuju pametnu odeću, pametne satove, fitness tracker-e, pametne naočare, pametne narukvice, pametnu obuću i druge uređaje koji se mogu nositi na telu sa zadatkom procene ljudskih performansi. Nosiva tehnologija u industriji predstavlja sveobuhvatna rešenja za povećanje radne efikasnosti i performansi vezanih za poboljšanje dobrobiti radnika i stvaranje interakcije između korisnika i okruženja u realnom vremenu. Takođe, ona trenutno predstavlja novi trend istraživanja na polju oblasti primene i obećava pozitivne rezultate u upotrebljivosti kod nadzora i podrške ljudskim aktivnostima i poboljšanju ergonomske navike [2].

Nosivi pametni uređaji se mogu posmatrati kao novo veštačko čulo ili kao dodatak prirodnim ljudskim čulima čija funkcija i usluga se mogu prilagođavati specifičnim potrebama korisnika. U dobu sveprisutnosti računara, interaktivnih senzorskih i računarskih mreža, tehnologija koju možemo udobno i neometano nositi u formi

regularnog odevnog predmeta ili dodatka istom, proširuje naše sposobnosti kao ljudi i oličava interakciju ljudi i tehnologije [3,4,5]. Nosivi elektronski uređaj najčešće predstavlja fizički mali sklop sa moćnim mogućnostima detekcije, obrade, skladištenja i komunikacije [5,6], a termin se može odnositi na „bilo koji elektronski uređaj ili proizvod dizajniran da pruži određenu uslugu koji korisnik može da nosi“ [7,8]. Druge definicije podupiru njegovu sposobnost da stvori interakciju između korisnika i pametnog okruženja u realnom vremenu [9], pri tome da pruži informacije kao što su lokacija korisnika, okruženje i vitalne kinematičke ili fiziološke parametre [10]. Nosiva tehnologija odnosi se na tekstilne površine i odeću sa integrisanom elektronskom tehnologijom ili drugim računarskim uređajima koji pružaju pametne funkcionalnosti. Nosiva tehnologija povećava kreativnost, intelekt, komunikaciju, pamćenje i fizička čula. Definicija se ne odnosi samo na odeću već i na sve što se može nositi na telu. Jednom kada se spoje sa elektronskom tehnologijom, nakit, satovi, rukavice, obuća, kape, odeća i naočare, mogu doprineti veoma širokom spektru svakodnevne ili profesionalne primene. Nosiva tehnologija koja se oslanja na senzore za merenje načina na koji telo manevriše u realnom vremenu, nudi korisnicima podatke o njima samima. Sa razvojnou tehnologijom senzora, nosivi uređaji sada imaju mogućnost dubljeg i detaljnijeg merenja i analize. Shodno tome, korisnici znaju više o sebi i mogu naknadno da usklade svoje navike.

Rešenja nosive tehnologije koja se koriste za nadzor ljudskih aktivnosti mogu imati različite forme i veoma se razlikuju po primeni [11,12,13,14]. U literaturi je dostupno nekoliko klasifikacija nosivih uređaja, a standardna još nije data [15]. Zanimljive različite taksonomije mogu se naći u Mardonova i Choi [3], Khakurel et al. [4], Mevara et al. [7], i Park i Jaiaraman [16]. Među ovim mogućim kategorizacijama, Dimou et al. [17] razmatraju oblast upotrebe pametnih nosivih uređaja, kao što su životni stil, zabava, medicina, fitnes, razonoda i industrija. Ova klasifikacija naglašava sveprisutnu upotrebu takve tehnologije u različitim oblastima, kao što je istaklo nekoliko istraživača u literaturi (npr. [7,9,15,16,18]).

Bez obzira na različite tipove nosive tehnologije, tehnologija treba da deli određene zajedničke karakteristike i atribute:

- Nosivi uređaj se može koristiti dok je korisnik u pokretu, a da pri tome ne bude pričvršćen za telo, već da je sastavni deo odeće korisnika.

- Da omogući korisniku da zadrži kontrolu nad uređajem i da mu bude stalno dostupan [7].
- Trebalo bi da bude lagan, estetski dopadljiv, fizički prilagodljiv korisniku, poželjno multifunkcionalan i da se lako konfiguriše za željenu krajnju upotrebu [16].
- Trebalo bi da utiče na poboljšanje zdravlja i forme korisnika, udobnost i bezbednost samog korisnika i njegove okoline, a njegov dizajn treba da bude rodno i kulturno orijentisan.

2.1.1. Osnovni pojmovi i polja primene nosive tehnologije

Kao što je definisano u prethodnim poglavljima nosiva tehnologija kao takva u suštini predstavlja fizičku vezu između čoveka i računara koja se odvija putem različitih vrsta i tipova senzora koji su instalirani na određenoj nosivoj platformi i prilagođeni su specifičnoj nameni [19]. Senzori su ključni element nosive tehnologije, jer omogućavaju da se prikupe i prenesu podaci o okruženju ili o fizičkim stanjima i kretanjima ljudi. Postoji veliki broj vrsta i tipova senzora koji se koriste u nosivoj tehnologiji i kojima ćemo se malo detaljnije baviti u narednim poglavljima.

Platforma predstavlja predmet u koji se ugrađuju senzori i prateća elektronska oprema sa određenom funkcijom, nakon čega on postaje pametni nosivi predmet. U zavisnosti od predviđene primene i platforme neki od primera mogu biti:

- Pametne narukvice: Nosiva tehnologija u obliku narukvica koja može da prati aktivnosti, spavanja, kalorijski unos i druge pokazatelje zdravlja.
- Pametne satove: Nosiva tehnologija u obliku satova koja može da prati aktivnosti, spavanje, kalorijski unos i druge pokazatelje zdravlja i fizičke forme, kao i da pruža pristup informacijama i olakšava komunikaciju.
- Pametne naočare: Nosiva tehnologija u obliku naočara koja može da pruža pristup informacijama, da obavlja određene funkcije, integriše AR i da prati aktivnosti.
- Nosiva tehnologija u medicini: Nosiva tehnologija koja se koristi u medicinskim svrhe, kao što su praćenje zdravstvenog stanja, dijagnostika i lečenje bolesti, nadzor obrazaca ponašanja. Može biti na platformi

29 medicinskih flastera, steznika, zavoja ili adaptiranih odevnih predmeta koji se prolagođavaju potrebama pacijenta. Takođe, tu su pametne narukvice za praćenje srčanog ritma i krvnog pritiska, kao i pametne čarape za dijagnostiku i lečenje bolesti stopala.

- Nosiva bezbednosna tehnologija: Nosiva tehnologija koja se koristi u svrhe bezbednosti, kao što su lociranje korisnika na terenu i sprečavanje povreda ili nastajanje ergonomske rizika. Platforme za primenu su pametne radne jakne, majice, pantalone, kape i pametne radne cipele sa senzorima za praćenje položaja tela i pokreta. Ovde spadaju i šlemovi, kacige, prsluci, uniforme kod visokorizičnih poslova, sigurnosnih službi, opreme za motocikliste i bicikliste.
- Nosiva tehnologija za zabavu: Nosiva tehnologija koja se koristi za zabavu, kao što su virtualna i proširena stvarnost AR, igre i druge aplikacije za zabavu. Takođe nalazi svoju primenu kao kostim u zabavno-umetničkim performansima.
- Sport: Nosiva tehnologija sa senzorima se može koristiti za praćenje aktivnosti i fizičke forme. Primeri nosive tehnologije u oblasti sporta su fitness tracker-i, pametne narukvice i za praćenje koraka i ritma srčanog pulsa, odeća koja prati aktivaciju određenih mišićnih grupa i vrši praćenje pozicije tela. Zatim, ovde spada i nosiva tehnologija koja može obezbediti termoregulaciju kod korisnika u hladnim ili toplim okruženjima.

Polja primene se ovakve tehnologije se može projektovati na veći deo društveno-socijalnih aktivnosti, a najizraženija potreba za istraživanjem ove oblasti se nalazi tamo gde postoje problemi i ograničenja tradicionalne opreme i procedura. Industrija po svojoj prirodi je uvek vođena povećanjem produktivnosti i kvaliteta u svrhu većeg profita i efikasnosti poslovanja. Proizvodna industrija već duže vreme istražuje i koristi različita rešenja iz ove oblasti. Ovde su nastala rešenja za nadzor poslovnog ciklusa koja se bave učinkovitošću zaposlenih, bezbednošću i interakcijom operatera sa alatom, radnim okruženjem ili proizvodom. Industrijska nosiva tehnologija podržava u realnom vremenu, pouzdanu i dinamičku interakciju između operatera, mašina i proizvodnih sistema, obezbeđujući tehnologiju snažno usmerenu na čoveka u Industriji 4.0 [6].

U sprezi sa računarima i pametnim mobilnim telefonima, može da pruži mnogo različitih vidova interakcije ljudi i mašina i samim tim ima veliki potencijal da se koristi u industriji 4.0, tj. u industriji koja koristi pametne tehnologije i automatizaciju da bi povećala efikasnost i produktivnost proizvodnje. Nosiva tehnologija sa senzorima može da se koristi za praćenje položaja, pokreta i aktivnosti radnika, kako bi se identifikovali izvori rizika i poboljšale bezbednost i ergonomija rada [1]. Prikupljanje podataka o proizvodnji i radu, kako bi se poboljšala efikasnost i produktivnost. Pametna radna odeća sa senzorima može da pruži podatke o položaju tela i pokretima radnika, što bi moglo da pomogne u optimizaciji radnih puteva i smanjenju vremena potrebnog za određene zadatke. Povećanje fleksibilnosti i brzine proizvodnje omogućavanjem brže i efikasnije komunikacije između radnika i mašina, što bi moglo da poveća fleksibilnost i brzinu proizvodnje, praćenje kvaliteta proizvoda i procedura tokom same proizvodnje, kako bi se sprečile greške i osiguralo bolji kvalitet finalnog proizvoda.

2.1.2. Pregled istraživanja prevencije nastanka ergonomskih rizika

Širok spektar kategorija nosive tehnologije, potencijala i primena inspirisao je sprovođenje većeg broja istraživanja i mnogih pregleda njihove upotrebe u različitim oblastima [9]. Na primer, Seneviratne i sar. [18] istražuje trendove, tehnologije, istraživačke izazove i rešenja za komercijalno dostupne nosive uređaje i istraživačke prototipove. Khakurel i sar. [4] sistematski pregledaju trend nosive tehnologije kako bi procenili njen potencijal u radnom okruženju i izazove u vezi sa njenom upotrebom na radnom mestu. Mardonova i Choi [3] razmatraju trendove u tehnologiji nosivih uređaja, dajući pregled njenih preovlađujućih i potencijalnih primena u rudarskoj industriji. Takođe nedavne studije daju uvid u dostignuća iz oblasti nosive tehnologije: na primer, Chander i sar. [11] se fokusira na tehnologiju nosivih senzora istezanja/naprežanja za praćenje kretanja ljudi i detekciju pada, Koutromanos i Kazakou [9] na upotrebu pametnih nosivih uređaja u osnovnom i srednjem obrazovanju i njihov uticaj na učenje i nastavu, Niknejad i sar. [15] o nedavnim napretcima i budućim izazovima pametnih nosivih uređaja. Takođe u oblasti ergonomije objavljene su neke recenzije, ali imajući u vidu samo ograničen obim upotrebe uređaja nosive tehnologije: Tsao i sar. [19] sumira primene nosivih senzora za ljudski rad i procenu statusa, dok Lim i D'Souza [20] sintetizuju literaturu o inercijskom senzorskom sistemu koji se nosi na telu za procenu biomehaničke izloženosti i rizika od mišićno-skeletnih poremećaja koji su rezultat fizičkog rada.

Usvajanje nosive tehnologije čini se posebno interesantnim u ergonomske svrhe zbog dobro poznatih svojstava pomoći korisnicima bilo gde [21], otkrivanja, prikupljanja i otpremanja podataka na način 24×7 [18] i kontinuiranog praćenja ljudskih performansi [11]. **Ergonomija (ili ljudski faktor) je naučna disciplina koja se bavi razumevanjem interakcija među ljudima i drugim elementima sistema, i primenjuje teoriju, principe, podatke i metode za optimizaciju ljudskog blagostanja i ukupnih performansi sistema [22,23].** Posebno, ova disciplina promoviše holistički pristup usredsređen na čoveka zadatku, proizvodu, okruženju i dizajnu i evaluaciji sistema, uzimajući u obzir fizičke, kognitivne, organizacione, ekološke i druge relevantne faktore [23]. Kao što je istakao Karvovski [23], tradicionalni domeni specijalizacije su sledeći:

- Fizička ergonomija, koja se uglavnom odnosi na ljudske anatomske, antropometrijske, fiziološke i biomehaničke karakteristike u odnosu na fizičku aktivnost.
- Kognitivna ergonomija, koja se fokusira na mentalne procese (npr. percepcija, pamćenje, obrada informacija, rasuđivanje i motorni odgovor), jer utiču na interakcije među ljudima i drugim elementima sistema.
- ¹¹ Organizaciona ergonomija, koja se bavi optimizacijom društveno-tehničkih sistema, uključujući njihove organizacione strukture, politike i procese.

Stoga, ergonomija ima za cilj da poboljša performanse sistema poboljšanjem interakcije čovek-mašina i čovek-računar [24]. Koristiće se u preventivnoj funkciji tako što će se koristiti od početka, ali se može uspešno primeniti i u redizajniranju postojećeg sistema rada [25]. Preporučljivo je da se sistem rada dizajnira za širok spektar ciljane populacije, a to su osobe kojima je dizajn namenjen, specifikovan prema relevantnim karakteristikama [22,25]. U takvom kontekstu, uloga ergonomije je dvojaka: prva je da razume namenske interakcije između ljudi i artefakata i posebno da razmotri mogućnosti, potrebe, želje i ograničenja ljudi u takvim interakcijama, a druga obuhvata doprinos dizajnu sistema u interakciji, maksimiziranju mogućnosti, minimiziranju ograničenja i pokušaju da se zadovolje potrebe i želje ljudske rase [26].

Pretežno istraživanja predlažu različite vrste nosivih uređaja u ergonomске svrhe koji se uglavnom baziraju na senzorskim sistemima: sistemi očitavanja pritiska uloška u obući, multisenzorski senzorski sistemi, pametna odeća, roboti, pametni satovi, vibrotaktilni interfejs za povratnu informaciju, pametne naočare i fiksiranje pametnih telefona za telo [27,37]. Veliki broj istraživanja predlaže uređaje za nošenje za analizu nepovoljnog položaja tokom različitih vrsta zadataka, konkretno, senzorski sistemi predstavljaju najčešću tehnologiju koja se koristi u te svrhe [38,40]. Ovo potvrđuje da „procena ljudskih pokreta i držanja u realnom vremenu preko nosivih senzora može da obavesti korisnike o neadekvatnim položajima prilikom podizanja tereta, što dramatično pomaže u sprečavanju rizika od povreda“ [42,56]. Takvi rezultati takođe naglašavaju izjavu Lu [57], prema kome „primena IMU-a za praćenje ljudskog kretanja kao dela ergonomске procene postaje popularna jer prikupljanje podataka o pokretima ljudskog tela ne ometa u velikoj meri radni učinak radnika“.

U sledeća tri istraživanja autori ne procenjuju samo položaje kao ergonomski faktor rizika: Jin i sar. [54] istražuju biomehanička opterećenja regiona vrata i ramena u stojećim i sedećim položajima tokom tipičnih aktivnosti koje se obavljaju pomoću pametnog telefona (npr. pozivanje i provera poruka), Pepoloni i sar. [43,44] koncentrišu svoju pažnju na onlajn procenu položaja i mišićnih napora tokom poslova koji se ponavljaju, a Kunze i sar. [45] predlažu nosivi sistem koji takođe uzima u obzir i kognitivne faktore. Ovo istraživanje pruža detalje koji se odnose na pametne naočare koje mogu da otkriju suviše strm ugao glave i da se bore protiv sindroma kompjuterskog vida tokom zadataka čitanja i razgovora.

Neka od istraživanja [46,60] koriste tehnike mašinskog učenja način prepoznavanja ili procenu obrazaca ponašanja, kao što su nadgledani klasifikator mašinskog učenja i klasifikator mašinskog učenja vektora podrške, koristeći MATLAB®. MATLAB® je programsko i numeričko računarsko okruženje koje koristi 9 studija od 24 za analizu i obradu podataka, i implementaciju tehnika mašinskog učenja, algoritama ili proračuna. U istraživanjima [45,53,54] glavna ergonomska svrha se odnosi na poboljšanje analiziranog faktora rizika. Konkretno, Hahm i Asada [53] predlažu robota koji podržava korisnika u nezgodnim položajima, Jin i sar. [54] ispituju pametni sat koji može da proceni i analizira uglove zglobova i mišićnu aktivnost, a Kunze i sar. [45] nekoliko pametnih naočara za pružanje povratnih informacija u realnom vremenu radi poboljšanja faktora rizika, zamućenja ili okretanja sadržaja na ekranu od korisnika.

Narednih pet istraživanja omogućavaju procenu i poboljšanje ergonomske faktora rizika. Dva [48,51] opisuju pametnu odeću koja prati položaje u realnom vremenu prikazane pomoću grafičkog korisničkog interfejsa (GUI) i primenjuju strategiju povratnih informacija. Strategija povratnih informacija koju slede studije su različite: u Cerkueira i sar. [48] biološku povratnu informaciju obezbeđuju vibrotaktilni motori, dok kod Ferreira i sar. [51] vizuelna povratna sprega se ostvaruje svetlosnom signalizacijom. Kao alternativa vizuelnoj povratnoj informaciji, zvuci alarma putem aplikacije za pametne telefone su predloženi za upozorenje korisnika kada se otkriju ergonomski opasni operativni položaji i vreme zadržavanja koji dovode do bolova u donjem delu leđa i vratu [64]. Vibrotaktilni motori su takođe korišćeni u drugom radu Lins i sar. [56] koji opisuje nosivu tehnologiju koja koristi sistem senzora i interfejs vibrotaktilne povratne

sprege kako bi upozorila korisnike kada dođu do nepovoljnog položaja. Navedena istraživanja su fokusirana na praćenje faktora rizika i usmeravanje korisnika ka optimalnim ergonomskim uslovima i omogućavaju procenu samog faktora rizika ili parametra koji je povezan sa njim u realnom vremenu. Osim njih, drugi uređaji koji se mogu nositi daju izlaze u realnom vremenu, kao što su sistemi senzora [43,44,50,52,58] i pametne naočare [45]. Međutim, većina istraživanja se fokusira na rešenja za nošenje koja prepoznaju ili otkrivaju sam faktor rizika ili parametar koji je u korelaciji sa njim tek nakon pojave izloženosti riziku. Među njima, samo pametni sat koji su opisali Jin i sar. [54] su posvećeni ergonomsom poboljšanju kao glavnoj svrsi.

Ergonomski kriterijumi navedeni u istraživanjima su heterogeni, polovina usvaja samo jedan pristup ili standard, drugi navode dve vrste kriterijuma, manji broj pominje tri smernice Nacionalnog instituta za bezbednost i zdravlje na radu (NIOSH), takođe neka navode svoje nalaze zasnovane na četiri metode i tri standarda. Konkretno, istraživanja Caputo i sar. [39,40,41], Antvi-Afari i sar. [46], Valero i sar. [63], Ian i sar. [64] odnose se na Međunarodni standard ISO 11226 [65] koji se odnosi na prihvatljivost statičnih radnih položaja i sugestiju ergonomske preporuke za različite radne zadatke koje obavljaju odrasli radnici. Istraživanja [43,44,48,50,59] predlažu uređaje za nošenje za procenu položaja na osnovu Rapid Upper Limb Assessment (RULA), tj., metod istraživanja za istraživanje poremećaja gornjih ekstremiteta povezanih sa radom [66]. Pored RULA metode, Peppoloni i sar. [43,44] takođe koriste Strain Indek (SI), odnosno metodologiju analize posla za rizik od poremećaja distalnih gornjih ekstremiteta [67]. Kao što su naglasili Peppoloni i sar. [44], metode RULA i SI su eksplicitno citirane u ISO 11228-3 [68] za procenu rizika zadatka koji se ponavlja; prvi se zasniva na kinematičkoj proceni, dok na drugi najviše utiče nivo napora, odnos vremena oporavka i vremena pod naporom. Imati na umu da ISO 11228-3 [68] uspostavlja ergonomske preporuke za ponavljajuće radne zadatke koji uključuju ručno rukovanje malim opterećenjima na visokoj frekvenciji. Radovi koji pominju ovaj međunarodni standard su Giannini i sar. [52] i Lenzi i sar. [55]. Oba predlažu senzorski sistem za procenu fizičkog opterećenja radnika. Druge metode navedene u ISO 11228-3 [68] se koriste u studijama (npr. Ovako Working Posture Analysis System, Rapid Entire Body Assessment, ACGIH TLV za podizanje), ali samo jedna [55] koristi metod za radnje koje se ponavljaju Occupational Repetitive Actions (OCRA) Index)). Za procenu zadataka ručnog dizanja, tri studije

sadržane u četiri rada [13,42,52,57] uzimaju u obzir revidiranu NIOSH jednačinu podizanja, citirajući priručnik za primenu NIOSH 94-110 [69] i međunarodni standard ISO 11228-1 [70].

Pojedina istraživanja [21,51,61] ne pominju nijednu međunarodno poznatu metodologiju, ali predlažu specifične principe ili kategorije: Nath i sar. [61] predlažu nekoliko kategorija držanja tela na osnovu merenja fleksije trupa, bočnog savijanja trupa, savijanja ramena, abdukcije i savijanja u laktu, Ferreira i sar. [51] koriste principe ergonomije za praćenje i analizu sedećeg položaja pojedinca, a Kim i sar. [21] razmatraju amplitudu obrtnih momenta zglobova preopterećenja za primenu vibrotaktilnih stimulusa na zglobove tela.

Većina istraživanja predlaže nosivu tehnologiju za radnike. Među njima, pet [46,47,61,63,64] se fokusira na građevinske radnike. Građevinski poslovi su među ergonomski najopasnijim zanimanjima i radnici su često izloženi brojnim fizičkim faktorima rizika koji dovode do mišićno-skeletnih poremećaja povezanih sa radom [46,61]. Ergonomski faktori rizika u tih pet istraživanja uglavnom se odnose na nezgodno držanje. Da bi ih procenili, Nath i sar. [61] predlažu pametni telefon montiran na telo, dok Valero i sar. [63] uvode senzorski sistem koji se nosi na gornjim i donjim ekstremitetima i trupu. Za minimiziranje izloženosti radnika nezgodnim radnim položajima, Antvi-Afari i sar. [46] razvijaju nosivi sistem uložaka za obuču koristeći podatke o distribuciji položaja stopala. Kako bi procenili ergonomski opasne položaje i upozorili korisnika, Ian i sar. [64] poboljšali su i primenili senzorski sistem zasnovan na IMU. Caputo i sar. [39,40,41] razvijaju sistem za praćenje pokreta u gornjem delu tela i konfiguracijama celog tela za procenu položaja koje zauzimaju radnici tokom tipičnih industrijskih radnih aktivnosti, dok Lins i sar. [56] predstavljaju sistem zasnovan na senzorima i vibrotaktilnom povratnom interfejsu za procenu i poboljšanje položaja radnika. Pored radnika, jedno istraživanje [58] uzima u obzir i fizičko opterećenje sportista u svrhu fitnesa.

Istraživanja na temu primenljivost predloženih nosivih tehnologija uglavnom su se obavljala samo putem eksperimentalnih testova i simulacija. Na primer, sistemi pritiska uložka u obući koje su predložili Antvi-Afari i sar. [46,47] za ispitivanje različitih nezgodnih položaja ili aktivnosti radnika povezanih sa prenaprezanjem testirani su u

simuliranom laboratorijskom eksperimentu, dva pametna telefona postavljena na telo opisana u Nath i sar. [60,61] se procenjuju pomoću eksperimenata na terenu koji uključuju osobe koje obavljaju tipične aktivnosti u realnim uslovima sopstvenim tempom i pametnu odeću od Cerkueira i sar. [48] je potvrđen u simuliranom scenariju koji se sastoji od pet opštih zadataka koji zahtevaju različite radne položaje i koji uključuje pet subjekata.

Manji broj istraživanja pokazuje upotrebljivost tehnologije u realnim kontekstima i uslovima. Na primer, Meltzer i sar. [59] procenjuju ergonomske rizike u slučaju 53 hirurga koji predstavljaju 12 hirurških specijalnosti, Giannini i sar. [52] procenjuju svoj sistem u aktivnosti podizanja/spuštanja kontejnera u luci, Lenzi i sar. [55] testiraju razvije alate u realnom kontekstu koji se odnosi na velike maloprodajne lance koji uključuju stručne operatere i stvarne radnike, a Kunze i sar. [45] pokazuju nekoliko demonstracija njihove tehnologije od detekcije čitanja preko ergonomije do prepoznavanja govora za praćenje društvenih interakcija.

Rađena su istraživanja koja se oslanjaju i na aplikacije u stvarnom okruženju i na eksperimentalne testove ili simulacije. Oni predlažu senzorske sisteme za procenu ili poboljšanje položaja ili fizičkog opterećenja. Među njima, Pepoloni i sar. [43,44] predlažu aplikacije, preliminarne validacije i kampanje prikupljanja podataka senzorskog sistema za procenu mišićnih napora i položaja operatera na blagajni i kasira u supermarketu tokom svakodnevnih operacija u stvarnom okruženju, dok Caputo i sar. [39,40,41] predstavljaju nosivi inercijski sistem za praćenje kretanja pomoću simulacija, analiza podataka, algoritama, eksperimentalnih sesija i nekoliko test slučajeva izvedenih na montažnim linijama za proizvodnju automobila Fiat Chrysler (FCA) kako bi se testirala pouzdanost sistema u industrijskom okruženju. Manjarres i sar. [58] testiraju pouzdanost svog klasifikatora aktivnosti zasnovanog na senzorskom sistemu sa dvadeset subjekata i pokazuju primenu na sportistima za procenu i praćenje fizičkog opterećenja za vežbe sklekova, čučnjeva i trčanja prilikom svakodnevnog treninga, tokom dvadeset dana. Takođe, Ian i sar. [64] opisuju laboratorijski test koji je sproveden da bi se potvrdio predloženi sistem upozorenja na kretanje u realnom vremenu baziran na IMU-u i terenski eksperiment na gradilištu u Hong Kongu kojim se postiže poboljšanje položaja radnika tokom ručnog podizanja materijala.

Velika većina predloženih pametnih nosivih uređaja za ergonomske svrhe zasnovana je na senzorskim sistemima sastavljenim od različitih tipova i broja komponenti smeštenih u različitim pozicijama prema delovima ljudskog tela. Nosiva tehnologija je verovatno poželjnija jer inženjeri mogu da izaberu varijabilni set senzora sa različitim karakteristikama kako bi merili i nadgledali parametre koji se istražuju. Ovaj aspekt takođe omogućava kontrolu i minimiziranje troškova uređaja.

Istraživanja se uglavnom fokusiraju na analizu nepravilnih položaja koje radnici zauzimaju tokom raznih radnih zadataka i aktivnosti. Ovo se može opravdati dokazima o rasprostranjenosti takvog specifičnog, ergonomskeg faktora rizika: prema Evropskoj agenciji ³² za bezbednost i zdravlje na radu (EU-OSHA), položaji tela i rad u nezgodnim položajima su jedan od glavnih relevantnih faktora rizika koji se odnose na bolesti povezanih sa radom a javljaju se u leđima, gornjim ili donjim udovima [74]. Sva istraživanja se bave ergonomskeg fizičkim faktorima rizika fokusirajući se ne samo na gorepomenute položaje, već neka od njih i na fizičko opterećenje tokom uglavnom ručnog rukovanja materijalom ili teških zadataka koji se ponavljaju.

Opšti zaključak svih dosadašnjih studija je da bi se postigla ergonomska poboljšanja, treba primeniti analizu faktora rizika u realnom vremenu u kombinaciji sa strategijom obrade povratnih informacija. S tim u vezi, posebnu pažnju treba posvetiti izboru adekvatne tehnike obrade povratnih informacija u zavisnosti od zadataka koje treba da obavljaju korisnici, sredine u kojoj se koriste nosivi uređaji i populacije koja nosi opremu.

2.2. MOTIVACIJA

Jedan od osnovnih motiva je istraživanje potencijala regularnih odevnih predmeta kao platformi za ostvarenje funkcionalne nosive tehnologije. Odeća predstavlja predmet bez koga ne možemo da zamislamo funkcionalni život u svim njegovim aspektima i okolnostima, možemo reći da odeća sama po sebi od kada je nastala već predstavlja nosivu tehnologiju koja ima svoje određene funkcije koje obavlja samostalno bez direktne intervencije čoveka. Imamo stečenu naviku da koristimo odevne predmete, pa je logična

pretpostavka da bi integracija pametnih funkcija bila najbrža upravo korišćenjem odevnih predmeta kao platforme za razvoj. Integracija ljudi i računara kojom bi računari svojim osobinama dopunili naše eventualne nedostatke ili omogućili nova unapređenja je oduvek bila težnja i trend razvoja modernog društva. Pojava računara je omogućila čoveku da mnogo brže i efikasnije izrazi svoje jedinstvene intelektualne sposobnosti kao što su: svest, kreativnost, mašta i intuicija. Kroz period razvoja računari su postali nezamenjiv deo mnogih profesionalnih i privatnih aktivnosti kod ljudi, pa je i potreba ljudi za uslugama koje računari mogu da ostvare neprestana i sve više se oslanjaju na njih. Integracija ljudi i računara je oblast koja se bavi interakcijom između ljudi i računara korišćenjem tehnologije sa ciljem da se olakšaju i unaprede različite aktivnosti. Ova oblast uključuje mnoge različite discipline, kao što su informacione tehnologije, psihologija, sociologija, ergonomija i drugo. Integracija omogućava da se poboljša produktivnost i efikasnost rada, jer računari mogu da obavljaju mnoge zadatke brže i preciznije od ljudi, olakšava se komunikacija jer računari omogućavaju brzi pristup informacijama i lakšu komunikaciju sa udaljenim lokacijama.

Nosiva tehnologija u osnovnoj zamisli ima za zadatak da samostalno posreduje u komunikaciji između čoveka i računara. Ovu komunikaciju obavlja putem različitih tipova senzora čiji je zadatak da pravilno interpretiraju aktivnosti korisnika i proslede adekvatne podatke računaru na obradu. Ova komunikacija predstavlja inspirativno polje za istraživanje i razvoj na polju senzorike, slanja i obrade podataka.

Jedan od perspektivnijih doprinosa nosive tehnologije, koji je i glavni motiv ove disertacije, je njena sposobnost da pomogne u pogledu zaštite na radu sa posebnim osvrtnom na ergonomiju i njene standarde. Nosiva tehnologija sa senzorima može da se koristi za praćenje radnog okruženja i radnih aktivnosti, što može da pomogne u identifikovanju potencijalnih obrazaca ponašanja i time spreči nastanak loših ergonomske stanja ili povreda na radu. Prepoznavanje uslova za nastanak rizičnih faktora na vreme je poseban izazov na koji i najiskusniji ergonomisti nemaju uvek adekvatan odgovor, jer se faktori nastanka rizika procenjuju po pravilu u različitim poslovnim uslovima, tehnološkim zahtevima, scenarijima i često su uslovljeni individualnim navikama i osobinama posmatranog radnika. Ovi uticaji mogu kompromitovati objektivnu procenu ergonomiste i iz ovog razloga u praksi ergonomske analize i treninzi

zahtevaju duži vremenski okvir za implementaciju određenih standarda, a naknadne provere i auditi su podrazumevani. Samo postupak uvođenja ergonomske standarda u poslovno okruženje u startu zahteva ulaganje u obuku zaposlenih, opremu i organizaciju radnog okruženja, a da bi se zadovoljavajući standard normi održao potreban je periodični spoljni ili unutrašnji nadzor implementacije normi ergonomske standarda. U ovom pogledu razvoj i upotreba pametne nosive tehnologije koja je u stanju da analizira i reaguje na pojave ergonomske rizika u realnom vremenu, na svakom mestu, a da se pri tome prilagodi individualno svakom korisniku je od velike važnosti za unapređenje čitave oblasti prevencije nastanka ergonomske rizika u radnom okruženju.

Iz prethodne diskusije moguće je zaključiti da bi upotrebom nosive tehnologije ergonomisti dobili veoma moćan alat za analizu i praćenje obrazaca ponašanja korisnika, daljim razvojem platformi u pravcu omogućavanja bežične komunikacije putem interneta bi se proširilo spektar mogućnosti za analizu i upotrebu. Nosivi IoT uređaj ostvaren na senzorskoj platformi stvara novo atraktivno polje za istraživanje i primenu u radnom okruženju. Gotovo da ne postoji pozicija u radnom okruženju za koju možemo reći da je neadekvatna polju primene nosive tehnologije. Tendencija progresa moderne proizvodne industrije ide u smeru koji predstavlja razvojni stepen industrije 4.0, u ovakvom okruženju interakcija mašina i čoveka posredstvom računara je fokusni detalj organizacije poslovnih procesa. Nosiva tehnologija će neminovno naći svoju primenu u ovakvom interaktivnom okruženju. Moderna industrijska oprema poseduje interfejs za komunikaciju sa operaterom i sa centralim sistemom nadzora procesa. Nosiva tehnologija može da omogući određene funkcije upravljanja opremom, senzori pokreta i senzori pritiska se koriste za kontrolu kvaliteta manuelnih radnji obavljenih od strane operatera, takođe postoje senzori pristupa i senzori koji sprečavaju pristup rizičnim zonama, npr. ako operater u zoni izvođenja rada mašine ona zaustavlja proces. Centralni sistem nadzora ima mogućnost u realnom vremenu da prati i analizira konkretnog radnika na konkretnoj radnoj poziciji čime se doprinosi ukupnoj kontroli kvaliteta i produktivnosti.

Nosiva IoT tehnologija neminovno inspiriše pravac ka ispitivanju njene integracije sa platformama za mašinsko učenje i veštačku inteligenciju u cilju poboljšanja i proširenja funkcionalnosti nosivog uređaja. AI može da analizira podatke prikupljene od nosivog IoT uređaja i da daje personalizovane sugestije i savete korisniku ili

menadžmentu, kao što su sugestije vezane za zdravlje ili produktivnost. AI platforma može da automatizuje rad sa opremom ili okruženjem, kao što su automatsko ažuriranje podataka o ergonomsrim rizicima ili automatsko podešavanje nivoa svetlosti, ventilacije ili temperature u prostoriji. Podatke prikupljene od uređaja koristi da bi predvidela buduće događaje ili potrebe korisnika, kao što su predviđanje vremena potrebnog da se postigne određeni cilj u vezi sa produktivnošću i eventualno da predloži rešenja kod kompleksnijih situacija.

Dodatni motiv predstavlja aktuelna činjenica da većina profesionalaca iz oblasti prevencije ergonomsrim rizika u svojoj praksi ne koristi napredne tehnologije prilikom procene bezbednosnih uslova neke radne pozicije, već se oslanjaju na subjektivno opažanje čije rezultate kasnije verifikuju kroz odabrane metode procene ergonomsrim rizika. Pretpostavka je da upotreba tehnološkog rešenja koje u bi realnom vremenu, istovremeno vršilo nadzor i procenu stanja određene radne pozicije doprinelo poboljšanju kvaliteta samog rezultata procene.

2.2.1. Prednosti upotrebe nosive tehnologije

Nadovezujući se na prethodna poglavlja, može se zaključiti da perspektivna upotreba nosive tehnologije donosi dodatne sposobnosti ili olakšanja pri obavljanju različitih aktivnosti. Potencijal njene upotrebe ogleda se u povećanju performansi ljudskog rada ili kreiranju do sada nedostupnih mogućnosti obrade podataka integracijom IoT rešenja i mašinskog učenja. Neke od prednosti koje donosi nosiva tehnologija su predstavljene ovde:

- Nadgledanje ergonomsrim rizika: pametna nosiva tehnologija može upozoriti korisnika na pragove rizika koju određena aktivnost generiše. Korisnik dobija mogućnost za samokorekturu nepravilnih držanja tela.
- Bezbednost na radu: pametna nosiva tehnologija putem odgovarajućih senzora može pratiti kretanje radnika, upozoriti radnika na prisustvo opasnih materija kao što su gasovi bez mirisa, zatim na nivo temperature ili buke u okruženju.

- Medicinsko nadgledanje: IoT tehnologija u sprezi sa nosivim senzorskim platformama omogućava nadzor udaljenih pacijenata i može alarmirati na vreme pojavu rizičnih zdravstvenih pokazatelja.
- Terapeutska upotreba: različiti nosivi uređaji se koriste u svrhu adekvatnog i pravovremenskog terapijskog lečenja, oni mogu putem monitoringa da usklade optimalni nivo terapije za pacijenta.
- Praćenje vitalnih funkcija: nosivi IoT uređaji mogu prikupljati podatke o broju otkucaja srca, kretanjima, koracima i potrošnji kalorija, što omogućava korisnicima da bolje razumeju svoje zdravlje, kondiciju i unapređuju isto.
- Pratiti i unapređivati spavanje: senzori u nosivim uređajima mogu prikupljati podatke o kvalitetu spavanja, kao što su vreme provedeno u svakom fazama spavanja i pokreti tokom noći.
- Vojne i policijske službe: uvezivanje platformi u bežične senzorske mreže ostvaruje se mogućnost udaljenog nadgledanja korisnika kao i RFID identifikacija. Dodatna funkcionalnost se postiže ugradnjom GPS antena.
- Povećanje bezbednosti: pametne naočare ili kacige mogu omogućiti korisnicima da vide informacije poput mapa ili upozorenja dok su u pokretu. I zgodna su platforma za omogućavanje funkcija sistema proširene stvarnosti AR.
- Nadgledanje okruženja: nosivi IoT uređaji mogu prikupljati i slati na obradu podatke o okruženju kao što su nivo buke, prašine, temperature, opasne materije ili vibracije
- Automatizacija rada: AI može automatizovati rad sa IoT uređajima, kao što su automatsko ažuriranje podataka o obrascima ponašanja i navikama kao npr. automatsko podešavanje nivoa svetlosti ili temperature u prostori.

- Predviđanje: AI može koristiti podatke prikupljene od uređaja da bi predvidela buduće događaje ili potrebe korisnika.
- Poboljšanje produktivnosti i personalizovane komunikacije: Nosive tehnologije kao što su pametni satovi omogućavaju korisnicima da primaju obaveštenja i komuniciraju sa drugim uređajima bez potrebe da se koristi telefon.
- Poboljšanje pristupa informacijama: nosive tehnologije omogućavaju korisnicima da pristupe informacijama poput mape ili da komuniciraju dok su u pokretu na biciklu, motociklu ili sportskoj aktivnosti.
- Sport: AI može na osnovu zabeleženih obrazaca ponašanja očitanih na IoT nosivoj platformi davati predloge za korisnike kao što su preporuke za aktivnosti, unapređenje forme ili procenjivati napredak u određenom segmentu.

2.3. UPOTREBA NOSIVE TEHNOLOGIJE U ERGONOMIJI

Većina dosadašnjih studija (16 od 24) ispituje primenljivost predloženih nosivih uređaja samo putem eksperimentalnih testova ili simulacija. Na primer, sistemi pritiska uloška obuće koje su predložili Antvi-Afari i sar. [46,47] za ispitivanje različitih ergonomske neadekvatnih položaja ili aktivnosti radnika povezanih sa prenaprezanjem testirani su u simuliranom laboratorijskom eksperimentu.

Rezultat primene pametne odeće od Cerkueira i sar. [48] je potvrđen u simuliranom scenariju koji se sastoji od pet opštih zadataka koji zahtevaju različite radne položaje i koji uključuje pet subjekata. Sistem je zasnovan na inercijalnim senzorima i implementira strategiju biofeedback-a koja koristi haptički stimulans da upozori korisnika o opasnim položajima, omogućavajući povoljnije ergonomske položaje. Da bi se omogućila laka analiza podataka, u MATLAB-u je razvijen grafički interfejs. Rezultati su pokazali da pružanje biofeedback-a u realnom vremenu subjektu poboljšava svest o

držanju i ima značajan uticaj na smanjenje ergonomskeg rizika, uz smanjenje do 39,8% vremena provedenog u opasnim položajima.

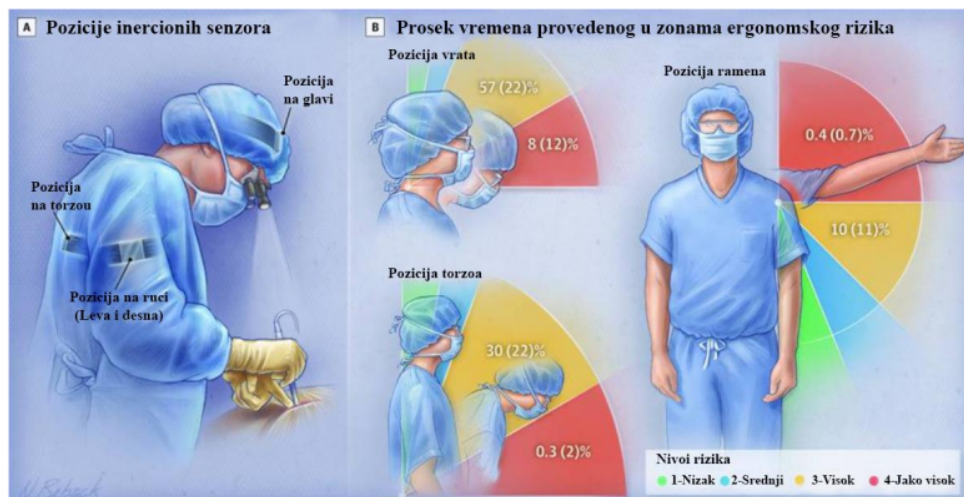


Slika 1. Cerkueira i sar. [48] leđni, bočni i unutrašnji prikaz razvijenog nosivog uređaja i grafički interfejs (GUI) njegove aplikacije.

Pametni telefoni postavljeni na telo opisana u Nath i sar. [60,61] procene se vrše eksperimentima na terenu koji uključuju osobe koje obavljaju tipične aktivnosti u stvarnom svetu sopstvenim tempom. Postupak se bavi prikupljanjem podataka o kretanju sa vremenskim zapisom aktivnosti senzora integrisanih u pametnim telefonima (akcelerometar, linearni akcelerometar i žiroskop), automatskim otkrivanjem aktivnosti radnika kroz klasifikacioni okvir i procenom trajanja aktivnosti i informacija o njihovoj frekvenciji. Ova studija takođe istražuje različite načine prikupljanja i obrade podataka (npr. položaj pametnog telefona, kalibraciju i tipove funkcija) kroz okvir za unakrsnu validaciju Leave-one-person-out cross validation (LOOCV). Rezultati pokazuju da signali prikupljeni sa pametnog telefona montiranog na ruku, kada su kalibrisani, mogu dati tačnost do 90,2% u razmatranom zadatku klasifikacije u 3 klase. Dalja naknadna obrada rezultata klasifikacije aktivnosti daje veoma tačnu procenu odgovarajućih nivoa ergonomskeg rizika.

Meltzer i sar. [59] procenjuju ergonomske rizike u realnim uslovima na uzorku 53 hirurga koji predstavljaju 12 hirurških specijalnosti. Pre zahvata, hirurzi postavljaju 4

IMU-a na glavu, torzo i nadlaktice radi merenja odstupanja od neutralnog položaja tela. IMU senzori mere uglove položaja tela spajanjem podataka sa akcelerometra, magnetometra i žiroskopa koji se nalaze u svakom senzoru.



Slika 2. Meltzer i sar. [59] procenjuju ergonomske rizike u realnim uslovima

Nakon obrade, ergonomske rizik je procenjen izračunavanjem procenta vremena provedenog u određenom opsegu kategorija rizika za svaki segment tela, olakšavajući podelu u ergonomske kategorije rizika korišćenjem validirane skale, Slika 2. Pedeset i tri hirurga (19 žena [35,8%]; srednja starost, 45 godina sa menom od 11 godina) koji predstavljaju 12 hirurških specijalnosti su podvrgnuti kontinuiranom IMU snimanju tokom 115 slučajeva. Sve u svemu, hirurzi su proveli 65% vremena zahvata u visokorizičnim položajima vrata. Visokorizični položaji za torzo i ramena primećeni su tokom 30% i 11% minuta trajanja procedure, respektivno. Najveći posturalni rizik položaja vrata za hirurge bio je tokom otvorenih u odnosu na laparoskopske procedure

Giannini i sar. [52] procenjuju svoj sistem procene ergonomske rizika u aktivnostima podizanja i spuštanja tereta kod lučnih radnika, metodologija se zasniva na podacima prikupljenim iz mreže nosivih senzora, kao što je prikazano na slici. Ovaj nosivi uređaj se sastoji od sistema za detekciju inercijalnog pokreta od strane senzorskog sistema. Dostupni su različiti uređaji za oba zadatka, a izbor se zasniva na radnoj aktivnosti i uslovima sredine u kojoj se prikupljanje podataka mora izvršiti. Inercijalni sistemi su zasnovani na 9-osnom IMU inercijalnom mernom jedinicom u kojoj je 3D

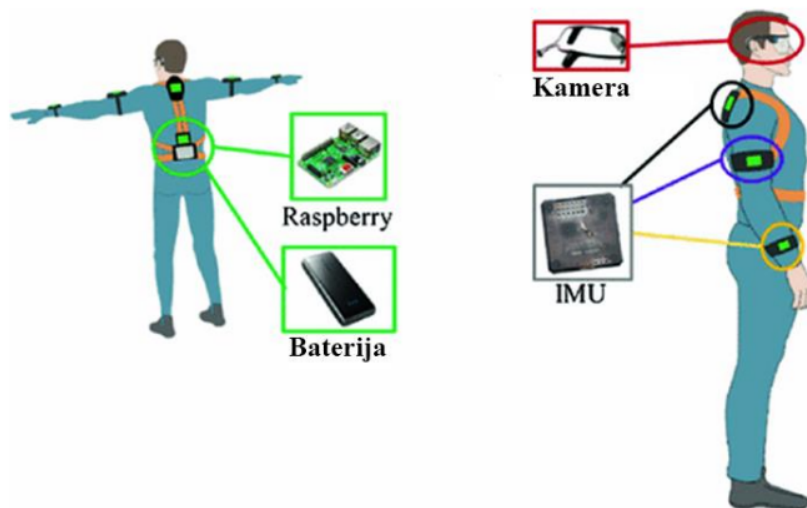
akcelerometar, 3D žiroskop i 3D magnetometar koji mere linearno ubrzanje, brzine rotacije i Zemljinu magnetno polje, Slika 3.



Slika 3. Giannini i sar. [52] nosiva senzorska mreža

Lenzi i sar. [55] testiraju razvijenu kutiju alata u realnom kontekstu koji se odnosi na velike maloprodajne lance koji uključuju stručne operatere i stvarne radnike, a Kunze i sar. [45] pokazuju nekoliko demonstracija njihove tehnologije od detekcije čitanja putem ergonomske parametara do prepoznavanja govora za praćenje društvenih interakcija.

Primene nosive tehnologije za procenu ergonomske rizika koje se zasnivaju na aplikacijama u stvarnom scenariju predlažu senzorske sisteme za procenu i poboljšanje položaja tela ili fizičkog opterećenja. Među njima, Pepoloni i sar. [43,44] predlažu rešenja, preliminarne validacije i sesije prikupljanja podataka senzorskog sistema za procenu mišićnih napora i položaja tela kod operatera na kasi u supermarketu tokom svakodnevnih operacija u stvarnom životu, dok Caputo et al. [39,40,41] predstavljaju nosivi inercijski sistem za praćenje pokreta pomoću simulacija, analiza podataka, algoritama, eksperimentalnih sesija i nekoliko test slučajeva koji su izvedeni na montažnim linijama u Fiat Chrysler Automobiles (FCA) kako bi se testirala pouzdanost sistema u industriji okruženja, Slika 4.



Slika 4. Caputo et al. [39,40,41] pozicije senzora i komponenti za nadzor radnika

Manjarres i sar. [58] testiraju pouzdanost svog klasifikatora aktivnosti zasnovanog na senzorskom sistemu na dvadeset osoba i pokazuju aplikaciju sportiste za procenu i praćenje fizičkog opterećenja tela kod vežbi sklekova, čučnjeva i trčanja u svakodnevnim sesijama tokom dvadeset dana. Konačno, Ian i sar. [64] opisuju laboratorijski test koji je sproveden da bi se validirao predloženi sistem upozorenja na kretanje u realnom vremenu zasnovan na IMU-u i terenski eksperiment na gradilištu u Hong Kongu kojim se postiže poboljšanje položaja radnika tokom ručnog podizanja materijala.



Slika 5. Ian i sar. [64] Pozicije senzora na zaštitnom šlemu i radnom prsluku.

2.3.1. Ostali primeri nosive tehnologije

Nosiva tehnologija ili uređaji ugrađeni u predmete koji se mogu udobno nositi na telu su sve više prisutni u profesionalnim i društveno-socijalnim aktivnostima ljudi, najefikasniji pristup za usvajanje nove senzorske tehnologije od strane korisnika je bila adaptacija nosivih predmeta na čiju su prisutnost na telu ljudi već stvorili naviku i koji ih ne ometaju u obavljanju svakodnevnih aktivnosti. Na taj način su nastali različiti pametni nosivi proizvodi koji doneli korisnicima nove mogućnosti i usluge, neki od primera su:

- Pametni satovi.
- Pametne naočare.
- Pametni nakit.
- Pametne rukavice za daljinsko upravljanje robotima, itd.

Pametni satovi trenutno imaju najistaknutiju poziciju na tržištu nosive tehnologije, njihov aktuelni razvoj se vezuje uz razvoj tržišta pametnih telefona, mada se istorija razvoja digitalnih usluga može pratiti još od 1970-tih godina i pojave popularnih kalkulator satova. Moderni pametni satovi u početku su olakšavali rad sa standardnim funkcijama telefona kao što su razgovori i tekstualne poruke, da bi daljim razvojem postali platforma za ugradnju različitih tipova senzora koji kada su podržani funkcijama adekvatnih aplikacija na pametnom telefonu ili satu korisnicima pružaju veoma širok spektar usluga i namena.



Slika 6. Apple Watch Series 8

Usluge koje moderni pametni satovi pružaju korišćenjem senzora su merenje otkucaja srca, merenje kiseonika u krvi, merenje telesne temperature, detekcije disanja i nivoa stresa, GPS navigacija, nadmorska visina, detekcija pokreta, itd. Apple pametni sat slika 6, pomoću senzora inercije u stanju je da detektuje padove i udese nakon kojih automatski alarmira nadležne službe šaljući podatke o lokaciji i stanju povređenog time doprinoseći sveukupnoj bezbednosti korisnika. Podaci prikupljeni sensorima se mogu upotrebiti za razvoj najrazličitijih aplikacija i namena, trenutno su najpopularnije aplikacije za praćenje fizičkih i sportskih aktivnosti. Primena kod terapija za dijabetes je postala standardna praksa koja proizvodi delotvornije rezultate od standardnih metoda.

U društveno-socijalni aspekt primene pametnih satova spada njihova mogućnost da razmenjuju podatke korisnika na različitim centralizovanim WEB platformama ili na popularnim društvenim mrežama [65,66]. Upotrebljavajući ove funkcije korisnici mogu upoređivati ili deliti svoje podatke o performansama i dostignućima sa odgovarajućom ciljnom grupom korisnika globalno, čime se povećava kvalitet treninga kod ljudi koji se bave sportskim aktivnostima i svakako se ovakvom društvenom interakcijom popularizuje korišćenje nosive tehnologije. Može se reći da ovakva interakcija menja životni stil kod mnogih korisnika, koji su sada dosta aktivniji i motivisaniji u postizanju zacrtanih ciljeva. Podjednaka zastupljenost među polovima je takođe postignuta, imajući u vidu da je ženska populacija više zastupljenija u aktivnostima na društvenim mrežama, dok su muškarci privučeni tehnološkim svojstvima uređaja. Marketinški eksperti smatraju da će nosiva tehnologija umanjiti razliku između online marketinga i regularne prakse.

Industrija kompjuterskih igara odavno pokušava da svoje korisnike oslobodi upotrebe tastature i miša pri komunikaciji sa računarom, upotrebljavani su različiti senzori koji su reagovali na gestikulacije korisnika, u poslednje vreme ova tendencija prenosi težište na nosive uređaje kao što su VR naočare i senzore pokreta. Firma Thalmic Lab je poizvela narukvicu Slika 7, koja je u stanju da pomoću senzora pokreta registruje različite pokrete i gestikupaciju koji se koriste za slanje odgovarajućih komandi računaru.



Slika 7. Thalmic Lab, Myo narukvica

Pametne naočare VR ili AR su pored zabavne industrije našle svoju primenu u proizvodnoj industriji kao sredstvo pomoći pri radu u vidu AR platformi ili kao sredstvo za efikasniji trening radnika. U praksi se pokazalo da obuka radnika korišćenjem VR tehnologije ubrzava brže i kvalitetnije uključivanje radnika u proizvodni proces, ovakav način obuke se aktivno odvija u auto industriji kod firmi Audi, VW, BMW i ostali. Takođe, upotreba VR tehnologije u fazi obuke ili evaluacije nivoa obuke pokazala se kao veoma korisna praksa kod obuke radnika za obavljanje rizičnih poslova, kao što su montaža elektro instalacija i slično.



22

Slika 8. Google Glass Enterprise Edition 2

Glass Enterprise Edition 2, Slika 8, je nosivi uređaj koji pomaže preduzećima da poboljšaju kvalitet svog poslovanja i omoguće svojim zaposlenima da rade efikasnije, brže i bezbednije. Pruža manuelnim radnicima i drugim profesionalcima da sa preglednom i glasom upravljaju ovim nosivim uređajem koji je dizajniran da se nosi ceo dan sa svojim udobnim, laganim okvirom na koji je ugrađen specifičan displej koji

omogućava AR (proširenu stvarnost) korisniku i tako mu omogućava informacije ili instrukcije relevantne trenutnom okruženju, radnji ili predmetima, zvuk se prenosi preko uređaja za vibracije na kost iza uha Bone Conduction Transducer (BCT) ne ometajući okolinu.



Slika 9. Elbit systems JHMCS II pilotska kaciga

Elbit Systems pilotske kacige, Slika 9, trenutno predstavljaju najnapredniju tehnologiju ugrađenu u jedan pametni nosivi uređaj. Kod vojnih pilota posebno je izražena preopterećenost informacijama koje pilot mora da obradi da bi efikasno i kvalitetno obavio zadatak. Mnogi od ovih zadataka prevazilaze ljudske sposobnosti blagovremenog i objektivnog procesuiranja, pa je traženje inovativnih tehnoloških rešenja za prevazilaženje izazova u ovoj oblasti avijacije tradicionalna. Mreža različitih senzora od optičkih do inercionih omogućavaju pilotima situacionu svest, praćenje parametara leta i upravljanje različitim sistemima letelice. Relevantne informacije se projektuju na viziru kacige, dok se još ispituju sistemi za praćenje i nadgledanje smeru pogleda i laserske projekcije informacija direktno na rožnjaču oka primenom lasera niske snage.

2.4. KLASIFIKACIJE NOSIVIH SENZORA

Nosivi senzori su integrisani analitički uređaji koji kombinuju tipične karakteristike sistema za pružanje specifične usluge sa bežičnom vezom u autonomno

delujućim, samostalnim jedinicama. Takvi uređaji omogućavaju kontinuirano praćenje biometrije pojedinca na neinvazivan ili minimalno invazivan način, omogućavajući otkrivanje malih fizioloških promena u odnosu na osnovne vrednosti tokom vremena [67]. Nosivi uređaji postoje decenijama, na primer, Holter monitor, medicinski senzor koji se koristi za merenje električne aktivnosti srca, datira iz 1960-ih². Iako ukupan broj komponenti može da varira u zavisnosti od specifične primene, uobičajeni sastavni elementi nosivih uređaja su materijali supstrata i elektroda, senzorske jedinice (elementi za povezivanje, uzorkovanje, bioprepoznavanje, transdukciju signala i pojačanje), jedinice za donošenje odluka (komponente za prikupljanje, obradu i prenos podataka) i energetske jedinice.

U zavisnosti od planirane namene i izazova kod konkretnog proizvoda nosive tehnologije ključno je da se pre početka samog razvoja precizno odrede zadaci koje proizvod treba da obavlja i shodno tome odaberu adekvatna platforma i sistem senzora. Nakon što je usvojen definitivni tip senzora sledeći korak je utvrđivanje da li je implementacija tog senzora usklađena sa antropološkim karakteristikama čoveka ili dela njegovog tela, odnosno da li se taj senzor može nositi da pri tome ne ometa normalno funkcionisanje korisnika pri redovnim aktivnostima u kojim se planira upotreba proizvoda.

- Akcelerometar

Akcelerometri su senzori koji se koriste u nosivim uređajima. Oni registruju ubrzanja kao što su gravitacija i linearna pomeranja. Njihova sposobnost merenja omogućava programiranje i procesuiranje izmerenih podataka za različite namene. Na primer, korisnik koji trči može da utvrdi svoju najveću brzinu zajedno sa ubrzanjem. Akcelerometri mogu pratiti obrasce ponašanja, spavanja, pokrete određenih delova tela, nagla zaustavljanja ili pokretanja, itd. Najuobičajeniji senzori u upotrebi su kratko predstavljeni ispod [68]:

- Žiroskopi

Žiroskopi su takođe uobičajeni nosivi senzori. Od akcelerometara se razlikuju po tome što beleže samo ugaona ubrzanja. U nekim implementacijama, akcelerometar se koristi

za merenje ubrzanja rotacije, dok neki nosivi sistemi kombinuju jedno i drugo za korekciju greške filtriranja. Žiroskopi povećavaju preciznost praćenih podataka i dostupni su brojni tipovi, uključujući gasne, mehaničke i optičke.

- Magnetometri

Magnetometri se mogu integrisati da bi se praktično dobila inercijalna merna jedinica (IMU) zajedno sa akcelerometrima i žiroskopima. Svi ovi senzori mogu imati po tri ose, veoma su slični kompasu i mogu poboljšati ravnotežu. Dok se sa njima obično koriste žiroskopi i akcelerometri, magnetometri ih usklađuju filtriranjem orijentacije kretanja.

- Globalni sistem pozicioniranja (GPS)

GPS je uobičajen senzor koji se koristi ²⁸ na mnogim uređajima kao što su pametni telefoni, pametni satovi i pametna odeća. Koristi se za pozicioniranje i informisanje korisnika o njihovoj lokaciji. Informacije o poziciji senzora se upoređuju sa pozicijama satelita da bi se odredila tačna lokacija i vreme. Ovo služi kao predajnik i prijemnik u kojem se informacije vraćaju senzoru kako bi se obavestila o lokaciji. Senzor mora imati neometanu vizuelnu komunikaciju sa satelitom. GPS senzori kao deo nosive tehnologije u oblasti zaštite na radu mogu dosta doprineti prilikom analize kretanja radnika u radnom okruženju i time pomoći eventualnoj optimizaciji prostora i procedura rada.

- Senzori otkucaja srca

Dostupne su različite tehnike i senzori za merenje otkucaja srca. Jedna metoda koristi kapacitivni senzor da iskoristi elektrodu (senzor) i kožu kao dva dela konvencionalnog kondenzatora. Fotopletizmografija je tehnika koja koristi svetlost za praćenje promena zapremine krvotoka. Fitness nosivi uređaji kao što je Fitbit oslanjaju se na ovaj pristup koristeći fotodiodu. Postoji kontinuirano zeleno svetlo koje se prenosi na kožu korisnika, i tako uspeva da meri apsorpciju svetlosti od strane fotodiode. Ova informacija se prenosi tako da se puls može izračunati. Što je veća količina krvi koja prolazi kroz korisnikov krvotok, diode apsorbuju više svetlosti. Ovi senzori su veoma korisni u industriji kada je potrebno odrediti nivo opterećenja ili stresa kod radnika u radnim okruženjima.

Doprinosi kod analize uslova kognitivne ergonomije radnika, kao i kod adekvatnog određivanja vremenskih normi.

- Pedometri

Pedometri se obično nalaze u nosivim uređajima koji su fokusirani na fizičko zdravlje i mogu da broje korake korisnika tokom trčanja ili hodanja. Postoje dve varijante pedometara: električni i mehanički. Prvi je najpopularniji oblik danas i zavise od MEMS tehnologije za efikasnost, ali i dalje rade na principima mehaničkog pedometra. Funkcija klatna se koristi za procenu koraka korisnika pedometra. Malo metalno klatno se koristi u pedometrima sa dva kraja, jedan sa zavrtnjem. Čekić se zamahne i udari u drugi svaki put kada korisnik napravi korak, a zatim se vrati na prvobitnu lokaciju. Mehanizam je preko opruge povezan sa elektronskim krugom za brojanje. U početku nema struje, pa stoga se otvoreno strujno kolo zatvara svaki put kada čekić udari u drugu stranu, struja počinje da kruži. Kada se klatno vrati u svoju početnu tačku, strujno kolo se ponovo zatvara, a rotacija klatna počinje iznova. Ovo omogućava strujnom kolu da se sinhronizuje sa svakim korakom. Pedometri se često upotrebljavaju za nadzor aktivnosti radnika, oni pomažu da se odredi nivo zamora i aktivnosti radnika kroz vremenski period proveden u radnom okruženju.

- Senzori pritiska

Obično senzori pritiska rade na principu merača naprezanja. Kada se pritisak primeni na senzore, kolo izaziva promenu otpora. Mehaničke veličine poput sile se posmatraju na više načina i transformišu se u električna merenja zavisna od otpora. Ovaj metod merenja pritiska se postiže izgradnjom Vitstonovog mosta, koji može da prati statičke ili dinamičke promene otpora. Senzor će se sastojati od jednog, dva ili četiri kraka u konfiguraciji Vitstonovog mosta. Broj zavisi od upotrebe uređaja (koliko se meri u napetosti i kompresiji). Mehanizam senzora im omogućava da se integrišu u merače spoljnih faktora kao što je oprema za praćenje kontakta lopte, senzora pritiska u cipelama ili rukavicama, itd. Senzori pritiska ugrađeni u obuću doprinose analizi i poboljšanju ergonomske uslova i načina rada, u industriji se takođe koriste posebne rukavice ili prstci koji u sebi imaju posebno kalibrisane senzore pritiska sa funkcijom pomoći

radnicima da svoj manuelni posao odrade preciznije ili kvalitetnije u slučajevima kada je prilikom montaže potrebno primeniti definisani nivo pritiska na alat ili proizvod.

- Senzori toplote

Različiti tipovi i oblici senzora toplote mogu biti primenjeni i integrisani u nosivu tehnologiju [69,70], nalaze primenu u oblasti medicine, zaštite na radu i sportskih aktivnosti. Pri medicinskoj upotrebi najčešće se sadi kod nosivih uređaja koji su u funkciji terapijskih nadzora pacijenata. Nosiva tehnologija kod zaštite na radu koja upošljava senzore toplote prvenstveno to radi u funkciji zaštite radnika od prevelikih temperatura tela i eventualnih zdravstvenih posledica. Kod sportskih aktivnosti upotreba senzora toplote uglavnom je u funkciji postizanja boljih performansi uzimajući u obzir sve fizičke parametre tela i okruženja.

- Foto senzori

Foto senzori ili senzori nivoa osvetljenja različitih tipova su sveprisutniji kod proizvoda nosive tehnologije, najznačajnija primena je ostvarena u medicinskim uređajima i kod odeće namenjene zaštiti na radu. U medicinskoj primeni su našli svoju upotrebljivost kod terapija osoba osetljivih na radijaciju sunčeve svetlosti ili nivo osvetljenja [71], kada se radi o nosivoj tehnologiji za zaštitu na radu ovakvi senzori se koriste uglavnom za utvrđivanje adekvatnog nivoa osvetljenosti u radnim okruženjima. Foto senzori u kombinaciji sa upotrebom lasera nalaze svoju primenu u zabavnoj industriji kao i kod određenih potreba bezbednosnih službi kao što su vatrogasci ili vojska.

- Hemijski senzori

Hemijski senzori su elektronske komponente koje su prilagošene da reaguju na prisustvo određenih hemijskih supstanci na samom senzoru ili u vazduhu okoline senzora. Oni mogu prikupljati uzorke sa kože korisnika i analizirati hemijske karakteristike ili mogu analizirati vazduh iz sredine gde se nalaze na prisustvo opasnih gasovitih materija. Primena im je primetna u terapijskim procedurama pacijenata kada je potrebno pravovremeno i u adekvatnoj dozi primeniti određene lekove ili terapije, takođe u kombinaciji sa adekvatnim senzorima mogu pomoći kod detektovanja nivoa stresa ili

drugih psihofizičkih parametara kod pojedinca. Takođe, zabeležena primena je u rizičnim okruženjima kao što su rudnici gde postoji opasnost od bezmirisnih gasova kao što je ugljenmonoksid koje su ovi senzori u stanju da otkriju i da alarmiraju korisnike na opasnost. Fokus unapređenja kvaliteta hemijskih senzora je na povećanju osetljivosti i samnjenju nivoa koncentracije materije koju treba da detektuju. Posebno su interesantni u sklopu IOT uređaja, a ubrzanim razvojem 5G mreže otvara se mogućnost primene ovih i sličnih senzora u ekstremije sredine i integracija u kompleksnije sisteme.

- Senzori istezanja

Senzor rastezanja je fleksibilan kondenzator koji može dati precizne informacije o deformaciji oblika. Kapacitet senzora za rastezanje je direktno proporcionalan površini paralelnih fleksibilnih elektroda i obrnuto je proporcionalan rastojanju između slojeva fleksibilnih elektroda. Istezanje senzora dovodi do promene i površine i debljine. Varijacije naprežanja senzora mogu se linearno konvertovati u varijacije kapacitivnosti, a zatim linearno konvertovati u izlazni napon; stoga se deformacija može izračunati naponom [1]. Senzor otpornosti je elektronski senzor koji se koristi za praćenje promena u električnom otporu prilikom istezanja ili savijanja. Ovi senzori su često izrađeni od fleksibilnih materijala čija fizička svojstva omogućavaju promenu geometrije i dužine senzora bez gubitka funkcionalnosti. Osnovna komponenta ovog senzora je elektroprovodivi materijal koji ima svojstvo promene električnog otpora kada se mehanički deformiše. Bazni deo senzora je elektroprovodivi materijal, često u obliku trake, vlakana ili premaza na površini. Ovaj materijal je obično izrađen od kompozita koji uključuje elektroprovodive čestice ili materijale, kao što su ugljenik, srebro, ili drugi provodljivi polimeri. Kada senzor nije podvrgnut mehaničkom opterećenju, elektroprovodivi materijal ima određeni električni otpor. Ovaj otpor se meri u Omima (Ω). Kada senzor bude istegnut, savijen ili podvrgnut nekom drugom obliku deformacije, razdaljina između elektroprovodivih čestica se menja. To dovodi do promene električnog otpora senzora. Što je veća deformacija senzora, to će električni otpor biti veći. Električni otpor senzora se očitava pomoću električnih kontakata ili provodnika koji su povezani sa senzorom. Očitavanje ovog otpora omogućava praćenje istezanja ili savijanja senzora. Istegljivi senzori otpornosti su široko korišćeni u različitim primenama, uključujući medicinske uređaje za praćenje pokreta ili položaja tela, nosive tehnologije, sportsku

opremu, ergonomske analize i mnoge druge oblasti. Oni omogućavaju praćenje i merenje različitih parametara, kao što su držanje tela, fleksibilnost, istezanje mišića i slično. Ovi senzori su korisni jer su prilagodljivi i mogu se lako integrisati u različite aplikacije gde je potrebno praćenje promena oblika i istezanja.

Nosiva tehnologija, sa integrisanom mehaničkom fleksibilnošću i elektronske funkcionalnosti doživeli su razvoj i napredak u proteklih nekoliko godina.[1-10] U poređenju sa tradicionalnom krutom elektronikom, elektronika koja je nosiva ima jedinstvene karakteristike fleksibilnog i rastegljivog električnog kola, mogu se konformno prispojiti na ljudsku kožu i potencijalno implantati. Do napretka od krute elektronike do elektronike koja se može nositi, došlo se smanjivanjem debljine krutih slojeva [11], prenošenje krutih blokova na meke podloge sa istegljivim interkonekcijama,[12] ili korišćenjem fleksibilnih materijala.[13]. Sa ovim osobinama, elektronika koja se može nositi je u stanju da poboljša iskustvo interakcije između ljudi i uređaja.

Integracija senzora u nosive uređaje izvodi se preko mikrokontrolera, on je ključna komponenta koja omogućava rad nosive tehnologije. Obično se posmatra kao mali računar (sistem čipova) koji omogućava integraciju interneta stvari (IoT) sa željenom aplikacijom ili servisom. Ono što je najvažnije, eliminiše upotrebu mnogih elektronskih komponenti za izvršavanje različitih funkcija na jednom čipu. Zbog lakoće programiranja, reprogramiranja, cene, veličine, povezanosti sa drugim sensorima i sposobnosti rukovanja složenim funkcijama, uključujući grafičke displeje, najbolje se pokazao u nosivoj tehnologiji. Svestranost omogućava mikrokontrolerima da se prilagode zahtevima kupaca.

2.5. RAZVOJNE PLATFORME

Postoji više tehničkih karakteristika koje su potrebne da bi se odevni predmeti pripremili da postanu tehnološke platforme nosive tehnologije:

• **Senzori:** Jedna od najvažnijih komponenti nosivih tehnoloških platformi su senzori. Senzori se koriste za prikupljanje podataka, kao što su položaj tela, otkucaji srca, kretanje, vlaga i telesna temperatura. Tip potrebnog senzora zavisiće od specifične primene i namene nosive tehnologije. Na tržištu postoje već gotova rešenja za brojne namene, ali u dosta slučajeva se još uvek mora pristupiti razvoju i adaptaciji prema konkretnom slučaju.

• **Obrada podataka:** Tehnološka platforma nosivog uređaja treba da ima dovoljno procesorske snage da obradi podatke koje prikupljaju senzori. Ovo uključuje mogućnost obrade, analize i skladištenja podataka u realnom vremenu. U ovu namenu se uglavnom koriste različiti mikrokontroleri, ukoliko je potrebna dalja analiza podataka ili je njihov obim preveliki, mikrokontroleri mogu biti povezani sa centralnim računarom za obradu i prikupljanje podataka. Ova veza se može ostvariti na više načina, a najzastupljenije je povezivanje putem Wifi ili Bluetooth modula.

• **Povezivanje:** Predmeti nosive tehnologije uglavnom treba da imaju konekciju za prenos podataka na druge uređaje, kao što su pametni telefoni ili računari. Ovo se može postići putem Bluetooth-a, Wi-Fi-a ili mobilne veze. Povezivanje na internet pretvara predmet nosive tehnologije u IOT uređaj koji razmenjuje podatke na mreži. Ovo efektivno pretvara nosivi IOT u platformu za razvoj AI rešenja.

• **Baterija:** Pošto je nosiva tehnologija dizajnirana da se nosi tokom dužih perioda, vek trajanja baterije je važan faktor. Platforma mora da ima dug vek trajanja baterije ili mogućnost lakog punjenja kako bi se osiguralo da se može koristiti kontinuirano. Odabir baterije i pravilno upravljanje potrošnjom električne energije izborom adekvatnih i neophodnih komponenti na samom uređaju igraju važnu ulogu.

• **Trajnost:** Odeća i dodaci koji se koriste kao nosive tehnološke platforme moraju biti izdržljivi i sposobni da izdrže svakodnevno habanje. Ovo uključuje otpornost na vodu, prašinu i druge faktore okoline. Bitan faktor pri dizajnu ovih proizvoda je pravilan izbor materijala adekvatnih nameni i eksploataciji. Kod tekstilnih materijala treba obratiti pažnju na sirovinski sastav, uglavnom se koriste sintetičke mešavine zbog njihove vodoodbojnosti i lakšeg održavanja. Aplikacija senzoričke se uglavnom kombinuje sa silikonskim premazima i dodatcima.

- Dizajn prilagođen korisniku: Predmet nosive tehnologije treba da ima dizajn prilagođen korisniku, sa jasnim i intuitivnim kontrolama, kako bi korisnicima olakšao pristup funkcijama uređaja i upravljanje njima, takođe i estetika ima bitnu ulogu kod prihvatanja samog proizvoda. Prilikom projektovanja bitno je da se uzme u obzir antropološka i kulturološka karakteristika krajnjeg korisnika.

Ove tehničke karakteristike su od suštinskog značaja da bi odevni predmeti bili spremni da postanu nosive tehnološke platforme. Ugrađivanjem ovih komponenti, tehnološke platforme nosive tehnologije mogu da pruže zgodan i efikasan način inženjerima da pristupe i upravljaju različitim podacima.

Nosiva tehnologija je trenutno prepoznatljiva kao industrija koja brzo raste, nudeći niz aplikacija za ličnu i profesionalnu upotrebu. Za razvoj ovih proizvoda, kompanijama je potreban pristup pouzdanim platformama koje mogu da podnesu tehničke zahteve projekta. U ovom delu biće ukratko predstavljene platforme koje su trenutno najistaknutije polju razvoja nosive tehnologije.

Prva platforma koju treba pomenuti je Google-ov Android Wear. Android Wear je operativni sistem posebno dizajniran za nosive uređaje i zasnovan je na popularnom Android OS-u koji se koristi u pametnim telefonima. Od svog lansiranja 2014. godine, Android Wear je postao popularna platforma za razvoj nosive tehnologije, platforma je fleksibilna i omogućava kreiranje jednostavnih i složenih uređaja koji se mogu nositi. Podržava širok spektar funkcija, uključujući kontrolu glasom, praćenje fitnesa i mobilna plaćanja. Android Wear omogućava programerima pristup širokom spektru funkcija, uključujući kontrolu glasom, GPS praćenje i mobilna plaćanja. Još jedna prednost Android Wear-a je njegova integracija sa Android ekosistemom, za korisnike ovo znači besprekornu integraciju sa njihovim postojećim Android uređajima, što olakšava upravljanje i pristup informacijama sa jedne platforme. Za programere, ovo otvara spektar mogućnosti, omogućavajući im da iskoriste prednosti velikog i uspostavljenog ekosistema Android aplikacija. Važna karakteristika Android Wear-a je njegov fokus na korisničko iskustvo. Platforma pruža intuitivan i jednostavan interfejs, što korisnicima olakšava pristup informacijama i obavljanje zadataka brzo i efikasno. Pored toga, Android Wear je dizajniran da bude prilagodljiv, omogućavajući korisnicima da personalizuju svoje uređaje prema svojim individualnim potrebama i preferencijama.

Još jedna popularna platforma za razvoj nosive tehnologije je Apple-ov WatchOS. WatchOS je operativni sistem koji se koristi u Apple-ovim pametnim satovima i poznat je po svom intuitivnom korisničkom interfejsu i besprekornoj integraciji sa drugim Apple proizvodima. Ova platforma omogućava programerima pristup naprednim tehnologijama kao što su haptička povratna informacija, praćenje otkucaja srca i digitalna navigacija krunom interfejsa sata. Pored toga, WatchOS takođe nudi snažan ekosistem aplikacija, što ga čini odličnom platformom za lične i profesionalne aplikacije.

Fitbit OS je operativni sistem koji se koristi u Fitbitovim nosivim uređajima i dizajniran je posebno za praćenje fitnesa i praćenje zdravlja. Fitbit OS omogućava programerima pristup funkcijama kao što su praćenje otkucaja srca, praćenje sna i praćenje aktivnosti. Ova platforma je idealna za one koji žele da kreiraju nosive uređaje posebno za tržište zdravlja i fitnesa.

Ove platforme nude programerima alate i resurse potrebne za kreiranje inovativnih i korisnih nosivih uređaja. Bez obzira da li je potrebna platforma sa fokusom na fitnes i zdravlje ili opštiju platformu koja podržava širok spektar funkcija, ove platforme pružaju čvrstu osnovu za razvoj nosive tehnologije. Izbor platforme na kraju zavisi od specifičnih zahteva projekta, ali ove tri platforme sigurno nude neophodne alate za razvojne projekte.

2.6. IZAZOVI IMPLEMENTACIJE

Iako nosiva tehnologija donosi sa sobom mnogo mogućnosti i benefita korisniku, postoje i određeni izazovi u njenoj primeni. Kako se radi o još uvek novom polju razvoja postoje oblasti na čijim poboljšanjima se radi. Ovde možemo generalno odvojiti dve oblasti izazova za razmatranje to su razvojno-proizvodni i aplikativni ili kulturološki.

Izazovi kod razvoja se najčešće odnose na samu integraciju pametne tehnologije sa namenjenom platformom, u zavisnosti od karakteristika same platforme često ovaj proces zahteva inženjersku adaptaciju proizvodnih procesa, proizvodne opreme i sastavnih elemenata platforme. Elektronske komponente su tradicionalno na krutim

podlogama i kao takve često predstavljaju izazov za implementaciju u mnogim situacijama, odgovor na ovaj izazov se očekuje kroz sveprisutniji trend razvoja fleksibilnih materijala koji se upotrebljavaju za elektronske komponente nosive tehnologije. U zavisnosti od funkcija za koje nosivi uređaj predodređen da obavlja, posebno ako se koriste sistemi bežične komunikacije, aktuatori ili grafički displeji, javlja se izazov napajanja sistema električnom energijom. Pored toga što je dostupnost adekvatnih baterija manjih dimenzija zadovoljavajuća u nekim slučajevima sama fizička veličina baterije ili njen oblik mogu predstavljati problem kod implementacije. Pouzdanost je važan izazov, nosiva tehnologija se sastoji od mnogih elektronskih komponenti i senzora, što može povećati rizik od kvarova i ograničiti njihovu pouzdanost. To znači da se korisnici mogu osloniti na nosivu tehnologiju za praćenje aktivnosti ili zdravlja, ali ako dođe do kvara, oni mogu biti u nepritici. Ovaj izazov nastaje iz uticaja sredine u kojoj se koristi nosiva tehnologija, ovo se odnosi na spoljne uticaje kao što su vlažnost, temperatura i fizički kontakt. Navedeni uticaji mogu doprineti poremećaju u funkciji samih komponenti ili kompletnog sistema, odgovor na ove izazove se svodi na predviđanje i prevenciju neželjenih efekata, upotrebu i projektovanje zaštitnih komponenti nosivog uređaja. Projektovanje se odnosi na upotrebu materijala i komponenti koje će zaštititi osetljive delove sistema od spoljnih uticaja, a to mogu biti vodoodbojni premazi, silikonska kućišta i adekvatno pozicioniranje istih na nosivom uređaju [20]. Postoje i izazovi koji se odnose na eksploataciju standardnog odevnog predmeta, kao što su pranje, peglanje i savijanje koji se moraju adresirati prilikom projektovanja proizvoda.

Aplikativni izazovi se ogledaju u interakciji pametnog nosivog uređaja sa krajnjim korisnikom ili namenom. Prvi izazov je privikavanje korisnika na upotrebu proizvoda koja ne bi smela da utiče na njegove regularne aktivnosti. Ergonomija i udobnost su od primarne važnosti, posebno kod pametnih nosivih uređaja koji su predviđeni da se nose tokom dužeg vremenskog perioda. U idealnom slučaju, nivoi udobnosti bi trebalo da budu takvi da se korisnik ne podseća stalno na nešto dodatno zakačeno za njegovo telo. Odgovor na ove izazove se nalazi u adekvatnom dizajnu uređaja nameni i odovarajućem treningu i podršci krajnjem korisniku. Da bi nosiva tehnologija bila istinski korisna radnicima nekog preduzeća, ona treba da dostavi podatke koji nisu samo informativni već i da mogu davati savete i uputstva. Integracija sa AI rešenjima je logičan put.

Opšti izazovi:

- **Cena:** određeni proizvodi nosive tehnologije su skupi, što ograničava njihovu dostupnost i upotrebu.

- **Kompatibilnost:** nosiva tehnologija se često koristi zajedno sa drugim uređajima, kao što su pametni telefoni ili računari, što zahteva da se održava kompatibilnost između različitih uređaja.

- **Pouzdanost:** nosiva tehnologija se sastoji od mnogih elektronskih komponenti i senzora, što može povećati rizik od kvarova i ograničiti njihovu pouzdanost.

- **Baterija:** nosivim uređajima je potrebno efikasno snabdevanje električnim napajanjem, jer je kapacitet baterija ograničen. Da bi uređaji radili u adekvatnom vremenskom okviru, potreban je pravilan izbor i upravljanje napajanjem baterija koji se planira prema karakteristikama potrošnje električne energije komponenti instaliranih na samom nosivom uređaju.

- **Bezbednost i privatnost podataka:** nosiva tehnologija koja prikuplja i prenosi podatke o zdravlju, aktivnostima i drugim fizičkim stanjima ljudi može predstavljati rizik za privatnost i bezbednost podataka.

- **Pravila i regulative:** postoje određena pravila i regulative koje se odnose na nosivu tehnologiju.

- **Poverenje:** krajnji korisnik treba da veruje da dobija funkcionalnost koja mu donosi određenu korist i doprinosi njegovom zadovoljstvu.

- **Poverenje:** krajnji korisnik treba da veruje da dobija funkcionalnost koja mu donosi određenu korist i doprinosi njegovom zadovoljstvu.

Činjenica je da je nosiva tehnologija skupa. Mnogi od uređaja koji su trenutno na tržištu su poprilično skupi, čak i za standardina preduzeća. Na primer, prvo izdanje Google Glass-a došlo je sa visokom cenom od 1.500 evra za par, a pristojan pametni sat kreće od oko 200 do 900 evra za vrhunski model. Gledajući iz ugla rukovodstva preduzeća, imajući u vidu potrebu da opremite svu svoju radnu snagu uređajima nosive tehnologije koja košta stotine evra po komadu, to jednostavno nije izvodljivo iz

perspektive troškova osim ako nemate temeljno testiran slučaj upotrebe koji može garantovati povrat investicije.

Za neke kompanije, trošak možda nije problem, ali međutim, većina trgovaca je bez obzira na njihovu veličinu i poziciju na tržištu veoma ograničena kapitalom i oprezni su prema velikim tehnološkim investicijama usmerenim ka zaposlenima. I dok se nosiva tehnologija trenutno testira u medicinskim službama, policijskim snagama i vatrogasnim službama u svetu, finansije su ipak velika prepreka širokoj upotrebi nosive tehnologije u javnom sektoru. Ali potencijalni ukupni trošak je veći od zbira troškova nabavke same opreme nosive tehnologije, postoje i drugi faktori troškova koji su uključeni a odnose se na troškove usvajanja nosivih tehnologija. Da bi se ostvarile odgovarajuće prednosti od produktivnosti nosivih uređaja kao što su trenutno uzimanje beleški i razmene podataka među kolegama, preduzeća će morati da plate za tehnologiju plus dodatne troškove upravljanja, rizik i usklađenost.

Drugim rečima, nije u pitanju samo hardver: organizacije takođe moraju da razmotre sve što ide uz implementaciju nove tehnologije, uključujući novi ili ažurirani softver i zapošljavanje IT stručnjaka. Mnogi izvori se slažu da tržište nosivih tehnologija za preduzeća još uvek sazreva. Da bi nosivi uređaji bili u skladu sa svojim potencijalom u poslovanju danas, uređaji moraju biti donekle prilagođeni za svakog korisnika posebno. Još nismo u fazi „plug and play“; tako da pored toga što su uređaji uglavnom skupi, prilagođavanje nosive tehnologije za nečije poslovanje znači još veće troškove. Takođe nemogućnost organizacije da razume skup rešenja u ovoj ranoj fazi može ozbiljno usporiti proces implementacije, a takođe i povećati troškove.

Kako, na primer, da opravdati snabdevanje svih zaposlenih radnika sa pametnim naočarima kao menadžer građevinske firme kada samo hardver košta najmanje hiljadu evra, a postoji realno dosta mogućnost gubitka ili oštećenja uređaja? I ne treba zaboraviti sve stručnjake koje treba angažovati i platiti samo da bi se integrisala nova tehnologija u poslovanje i postojeće IT strukture ili softverske platforme. Iako je lako motivisati profesionalne korisnike gedžetima koji se mogu nositi i mnogim potencijalnim prednostima nosive tehnologije u sektorima preduzeća, sami proizvođači moraju da postanu povoljniji.

Pored obezbeđenja privatnosti podataka nosive tehnologije moraju obezbediti duži vek trajanja baterije pre nego što zaista postanu ustaljeni u poslovanju. Zainteresovana preduzeća moraju razmisliti dalje od same cene hardvera nosive tehnologije, jer može biti jednako veliki izazov i još veći trošak da se nosiva tehnologija uklapi u postojeću arhitekturu preduzeća. Naravno, kada potencijalna ušteda troškova usvajanjem nosive tehnologije iznosi milione, čak i milijarde evra u nekim industrijama (terenske usluge, na primer); sva ova početna razmatranja troškova kao što su cena nosivog uređaja i šta god da je potrebno da tehnologija bude bezbedno inkorporirana u okviru postojeće IT infrastrukture postaje mnogo manja prepreka.

Nosivi uređaji moraju ili da uštede vreme i novac u poslovnim procesima nekog preduzeća. Pored toga, mora se dokazati da je nosiva tehnologija bolja zamena za postojeća tehnološka rešenja poput pametnih telefona, tableta i drugih prenosnih uređaja. Ova nova tehnologija mora biti očigledno bolja od stare tehnologije, nosiva tehnologija mora da štedi više vremena, novca i da doprinese kvalitetu poslovnog procesa nego tradicionalna mobilna rešenja, u suprotnom ih jednostavno neće zameniti u poslovanju. Na kraju krajeva, tačno kako se izračunava povrat investicije svodi se na ciljeve kompanije koje usvaja novu tehnologiju i primenjene metrike. Čini se da su korporativni rekreativni programi koji uključuju nosivu tehnologiju za praćenje fizičkih aktivnosti daju bolje merljivije rezultate u ovom trenutku u poređenju sa drugim radnim mestima, ipak u slučajevima kada se nosiva tehnologija koristi za omogućavanje daljinske saradnje između terenskih tehničara i inženjera u matičnoj bazi, nekoliko organizacija je utvrdilo da je vreme potrebno za izvršenje zadataka je smanjeno, što dovodi do drugih merljivih ishoda kao što su uštede i poboljšanja kod nivoa zadovoljstva kupaca.

Uprkos izazovima, mnoge kompanije u različitim granama industrije već uspevaju da uposle i iskoriste prednosti nosive tehnologije. I kako se tehnički, kulturološki i organizacioni problemi vezi sa nosivim uređajima rešavaju i smanjuju, nosiva tehnologija će nesumnjivo steći još veće uporište i primenu na radnom mestu.

3. ERGONOMSKI RIZICI

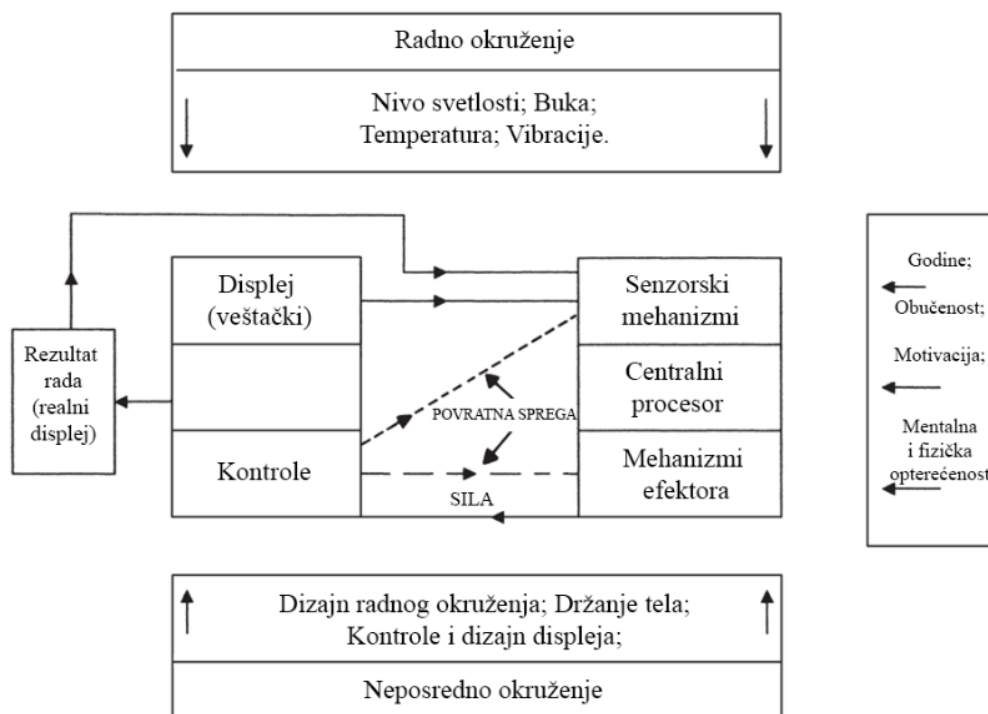
U ovom poglavlju biće objašnjeni pojam i uzroci nastajanja ergonomske rizika, pojmovi i objašnjena analiza koje se koriste za procenu ergonomske rizika.

Ergonomija kao naučno polje je dobilo ime tokom leta 1949. kada se grupa angažovanih naučnika okupila u Oksfordu, Engleskoj da razgovaraju na temu ljudskih performansi. Grupu su činili anatomi, fiziolozi, psiholozi, industrijski medicinski radnici, industrijski higijeničari, inženjeri dizajna, inženjeri za proučavanje rada, arhitekte, inženjeri za osvetljenje i svi čiji se rad ticao nekog aspekta performansa ljudskog rada. Na tom sastanku je iznet predlog da se stvori nova reč za ovo novo polje, ergonomija, koja spaja reč ergos, grčka reč za rad, sa rečju nomos, što znači prirodni zakoni. Ergonomija u radnom okruženju se bavi proučavanjem interakcije između ljudi i mašina, kao i faktorima koji utiču na interakciju. Njena svrha je da poboljša performanse sistema adaptacijom interakcije čoveka i mašine. Ovo se može izvesti projektovanjem boljeg interfejsa interakcije čoveka i mašine ili redizajnom elemenata u radnom okruženju, tehnološkoj operaciji ili u organizaciji poslova koji degradiraju performanse čoveka i mašine. Ergonomija promovise holistički pristup pri kome se u obzir uzimaju fizički, kognitivni, društveni, organizacioni, ekološki i drugi relevantni faktori [72, 73]. Neki stručnjaci definišu cilj inženjeringa ergonomije i ljudskih faktora kao projektovanje mašina koje odgovaraju ljudskim operaterima. Međutim, često je neophodno prilagoditi i rukovaoca prema zahtevima samih mašina u vidu selekcije i obuke osoblja. Tada je verovatno tačnije opisati ovu oblast kao studiju sistema čovek-mašina, sa akcentom na ljudski aspekt.

3.1. DEFINICIJA ERGONOMSKIH RIZIKA

Svi faktori koji u svom krajnjem ishodu, nakon dužeg vremenskog izlaganja dovode do pojave ergonomske povreda ili lošom ergonomijom izazvanih zdravstvenih stanja nazivaju se ergonomske rizici. Oni se istražuju kod svih fizičkih interakcija čoveka sa svojim okruženjem. Ovo se odnosi na fizički stresne faktore i uslove radnog mesta koji u sebi nose rizik od oštećenja ili oboljenja mišićno-skeletnih sistema

zaposlenih. Zadatak ergonomije je da prepozna ove faktore i predloži alternativno, ergonomski ispravno rešenje. Pravilno dizajnirano radno mesto na kojem su ispoštovane sve ergonomske norme, rezultiraće u povećanju kvaliteta sveukupnog poslovnog procesa. Ergonomski rizici na radnom mestu mogu biti uzrokovani različitim faktorima, uključujući fizičke i psihosocijalne stresove [74,75]. U radnom okruženju ergonomski rizici se definišu raščlanjeno po komponentama i analiziraju kroz model čovek-mašina.



Slika 10. Model čovek – mašina.

Ljudsko telo je deo fizičkog sveta i poštuje iste fizičke zakone kao i drugi živi i neživi predmeti. Cilj ergonomije na ovom nivou je da se optimizuje interakcija između tela i njegovog fizičkog okruženja. Ovo znači da se osigura da su zahtevi fizičkog prostora ispunjeni koristeći podatke o fizičkim karakteristikama ljudskog tela iz antropometrije i da unutrašnje i spoljašnje sile koje deluju na telo nisu štetne. Ergonomski problemi se često javljaju, jer iako je operater u mogućnosti da izvrši određeni zadatak, potreban napor preopterećuje održavanje i podršku procesa u telu i izaziva umor, povrede ili greške [72].

➤ Efektori

Tri primarna efektor su ruke, stopala i glas. Uopštenije, mišićno-skeletni sistem i telesna težina se mogu smatrati efektorima – nijedna korisna fizička aktivnost udova ne može se izvoditi pravilnog držanja tela i stabilizacije zglobova.

➤ Čula

Čula su sredstva pomoću kojih postajemo svesni našeg okruženja. Za ljudska bića se često kaže da imaju pet čula – vid, sluh, dodir, miris. Ipak, postojanje i priroda „šestog čula“ ostaje diskutabilna osećaj ravnoteže i položaja tela u prostoru i osećaj prolaza vremena su neki od manje kontroverznih kandidata. Vid i sluh su najrelevantniji za ergonomiju, iako je miris važan u otkrivanju curenja, požara, itd.

Iako se vid i sluh mogu odvojeno posmatrati, na osnovnom nivou, ljudi obično koriste kombinaciju čula da bi izvršili aktivnost. Vid je često orijentisan sluhom: beba će pomeriti glavu da bi se pogledala zvečku postavljenu sa jedne strane. Vid se često dopunjuje dodirom. Kada naidemo na novi predmet, obično ćemo čuti da neko kaže: „Daj da vidim to“ dok u isto vreme poseže za tim. U ovom primeru, reč „videti“ zaista znači „videti i dodirnuti“.

➤ Centralni procesi

Za obavljanje radnih aktivnosti potrebni su nam energija i informacije. Fiziološki procesi obezbeđuju energiju za rad mišića i odstranjivanje otpadnih proizvoda. Mozak se može smatrati centrom za obradu informacija sadrži programe niskog nivoa za kontrolu osnovnih senzorno-motornih radnih aktivnosti i kognitivni procesi višeg nivoa koji omogućavaju planiranje, donošenje odluka i aktivnosti rešavanja problema rada. Čovek se može smatrati kao korisnik i kao izvor energije.

Razumevanje ovih osnovnih procesa je od suštinskog značaja u dizajnu radnih procedura da bi se utvrdila sposobnost radnika za fizički rad i da se istraže faktori kao što su klima ili individualne razlike, koji utiču kvalitet rada. Informacije se dobijaju putem čula, kao povratne informacije od zglobova i mišića i iz sećanja. Savremeni pristupi posmatraju mozak kao sistem procesuiranja informacija poput računara – analogija koja ima neku vrednost u usmeravanju pažnje na vrste programa koji su u osnovi obrade ljudskih informacija, ograničenja sistema i okolnosti pod kojima se može pokvariti. Od

posebnog interesa su implikacije ovog pristupa za informacioni dizajn. To postavlja pitanje kako najbolje osmisliti informativni sadržaj poslova koji će biti kompatibilan sa karakteristikama akvizicije i skladištenja informacija ljudskog sistema za obradu informacija.

Iako kompjuterska analogija ima određenu vrednost, takođe je jasno da na mnogo načina, ljudi obrađuju informacije sasvim drugačije od računara. Osim kognitivnog aspekta, ljudi se ističu u aktivnostima kao što su prepoznavanje lica ili klasifikovanje događaja na osnovu nepotpunih podataka, dok se računari ističu u numeričkom proračunu i logičkom rešavanju problema. Sa strukturne tačke gledišta, računarski i ljudski sistemi za obradu informacija se takođe razlikuju. Memorija i obrada (CPU) su odvojeni u računarskim sistemima, dok kod ljudi možemo da zamislimo kao obradu dela memorije koji je aktivan. Ergonomski pristup bi sugerisao da su prednosti svakog od ovih sistema za obradu informacija treba koristiti da podrže slabosti drugog na komplementaran način.

Energija i informacije mogu dovesti do svrsishodne radne aktivnosti samo ako je čovek dovoljno motivisan. Motivacija je sila koja usmerava ponašanje i ovde se posmatra kao proces podrške. Može se reći da se motivacijom treba baviti u oblasti psihologije rada, a ne ergonomije, ipak ergonomista ne može zanemariti takvu fundamentalnu odrednicu čovekovog ponašanja, nijedan sistem rada ne može funkcionisati na planiran i učinkovit način ako sama ljudska komponenta nije ciljano usmerena i motivisana.

➤ Komponente mašina

Mašina može biti bilo koji uređaj koji je napravio čovek koji povećava radni kapacitet. Prototipni sistem čovek-mašina ergonomije ilustruje vozača automobila ili operatera mašine gde su mašinska komponenta i veza između čoveka i mašine opipljivi. Razvoj informacionih tehnologija je pomerio veliki deo pažnje ergonomije na informacione sisteme u kojima je sistem rada apstraktan i nema jedinstvenu prostornu lokaciju.

➤ Kontrolisani proces

Ovo je osnovni rad mašine u svojoj lokalnoj radnoj sredini koju kontroliše čovek. Rad u povrtinjaku motikom je primer takvog procesa. Nuklearna fisija je još jedan primer kontrolisanog procesa koji se koristi za proizvodnju električne energije u nuklearnoj elektrani. U informacijama sistema, kontrolisani proces je često teže kategorisati zbog

apstraktne prirode koncepata koji se koriste u ovim sistemima. Automatsko sortiranje datoteka, slanje elektronske pošte i pretraživanje baze podataka za stavku informacija ili direktorijuma za određeni unos su primeri kontrolisanih procesa u informacijama sistema.

➤ Displeji

U jednostavnim radnim sistemima, displej je često samo radnja mašine u svom lokalnom okruženju. Proces je sopstveni prikaz (kao kod cepanja drveta pomoću sekira). Sa povećanjem tehnološke sofisticiranosti, rastojanje između kontrolisanog procesa i ljudske komponente se povećava i veštački displeji moraju biti dizajnirani. Vožnja motornog automobila ili rukovanje strugom su srednji u smislu da ekran dolazi direktno iz kontrolisanog procesa pogled na put ili dejstvo mašine alatke na deo, ali i posredno od merača, brojanika itd. Složenost i opasnost prirode kontrolisanih procesa u proizvodnji nuklearne energije ili hemijskim procesima zahtevaju upotrebu veštačkih displeja. U ovim sistemima, ljudski operater nema direktan pristup kontrolisanom procesu i komunicira sa mašinom u potpunosti pomoću veštačkih displeja. Način na koji su ovi displeji dizajnirani ne moraju da imaju korespondenciju jedan-na-jedan sa stvarnim kontrolisanim procesima koje predstavljaju. U informacionim sistemima kontrolisani proces može biti toliko apstraktan da se uopšte ne može verno predstaviti korišćenjem fizičkih prikaza, na primer, kompajliranje koda napisanog na jeziku visokog nivoa. Izazov je konstruisati interfejs koji će obezbediti odgovarajuću metaforu ili način shvatanja procesa.

➤ Kontrole

Ljudska interakcija sa mašinama zavisi od obezbeđivanja odgovarajućih kontrola na koje mogu delovati efektori. Jednostavnom tehnologijom, sama komponenta mašine je često kontrola. Drška sekire je poluga koja omogućava ubrzanje rezne ivice ka meti putem obrtnog momenta na interfejsu ruka-drška. Na ovom nivou, zahtevi dizajna se usredsređuju na interakciju efektor a i kontrole i mehaničke prednosti dobijene dizajnom kontrole. Kontrole su takođe važan izvor povratnih informacija tokom izvršenja kontrole radnje. Na primer, otpornost testere pri sečenju nam nešto govori o ošttrini sečiva ili tvrdoći drveta, otpornost na okretanje volana automobila daje povratnu informaciju o površini puta ili pritiska gume.

➤ Neposredna okolina

Odnosi se na mesto i okolnosti u kojima se rad obavlja i sastoji se od fizičkog radnog prostora, fizičkog okruženja i društvenog ili tehničkog ograničenja pod kojima se rad obavlja.

➤ Radni prostor

Radni prostor je trodimenzionalni prostor u kome se obavlja rad. U jednostavnim sistemima rada, radni prostor može biti samo mesto na kome se rad sprovodi u bilo kom trenutku dok se radnik kreće sa jedne lokacije na drugu. U složenijim sistemima, radni prostori obično postaju fiksni i to donosi potrebu za planiranjem dimenzija radnog prostora.

➤ Fizičko okruženje

Mnogi aspekti fizičkog okruženja mogu uticati na radnika. Ergonomisti su najviše zainteresovani za one koji utiču na način na koji su ljudska i mašinska komponenta u interakciji. Buka, vibracije, osvetljenje i temperatura okruženja su od najvećeg značaja za ergonomiste. Kontaminacija i zagađenje životne sredine su stvari kojima je najbolje da se bave industrijski higijeničari, jer ovakvi uslovi imaju direktne efekte na zdravlje bez obzira na druge faktore sistema rada. Međutim, svest o ovim aspektima je takođe važna iz ergonomske perspektive jer oni mogu uticati na ljudske sposobnosti i motivaciju, kao i na zdravlje.

➤ Organizacija rada

Organizacija rada na svom najosnovnijem nivou odnosi se na neposrednu organizaciju interakcije čovek-mašina: brzinu rada, da li čovek radi svojim tempom ili mašina određuje tempo i da li ljudi rade sami ili zavise od drugih. U širem smislu, ovo se odnosi na organizacionu strukturu u kojoj se radna aktivnost odvija, tehnički sistem i društveni sistem koji je podržava [71].

3.1.1. Osnovni pojmovi analize ergonomske rizika

Važna uloga za ergonomiju i za ergonomiste uopšte, koji rade u poslovnim okruženjima je da treba da deluju kao interfejs između osnovnih ljudskih zahteva, biološke nauke i organizacionih potreba. Ergonomista je često jedan od nekoliko, ako ne i jedini član razvojnog tima sa formalnom obukom za ovu oblasti sposoban za tumačenje

najnovijih zakona, nalaza i izveštaja [76]. Ergonomija je stvorila mnoge smernice i preporuke za dizajn, koje su često dostupne inženjerima i dizajnerima. Ove informacije su obično opšte prirode i ne mogu se uvek koristiti u jednostavnoj formi kao gotovo rešenje, već moraju biti prilagođene nameni na osnovu izvršene analize. Funkcija ergonomiste je da koristi osnovno poznavanje humanističkih nauka i da tumači opšte smernice tako da odgovaraju određenom sistemu. Dimenzije i oblik elemenata radnih mesta su često standardizovane od strane proizvođača bez obzira na određenu industriju i kao takve vrlo često ne odgovaraju svim potrebama na trenutnom mestu instalacije, ergonomisti znaju razloge za datu smernicu ili specifikaciju radnog mesta i mogu odlučiti da li ga treba modifikovati u skladu sa lokalnim zahtevima.

Prilikom analize stanja radnika na određenom radnom mestu ergonomisti se koriste različitim metodama i alatima koji su primenjivi za konkretan zadatak. Podaci dobijeni merenjem na terenu se upotrebljavaju za proračun u odgovarajućim metodama za procenu ergonomske rizika. Najčešće upotrebljavani alati za procenu radnog okruženja:

➤ Digitalni dinamometar

Koristi se za merenje upotrebljene sile operatera pri radu ili sile neophodne da se neki zadatak obavi, vrednosti izmerene sile su izražene u njutima N ili konvertovane u kilograme Kg. Uređaj može vršiti merenje sila guranja, povlačenja i pritiska. Prednost digitalnog dinamometra u odnosu na analogni je mogućnost detekcije najviše ili najniže izmerene sile određene sesije, kao i mogućnost razdvajanja inicijalne sile i sile održavanja pokreta kao što je slučaj kod guranja kolica ili upotrebe različitih alata. Takođe, uređaj se koristi i kod ergonomske procene prilikom dizajna proizvoda, njime se uz upotrebu odgovarajućih dodataka može meriti tvrdoća određenih površina i sila koje su potrebne za manipulaciju istim proizvodom.

➤ Nosivi senzori

Kao deo nosive tehnologije upotrebljavaju se kod dugotrajnijih analiza specifičnih rizika ili kao trajno korektivno rešenje koje upozorava korisnika na rizične pozicije.

➤ Digitalna kamera

Digitalna kamera se često upotrebljava za postupak naknadne analize određenih radnih pozicija. Sama mogućnost da proces može da se snimi ili fotografiše i kasnije višekratno analizira daje ergonomisti veću fleksibilnost i mogućnost kvalitetnije procene koristeći ustanovljene metode procena rizika. Fotografije i video zapisi se mogu analizirati kroz adekvatne grafičke programe pomoću koji se mogu precizno utvrditi uglovi položaja tela snimljenih pojedinaca u odnosu na radno okruženje.

➤ Fonometar

Uređaj za merenje jačine zvuka u okruženju fonometar, se koristi za utvrđivanje ispunjenosti zadovoljavajućih normi vezanih za nivo buke. Ovaj faktor je uticajan kod utvrđivanja nivoa rizika kognitivne ergonomije.

➤ Infracrveni toplomer

Uređaj se koristi za merenje temperatura elemenata radnog okruženja prilikom procene njihovog uticaja na faktore rizika.

3.2. UZROCI NASTANKA ERGONOMSKIH RIZIKA

Nekih od glavnih uzroka nastanka ergonomskih rizika:

- Ponavljajući pokreti: Pokreti koji se ponavljaju, kao što su kucanje, rad na montažnoj liniji i pakovanje, mogu staviti veliki stres na mišiće i zglobove. Vremenom, to može dovesti do povreda koje se ponavljaju, kao što su sindrom karpalnog tunela i teniski lakat.
- Neugodni položaji: Neugodni položaji, kao što su savijanje, uvijanje i posezanje, mogu dovesti do stresa na mišiće i zglobove, što dovodi do bolova u leđima i drugih mišićno-skeletnih poremećaja.
- Snažni naponi: Snažni naponi, kao što je podizanje teških predmeta, mogu dovesti do velikog stresa na mišiće i zglobove. Vremenom, to može dovesti do povreda, kao što su bol u leđima i hernija diska.

- Trajni statični položaji: Trajni statični položaji, kao što je nagnuto stajanje ili sedenje u istom položaju tokom dužeg perioda, mogu da izazovu veliki stres na mišiće i zglobove. Dodatno se komplikuju ukoliko kombinuju delikatne i precizne radnje prstima.

- Stres na poslu: pritisak vremenskim rokovima, buka, ugrožena bezbednost, nezadovoljstvo poslom i nedostatak kontrole nad poslom, takođe može doprineti kognitivno-ergonomskim rizicima. Stres može dovesti do fizičkih i psihičkih zdravstvenih problema, kao što su depresija, anksioznost i kardiovaskularne bolesti.

Loše dizajnirana radna okruženja: Loše dizajnirana radna mesta, kao što su ona koja nisu podesiva ili ne pružaju odgovarajuću podršku, takođe mogu doprineti ergonomskim rizicima. Ovo može dovesti do neugodnih položaja, ponavljajućih pokreta i trajnih statičkih položaja.

Da bi sprečili ove rizike, važno je da poslodavci identifikuju uzrok i primene odgovarajuća rešenja, kao što su ergonomska obuka, prilagođavanje opreme i programi upravljanja stresom. Preduzimajući ove korake, poslodavci mogu pomoći u stvaranju bezbednog i zdravog radnog okruženja i smanjenju rizika od ergonomskih povreda i zdravstvenih problema.

3.3. METODE PROCENE ERGONOMSKIH RIZIKA

Ergonomija koristi biomehaničke analize pokreta tela i studiju vremena za analizu obavljanja radnih zadataka [75]. Ergonomske metode za procenu rizika su nastale kao odgovor na potrebu za sigurnijim i zdravijim radnim okruženjem. Kako se industrija i tehnologija razvijala, sve veći broj ljudi je počeo provoditi više vremena radeći u neergonomskim uslovima, što je dovelo do povećanja broja povreda i bolesti povezanih s radom. Metode za procenu ergonomskih rizika su se razvijale kroz godine korišćenjem iskustva, znanja i istraživanja stručnjaka iz oblasti ergonomije. One su konstantno unapređivane i ažurirane kako bi se osiguralo da su u skladu s novim tehnologijama i industrijskim trendovima.

Neke od najčešće korišćenih naučnih metoda za procenu ergonomskih rizika:

- NIOSH Lifting Equation - procenjuje rizike kod radnji podizanja i spuštanja.
- Rapid Entire Body Assessment (REBA) – procenjuje rizike kod radnji za čije obavljanje koristi celo telo.
- Rapid Upper Limb Assessment (RULA) – procenjuje rizike kod radnje za čije izvođenje su angažovani vrat, trup i gornji ekstremiteti.

Za ispitivanje rezultata u ovom radu korišćena je RULA (Rapid Upper Limb Assessment) metoda, koju su razvili McAtamney i Corlett 1993. godine sa ciljem da se odredi stepen izloženosti radnika nepovoljnim radnim položajima koji mogu dovesti do mišićno-koštanih poremećaja. Metoda se koristi za opažanje i ocenjivanje biomehaničkih položaja celog tela pri čemu su obuhvaćene ruke (nadlaktica, podlaktica, šaka), vrat, trup i noge. Zasniva se na subjektivnom procenjivanju pojedinačnih radnih mesta od strane posmatrača na [75].

RULA ispituje nekoliko faktora rizika: broj ponavljanja, statičko opterećenje mišića, silu, radni položaj i vreme rada bez pauze. Svi ovi faktori se kombiniraju i daju konačan rezultat koji se kreće između 1 i 7. Nakon dobijenog rezultata vrši se kategorizacija ergonomske rizika za konkretnu radnju prema preporukama u Tabeli 1.

1-2	Nema ergonomske rizika	položaj tela prihvatljiv; preoblikovanje radnog mesta nije potrebno
3 - 4	Nizak ergonomske rizik	nisko opterećenje položaja tela; istražiti detaljnije; preoblikovanje radnog mesta možda potrebno
5 - 6	Srednji ergonomske rizik	srednje opterećenje položaja tela; istražiti detaljnije; preoblikovanje radnog mesta potrebno u doglednom vremenu
6+	Visok ergonomske rizik	visoko opterećenje položaja tela; istražiti detaljnije; preoblikovanje radnog mesta potrebno odmah

Tabela 1. Nivoi procenjenih ergonomske rizika prema RULA metodologiji

Procenjivač ergonomske rizika koji je obučan da koristi RULA metod, može se ga primeniti prilično brzo, metod se primeniti i u realnom vremenu dok posmatra osobu koja obavlja određene radnje. Sa iskustvom, neki ergonomisti mogu da procene RULA rezultat čak i bez osvrta na tabelu, ovakav način procene se izvod samo kod inicijalnih ili brzih procena. RULA zapravo razmatra celo telo, a ne samo gornje udove, kao što naziv govori.

Obučeni ergonomisti znaju da postoji nekoliko ključnih faktora rizika koji se moraju uzeti u obzir prilikom procene rizika za dati zadatak, uključujući:

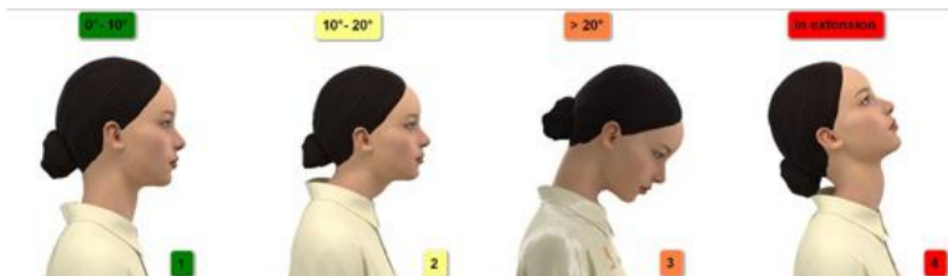
1. silu
2. držanje tela
3. ponavljanje (ili učestalost)
4. trajanje (događaja i radnog dana)

Antropometrijska radna sredina se odnosi na uslove koje treba obezbediti osobi na radnom mestu kako bi rad koji se obavlja bio maksimalno prilagođen antropometrijskim (dimenzionalnim) karakteristikama pojedinca. U ergonomiji, antropometrijski podaci se koriste kako bi se osiguralo da su mašina ili okruženje prilagođeni fizičkim karakteristikama osobe. Osnovni cilj procene faktora rizika je povećanje komfora i smanjenje bola i pojave mišićno-skeletnih poremećaja. RULA [77], rešava ovo pitanje svojim kalkulatorom rezultata za procenu rizika za gornji deo tela. Dizajniran je da proceni snagu, držanje i pokrete povezane sa sedentarnim zadacima, uključujući proizvodnju, maloprodaju, rad na računaru, laboratorijski rad ili gde osoba sedi ili stoji bez kretanja ili obavljanja statičnog ili ponavljajućeg rada, što može doprineti umoru mišića. Iskusi ergonomista može brzo da dobije procenu za pojedinačne radnike i koristi ove podatke kao preporuku za projekte redizajniranja radnog mesta i procene produktivnosti. Intervju i posmatranje ciklusa radne rutine su korisni za razumevanje boljih uslova na radnom mestu. Nedostatak takvih procena je što zahtevaju iskustvo ocenjivača. Pošto radnik zna da je posmatran i da se ne može ponašati ili obavljati radnje kao što to obično čini u praksi, on je kognitivno više opterećen i izložen značajnijem stresu, pa postoji mogućnost kompromitovanja snimljenih podataka. U tom smislu vidimo potrebu za uvođenjem diskretnih tipova monitoringa u vidu nosive tehnologije koja će podržati ovu vrstu metodologije procene rizika [1].

RULA kao metoda za procenu zahteva od ocenjivača ergonomije da odredi posturalne uglove šest različitih položaja tela. U većini slučajeva, iskusni evaluator može da odredi ugao položaja tela na terenu dok posmatra radni zadatak. Ipak, kreatori alata preporučuju da slikaju ili snimaju radni zadatak koji se obavlja iz više uglova ako je moguće. Evaluator može da prikaže slike na monitoru računara, ili da ih odštampa na papiru i koristi go-niometar ili prekrivenu providnu sliku uglomera za merenje uglova

segmenta tela. Ovaj pristup evaluaciji može se klasifikovati korišćenjem optičkih senzora da bi se dobili reprezentativni podaci o proceni rizika. Senzor savijanja gornjeg dela tela koji se može nositi je pogodan za obavljanje istog zadatka procene dajući procenitelju i korisniku pravovremene informacije o tome da granice rizika premašuju granične vrednosti. RULA je zasnovana na metodologiji grafikona rezultata sa izlaznim nivoom akcije koji identifikuje indikaciju hitnosti, proučavaju se položaji, beleže se učestalost upotrebe mišića i napora sile, svaki od ovih elemenata dobija odgovarajuću vrednost rezultata što rezultira konačnim rezultatom koji predstavlja - šalje relativnu ocenu rizika ergonomije, a ne apsolutnu ocenu rizika, za apsolutnu ergonomsku procenu rizika evaluator treba dodatno da razmotri sve elemente faktora rizika kompletnog okruženja na radnom mestu. Dobra osobina ove metodologije koju smo ovde iskoristili je njena brza primena u praksi evaluacije i brzo vađenje podataka, što omogućava evaluatoru ergonomije da uporedi pre i post-rezultate određenih intervencija i redizajniranja u radnim procedurama. Iako je veoma važna u ergonomskom dizajnu radnog mesta, RULA metodologija koju ovde razmatramo ne pokriva parametre nivoa psihološkog i fiziološkog stresa.

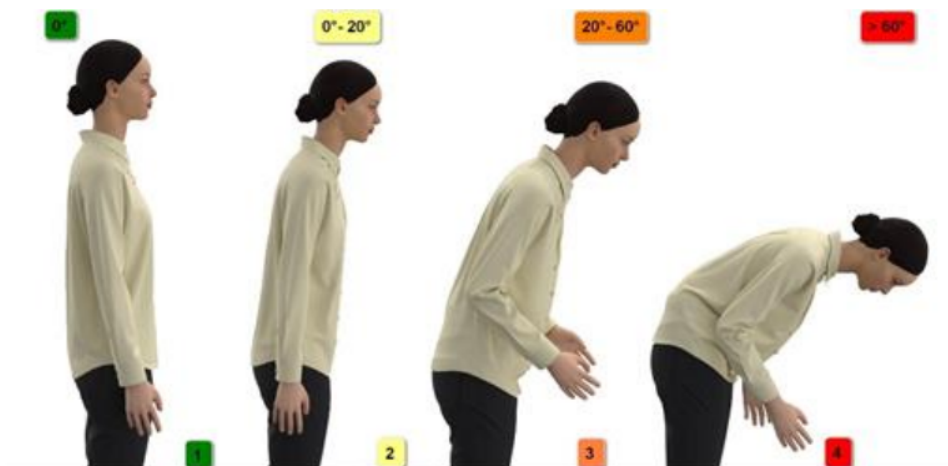
Pozicija vrata i trupa su obično međusobno povezani u radnom okruženju kada su u pitanju ergonomski rizici i treba ih paralelno posmatrati kada su intervencije u pitanju, bodovanje za ova dva položaja se vrši odvojeno, a kasnije se koristi zbir njihovih kombinovanih rezultata u RULA kalkulatoru. U našem eksperimentu ocenjujemo poziciju vrata sa 1 do 4 poena, (Slika 11.). Ocena je zasnovana na stepenu fleksije ili ekstenzije vrata. Fleksija vrata je pomeranje brade ka grudima iz neutralnog položaja vrata. Istezanje vrata pomera bradu od grudi, unazad iz neutralnog položaja vrata. Suprotno fleksiji, istezanje vrata je pokret gde brada pomeri od grudi unazad iz neutralnog položaja vrata. Ovaj pokret omogućava gledanje prema gore, što je korisno za pregled stvari iznad očne linije, kao što su natpisi na vrhovima polica ili prateći objekte na nebu. Produžetak vrata je takođe važan za održavanje ravnoteže glave i tela. Neutralni položaj vrata predstavlja osnovnu referentnu tačku od koje se meri fleksija i istezanje vrata, ova tačka obično odgovara prirodnom položaju vrata kada je glava u ravnoteži i oslonjena na vratni deo kičmenog stuba. Stručnjaci za biomehaniku koriste različite orijentire i metode da definišu nultu tačku između fleksije i ekstenzije ili neutralnog položaja vrata.



Slika 11. Pozicije vrata sa bodovima i uglove fleksije ili ekstenzije.

Nakon što je stepen savijanja vrata odbrana, sledeći faktor koji treba posmatrati je upotreba mišića koju treba identifikovati, i ako je prisutna, donosi 1 poen, a ako ne, 0 poena se dodaje jednačini. Korišćenje mišića je određeno sledećim uslovom ako je posmatrano držanje tokom zadatka uglavnom statično, zadržano duže od 1 minuta, ili ako se radnja ponavlja četiri puta u minuti, postiže se 1 poen. Ako nijedan uslov ne postoji, neće se unositi rezultat za upotrebu mišića.

Bodovi za poziciju trupa biće između 1 i 4, slika 12. Ocena se zasniva na stepenu savijanja ili ekstenzije trupa. Fleksija trupa se definiše kao prednje, napred pomeranje trupa u sagitalnoj ravni, dok se ekstenzija trupa definiše kao zadnje kretanje trupa unazad u sagitalnoj ravni, što je van našeg procenjenog opsega.



Slika 12. Pozicije trupa sa bodovima i uglovima fleksije.

Sila je poslednji rezultat je poslednji parametar koji izračunavamo u ovoj metodi procene rizika ergonomije. Sila predstavlja snagu ili vrednost opterećenja potrebne da izvrši zadatak od strane osobe koja je posmatrana. Sila je deklarirana u kilogramima ili funtama jedinica težine, a mi koristimo dinamometar da izmerimo silu koja se podrazumeva za početak, održavanje i završetak zadatka. Neophodno je razdvojiti merenja između različitih frekvencija sila koje se uvode tokom procesa zadatka, a mi moramo da identifikujemo tri vrste sila koje se javljaju u ovom obliku za bodovanje: isprekidana, ponavljajuća i statička sila. Prekid se javlja neredovno < 4k ponavljanja u minuti i ne nosi opterećenje preko 2kg postiže 0 poena, prekid se javlja neredovno < 4k ponavljanja u minuti sa opterećenjem od 2kg do 10kg ovaj daje 1 bod. Statička ili ponovljena kada se drži > 10 minuta, ili ako se radnja ponavlja 4 puta u minuti sa opterećenjem od 2 kg do 10 kg daje 2 poena, ako se meri više od 10 kg ili ako se ponavlja ili udari kao što je upotreba alata čekića, ova pojava se ocenjuje sa 3 boda.

Bodovi	Tabela rezultata upotrebe mišića
0	Nema prisutnih uslova.
1	Položaji koji su uglavnom statični (traju se duže od jednog minuta). Ponavljajuća upotreba (radnje koje se ponavljaju više od 4 puta u minuti).
Bodovi	Tabela rezultata sile
0	Težine ili sile ≤ 2 kg i drže se povremeno.
1	Težine ili sile 2 do 10 kg i drže se s prekidima.
2	Težine ili sile od 2 do 10 kg i drže statičke. Težine ili sile od 2 do 10 kg i ponavljajuća radnja. Težina ili sile ≥ 10 kg i drže se povremeno.
3	Težine ili sile ≥ 10 kg i statičke držane. Težine ili sile ≥ 10 kg i ponavljajuća radnja. Udar ili sila sa brzim nagomilavanjem, kao što je upotreba čekića.

Tabela 2. Referentni vodič za bodovanje upotrebe mišića i rezultirane sile.

Prva ocena za određivanje je stanje držanja Slika 11, Slika 12, kako za držanje trupa tako i za držanje vrata tokom zadatka, zbir dve vrednosti se unosi u izračunavanje nakon što se ovo uradi sledeći korak je da se proceni da li postoji uslov za mišićni rezultat Tabela 2, ako je prisutan za jedan ili oba položaja, zbir rezultata se unosi za izračunavanje, a poslednji parametar je rezultat sile/opterećenja koji sledi iz Tabele 3, trebalo bi da budemo u mogućnosti da odredi adekvatan bodovni poen i unese ga za izračunavanje na isti način kao što je gore opisano za prethodne parametre. RULA kalkulator ima namenska polja za unos ili odabir vrednosti za svaki rezultat za konačni proračun i procenu rizika ergonomije.

OCENA POSTURE+UPOTREBA MIŠIĆA+SILA = OCENA NIVOVA AKCIJE

Nivo akcije 1	Ocena od 1-2 = Prihvatljiv , zanemarljiv rizik, nije potrebna korekcija.
Nivo akcije 2	Rezultat 3-4 = Nizak rizik , nastaviti nadgledanje pozicije.
Nivo akcije 3	Ocena 5-6 = Srednji rizik , istražiti detaljnije i promene potrebne uskoro.
Nivo akcije 4	Ocena 7 = Veoma visok rizik , istražiti dalje i promene hitno potrebne.

Tabela 3. RULA akcioni nivo ergonomske procene rizika i smernice korekcija.

Nakon što dobijemo konačan rezultat, prelazimo na tabelu nivoa akcije u tabeli 3, da pratimo njene smernice i proverimo da li nivo akcije predlaže bilo kakvu izmenu. Ako jeste, trebalo bi ih napraviti i ponovo testirati za validaciju dok ne budemo na bezbednom nivou. Za naše ponovno istraživanje, koristimo ove rezultate da uporedimo rezultate dobijene kada radnik nosi senzor sa situacijom kada ne koristi senzor u istom radnom okruženju i procedurama zadatka. Ako možemo da ostanemo na bezbednom nivou, to bi dokazalo da senzor može biti alternativa često skupom redizajnu radnog prostora i procedura.

RULA

Datum _____

Kompanija _____

Odejenje _____

Zadatak _____

Supervisor _____

Evaluator _____

Položaj nadlaktice				Levo		Desno	
Dodatna razmatranja +1 ravnina podignuta +1 abdukcija ramena +1 manevriranje ispod ruke							

Položaj podlaktice		Levo		Desno	
Dodatna razmatranja +1 ako ruke preko srednje linije tela ili sa strane					

Položaj zgloba				Levo		Desno	
Dodatna razmatranja +1 ako je zgloba udaljen od srednje linije							

Uvijanje zgloba		Levo		Desno	
1. Upravnost u položaju za rukovanje (srednji opseg okretanja) 2. Izvanost od položaja rukovanja (na ili blizu krajnjeg opsega uvijanja)					

Položaj vrata				Levo		Desno	
Dodatna razmatranja +1 ako se uvija +1 ako je bočno savijen							

Položaj leđa				Levo		Desno	
Dodatna razmatranja +1 uvijen +1 bočno savijen							

Položaj nogu		Levo		Desno	
1. Dobro podizanje i ravnomerno izbalansiran 2. Nije dobro podizanje i ravnomerno izbalansiran					

Ocene: težina tela: položaj tela statičan više od 1 min [+1]
 - repetitivni rad (radnja se ponavlja više od 4 puta/minut) [+1]

Oцена opterećenja tela	Opis
0	Bez opterećenja tela; Težina < 2,4 kg ili sila - povremeno
1	Težina od 2 do 10 kg ili sila 20 do 100 N - sa prekidima
2	Težina od 2 do 10 kg ili sila 20 do 100 N - statički Težina > 10 kg ili sila - povremeno
3	Težina > 10 kg ili sila (100 N) - statički Težina > 10 kg ili sila (100 N) - ponavljaju se Prevelika težina ili sila (> 100 N)

L	D
0	0
Ocena A	

L	D
Rad mišića	

L	D
Snaga	

L	D
0	0
Ocena C	

Beleška

L	D
RULA ocena	

L	D
Ocena B	

L	D
Rad mišića	

L	D
Sila	

L	D
Ocena D	

Rizik	Opis
1-2	Nema ergonomskog položaja tela prihvatljiv; preoblikovanje radnog mesta nije potrebno
3-4	Nizak ergonomski položaj tela; istražiti detaljnije; preoblikovanje radnog mesta možda potrebno
5-6	Srednji ergonomski položaj tela; istražiti detaljnije; preoblikovanje radnog mesta potrebno u doglednom vremenu
6+	Visok ergonomski položaj tela; istražiti detaljnije; preoblikovanje radnog mesta potrebno odmah

3

Ocena B

+

1

Rad mišića

+

1

Sila

=

5

Ocena D

Slika 13. Seergo RULA kalkulator

4. RAZVOJ ODEĆE SPECIJALNE NAMENE

U ovom poglavlju predstavljena je metoda korišćena prilikom razvoja proizvoda, analizirano je slično rešenje i razmatran je aspekt eksploatacije tokom životnog ciklusa finalnog proizvoda.

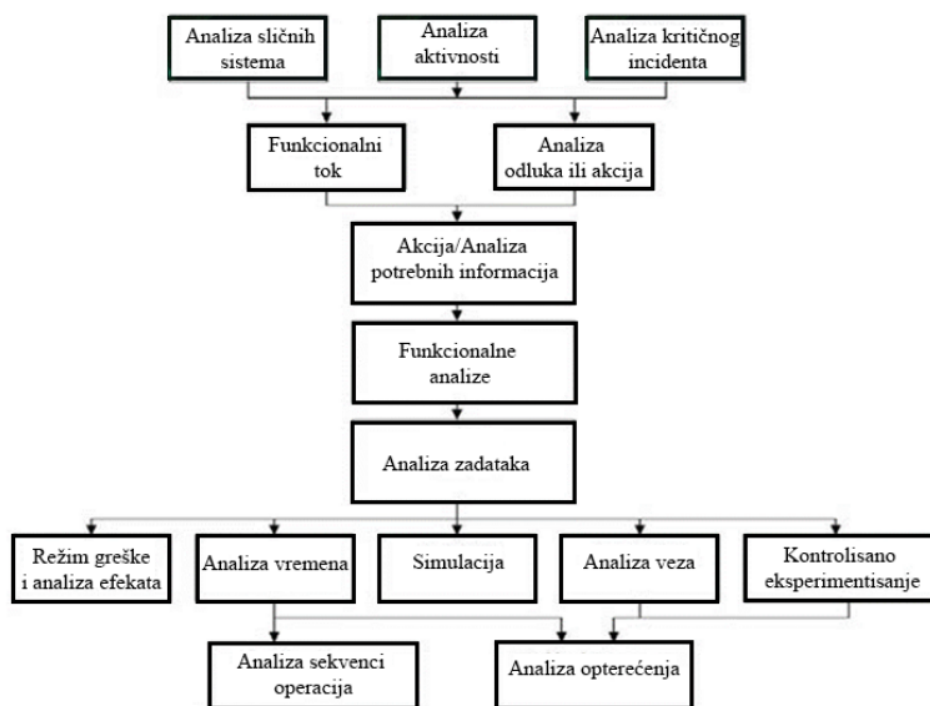
4.1. EVALUACIJA PODATAKA ODABRANE METODE

Kako ergonomija kao disciplina proučava specifičnu ili sveobuhvatnu interakciju ljudi sa njihovim neposrednim okruženjem u privatnim i profesionalnim aktivnostima, proizilazi da metodologija razvoja namenskih proizvoda zahteva razmatranje adekvatnih postupaka evaluacije podataka. Razumno je da inženjeri ergonomije učestvuju u projektima razvoja namenski adekvatnih i ergonomski prilagođenih rešenja, pri čemu moraju analizirati šire aspekte koji utiču na finalnu aplikaciju. Takve analize se mogu odnositi na adaptaciju već postojećih alata, radnih procedura i okruženja ili kreiranju izvorno novih. U skladu sa svim principima smanjivanja ergonomske rizika inženjeri planiraju metode izvođenja aktivnosti i alate za obavljanje zadataka, odeću, zaštitnu opremu, upravljačke interfejsne mašina, raspored radnih mesta, stanice za inspekciju, interfejsne za kontrolu procesa, sisteme za rukovanje materijalom, adaptacije alata, raspored alata i repromaterijala kao i okruženja za hendikepirano osoblje.

Pored zadovoljenja ergonomske zahteva moraju voditi računa o životnom ciklusu rešenja u tom smislu analizira se izvođenje i redovan nadzor programa obuke, kreiraju se upitnici, obavljaju intervjui, koriste se sistemi za predviđanje ljudskog učinaka, konsultuju se pravilnici bezbednosti i zdravlja na radu, regulišu se način za rešavanje pritužbi, definišu se znakovi upozorenja, programi za smanjenje uticaja nepoželjnih okruženja, komunikacioni sistemi, sistemi za praćenje grešaka, pomoćni poslovi, programi administracije, timovi kadrovske službe i programi za odabir i raspoređivanje kadrova, uslovi za tehničko održavanje opreme i sistema. Dok ovo nije

kompletna lista, daje dobru predstavu o obimu analize projekta za uvođenje ergonomskeg rešenja u industrijsko okruženje.

Dijagram toka analiza koji prikazuje neke od aktivnosti koje se obavljaju tokom dizajna ergonomskeg proizvoda ili okruženja prikazan je na slici 14. Aktivnosti u ovom dijagramu toka su ponekad paralelni, a ponekad sekvencijalni. Sekvencijalna relacija znači da aktivnost zavisi od rezultata prethodne. Paralelne aktivnosti se mogu izvoditi u isto vreme. Određene aktivnosti imaju poreklo koje seže skoro jedan vek unazad dok su druge su mnogo savremenije [78].



Slika 14. Chapanisov dijagram toka analize razvoja odeće specijalne namene

Aktivnosti koje se mogu izvoditi istovremeno na početku procesa razvoja su: analiza sličnih sistema, analiza aktivnosti i studija kritičnih incidenata. Analiza sličnih sistema uspostavlja pozadinu za poboljšanje gde je to moguće, a može uključivati dobijanje

1. Opisi operacija i poteškoća u vezi sa njima.
2. Istorijske perspektive starog proizvoda i njegovih konkurenata sa ergonomske tačke gledišta.
3. Procedure u održavanju proizvoda ili industrijskih operacija i specifični problemi u održavanju.
4. Zahtevi za posebne veštine.
5. Broj osoblja potrebnog za rad sa opremom.
6. Zahtevi obuke.

Osnovna svrha ove analize je da sakupi potpunu pozadinu njegove istorije od koje može da se krene sa daljim radom.

Druge dve aktivnosti koje se obavljaju na samom početku su izrazito različite ali komplementarne. Analiza aktivnosti ili uzorkovanje uključuje utvrđivanje šta obavljaju zadaci i koliko se vremena troši na svaki zadatak. Sa ovim informacijama, ergonomski inženjeri mogu poboljšati pristup i procese za olakšavanje zadataka koji se češće obavljaju u nekim slučajevima na primer na račun aktivnosti koje se retko javljaju. Rezultati uzorkovanja aktivnosti mogu pomoći da se verifikuju potrebe za specifičnim stručnim zahtevima, u smislu koliko je ljudi potrebno sa određenim veštinama za obavljanje posla. Takvi podaci mogu se takođe koristiti u nekim slučajevima i za procenu opterećenja operatera i nivoa stresa. Brojne druge procene mogu se napraviti tokom analize aktivnosti.

Studija ili analiza kritičnih incidenata je još jedna aktivnost koja se često izvodi na početku procesa razvoja. U jednoj od prvih primena ovog pristupa koja datira iz kasnih 1940-ih godina od pilota aviona je traženo da opišu rizične situacije koje su zamalo rezultirale nesrećom. Rezultati ovog istraživanja doveli su do brojnih modifikacija dizajna pilotske kabine aviona. Generalno, analiza incidenata podrazumeva intervjuisanje ljudi koji su radili sa postojećim sistemima ili proizvodima da bi se otkrili problemi sa održavanjem, poteškoće u radu i druge okolnosti koje bi mogle ili možda neće morati da se popravljaju u dizajnu novog proizvoda. Studije kritičnih incidenata otkrivaju važnost robusnih proizvoda i procesa, tj. onih na čije performanse i vrednosti ne utiču štetno

varijacije u načinu korišćenja ili okruženje izvan očekivanog opsega vrednosti. Takvi proizvodi su otporni na razumne varijacije.

Studija funkcionalnog toka i analiza odluka/akcija su sledeći koraci prikazani u dijagramu Slika 14. Studija funkcionalnog toka sastoji se od razbijanja operacija na komponente radnji i identifikovanje jedne ili više sekvenci radnji koje moraju da se izvrše kako bi se proizvod pravilno radio. Identifikovanje potrebnih aktivnosti i odnosa njihovih prioriteta je deo ove procedure.

Analiza odluka ili akcija je komplementarna procedura koja dokumentuje redosled odluke i radnje potrebne za potpunu primenu proizvoda. Chapanis predstavlja dole navedene korake za automatsku bankomat:

- a. Pokreni transakciju.
- b. Zatražiti identifikaciju korisnika.
- c. Obezbediti verifikaciju korisnika.
- d. Potvrdi identitet korisnika.
- e. Obezbedi meni transakcija.
- f. Izaberite transakciju iz menija.
- g. Navedite iznos sredstava za transakciju.
- h. Proveri raspoloživost sredstava.

Aktivnosti opisane u ovoj fazi su bez identifikacije kako se donose odluke ili ko ili šta radi. Neki od detalja koji nedostaju su dati u naredne dve analize. Analiza zahteva za radnjom/informacijama pruža detaljniji prikaz koje informacije su potrebne za donošenje potrebnih odluka i izvršenje potrebne radnje. Poseban fokus je stavljen na dokumentovanje koje informacije su potrebne da bi se znalo koje mere treba preduzeti. Za određivanje važan je i način na koji će informacije biti pružene, u primeru bankomata, procedura potrebna za pokretanje transakcije mora biti očigledna i jednostavna ili će morati da se obezbedi dodatni način informisanja korisnika. Zahtevi za identifikaciju korisnika moraju da budu razumljivi, kao i za svaki od preostalih koraka. Ako korisnik nesigurno odreaguje nakon upita i pošalje neodgovarajući upit, posebno je važno da se bankomat ne zaključava automatski zajedno sa korisnikovim platnom karticom.

Alokacija funkcija je sledeća faza u Chapanisovom pogledu na dizajn proizvoda. A funkcija se, iz ove perspektive, odnosi na operaciju ili aktivnost koju može izvoditi osoba ili mašina. Cilj u ovoj fazi je da se utvrdi ko ili šta obavlja svaku funkciju. Neki ljudi ove alokacije nazivaju i studijama kompromisa jer se kompromisi prave prilikom alokacije funkcija, mašina će verovatno nadmašiti ljude po nekim kriterijumima dok su ljudi bolji u drugim. Kako god da se alokacija izvrši, vodeći princip je favorizovanje boljeg učinka u odnosu prema manje važnim kriterijumima za bolji učinak na važnijim kriterijumima. Svaka funkcija koja nije dodeljena proizvodu ima odgovarajući skup zadataka koje će obavljati ljudi. Ergonomski inženjeri moraju obratiti pažnju da se ovi zadaci moraju tako planirati da ljudi imaju potrebnu snagu, znanje, informacije ili zaštitu da ih mogu bezbedno izvršavati.

Analiza zadatka je važna komponenta procesa ergonomskog dizajna i mora biti izvršena kako bi se osiguralo da je prethodni cilj postignut. Analiza zadataka obuhvata dokumentovanje samog zadataka i sekvenci zadataka, vremenskih zahteva, informacijskih zahteva, kao i veština, znanja i sposobnosti potrebnih za obavljanje zadataka. Obuka i druga sredstva za povećanje performansi će često biti navedena kako bi se osiguralo da zadaci odgovaraju sposobnostima ljudi koji će ih obavljati. Tokom analize zadatka, takođe mogu biti neophodne različite aktivnosti da bi se utvrdilo koliko će dobro zadaci biti izvršeni u očekivanim uslovima okruženja. Slika 1.1 prikazuje pet istovremenih aktivnosti ovog tipa.

Analiza režima i efekata greške je prva od ovih pet aktivnosti. U ovom pristupu, efekti kvarova komponenti (kao što su kvarovi guma na automobilu) se sistematski procenjuju. Fokus je stavljen na identifikaciju i otklanjanje grešaka koje imaju teške posledice ili veliku verovatnoću da će se pojaviti.

Druga aktivnost, analiza vremena, korisna je za identifikaciju preklapanja između vremena izvođenja zadataka koje može ometati performanse ili dovesti do preteranog opterećenja. Ovaj pristup uključuje planiranje zadataka tokom vremena, počevši od pokretanja događaja i nastavlja se do završetka događaja za određenu aktivnost. Task-time-line analiza je proizašla iz procedura projektovanja i proizvodnje aviona, gde su procedure više vezane za događaje u sistemu nego u veći drugih industrijskih procesa, ali su inače veoma slične.

Analizu veza, treću istovremenu aktivnost, proslavio je Chapanis u ranim danima izučavanja ljudskih faktora. Analiza veza se fokusira na identifikaciji veza (i njihovu snagu) između ljudi i drugih komponenti sistema. Snaga veze se određuje utvrđivanjem koliko često ljudi koriste ili su na drugi način u kontaktu sa predmetima u njihovom okruženju (kao što su komponente automobilskeg interijera. Takvi podaci mogu da odrede raspored sistema. Komponente sa jakim vezama treba da budu postavljene bliže jedna drugoj, ako je moguće.

Osmišljeni su brojni oblici četvrte aktivnosti, simulacije. To može biti digitalna računarska simulacija i simulacije operatera u realnim uslovima su prikladne za dizajn proizvoda.

Peta aktivnost, kontrolisano eksperimentisanje, posebno je važna u ergonomiji. Kao što naziv govori, ova aktivnost uključuje ispitivanje prirode podataka pod kontrolisanim uslovima kako se drugi uticaji ne bi mešali. Korišćenje kontrolisanih eksperimenata pruža način direktnog uticaja na poboljšanje kvaliteta obezbeđujući upotrebljivost proizvoda tokom postupka. Tokom obavljanja ove aktivnosti u procesu razvoja, moguće je iskoristiti priliku da brzo prototipuju nove verzije proizvoda za procenu njihovih ergonomskeg performansi. Što je brža izrada prototipa, to brži eventualni zaokret u dizajnu.

Analiza sekvenci operacija i procena radnog opterećenja su poslednja dva elementa Chapanisove perspektive. Ovde je fokus na onome šta se dešava posle proizvodnje i stavljanja u upotrebu. Važno napomenuti da kada proizvod je složen, obuka je očigledno deo eksploatacije. kod manje složenih proizvoda, kao što je na primer računarski softver, instrukcije za korišćenje i tehnička dokumentacija mogu biti ugrađeni u sam dizajn proizvoda. U tim situacijama je često najbolje obaviti kratku demonstracionu fazu pre ili tokom procesa početka upotrebe. Jedna strategija je omogućiti korisnicima da se igraju sa proizvodom i sami otkriju njegove brojne karakteristike. U takvom slučaju, uputstva za upotrebu obično su opisani interaktivno. Međutim, ne mogu svi proizvodi da se oslone na korisnika da samostalno i bezbedno rukuje proizvodom bez odgovarajućih uputstava. Neki od ovih pristupa mogu se primeniti pre stavljanja proizvoda u primenu, iz analize načina rada i efekata. Međutim, dobijanje povratnih informacija iz anketa od krajnjeg korisnika, terenskih studija i drugih izvora često je najoptimalnija opcija.

Analiza radnog opterećenja je još jedno važno pitanje, ali je najmanje jasno razvijeni deo Chapanis šeme. Radna opterećenja variraju među sličnim proizvodima (na primer, slučaj ručnih ili električnih alata), i ova karakteristika utiče na njihovu dugoročnu upotrebljivost. Dok ovaj aspekt dizajna proizvoda nije dobio onoliko pažnje koliko bi mogao da zaslužuje, verovatno će se razviti i pojaviti u praksi ergonomije u budućnosti [78].

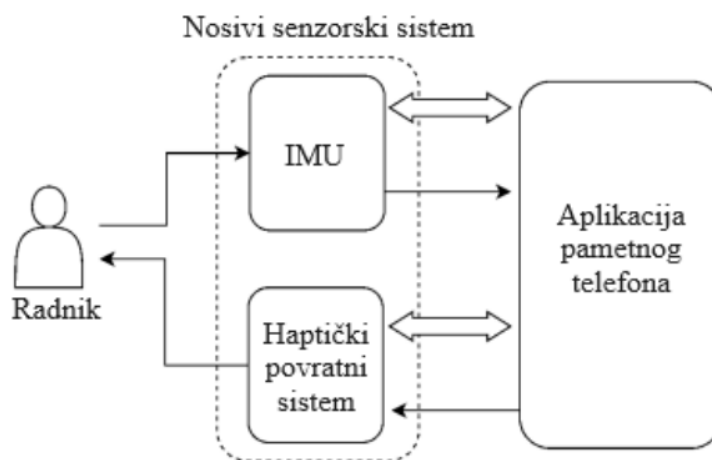
4.2. ADAPTACIJA METODE NA STUDIJU SLUČAJA

Prilikom planiranja i razvoja odevnog predmeta specijalne namene oslanjalo se na analizu opisanu u prethodnom poglavlju i Chapanisov metod izučavanja ljudskih faktora u odnosu interakcije čovek-mašina.

Osnovna ideja razvoja je bila da se konstruiše gornji odevni predmet u formi majice koji će biti u funkciji detekcije specifičnih položaja gornjeg dela tela koji mogu dovesti do kritičnih uslova za nastanak ergonomske rizika kod procesnih radnika u industriji. Detekcija neadekvatnih položaja mora da se odvija u realnom vremenu i da adekvatno signalizira negativne uslove kako samom operatoru tako i stručnom evaluatoru stanja. Proizvod ne sme ometati radnika prilikom obavljanja redovnih radnih zadataka, treba da bude jednostavan za upotrebu i održavanje. Sa ovim smernicama na umu krenulo se u razvoj proizvoda koji bi bio u formi standardnog gornjeg odevnog u formi majice sa kratkim rukavima, pretpostavka je da se time eliminiše period privikavanja na novu opremu jer se radi o odevnom predmetu koji je u svakodnevnoj upotrebi kod najšire populacije. Prilikom razmatranja razvoja tipa i karakteristika senzora za detekciju nepravilnih položaja tela analizirala se njegova adaptacija prema konkretnim metodama za procenu uslova nastanka ergonomske rizika. Kao najprilagodnije rešenje ovim preduslovima odabran je razvoj senzora detekcije istezanja površine. Analiza je takođe obuhvatila i platformu za procesuiranje signala dobijenih od samog senzora, razmatrane su karakteristike funkcionalnosti, adaptacije i održivosti sistema uređaja.

4.2.1 Analiza sličnih rešenja

Analiza sličnih sistema obuhvatila je istraživanje nameski i tipski podudarnih postojećih rešenja. Mnoga istraživanja i projekti su se bavili istim izazovom sa sličnim ili drugačijim pristupom u traženju optimalnog rezultata. Najbliži pristup je prepoznat u istraživačkom projektu izrade prototipa nosivog senzorskog sistema za fizičku ergonomiju sa sistemom intervencije korišćenjem haptičke povratne informacije objavljenog u radu Carl Mikael Lind i dr. KTH Royal Institute of Technology, odsek za Ergonomiju, Švedska [79]. Istraživači su takođe koristili radničku majicu kao osnovu za integraciju tehnološkog rešenja koje bi pratilo položaj gornjeg dela tela radnika, sa fokusom na ugao pozicije nadlaktice u odnosu na telo operatera. Tehnološko rešenje je zasnovano na inercijalnoj mernoj jedinici IMU koja nadzire promenu položaja žiroskopskih senzora pokreta i akcelometara. Nosivi senzorski sistem (Slika 15) je neinvazivan i mobilan, prati pokrete i položaje tela pomoću senzora kontrolisanih uz pomoć IMU-a pružajući povratnu informaciju korisniku korišćenjem vibracionog aktuatora (haptička povratna jedinica). Podaci snimljenih položaja i pokreta sa IMU-a se šalju na pametni telefon, za koji je posebno razvijena aplikacija koja čuva i automatski procenjuje ove informacije na osnovu ergonomske kriterijuma [75].



Slika 15. Konceptualni prikaz toka povratnih informacija nosivog sistema. Crne strelice označavaju tok podataka ili aktiviranja, dok bele strelice ilustruju tok bežične komunikacije sa aplikacijom pametnog telefona [79].

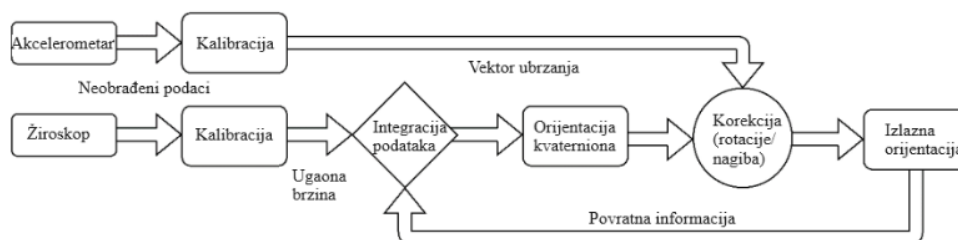
Na osnovu dobijenih podataka sa senzora, korisniku se obezbeđuje haptička povratna informacija u toku obavljanja zadatka (istovremena povratna informacija) ili nakon izvršenja zadatka (krajna povratna informacija), koristeći haptičku jedinicu povratne informacije. Prilikom primene za merenja i povratne informacije o položajima i pokretima trupa i nadlaktice IMU i senzori se stavljaju u ugrađene džepove rastegljive radne majice koja je izrađena od materijala pletenine sastava 58% poliamid i 42% poliester, mase 165 g/m majica je u formi kratkih rukava (slika 1). IMU džep na zadnjem delu nalazi se na gornjem delu leđa u nivou torakalnih pršljenova 1–2, [80]. a džepovi IMU na rukama su postavljeni obostrano na rukave u poziciji ispod insercije deltoidnog mišića ramena [81,82].



Slika 16. (a.) Sistem pametne radne odeće, (b.) postavljen na ljudsko telo sa dve IMU za snimanje radnih položaja nadlaktica i za obezbeđivanje haptičkog signala povratne informacije o dominantnoj ruci [79].

Inercijalna merna jedinica koja je korišćena u projektu je IMU (LPMS-B2 IMU, LP Research, Tokio, Japan; veličina uređaja je $39 \times 39 \times 8$ mm; masa, 12 g), uređaj meri ubrzanje i ugaonu brzinu u trodimenzionalnom lokalnom referentnom sistemu. Ovo omogućava da snimanje posturalnih i kinematičkih podataka koji se prenose na pametni telefon putem BLE-a komunikacionog standarda (Bluetooth verzija 4.1, Bluetooth Low Energy). 3-osni akcelometari su konfigurisani sa ukupnim opsegom od ± 4 G, a žiroskop sa 3 ose sa opsegom od $\pm 500^\circ/\text{s}$, oba snimljena sa 16-bitnom rezolucijom.

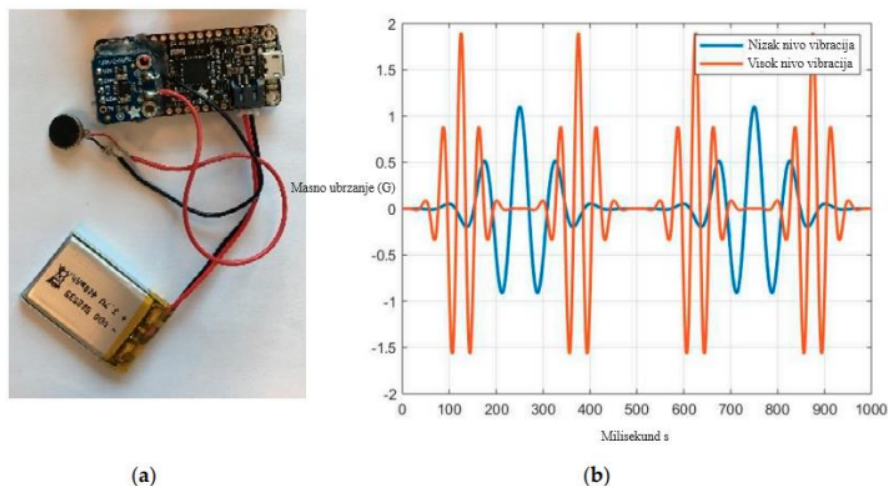
Podaci akcelerometra i žiroskopa dobijeni frekvencijom od 25 Hz, koriste se da uhvate položaj nadlaktice uz upotrebu opsežnog komplementarnog Kalmanovog filtera koji radi kao algoritam za fuziju senzora. Ovaj filter procenjuje stanje sistema i procenu varijansa, sa promenljivim stanjem definisanim kao orijentacioni kvaternion. Predstava kvaterniona se koristi da bi se izbegle ugaone singularnosti [83]. Procena koju vrši filter je kontinuirano ažurirana koristeći merenja akcelerometra i žiroskopa sa IMU-a, kao što je prikazano na slici 17. Prvo se prave procene varijabli stanja, sledeće merenje ažurira varijablu stanja, koristeći izmereni prosek gde odudarajuće mere imaju manju težinu za razmatranje. Ova fuzija senzora je implementirana u STM32 mikrokontroleru LPMS-B2 IMU kao deo IMUcore softverskih modula (LP Research, Tokio, Japan), omogućavajući korisnicima da dobiju kvaternion izlaz ugaone pozicije sa frekvencijom od 25 Hz. Nakon uspostavljanja veze izlaz kvaterniona, akcelerometar i žiroskop su neobrađeni podaci i kao takvi se kontinuirano prenose na pametni telefon radi procene performansi i haptičke povratne informacije u realnom vremenu pomoću predodređene aplikacije i dodatno se čuvaju za upotrebu nakon analize.



Slika 17. Pojednostavljeno prikazivanje filtera. Orijentacija je prvobitno određena integracijom ugaone brzine dobijne od žiroskopa nakon kalibracije. Orijentacija se zatim koriguje (rotacija i nagib) sa vektorom ubrzanja [79].

Upotrebljeni vibracioni aktuator (haptički povratna jedinica) je bio Ø12 mm ekscentrični rotirajući motor sa masnom vibracijom (Precision Microdrives, London, Ujedinjeno Kraljevstvo) (Slika 18.). Aktuator kontrolisan je Adafruit Feather 32u4 Bluefruit (Adafruit Industries, NI, USA), kompaktnom (51 × 23 × 8 mm) razvojnom pločom sa ATmega32u4 8 MHz procesorom, opremljenom sa BLE (Bluetooth verzija 4.1, Bluetooth Low Energy) modulom koji pokreće 3,7 V 500 mAh litijum-jonska polimer baterija. Kontrolu vrši prilagođeni upravljački softver programiran u C++ programskom jeziku.

Haptička povratna jedinica je radila kao periferni čvor, bez obrade podataka svojim programom za internu kontrolu. Kontrolni program je izvršio neophodne rutine za (a) uspostavljanje Bluetooth veze sa pametnim telefonom, kako bi se obrađivalo ili izveštavalo o statusu senzora i baterije prema zahtevu aplikacije prisutne u pametnom telefonu, i (b) izvrši aktiviranje vibracija da bi se prenela povratna informacija radniku. Kada je unapred određena elevacija pragova ugla nadlaktice prekoračena upravljački softver na pametnom telefonu zahteva aktiviranje haptičke povratne jedinice koja proizvodi dva različita nivoa intenziteta vibracija (Slika 18.) proizvedena modulacijom trajanja impulsa vibracija.



Slika 18. (a) Adafruit Feather 32u4 Bluefruit razvojna ploča povezana sa ekscentričnim rotirajućim motorom sa masnim vibracijama i napaja se iz baterije; (b) prikaz ubrzanja ekscentra obrtne mase vibracionog motora. Prvi nivo (plavo) se sastoji od dve oscilacije nižeg intenziteta, dok se drugi nivo (crveno) sastoji od četiri oscilacije većeg intenziteta, u trajanju od 1000 milisekundi. Korisnici su prvi nivo doživljavali kao manje intenzivan od drugog [79].

Evaluacija ovog rešenja nosive tehnologije je obavljena u sledećim okolnostima: šesnaest učesnika (devet žena i sedam muškaraca) regrutovano je od studenata i osoblja univerziteta na kome je studija sprovedena [79]. Dvanaest je prijavilo dominaciju desne ruke, a četiri su prijavila dominaciju leve ruke u redovnim aktivnostima. Njihova srednja starost bila je 25 (8) godina, telesna masa 70 (13) kg, rast 170 (13) cm, visina lakta 105

(8) cm, a dužina od lakta do vrha prsta 44 (4) cm. Svi učesnici imali su ≤ 3 meseca iskustva u sortiranju pošte i stoga su se smatrali početnicima. Izabrani su samo učesnici bez muskuloskeletne nelagodnosti ili zdravstvenih problema koji bi mogli da ometaju odabrani zadatak sortiranja pošte. Učesnici su bili opremljeni namenskom radnom majicom opremljenom sa dva IMU-a koji su postavljeni bilateralno u našivene džepove na rukavima u visini nadlaktice gde je bila gornja ivica IMU-a približno pozicionirana ispod insercije deltoideus mišića [81,82]. Haptička jedinica sa vibracionom povratnom informacijom i sa integrisanim Bluetooth predajnikom bila je postavljena približno 5cm udaljeno od IMU-a na dominantnoj ruci učesnika i pričvršćena pomoću elastične tekstilne trake (slika 18). Referentni položaj za nadlakticu (za označavanje 0° elevacije nadlaktice) je snimljen sa subjektom koji stoji uspravno, gleda napred prema predmetu rada koji se nalazi u visini očiju, sa opuštenim rukama i sa dlanovima okrenutim prema telu. Za haptičku povratnu informaciju korišćeni su samo posturalni podaci dobijeni od pozicije dominantne ruke kao i za procenu efekta samokorekcije učesnika. Istovremena haptička povratna informacija (Slika 19) je obezbeđena za uglove elevacije nadlaktice od $\geq 30^\circ$ i $\geq 60^\circ$ u odnosu na referentni položaj nadlaktice sa ciljem da se poveća svest o ovim graničnim vrednostima uglova elevacije nadlaktice. Pragovi ova dva ugla elevacije su indikovana učesnicima odgovarajućim signalima u formi dva nivoa vibracija podeljenih po nivou intenziteta. Obrazloženje za korišćenje ovih pragova vrednosti je bilo da uglovi elevacije nadlaktice koji prelaze 30° za $>50\%$ radnog vremena, 60° za $>10\%$ radnog vremena i uglovi elevacije nadlaktice preko 45° za $>15\%$ radnog vremena su povezani sa povećanim rizikom od nastanka obolenja povezanih sa radom u predelu vrata i ramena.

Procedura ispitivanja rešenja obavljena je tako što je proizvod testiran je na simuliranom poslu sortiranja pošiljki. Odluka se zasnivala na činjenici da je kod poštanskih radnika ustanovljena tendencija u povećanju registrovanih obolenja gornjih ekstremiteta u poređenju sa opštom radnom populacijom, a sortiranje pošte je prijavljeno kao jedan od njihovih fizički najzahtevnijih radnih zadataka koji uključuje česte pokrete nadlaktica. Simulirani zadatak sortiranja pošte izveden je u laboratorijskim uslovima gde je kreirana radna stanica za sortiranje pošte koja se sastoji od po visini podesivog stola i police sa odeljcima za poštanske pošiljke (slika 19).



Slika 19. Radnici prilikom sortiranja pošte [79].

Zadatak je obuhvatao sortiranje 30 nasumično poredanih pošiljki (označenih 0–9) u odgovarajućim ležište za pisma (označeno 0–9) pod dva eksperimentalna uslova: (A) stanje intervencije sa unapred određene pozicije police za pisma i gde su učesnici dobili verbalna ergonomska uputstva za smanjenje neželjenih položaja ili verbalna uputstva u kombinaciji sa haptičkim povratnim informacijama i (B) uslovom dizajna radne stanice gde su subjekti dobili instrukcije da sami prilagode položaj police za pošiljke kako bi minimizirali podizanje nadlaktice uz dobijena uputstava za ergonomiju. Svaki učesnik je izveo vežbu sesija pre studije da se upozna sa zadatkom sortiranja pošte, subjektivne ocene percipiranih nelagodnost/bol, koristeći opšte uputstvo za rad koji se zasnivao na prethodnim psihofizičkim studijama za određivanje prihvatljivog opterećenja [84]. Nisu data vremenska ograničenja za obavljanje zadataka, umesto toga subjekti su dobili uputstva da sami osmisle zadatak sortiranja pošte kao deo njihovog normalnog rutinskog posla tako da obavljaju zadatak tempom koji su mogli da izdrže dva sata u toku radnog dana, pet dana u nedelji i da zadatak nije bio kompeticija (opšte uputstvo za rad). Nakon uvežbavanja radne sesije učesnici su izveli redovnu radnu proceduru nakon čega je usledilo sedam sesija u kojima su sortirali 30 paketa u nasumično poredane odeljke police sa slovima, koristeći njihovu dominantnu nadlakticu. Pre osnovne sesije, ponovljeno je opšte uputstvo za rad, a za sledećih sedam nakon sesija, pored opšteg radnog uputstva ponovljene su im i osnovne instrukcije iz ergonomije. Prilikom instrukcija iz ergonomije učesnici su dobili uputstva da smanje uglove uzdignute nadlaktice držeći lakat blizu trupa kada vrše sortiranje pošte. Za tri sesije, učesnici su dobili istovremene povratne informacije. Pre ove tri sesije, učesnici su dodatno upućeni da im sistem daje vibraciju kao povratnu informaciju o nepovoljnom položaju njihove dominantne nadlaktice ako nisu držali lakat blizu tela. Za sesije projektovanja radne stanice, učesnici su dodatno upućeni da prilagode poziciju police za pošiljke kako bi se njihova visina nadlaktice bila

što je moguće niža. Odmah nakon sortiranja poslednje pošiljke iz svake sesije, učesnici su ocenili svoje viđenje nelagodnosti/bol, koristeći Borg CR10 skalu i mapu tela da ukažu na nelagodnost, intenzitet, nivo i lokacije bola. Da bi se izbegla akumulacija umora, između svake sesije je obezbeđen minimalni period odmora u trajanju od 3 minuta. Nakon perioda odmora od 3 minuta, učesnici su ponavljali ocenjivanje nivoa nelagodnosti i bola. U slučaju da su prijavili nivo nelagodnosti/intenziteta bola od „1“ na osnovu CR10 (tj. „veoma slab“ nelagodnost/bol) ili više, obezbeđen je dodatni period odmora od 2 min [84].

Za referentni položaj tela i interventne procedure, polica za pošiljke je postavljena na radni sto sa mogućnošću podešavanja visine koji je vertikalno podešen u visini lakta svakog učesnika (kada nosi cipele). Radni materijal na stolu je bio postavljen na horizontalnoj udaljenosti koja je jednaka dužini lakat-vrh prsta za svakog učesnika, definisana kao horizontalna udaljenost od zadnjeg dela lakta do vrha srednjeg prsta [84]. Za tri sesije dizajn radne stanice je definisan tako što je sto podesiv po visini spušten u položaj postavljen između kolena i struka učesnika i polica za odlaganje pošiljki je postavljena na zasebn radni sto. Nakon toga, učesnici su dobili instrukcije da slobodno prilagode radnu stanicu (polica i sto podesiv po visini) kako bi se minimizirali zahtevni radni položaji. Zatim su učesnici razvrstali 30 pošiljki u ovoj samostalno dizajniranoj radnoj stanici. Za sve radne zadatke snimljen je i video zapis radi kasnije analize obavljenih procedura. Nakon završetka eksperimentalnih radnji, obavljen je i snimljen polustrukturirani intervju sa svakim učesnikom. Pitanja su se fokusirala na iskustva učesnika o nelagodnosti/bolu, sistemu radne odeće i njenoj upotrebljivosti, zadatku, organizovanosti radnog mesta i zapažanjima tokom rada. Snimljeni intervjui su analizirani izdvajanjem značajnih zapažanja kod svakog učesnika i pitanja.

Da bi se statistički testirao efekat vibrotaktilne povratne informacije i verbalne korektivne instrukcije na ugao elevacije nadlaktice u poređenju sa zadatim parametrima ergonometrije, odabrana je analiza subjekta sa poređenjima u paru. Efekat intervencije je testiran poređenjem proporcije akumuliranog vremena u dominantnim visinama nadlaktice $\geq 30^\circ$, $\geq 45^\circ$, i $\geq 60^\circ$ i uglovima kraka (50., 90., 95. i 99. percentili). Podaci su provereni i kvalifikovani po simetričnoj distribuciji, a Wilcoxon dodeljeni rang test je primenjen za statističko testiranje razlike u izloženosti između testiranih scenarija. P-vrednost $< 0,01$ je

korišćena za označavanje statistički značajne razlike, a statističke analize su obavljene u IBM SPSS Statistics 26 (Armonk, Njujork, SAD).

Ovo rešenje pokazuje da upotreba haptičko povratne informacije za obuku tehnike rada kod operatera ima potencijal da značajno smanji vreme u nepovoljnim ergonomskim položajima nadlaktice nakon kratkih perioda treninga i upotrebe. Sistem može povećati svest o uticajnim uslovima koji podstiču nepovoljne položaje nadlaktice prilikom rada. Haptička povratna informacija je pozitivno i korisno ocenjena od strane korisnika i ova vrsta povratne informacije je bila efikasna u podršci kod usvajanja pozitivnih navika kako da poboljšaju položaje i pokrete svoga tela prilikom radnih procedura. Povratne informacije su takođe učinile korisnike svesnim važnosti različitih poboljšanja dizajna radnih mesta i pomogle su im da dizajniraju i preurede radno okruženje. Sistem je unapredio tehniku rada, kvalitet rada i sam dizajn radnog mesta po relativno niskoj ceni sa većom efektivnošću u poređenju sa alternativnim metodama. Sistem je fleksibilan i modularan i stoga se može prilagoditi nizu izloženosti u vezi sa radom i sektorima radnog okruženja kao i u istraživanju iz ove oblasti [79].

Predstavljenom analizom odabranog sličnog rešenja koje se fokusiralo na ugao nadlaktice tokom rada, došlo se do pretpostavke da bi se na izazove prevencije nastanaka uslova za razvoj ergonomske rizika u gornjem delu tela moglo odgovoriti sličnim sistemom koji bi se fokusirao na pozicije trupa u odnosu na uspravnu osu tela korisnika. Za ovu namenu potrebno je razviti specifičan sistem senzora koji bi bio prilagodjen da prati promenu nagiba trupa, kao i promenu kod eventualnih deformacija pravilnog držanja leđa prilikom izvođenja fizičkih aktivnosti. Senzor treba da detektuje promenu nagiba trupa i slučajeve kada dolazi do zakrivljenja kičmenog stuba i ramena ka predmetu rada. Pozicije tela koje se prate i njihovi podaci trebaju da budu usaglašeni sa nekom od ustanovljenih ergonomske metoda procene rizika radi bolje analize i verifikacije dobijenih rezultata.

4.2.1. Adaptacija na studiju slučaja

Analiza aktivnosti razvoja i analiza kritičnih incidenata su se fokusirale na krajnjeg korisnika i na izazove koji su njemu relevantni kada se radi o prevenciji ergonomske rizika i doprinosa boljoj bezbednosti radnika na radnom mestu. Tokom planiranja razvoja identifikovani su tehnološki procesi koji su međusobno vremenski zavisni kako bi se

proces izrade maksimalno ispoštovao i optimizovao. Razmatrana su prethodna iskustva radnika, njihove primedbe i sugestije vezane za ergonomske uslove radnih okruženja na kojima su stekli adekvatno iskustvo. Prema Alfonzu Čapanisu [78] i njegovom modelu ljudsko-mašinskih sistema, analiza aktivnosti je ključan korak prilikom kreiranja nosivih tehnoloških proizvoda za procenu ergonomske sigurnosti. Analiza aktivnosti podrazumeva detaljno ispitivanje konkretnih zadataka, ponašanja i interakcija pojedinaca u kontekstu njihovog rada ili aktivnosti. Sprovođenjem temeljne analize aktivnosti na osnovu ovog modela, može se steći dublje razumevanje interakcije između ljudi i opreme, kao i ergonomske razmatranja specifičnih za rešenja radne nosive tehnologije za procenu ergonomske bezbednosti. U slučaju nosive tehnologije dizajnirane za procenu ergonomske bezbednosti, evo kako analiza aktivnosti odgovara Čapanisovom modelu:

1. Ljudi (P):

- Ciljna grupa korisnika koja je razmatrana su procesni radnici koji se uglavnom nalaze u stojećem ili sedećem stavu prilikom svakodnevnih radnih aktivnosti.
- Rešenje sistema nosive tehnologije treba da bude prilagođen široj radnoj populaciji i ne bi trebalo da ima ograničenja u pogledu pola, životnog doba ili uskustvu krajnjeg korisnika.
- Sistem nosive tehnologije za procenu ergonomske rizika je ograničen na grupe radnika koji u svom poslu obavljaju repetitivne i denticne radnje tokom radnog vremena tako da bi snimljeni podaci bili relevantni za odabrane metodologije analiza.

2. Mašine (T):

- Rešenje nosive tehnologije se sastoji od radne majice izrašene od elastičnog materijala na čijem leđnom delu je integrisan senzor elastičnosti koji radi na principu detekcije promene u elektro naponu malih jednosmernih struja koji je bezbedan po radnika. Obrada podataka očitanih sa senzora se vrši pomoću mikrokontrolera ugrađenog u sam sistem, povratne informacije o predjenim pragovima ergonomske rizika pružaju se hapički pomoću vibracionog motora i putem LED svetlosnog signala.

- Raspberry pi pico obavlja funkciju mikrokontrolera, programiran je pomoću MicroPython programskog jezika da očitava stanje na senzoru i da pruža adekvatne povratne informacije putem izlaznih komponenti vibromotora i LED diode, sistem se napaja sa 110mAh 3.7V litijum polimerskom baterijom integrisanom u kućište mikrokontrolera. Sam senzor je baziran na elastičnom i elektroprovodivom materijalu koji je proizveden na bazi tekstilne boje i kao takav se u procesu štampe nanosi na odevni predmet.
- Mikrokontroler i njegove komponente pozicioniran je namenskom džepu na bočnoj ivici dužine majice, spojevi senzora i mikrokontrolera su odštampani na samom odevnom predmetu dok je sam senzor pozicioniran na leđnom delu odevnog predmeta i oblikovan je tako da detektuje deformacije u dimenzijama površine tog krojnog dela majice.

3. Zadaci (Tasks):

- Osnovni zadatak ovakvog rešenja nosive tehnologije je da nadgleda poziciju gornjeg dela tela iz ugla ergonomske zaštite i da pravovremeno obavesti korisnika i evaluatora o pozicijama kada su bezbednosni pragovi prekoračeni. Oprema ne sme ometati radnika pri obavljanju standardnih radnih zadataka i procedura.
- Tretiraju se ergonomske rizici povezani sa nastankom obolenja/stanja u predelu leđa, vrata i ramena koji najčešće nastaju prilikom dugotrajnih vremenskih intervala provedenih u nepravilnom položaju prilikom obavljanja radnih zadataka.
- Sistem ima za zadatak da prikupi pragove vrednosti prekoračenja u poziciji tela ili dela tela u zonama rizika određenih odabranim metodama za analizu ergonomske rizika [75].
- Korisnik je u stalnom, neposrednom kontaktu sa majicom koja bazi deo ovog rešenja nosive tehnologije i kao takva aktivno učestvuje u procesu očitavanja podataka sistema. Majica mora biti prilagođena tako da je radnik može udobno nositi tokom dužeg vremenskog roka u toku radnog vremena, ona ne sme ometati radnika pri obavljanju zadataka i mora biti jednostavna za korišćenje.

4. Okolina (E):

- Fizičko radno okruženje za koje je upotreba rešenja namenjena se uglavnom odnosi na procesne i proizvodne pogone, ali primena se može proširiti i van ovih okvira.
- Radni prostor za koji je rešenje namenjeno treba da poseduje adekvatne uslove za obavljanje radnih zadataka koji neće uticati negativno na ispravnost funkcionisanja sistema. Radni prostor treba da bude adekvatno osvetljen, pruži dovoljno mesta za slobodno kretanje radnika prilikom izvršavanja radnih zadataka, radnik ne sme biti fizički naslonjen na opremu tako da ona ometa rad senzora i oprema ne sme biti faktor koji nepopravljivo utiče na poziciju tela korisnika.
- Faktori okruženja koji mogu negativno uticati na pravilnu ergonomsku aplikabilnost sistema je neadekvatna temperatura, zagušljiv prostor, prašina i vlaga.

5. Organizacija (O):

- Rešenje treba da bude u skladu sa načelima politike, propisa i protokola sigurnosti organizacije koji se odnose na ergonomiju.
- Upotreba nosive tehnologije koja se bavi zaštitom radnika odgovara aktuelnim inicijativama organizacija u vezi sa zdravljem i sigurnošću.
- Rešenje treba da bude tako dizajnirano da budući korisnici u okviru neke organizacije i njenih normi i uslova unutrašnje poslovne politike mogu biti brzo i efikasno obučeni za korišćenje.

6. Povratne informacije (F):

- Povratna informacija korisniku, kako je prethodno objašnjeno se izvodi putem biomehaničke sprege, kada je prag određene vrednosti prekoračen korisnik dobija jasan vibracioni i svetlosni signal o tome.
- Signali povratne informacije i njihovo značenje trebaju biti jasni korisniku koji je prethodno prošao adekvatan trening gde mu je pojašnjena namena i svrha sistema.
- Povratna informacija treba da bude jasna i trenutna kako bi korisnik pravovremeno i kontinuirano vršio ispravne korekcije radnog položaja tela.

7. Kontrola (C):

- Radna majica na kojoj se sistem procene integrisan mora biti pravilno obučena i nošena, što prvenstveno podrazumeva odabir odgovarajuće veličine odevnog predmeta prema stasu radnika, zatim treba voditi računa da je majica predvišena da se nosi preko donjeg odevnog premeta i ne sme biti upasana u njega. Nakon oblačenja majice koja je napravljena od fleksibilnog materijala i trebalo bi sama po sebi da isprati liniju tela treba obratiti pažnju da li je došlo do faltanja ili gužvanja odebnog predmeta posebno na lešnom delu. Nakon oblačenja radnik pritiska dugme za startovanje programa nadzora koje se nalazi na kućištu mikrokontolera.
- Samo rešenje poseduje opciju za povećavanje ili smanjivanje pragova vrednosti, tj. njihovog detektovanja i signaliziranja kojom se upravlja putem dva dugmeta adekvatno oznacena i postavljena na kućištu mikrokontolera.
- Manuelnim prilagođavanjem pragova vrednosti signalizacije radnik ili evaluator može prilagoditi sam sistem trenutnim uslovima ili zahtevima konkretnog posla.

8. Performanse (P):

- Potvrda metričkih performansi sistema se obavlja sa unakrsnom evaluacijom kroz odabrane metode procene, kao i sa direktnim razgovorom sa korisnicima u cilju saznanja o eventualnim promenama u njihovim iskustvima pre i nakon korišćenja opreme.
- Dobijeni rezultati ovih korišćenja trebaju da pokažu poboljšanje kroz metričke podatke ergonomske metode procena, ali u isto vreme trebaju da ostvare dobrobit i kod samog korisnika koja se manifestuje kroz smanjenje sveukupnog umora, manji broj povreda i odsustva sa posla, kao i povećanja efikasnosti.
- Baterija koja napaja sistem treba da je u stanju da neprekidno obavlja svoj zadatak minimalno 8h i da bude pristupačna za dodatno napajanje. Adekvatno održavanje se odnosi na higijensko pranje i oprema mora biti prilagođena tome. Delovi opreme koji su osetljivi na vlagu moraju biti u mogućnosti da se odvoje od sistema tokom održavanja, dok ostatak komponenti mora biti otporan na definisane uslove procesa održavanja. Ovde se razmatra senzor koji je utisnut u pleteninu koja je

korišćena za izradu majice, polimer na kome se senzor bazira je vodoodbojan i kao takav otporan je na višestruke cikluse pranja na 40°C.

5. APLIKACIONI INŽENJERING

U ovom poglavlju su predstavljen razvoj i primenu elemenata sistema nosive tehnologije u skladu sa definisanom razvojnom metodologijom.

5.1. Razvoj senzora

Nadovezujući se na predhodno poglavlje i analizu sličnih rešenja elektroprovodivi elastični senzor istezanja koji se koristi za detekciju promena u položaju leđa nosioca je bio inovativni pristup u ovom razvojnom istraživanju koje ima zadatak da konstruiše senzor sa mogućnošću detekcije promene položaja i oblika gornjeg dela tela korisnika rešenja. Ovaj senzor integrisan je u majicu i nosiocima omogućava da poboljšaju svoje držanje tela i prevenciju problema sa leđima (Slika 20). Elektroprovodivi elastični senzor funkcioniše detektujući promene u električnom otporu na površini materijala na kojem je postavljen. Kada je implementiran na leđima majice, ovaj senzor je sposoban da prati promene u električnom otporu koje se javljaju kada korisnik menja svoj položaj ili savija leđa. Ovo omogućava senzoru da detektuje promene u držanju tela i položaju leđa. Elektroprovodivi elastični senzor može biti programiran da postavi pragove vrednosti, što znači da će senzor reagovati samo kada promene u električnom otporu pređu određene vrednosti. Ovo čini senzor preciznim i prilagodljivim za različite potrebe korisnika.



Slika 20. Pozicija senzora na radnoj majici i detekcija devijacije položaja leđa

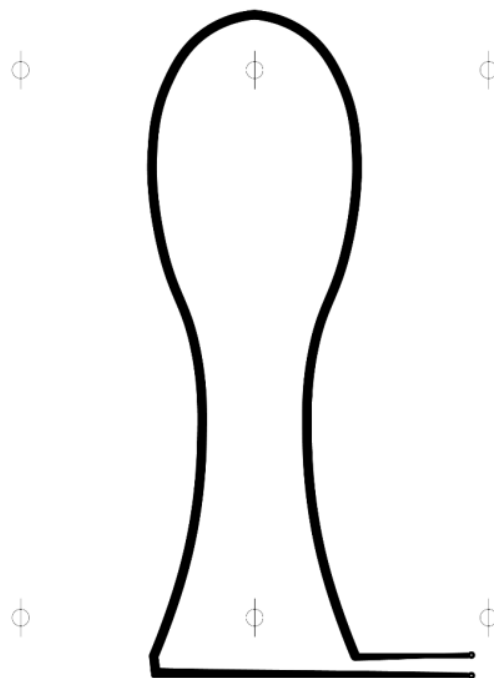
Kako je prethodno navedeno elektroprovodivi elastični senzor istezanja za praćenje držanja tela funkcioniše u kombinaciji sa mikrokontrolerom koji prati dobijene podatke. Senzor rastezanja je fleksibilan kondenzator koji može dati precizne informacije o deformaciji oblika. Ovo se izvodi povezivanjem promena kapacitivnosti sa geometrijom prema jednačini paralelne ploče:

- $C = \epsilon_0 \epsilon_r (A/d)$

gde je C kapacitivnost senzora, A je površina, d je debljina dielektričnog sloja, ϵ_0 je apsolutna permitivnost, a ϵ_r je relativna permitivnost dielektričnog sloja. Kapacitet senzora rastezanja je direktno proporcionalan površini paralelnih fleksibilnih elektroda i obrnuto je proporcionalan rastojanju između slojeva fleksibilnih elektroda. Istezanje senzora dovodi do promene i površine i debljine. Varijacije naprezanja senzora mogu se linearno konvertovati u varijacije kapacitivnosti, a zatim linearno konvertovati u izlazni napon; stoga se deformacija može izračunati naponom. Mikrokontroler je zasnovan na platformi RP2040 Raspberry Pi Pico i povezan je sa senzorom preko analognih ulaza gde mikrokontroler očitava njegov napon. Napaja ga 110mAh 3.7V litijum-polimerska baterija, ceo sistem je ugrađen u odeću u posebnom džepu na poziciji dužine odevnog predmeta sa bočne strane. Senzor je zasnovan na elektroprovodljivoj boji sa svojstvima rastezanja i pogodan je za primenu na fleksibilnim tekstilnim tkaninama i odevnim predmetima. Senzor (Slika 20.), koji deluje kao provodnik, nadgleda mikrokontroler da bi otkrio promene u električnom otporu merenom na senzoru. Mikrokontroler je programiran da otkrije svaku prekoračenu vrednost pragova i u skladu sa tim obavesti operatera. Obaveštenja se obezbeđuju pomoću vibracionih, zvučnih i LED svetlosnih signala u zavisnosti od trenutnih potreba i uslova. Promene električnog otpora generalno zavise od površine poprečnog preseka provodnika, svojstava provodnika, dužine provodnika i njegove otpornosti. Ovo svojstvo otpora koristimo za merenje promena u očitavanju vrednosti na mikrokontroleru u trenutku početka i tokom dužih perioda istezanja [1].

5.1.2. Kreiranje senzora i njegova adaptacija krajnjoj nameni

Izazov kod kreiranja ove komponente senzora (Slika 21.) je bio da on bude adekvatan svojoj nameni koja podrazumeva da je podložen istezanju, a da pri tome održi svoj integritet i funkcionalnost elektroprovodljivosti, da bude adekvatan integraciji sa odevnim predmetima uz minimalnu invazivnost u pogledu dizajna i upotrebljivosti. Takođe razmatrane su i tehnike aplikacije koje su planirane tako da budu prilagođene okviru standardnog načina industrijske proizvodnje odeće uz minimalne adaptacije tehnoloških procedura.



Slika 21. Oblik senzora oblikovanog da prati i detektuje devijacije leđa

Procedura izrade elektroprovodive boje sastoji se od izbora medijuma (baze) i adekvatnog elektroprovodnog materijala koji se mogu fizički spojiti u jednu komponentu. Kako je uslov da se taj materijal nanosi pomoću standardnih tehnika sitoštampe kao medijum odabrana je odgovarajuća standardna boja koja se koristi za štampanje na tekstilu, a da ima svojstva istezanja u tu boju je naknadno dodat provodni materijal u ovom slučaju visokougljenični grafit u ljuskama.

Grafit je dokazano testiran kao provodljiv materijal koji može poboljšati performanse električne provodljivosti materijala. Našao je svoju primenu u različitim aplikacijama gde je ovo svojstvo bilo potrebno, materijali iz porodice grafita kao što je grafen nastavljaju dalji razvoj u oblasti nanotehnologija gde su njegove osobine bitno unapređene. Standardni grafit se može podeliti u dve kategorije: prirodni i veštački. Prirodni grafit je mineral kao što je prikazano na slici 22, koji se nalazi u metamorfnim stenama i magmatskim stenama sa izuzetno mekim pločama i veoma malom specifičnom težinom. Veštački grafit daje različita svojstva materijala zbog različitih tipova prekursora i procesa formiranja. Najčešći oblik grafita koji se trenutno koristi je grafit u ljuskama, koji je pogodan za mnoge praktične primene i ima najveći tržišni udeo na svetu među različitim dostupnim oblicima grafita. Fotografije kristalne strukture praškastog grafitnog praha prikazane su na slici 22. Osnovna struktura grafita sastoji se od niza naslaganih paralelnih slojeva (tj., slojeva grafena), koji se sastoje od atoma ugljenika vezanih jakim kovalentnim vezama. Slabe veze (Van der Vals) takođe postoje između svakog sloja. D-razmak C6 prstena je 0,335 nm.



Slika 22. Grafit i njegovi oblici

Osnovna struktura grafita određuje njegovu anizotropiju. Metalno vezivanje u ravni obezbeđuje jaku električnu i toplotnu provodljivost unutar njegovih slojeva, dok slabe Van der Valsove sile među slojevima rezultiraju slabom električnom i toplotnom provodnošću okomito na njih [85]. Grafit je bezbedan materijal za ljudsku upotrebu, ne izaziva alergijske reakcije i ima dobre fizičke osobine u smislu strukturalne stabilnosti. Materijali na ovoj bazi predstavljaju budućnost nano tehnologija.

Prema fiksnom sadržaju ugljenika po masi, prirodni grafit se može podeliti u četiri kategorije: grafit visoke čistoće ($\geq 99,99\%$), visokougljениčni grafit ($94,00\%–99,00\%$),

srednji ugljeni grafit (80%–93%), i grafit sa niskim sadržajem ugljenika (50%–75%). Visokougljenični grafit je najpogodniji za upotrebu gde je akcenat na elektroprovodivosti.

Razmatranjem činjenica iz prethodno navedenih osobina materijala koje se odnose na elektroprovodivost, odlučeno je da se za izradu elektroprovodivog elastičnog senzora upotrebi grafit u ljuskama koji bi bio pomešan u bazni materijal elastične boje namenjene za nanos na tekstilne površine.

Materijali:

1. Polimerni materijal (bazni materijal): Za stvaranje fleksibilne osnove elektroprovodive boje koristi se boja na silikonskoj bazi ili drugi elastomer. Ovaj materijal će omogućiti boji da se prilagodi savijanju i deformacijama.
2. Provodni materijal: Za elektroprovodivu boju, potreban je provodni materijal u ovom slučaju grafit u ljuskama ili drugi materijali koji omogućava električnoj energiji da teče kroz boju, srebro, bakar isl. U ovom slučaju, koristimo srednje provodnički materijal kako bi se postigla fleksibilnost.
3. Disperzant: Ovaj materijal se koristi za ravnomerno raspoređivanje provodnog materijala u baznom materijalu.
4. Rastvarači: Koriste se za pravilno mešanje i razblaživanje sastojaka. Obično se koristi acetat ili alkohol.
5. Agensi za adheziju: Dodaju se kako bi se poboljšalo prianjanje elektroprovodive boje na tekstilnu površinu na koju se nanosi.

Tabela 4. Materijali korišćeni prilikom kreiranja elektroprovodive boje

Izrada:

1. Priprema provodnog materijala: Prvi korak je priprema provodnog materijala. Ovaj korak podrazumeva u slučaju grafitnih ljuski njihovo eventualno dodatno mašinsko mlevenje i usitnjavanje da bi se postigla bolja raspoređenost i pokrivenost u osnovnom materijalu boje.
--

2. Razblaživanje osnovnog materijala: Bazni materijal, kao što je elastična boja na bazi silikona, treba razrediti pomoću odgovarajućeg rastvarača kako bi se postigla željena konzistencija, razblaživač varira od tipa boje. Ovaj korak pomaže u olakšavanju mešanja provodnog materijala u osnovni materijal.
3. Mešanje provodnog materijala: Dodaje se provodni materijal u razređeni bazni materijal i mešaju se zajedno kako bi se postigao ravnomerno raspoređen provodni materijal u celoj količini boje. Ovaj korak je ključan za postizanje električne provodljivosti. Mešanje se izvodi pomoću laboratorijskog miksera.
4. Dodavanje disperzanta: Disperzant se koristi kako bi se postiglo bolje raspoređivanje provodnog materijala unutar osnovnog materijala. Dodavanjem odgovarajuće količine disperzanta postiže se efekat homogenije boje.
5. Dodavanje agenasa za adheziju: Da bi elektroprovodiva boja ostala dobro pričvršćena na površini, dodaju se agensi za adheziju koji će poboljšati prijanjanje. Ovi agensi pomažu boji da se čvrsto poveže sa materijalom na koji se nanosi.
6. Testiranje elektroprovodivosti: Pre nego što se boja počne koristiti za detekciju promene električnog otpora, važno je da se testira kako bi se uverili da je električno provodljiva.
7. Nanos elektroprovodive boje: Kada je elektroprovodiva boja spremna, nanosi se na površinu materijala pletenine majice. Ova aplikacija se može vršiti sito štampanjem ili drugim odgovarajućim tehnikama za ravnomerno raspoređivanje boje.

Tabela 5. Postupak izrade elektroprovodive boje

Pre nanosa elektroprovodive boje na takstil mora se odrediti tačna pozicija senzora na leđnom delu majice vodeći se ciljanim ishodom i nameni potataka očitavanja sa senzora. Vodeći se dimezijama veličinskog broja odevnog predmeta i antropološkim merama za ciljanu populaciju senzor se pozicionira tako da može da isprati pokrete relevantnih leđnih mišićnih grupa kod korisnika, ovo uključuje razmatranje mišićnih grupa i anatomije leđa.

- Mišićne grupe leđa:

Glavne mišićne grupe na leđima uključuju trapezius (trapezasti mišići), latissimus dorsi (široki mišići leđa), erector spinae (mišići kičme), i rhomboids (romboidni mišići). Ove mišićne grupe igraju ključnu ulogu u održavanju držanja tela i stabilnosti leđa [81,82].

- Položaj senzora:

Senzor treba postaviti tako da može pratiti promene u položaju i napetosti ovih mišića. Senzor je postavljen duž gornjeg i srednjeg dela leđa, gde su ove mišićne grupe najaktivnije tokom promene držanja tela (Slika 23.).

- Oblik senzora:

Da bi se dobili precizni podaci senzor je oblikovan tako da prati trodimenzionalnu konturu tela u formi linije duž leđa. Senzori u liniji prate promene u jednom pravcu i korisni su za jednostavne primene praćenja držanja.

- Udobnost i pokretljivost:

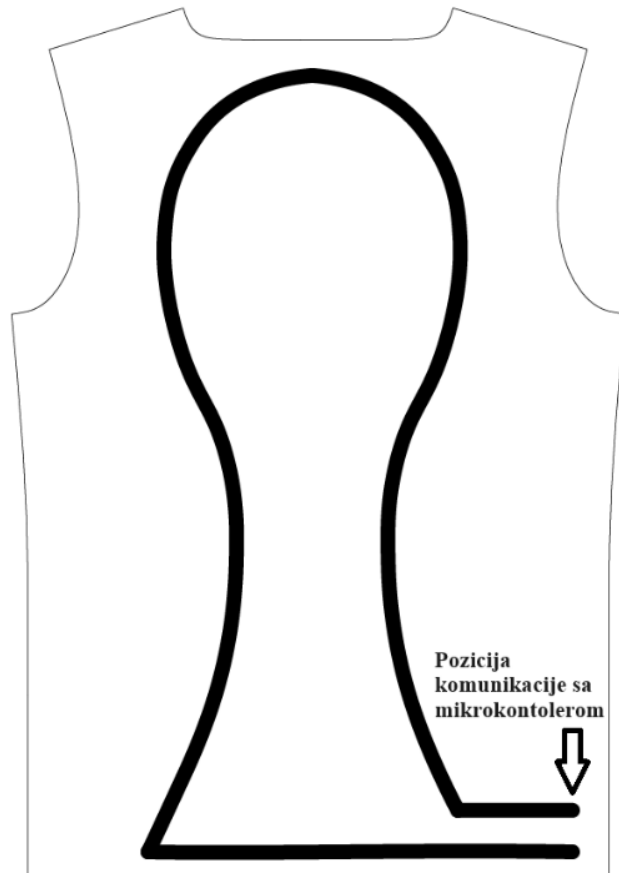
Važno je osigurati da postavljanje senzora bude udobno za korisnika i ne ometa normalno kretanje. Sam materijal majice ima elastično svojstvo kao i bazni materijal senzora, ova osobina treba da omogući neometano funkcionisanje.

- Prilagođenost tehnološkom procesu proizvodnje:

Konstrukcija senzora i ostalih komponenti nosivog sistema odeće specijalne namene trebaju da budi oblikovani i usaglašeni sa standardnim tehnološkim operacijama da bi se obezbedio neometani proces sklapanja i proizvodnje.

- Ergonomski aspekt:

Praksa je da kod svakog novog proizvoda koji kao krajnu namenu ima čestu interakciju sa ljudima i njihovim aktivnostima, tokom procesa dizajna moraju se razmatrati relevantne ergonomske norme koje mogu da se primene na konkretnom slučaju.



Slika 23. Pozicija senzora na leđnom krojnom delu radne majice

Odabrani odevni predmet je proizveden po meri prema podacima preuzetim iz ISO 8559-1:2017 tabela veličina tela za standarde industrije odeće [22]. Ove telesne mere, u našem slučaju, predstavljaju širinu ramena i vrata, obim grudi, obim struka, obim kukova i dužinu leđa. Na osnovu ovih telesnih mera, senzor se postavlja na leđni deo majice u takav položaj da može da prati deformacije savijanja i uvijanja leđa i kičme korisnika.

Odevni predmet je izabran i dizajniran u skladu sa zadacima procene. Prilagođavanje veličine tela i pozicioniranje senzora usklađeni su sa antropometrijskim merenjima ciljne grupe radnika kako bi se precizno pratila fleksija kičme i uvijanje trupa. Lakoća prianjanja majice je takođe faktor ovde. Mora biti dovoljno zategnuto uz telo da senzor može ispravno očitati oscilacije otpora, ali i dalje dovoljno udobno za korisnika. Za materijal majice izabrana je istegljiva pletenina sastava 70% poliamid i 30% poliester, mase 180

g/m u cilju da odeća odgovara svojstvima rastezanja senzora i ne ometa očitavanja otpora provodnika. Izmene u dizajnu odeće u vidu dodatnog džepa imaju za cilj da udobno uklope mikrokontroler u odgovarajući, ožičenje i bateriju i da zaštite osetljive delove nosivog predmeta od spoljašnjih elemenata i ne ometajući radnika tokom obavljanja radnih zadataka.

Završetkom prethodnih koraka elektroprovodiva boja je naneta na leđni deo majice, sledeći korak je stabilizacija i sušenje boje koja se obavlja u namenskom protočnom tunelu za sušenje koje se obavlja na 180°C dva minuta ili se stabilizuje namenskom IC pampom. Nakon postavljanja senzora, važno je izvršiti kalibraciju i testiranje unimetrom merenjem otpornosti kako bi se proverilo da li senzor tačno beleži promene u promeni otpornosti. Majica je sada sprema za naredni korak integracije sa mikrokontrolerom.

5.2. Integracija mikrokontrolera

Prilikom donošenja odluke o izboru mikrokontrolera razmatrano je više osobina koje taj uređaj treba da poseduje da bi zadovoljio potrebe koje su planirane kod nosive tehnologije planirane za ugradnju u radnu majicu. Prva potrebna osobina koju bi taj mikrokontroler trebao da ima je adekvatna veličina što bi mu omogućilo lakšu integraciju u sam proizvod i omogućilo lakšu mobilnost, sledeća osobina koja se tražila je mogućnost jednostavnog rešenja napajanja električnom energijom i što manja potrošnja u optimalnim uslovima korišćenja. Kako je krajnji proizvod kojem je namenjen mobilna platforma koja može biti u čestim kontaktima sa radnim okruženjem mikrokontroler mora imati i određenu fizičku robustnost i otpornost na manje udarce i pritiske prilikom rada koji se mogu dogoditi prilikom oslanjanja radnika na predmete u okruženju stolica, zid itd. Sledeća osobina koja je razmatrana je mogućnost proširenja funkcionalnosti samog sistema nosive tehnologije, ukoliko bi se u budućnosti ukazala potreba da mikrokontroler vrši nekakvu bežičnu komunikaciju, dobije mogućnost GPS lociranja ili ugradnja dodatnih senzora, arhitektura mikrokontrolera bi trebalo da bude otvorena u tom pravcu, jer time dobijamo mogućnost jednostavnijeg postupka transformacije ovog sistema u IoT nosivu platformu koja omogućava obradu i analizu kreiranih podataka sa udaljenog mesta i samim tim osposobljavamo uređaj za komunikaciju sa različitim WEB servisima koji mogu biti namenski kreirani. Takođe, razmatrane su performanse obrade podataka i količina

dostupne memorije u skladu sa potrebama planiranog proizvoda koji ima zahtev reakcije u realnom vremenu i u određenom trenutku. U ovom smislu su definisana osnovna načela za izbor mikrokontrolera:

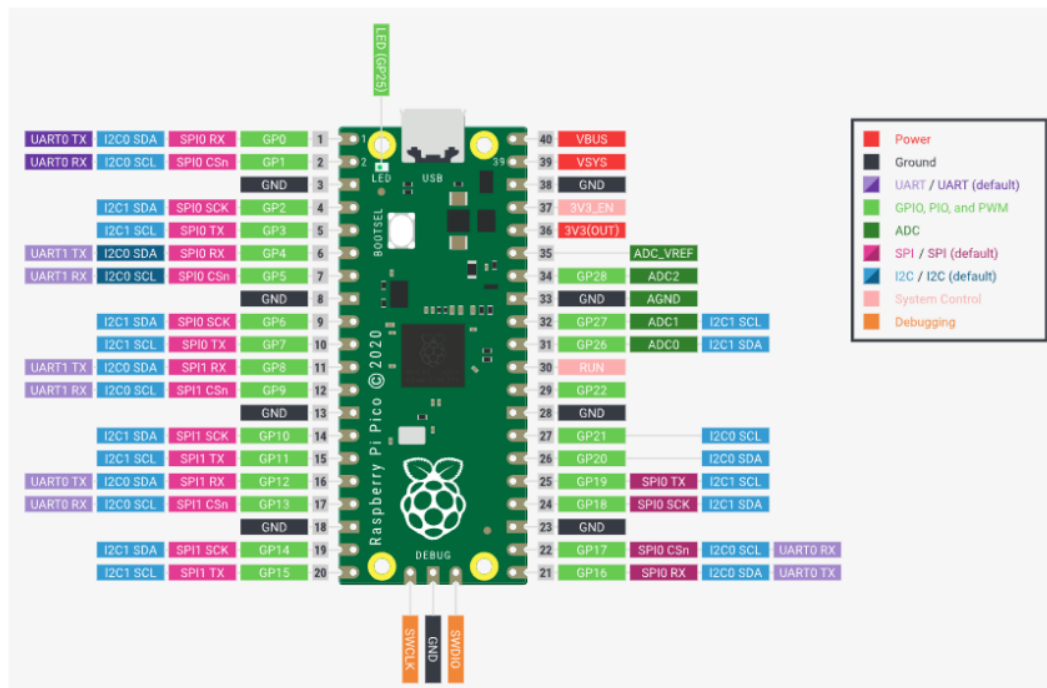
- Dimenzije.
- Mogućnosti napajanja električnom energijom.
- Efikasna potrošnja energije.
- Robustnost i otpornost na spoljne uticaje.
- Jednostavna integracija u odevne predmete.
- Skalabilnost i fleksibilnost arhitekture.
- Podrška za različite komunikacione protokole.
- Brzina obrade podataka i višekanalnost.
- Količina memorije.
- Programiranje i razvoj.
- Adaptnost ulaznih kanala.
- Dostupnost.

Prateći postavljene zahteve za osobine mikrokontrolera iz najužeg izbora odabrana je razvojna platforma Raspberry Pi Pico (Slika 24.) kao najoptimalnije rešenje za ovu fazu razvoja i kasnijeg ispitivanja funkcionalnosti i mogućnosti krajnjeg proizvoda. Sve ove nabrojane karakteristike čine Raspberry Pi Pico idealnim izborom za razvoj i ugradnju u odeću opremljenoj pametnim nosivim uređajima koji omogućavaju praćenje i analizu različitih parametara, uključujući držanje tela, položaj, temperaturu, i druge aspekte koji mogu poboljšati udobnost i zdravlje nosioca. Raspberry Pi Pico (Slika 24.) je mikrokontrolerska platforma koja je osmišljena i razvijena od strane Raspberry Pi fondacije. Lansiran u januaru 2021. godine, Pico se ističe kao pristupačan, kompaktan, ali i izuzetno moćan uređaj, pružajući programerima, entuzijastima i edukatorima svestran alat za razvoj različitih aplikacija. Veoma je rasprostranjena kao razvojna platforma za izradu prototipova, a sasvim je adekvatna u nekim slučajevima u službi radne platforme finalnog proizvoda.

- Tehnička specifikacija komponenti koje čine Raspberry Pi Pico RP2040:

1. Platforma: koristi mikrokontroler " RP2040 " razvijen od strane Raspberry Pi fondacije. RP2040 je dvojezgarni mikrokontroler sa ARM Cortex-M0+ procesorom, sa taktom na 133 MHz. Dvojezgarni dizajn omogućava multitasking i bolju efikasnost što mu omogućava jednovremenu obradu sa više ulaznih uređaja ili u ovom slučaju senzora.
2. Memorija: Pico ima 264 KB SRAM i 2 MB flash memorije za skladištenje programa namenjenih izvršenju zadatih radnji.
3. GPIO Pinovi: Pico raspolaže sa 26 GPIO pinova koji su podesivi i omogućavaju različite digitalne i analogne ulaze/izlaze.
4. Komunikacija: Pico ima UART, I2C, SPI, PWM, i 3.3V UART za serijsku komunikaciju i povezivanje sa različitim senzorima i uređajima.
5. Napajanje: Pico se napaja putem USB-C priključka ili eksternog izvora napajanja kao što su baterije ili USB powerbank uređaji. Radni napon je 3.3V, a maksimalni 5V što omogućava širok spektar kompatibilnosti.
6. USB: Raspberry Pi Pico ima USB 1.1 priključak za programiranje i napajanje. Može se koristiti i kao uređaj za serijsku komunikaciju.
7. Dimenzije: Raspberry Pi Pico je kompaktna ploča veličine 51mm x 21mm, što je čini lako ugrađivom u različite scenarije gde je veličina i mobilnost presudna

Raspberry Pi Pico može se programirati koristeći različite jezičke platforme, uključujući MicroPython, C/C++, i CircuitPython. Takođe, Pico se može programirati koristeći popularna integrisana razvojna okruženja (IDE) kao što su Thonny, PyCharm, Visual Studio Code, i druge.



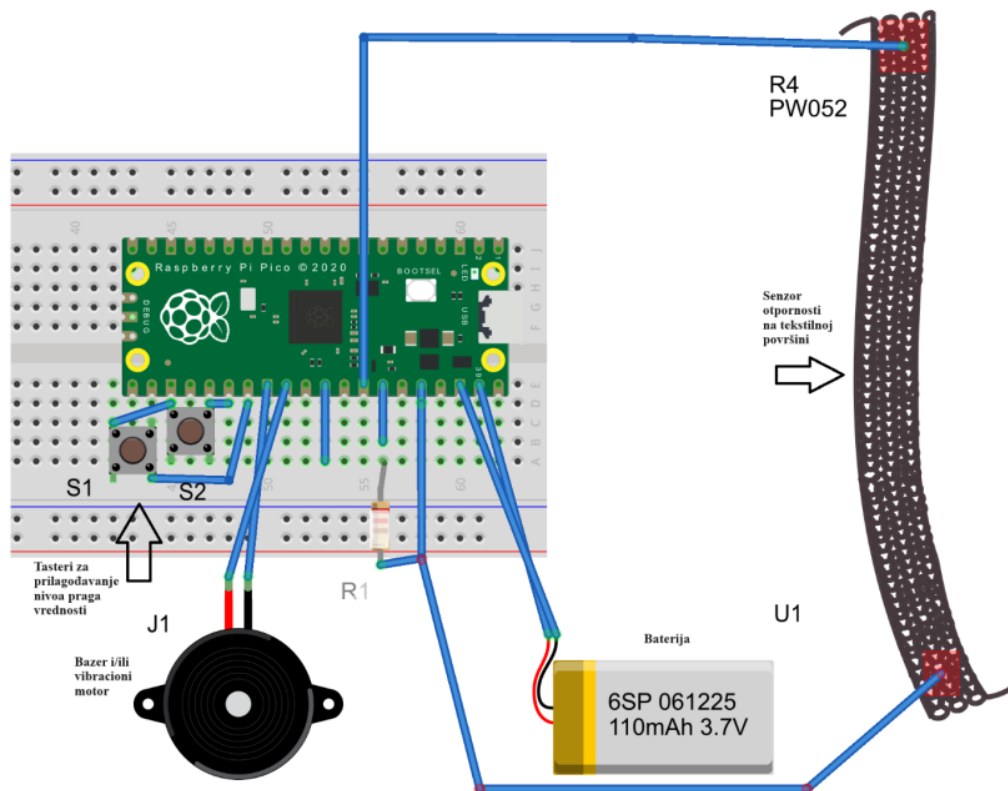
Slika 24. Pinout dijagram Raspberry Pi Pico RP2040

5.2.1. Adaptacija mikrokontrolera nameni

Prvi korak je identifikacija periferija koje treba povezati sa mikrokontrolerom u ovom slučaju to su komponente:

- Senzor 1mA
- Vibracioni motor (VZ4TH7B2120042P) 9mA
- Zvučnik 5mA
- Kontrolni tasteri
- Otpornik 10k Ohm
- Baterija 110mAh 3.7V lipo
- Žice za konekcije

Sledeći korak je priprema komponenti za spajanje sa mikrokontolerom vodeći računa o posebnim specifikacijama svake komponente za montažu ukoliko je dostupan. Naredni korak je lemljenje komponenti direktno na Raspberry Pi Pico ploču prema zadatom, prethodno isplaniranom rasporedu odgovarajućih GPIO pinova, vodeći računa da je ostavljena dovoljna dužina žičanih izlaza koji se kasnije spajaju sa vezama na samom senzoru koji je prethodno postavljen na odevni predmet (Slika 25., Slika 26.).



Slika 25. Grafički prikaz povezanih komponenti sa mikrokontolerom

Baterija se povezuje na kraju nakon programiranja mikrokontrolera i načini povezivanja variraju od planiranog načina napajanja iste, u našem slučaju baterija se napaja odvojeno od mikrokontrolera. Ukoliko je zahtev da se baterija napaja putem USB porta tada je i šema povezivanja drugačija. U trenutnom scenariju odabrana je baterija od 110mAh uzimajući u obzir procenu energetske performansi Raspberry Pi Pico mikrokontrolera i prosečnu procenjenu potrošnju komponenti od 15mA dolazimo do okvirne vrednosti od 7.3 sata upotrebljivosti nosivog sistema što je dovoljno za jednu radnu smenu sa

pretpostavkom da se sve komponente neće konstantno koristiti tokom vremenskog perioda kojeg nosivi sistem provede u radnim uslovima, ukoliko usled delovanja različitih faktora dođe do ranijeg pražnjenja baterije, predviđeno je da se ona može izmeniti novom u toku rada i time omogućiti nesmetan nastavak posla.

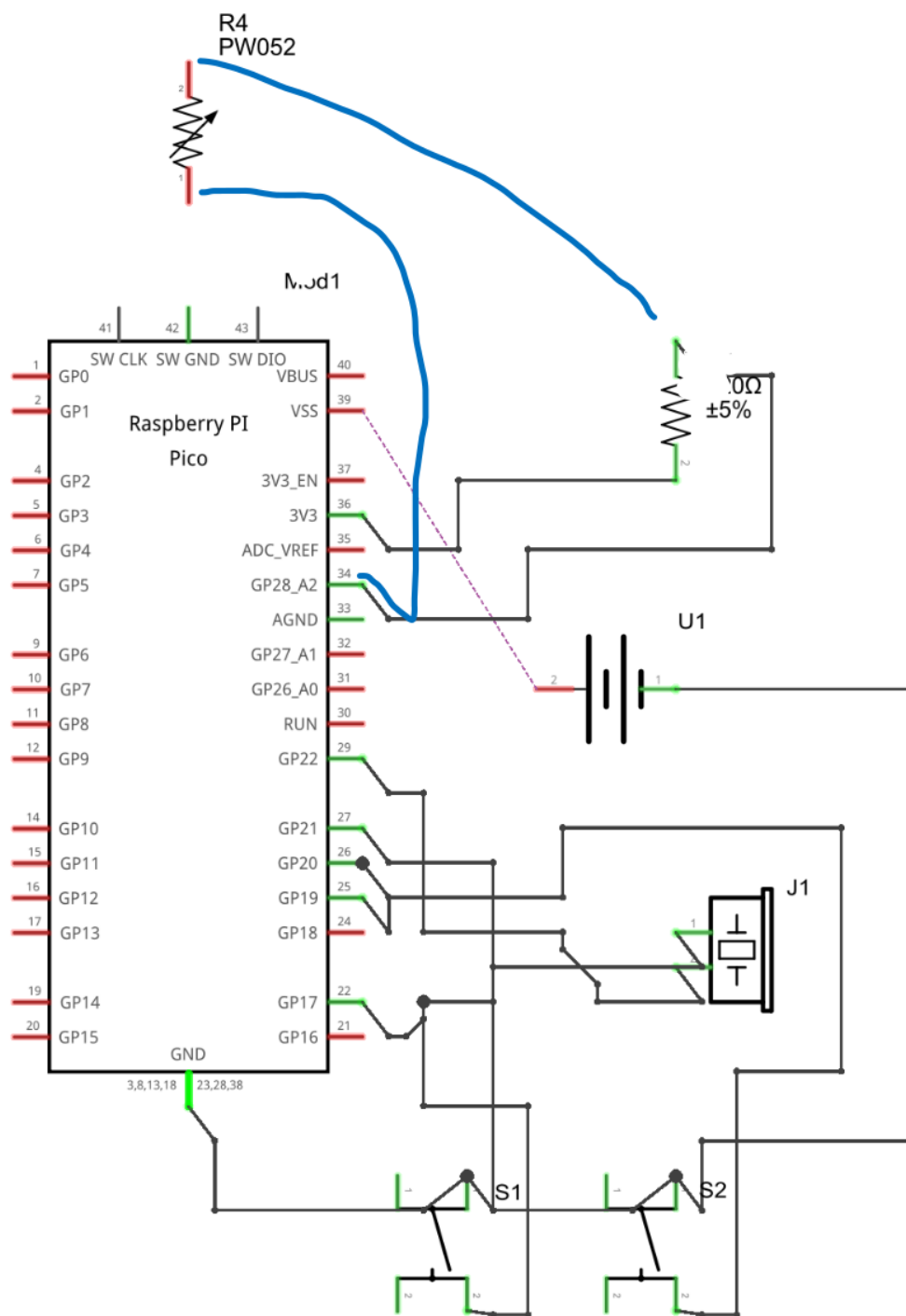
Pretpostavka vremena trajanja baterije:

- $h = 110\text{mAh} / 15\text{mA} = 7.3 \text{ sata}$

Odabrani tip Litijum-polimerske baterije je poznat po svojoj kompaktnosti i niskom profilu, što ga čini idealnim izborom za nosive uređaje. Njegov mali oblik omogućava inženjerima da integrišu baterije u ograničene prostore, kao što su mala kućišta ili namenske džepove, bez značajno povećanja težine uređaja.

Litijum-polimerske baterije dolaze u različitim kapacitetima, trenutno odabrana 110mAh baterija može pružiti dovoljno snage za konkretan nosivi uređaj. Njihova visoka energetska gustina omogućava duže trajanje baterije, što je od suštinskog značaja za uređaje koji se koriste tokom celog dana. Još jedna dobra osobina ovog tipa baterija se obično ogleda da one podržavaju brzo punjenje, što je značajno za korisnike nosivih uređaja specijalne namene. Brza punjenja omogućavaju kraće vreme bez uređaja i poboljšavaju praktičnost. Takođe, imaju relativno nisku stopu autodischarge-a, što znači da gube malo energije kada nisu aktivne. To je posebno važno za uređaje koji se povremeno koriste, jer korisnici neće morati često da se brinu o pražnjenju baterije kada uređaj nije u upotrebi, u konkretnom slučaju primene kod radne odeće ova osobina bi trebalo da podrži periode ne korišćenja koja se događaju tokom vikenda, neradnih dana, odmora itd [86,87] .

Ovakve baterije mogu biti ograničene u kapacitetu za uređaje koji zahtevaju kontinuiranu i dugotrajnu upotrebu. Mora se pažljivo planirati efikasno korišćenje energije i optimizacija uređaja kako bi se obezbedilo što duže trajanje baterije. Da bi se obezbedila optimalna upotreba ograničenog kapaciteta baterije, nosivi uređaji moraju imati sofisticirane sisteme za upravljanje energijom, to uključuje spavanje uređaja kada nije u upotrebi, što je obezbeđeno ovom karakteristikom Raspberry Pi Pico mikrokontrolera.



Slika 26. Šematski prikaz povezivanja komponenti

5.2.2. Programiranje mikrokontrolera

Programiranje ovog Raspberry Pi Pico mikrokontrolera za prethodno definisanu namenu korišćen je MicroPython programski jezik i Thonny IDE razvojno okruženje kao najefikasnije rešenje u ovom slučaju. Vreme procesuiranja i odziva se pokazalo jako adekvatno nameni sistema.

Nakon uvoza potrebnih biblioteka i definisanja varijabli, prvi izazov bio je konvertovanje analognog očitavanja senzora u vrednost napona. Kreirana je petlja i u njoj postavljena sledeća linija programskog koda kreiranja varijable voltage:

- $voltage = (senzor_value / 65535) * 3.3$
 - gde je *senzor_value* vrednost koju mikrokontroler očitava sa analognog ulaza. Analogni ulaz meri napon na senzoru i pretvara ga u digitalnu vrednost, koja je obično celobrojni broj. *Senzor_value* sada predstavlja tu digitalnu vrednost.
 - 65535 je maksimalna digitalna vrednost koju analogni ulaz može meriti. U mikrokontrolerima, ovaj broj obično odgovara maksimalnom vrednosti koju možemo dobiti pri upotrebi 16-bitnog analognog pretvarača. 65535 je maksimalna vrednost za 16-bitnu vrednost.
 - 3.3 je referentna vrednost napona koja se koristi da bi se pretvorila digitalna vrednost u fizičku jedinicu, u ovom slučaju u napon. U većini mikrokontrolera, 3.3V je uobičajena referentna vrednost za analogni ulaz.

Izračunavanje se izvodi na sledeći način:

- *senzor_value* se deli sa 65535. To daje odnos između digitalne vrednosti i maksimalne digitalne vrednosti. Na primer, ako je *senzor_value* 32767 (polovina od maksimalne vrednosti), ovaj odnos će biti 0.5.

- Zatim se taj odnos množi sa referentnom vrednošću napona od 3.3V. Na primer, ako je `senzor_value` 32767 i 65535 je maksimalna vrednost, tada će izračunati napon biti $0.5 * 3.3V = 1.65V$.

Na taj način, ovaj izraz pretvara digitalnu vrednost izraženu u rasponu od 0 do 65535 u stvarni napon, omogućavajući merenje napona na samom senzoru.

Da bismo dobili vrednost elektrootpornosti očitane sa senzora treba nam dodatna komponenta u vidu otpornika od definisane otpornosti u ovom slučaju od 10k Ohm da vi smo ga uporedili sa očitanim voltažom iz prethodnog koraka.

Kreirane su sledeće linije programskog koda:

- `known_resistor = 10000`
 - `resistance = (known_resistor * voltage) / (3.3 - voltage) / 100`
- *known_resistor = 10000* Ovde se definiše poznata vrednost otpornika (`known_resistor`) kao 10000 ohma (10 kΩ). Ovo je vrednost otpornika koju koristimo kao deo našeg električnog kola.
- *resistance = (known_resistor * voltage) / (3.3 - voltage) / 100*: Ova linija koda izračunava vrednost otpora (`resistance`) na sledeći način:
*known_resistor * voltage*: Prvo, poznata vrednost otpornika (`known_resistor`) se množi sa vrednošću napona (`voltage`) koja je dobijena u prethodnom koraku. Ovaj korak predstavlja deo napon-delilac kola.
- *3.3 - voltage*: Zatim se razlika između 3.3V (referentna vrednost napona) i vrednosti napona (`voltage`) koristi kao delitelj. Ovaj korak takođe čini deo napon-delilac kola.
- *(known_resistor * voltage) / (3.3 - voltage)*: Sada se dobijeni rezultat u razlomku deli sa dobijenim rezultatom u delitelju. Ovaj izraz predstavlja

napon-delilac kola i računa efektivnu vrednost otpora na osnovu izmerenog napona.

- */ 100*: Na kraju, izračunata vrednost otpora se deli sa 100. Ovo može biti potrebno ukoliko je potrebna vrednost u drugim jedinicama, kao što su kiloomi ($k\Omega$), u slučaju da poznati otpornik (`known_resistor`) ima vrednost u kiloomima. Ako je potrebna vrednost u ohmima, izostaviti ovu konverziju.
- *utime.sleep(0.1)* je funkcija za pauziranje izvršavanja programa u MicroPythonu. Ova funkcija uzima jedan argument koji predstavlja vreme u sekundama za koje će se program pauzirati. U konkretnom slučaju, *utime.sleep(0.1)* znači da će se program zaustaviti na 0.1 sekundu (ili 100 milisekundi) pre nego što nastavi sa izvršavanjem naredbi, što znači da smanjuje opterećenje CPU-a, odluka o vremenu pauziranja se može prilagođavati različitim scenarijima gde se nosivi sistem u odeći specijalne namene bude koristio, a najviše zavisi od frekvencije radnog zadatka koji se nadgleda i procene učestalosti prekoračenja zadatih pragova vrednosti u određenom vremenskom intervalu. Ova funkcija je veoma bitna u pogledu energetske efikasnosti i boljem iskorišćenju resursa dostupne baterije.

Ovaj izraz se koristi za proračun efektivne vrednosti otpora na osnovu izmerenog napona pomoću napon-delilac kola (Voltage Divider Circuit). Proračun je koristan za dobijanje vrednosti otpora senzora koristeći poznati otpornik i napajanje od 3.3V, kao što je slučaj kod ovde obrađenog senzora sa promenljivim otporima.

Program dalje nastavlja da radi kroz kreirane petlje (Slika 27.) nadgledajući stanje očitano na senzoru, može da prima inpute dobijene preko kontrolnih tastera putem kojih korisnik može menjati prag vrednosti na više ili na niže u vrednosti skoka koraka od 100 za prag vrednosti i tako prilagoditi signaliziranje prema trenutnim okolnostima. Prilikom startovanja programa prag vrednosti je podesen na fiksnu vrednost, ukoliko je ta vrednost prekoračena korisniku se šalju signali putem svetlosnih i zvučnih signala, zvučni signal može biti podržan i vibracijom ukoliko se na iste GPIO pinove instalira vibracioni motor.

```

1 import utime
2 from machine import ADC, Pin
3
4 def stop_resume_function():
5     sensor_pin = ADC(28) # Koristi pin 28 za GP28
6     led_pin = Pin(5, Pin.OUT) # Koristi GP5 za prvi LED pin
7     led2_pin = Pin(26, Pin.OUT) # Koristi GP26 za drugi LED pin
8     buzzer_pin = Pin(22, Pin.OUT) # Koristi GP22 za zvucnik pin
9     button_inc = Pin(20, Pin.IN, Pin.PULL_UP) # Koristi GP20 za povecanje vrednosti otpora
10    button_dec = Pin(21, Pin.IN, Pin.PULL_UP) # Koristi GP21 smanjivanje vrednosti otpora
11    button_resume = Pin(18, Pin.IN, Pin.PULL_UP) # Koristi GP18 za reset dugme
12
13    threshold_value = 300 # Inicijalni prag vrednosti očitane otpornosti citanja senzora
14    leds_and_buzzer = False # Inicijalno stanje za LED i zvucnik
15    program_running = True # Inicijalno stanje programa
16
17    while True:
18        try:
19            if program_running:
20                sensor_value = sensor_pin.read_u16()
21
22                # Konvertuje originalnu ADC vrednost u voltazu
23                voltage = (sensor_value / 65535) * 3.3
24
25                # Kalkulisanje otpornosti koristeći poznatu vrednost otpornika i formulu za voltazu
26                known_resistor = 10000 # Otpornik
27                resistance = (known_resistor * voltage) / (3.3 - voltage) / 100
28
29                print("ADC Value:", sensor_value)
30                print("Voltage:", voltage, "V")
31                print("Resistance:", resistance, "Oma")
32                print(threshold_value)
33
34                if resistance < threshold_value: # Petlja programa
35                    if leds_and_buzzer:
36                        led_pin.off()
37                        led2_pin.off()
38                        buzzer_pin.off() # Isključuje zvucnik
39                        leds_and_buzzer = False
40                    else:
41                        led_pin.on()
42                        led2_pin.on()
43                        buzzer_pin.on() # Uključuje zvucnik
44                        leds_and_buzzer = True
45
46                # Proveriti da li su oba dugmeta pritisnuta radi zaustavljanja programa
47                if not button_inc.value() and not button_dec.value():
48                    print("Oba dugmeta pritisnuta. Zaustavljanje programa.")
49                    program_running = False
50
51                # Proverava da li je dugme za restart programa pritisnuto
52                if not button_resume.value():
53                    print("Restart pritisnut. Ponovno pokretanje programa.")
54                    program_running = True
55
56                # Provera da li je dugme za povecanje vrednosti pritisnuto
57                if not button_inc.value():
58                    threshold_value += 100 # Korak povecanja
59                    if threshold_value > 10000:
60                        threshold_value = 10000
61
62                # Provera da li je dugme za smanjenje vrednosti pritisnuto
63                if not button_dec.value():
64                    threshold_value -= 100 # Korak umanjivanja
65                    if threshold_value < 0:
66                        threshold_value = 50
67
68                utime.sleep(0.1)
69
70            except ZeroDivisionError: # Filtriranje greske kod očitavanja senzora
71                print("ZeroDivisionError se dogodio. Restartovanje petlje.")
72                continue
73
74    stop_resume_function()
75

```

Slika 27. Program nadgledanja stanja senzora kreiran za Raspberry Pi Pico

U slučajevima kada se dogode nepredviđena očitavanja sa senzora na primer, kada je očitavanje nula, koje se uglavnom događa usled nekog nepravilnog načina korišćenja opreme ili kada ona nije u optimalnim uslovima kreirana je except funkcija izuzetaka koja služi za preskakanje ispada iz petlje i ponovnog pokretanja programa. Ovakvi incidenti se uglavnom javljaju u kratkom vremenskom periodu koji traje nekoliko sekundi i za takve situacije je ona predviđena u ovom sistemu.

Konkretno, obrađuje se *ZeroDivisionError*, koji se javlja kada se pokušava deljenje broja nulom, što je matematički nedozvoljeno i rezultira programskom greškom koja zaustavlja rad celog sistema.

- *except ZeroDivisionError*: Ovo je deo koda gde se definiše tip izuzetka koji se obrađuje. U ovom slučaju, specifično se obrađuje *ZeroDivisionError*. To znači da će ovaj blok koda biti izvršen samo ako se desi greška uzrokovana pokušajem deljenja broja nulom.
- *print ("ZeroDivisionError occurred. Restarting the loop.")*: Ovo je deo koda koji će se izvršiti ako se javi *ZeroDivisionError*. *Print* funkcija služi za ispisivanje poruke na ekranu (računara ukoliko je spojen). U ovom slučaju, poruka "ZeroDivisionError se dogodio. Restartovanje petlje." će se ispisati ako se javi greška.
- *continue*: Ovo je ključna komanda koja se koristi da se izazove ponovno pokretanje petlje. Kada se *continue* izvrši, petlja će se prekinuti i početi od početka, bez izlaska iz petlje. Ovo omogućava programu da nastavi rad nakon što se greška javi, bez prekida rada programa.

Ovom funkcionalnošću se omogućilo umesto da program prekine sa radom, on nastavlja sa sledećim koracima u petlji i ispisuje poruku o grešci kako bi korisnik ili programer znali šta se dogodilo. Samim tim doprinosi robustnosti sistema posebno u terenskim i nekontrolisanim uslovima.

5.2.3.Integracija senzora u odevni predmet

Integracija nosive tehnologije u odevni predmet zahteva pažljivu i preciznu implementaciju kako bi uređaj bio funkcionalan i istovremeno neprimetan prilikom korišćenja. Važno je napomenuti da integracija mikrokontrolera u odevni predmet nije samo tehnički izazov, već i dizajnerski. Kako bi uređaj bio prihvatljiv za nošenje, potrebno je voditi računa o estetici i ergonomiji. Odevni predmet sa integrisanim uređajem treba da bude udoban i da omogući slobodno kretanje samog korisnika, bez ikakvih nepotrebnih smetnji.



Slika 28. Pozicija džepa sa kućištem mikrokontrolera

Prilikom planiranja finalnog dizajna uzorka razmatrala se pozicija džepa (Slika 28.) ko bi nosio tipsko kućište samog mikrokontrolera sa njegovim komponentama. Kao najoptimalnija pozicija odlučeno je da to mesto bude sa desne strane na donjoj - bočnoj ivici majice, gde bi se sa unutrašnje strane odevnog predmeta izradio prihvatni džep dizajniran tako da omogući nesmetan rad opreme, a da u isto vreme ne ometa korisnika pri redovnim radnim aktivnostima. Ovaj izazov je rešen u konstrukcionoj pripremi odeće

koji se odvija nakon usvajanja finalnog dizajna i pre početka same proizvodnje odevnog predmeta. Nakon usvajanja konačnog mesta pozicije džepa za prihvatanje kućišta kontrolera pristupilo se adaptaciji oblika samog senzora (Slika 29.) koji se nalazi na leđnom delu majice, vodilo se računa da krajnje izlazne linije kontakta senzora budu u što povoljnijem položaju u odnosu na poziciju senzora radi jednostavnijeg spajanja, a da pri tome ne utiču negativno na rad samog senzora. U nekim verzijama dizajna gde je odlučeno da se senzor produži kako bi se lakše spojio sa konektorima mikrokontrolera dolazilo je do promene u vrednosti očitavanja samog otpora senzora, međutim sama logika dizajna ovog nosivog rešenja omogućava da se u tim situacijama izvrši kalibracija novonastalih uslova na optimalne vrednosti potrebne u konkretnom okruženju.



Slika 29. Pozicija senzora na leđnom delu majice

Kada je definisan finalni dizajn pristupa se proizvodnom procesu, aplikacija senzora u ovom slučaju obavljena je na gotovom proizvodu, dok u drugim specifičnim okolnostima ovaj postupak se može ili mora uraditi u međufaznim proizvodnim koracima. Postupak nanošenja polimerske baze senzora je izveden standardnim postupkom sitoštampe, nakon

čega je proizvod postavljen u protočni tunel za sušenje boje koji je u ovom slučaju bio podešen na 180°C prema specifikaciji proizvođača boje koja može varirati u zavisnosti od tipa i sastava tog konkretnog proizvoda. Ovo je bitan korak u procesu proizvodnje jer se njime garantuje stabilna fiksacija boje na tekstilnoj površini i trenutno odstranjivanje viška procenta vlage iz baze boje, ako je prisutna, koja može negativno uticati na očitavanje senzora i evaluaciju stvarnih podataka.

5.2.4. Testiranje i kalibracija gotovog proizvoda

Nakon integracije i programiranja, finalni proizvod nosive tehnologije treba temeljno testirati ¹² kako bi se osiguralo da ispravno funkcioniše i da meri i prikuplja tačne podatke. Kalibracija senzora može biti potrebna kako bi se osigurala preciznost (Slika 30.). Ovo uključuje upoređivanje rezultata senzora sa referentnim merenjima kako bi se utvrdila preciznost uređaja. Kalibracija je posebno važna za senzor koji prati promene u električnom otporu.



Slika 30. Testiranje i kalibracija senzora

Testiranje uključuje proveru svih funkcija uređaja, uključujući praćenje senzora i obradu podataka. Osim toga, treba proveriti da li uređaj radi bez problema i da li se komponente sigurno smeštene u majici. Proverava se rad svih komponenti sistema koji su trenutno integrisani na njega zvučnik, vibracioni motor, LED sijalica i baterija.

Pre nego što se nosivi sistem¹² započne koristiti u stvarnim uslovima, potrebno je pažljivo proveriti sve komponente kako bi se osiguralo da je sve sigurno i da uređaj funkcioniše kako treba. Ovo se izvodi tako što se majica obuče i provere se njene funkcije u realnim uslovima korišćenja.

5.3.Integracija i omogućavanje IoT funkcionalnosti u sistemu nosive tehnologije

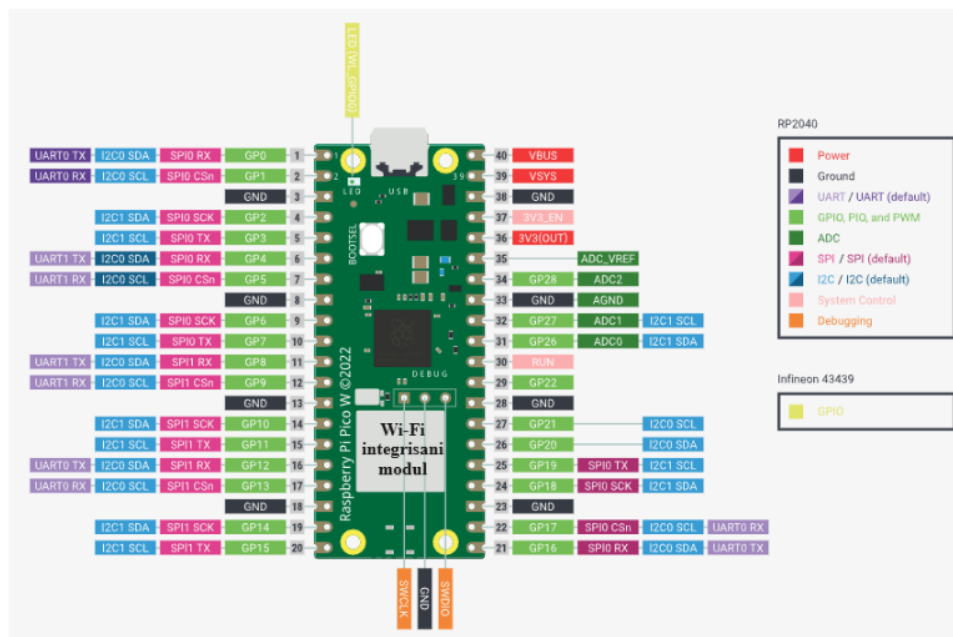
Uvođenje IoT funkcionalnosti u nosive uređaje u radnoj odeći omogućava efikasnije i bezbednije radne uslove. Ovo je posebno korisno u industrijama gde se radnici suočavaju sa raznim bezbednosnim izazovima, kao i u situacijama gde je važno pratiti i optimizovati radne procese. IoT omogućava bežičnu interakciju operatera sa interfejsima različite proizvodne i procesne opreme koja osnovna karakteristika novih standarda i tendencija automatizacije u okruženjima industrije 4.0.

Nosivi uređaji integrisani u odeću specijalne namene koji su bazirani na fleksibilnoj i proširivoj arhitekturi Raspberry Pi Pico predstavljaju inovativni pristup primene koncepta interneta stvari (IoT) u sektoru bezbednosti na radu i nadzora radnih aktivnosti. IoT uređaj kombinuje višekanalne procesorske sposobnosti Raspberry Pi Pico potrebne za obradu podataka sa fizičkih senzora i istovremenu bežičnu komunikaciju i mogućnosti komunikacije sa WEB Cloud namenskim platformama ili udaljenim računarima u mreži koji perspektivno mogu imati zadatke adekvatne obrade i analize podataka kako bi se poboljšali efikasnost, bezbednost i menadžment zaposlenih na udaljenoj lokaciji. IoT uređaj je opremljen sa bežičnim modulima (Wi-Fi, Bluetooth, ili drugim) kako bi omogućio komunikaciju sa drugim uređajima ili sa udaljenim serverima. Ovo stvara uslove za slanje podataka u stvarnom vremenu ili preuzimanje uputstava i konfiguracija samog nosivog uređaja.

Informacije o lokaciji i performansama radnika omogućavaju bolje upravljanje i raspodelu resursa. Menadžeri različitih sektora mogu bolje i preciznije razumeti gde su

potrebni resursi i reagovati brže na promene, a sam sistem može automatski reagovati sa adekvatnim upozorenjima ukoliko su određene norme prestupljene. Prikupljeni podaci se koriste za analizu performansi radnika i radnih procesa. Ovo dovodi do optimizacije operacija i smanjenja rizika generisanih u radnom okruženju. IoT uređaji se lako integrišu sa drugim lokalnim IT sistemima za praćenje i upravljanje, kao što su platforme koncipirane na arhitekturi CIM (Computer Integrated Manufacturing), CAM (Computer Aided Manufacturing) ili ERP (Enterprise Resource Planning).

U razmatranju optimalnog rešenja za omogućavanje IoT-a analizirane su karakteristike proširenja Raspberry Pi Pico platforme. Ova verzija mikroprocesora u izvornoj konfiguraciji nema mogućnost bežične komunikacije, već je predviđena nadogradnja perifernih modula koji bi ovaj zadatak obavljali. Najčešće korišćeni periferni moduli sa Wi-Fi sposobnostima su ESP8266 i ESP32 čiji postupak nadogradnje i integracije u nosivi sistem je relativno jednostavan. Takođe, razmatrana je i zamena modela mikrokontrolera sa Raspberry Pi Pico W koji u sebi ima integrisani Wi-Fi modul (Slika 31).



Slika 31. Pinout dijagram za Raspberry Pi Pico W sa integrisanim Wi-Fi modulom

Raspberry Pi Pico W (Slika 31.) predstavlja varijantu Raspberry Pi Pico (Slika 24.) mikrokontrolera sa dodatom Wi-Fi funkcionalnošću. On ima ugrađen Wi-Fi modul koji omogućava bežičnu povezanost sa mrežom. Ovo znači da uređaj može komunicirati sa drugim uređajima putem Wi-Fi mreže, preuzim Zahvaljujući Wi-Fi funkcionalnosti, Raspberry Pi Pico W je posebno pogodan za upotrebe vezane za internet stvari (IoT). Može se koristiti za prikupljanje i slanje podataka u stvarnom vremenu, udaljeni nadzor i kontrolu, kao i integraciju sa cloud servisima, sinhronizaciju podataka sa aplikacijama i bazama podataka ili pristupiti udaljenim resursima.

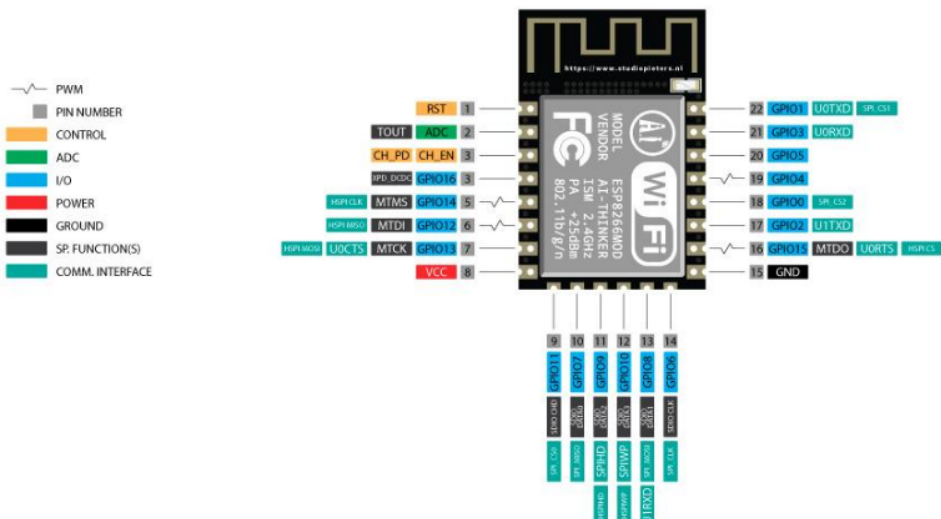
Raspberry Pi Pico W može biti konfigurisan kao web server što se može iskoristiti za kreiranje klastera nosivih IoT uređaja koji u različitim scenarijima radnog okruženja mogu međusobno deliti resurse i podatke na osnovu kojih se mogu izdavati upozorenja ili sinhronizovana uputstva.

Raspberry Pi Pico W može imati različite biblioteke i raspored pinova u odnosu na standardni Pico kako bi podržavao Wi-Fi funkcionalnost. Ovo može uticati na dostupnost i funkcionalnost određenih GPIO pinova. Cena i dostupnost mikrokontrolera su još uvek mana u odnosu na standardni Pico, takođe upotreba integrisanog Wi-Fi modula može povećati potrošnju energije u odnosu na standardni Pico. Ovo je važno uzeti u obzir u projektima koji zahtevaju efikasnost baterije jer kod Wi-Fi nije optimalno stvarati prekide u radu u cilju optimizacije utroška električne energije.

Prilikom razmatranja arhitekture i komponenti sistema nosive tehnologije korišćene za odeću specijalne namena za procenu ergonomske rizika vodilo se trenutnim prioritetima projekta koji su se odnosili na terensku kontrolu od strane stručnog ergonomskeg tima kao i potrebu treninga radnika u smislu samokorekcije i prepoznavanja uslova za nastanak nepoželjnih postura tela. U tom kontekstu IoT funkcionalnost je bila od sekundarnog značaja i mogućnost aktivacije i deaktivacije Wi-Fi modula po potrebi je izabrana kao povoljnija arhitektura u pogledu optimalnijeg iskorišćenja energetske resursa dostupnih baterija.

ESP8266 Wi-Fi modul (Slika 32.) je odabran za instalaciju na već adaptirani Raspberry Pi Pico mikrokontroler (Slika 31.). Za povezivanje ESP8266 modula sa Raspberry Pi Pico koristiti se serijska komunikacija (UART). Ovaj metod omogućava dvosmernu

komunikaciju između ESP8266 i Raspberry Pi Pico. Kako se ESP8266 instalira kao fizički zaseban uređaj za njega treba obezbediti ispravno napajanje. ESP8266 modul radi na naponu od 3.3V, da bi se obezbedila zajednička referenca za napon ESP8266 se povezuje sa GND pinom na Raspberry Pi Pico.



Slika 32. Pinout dijagram za ESP8266 Wi-Fi modul

Povezuju se UART pinovi ESP8266 i Raspberry Pi Pico-a, korišćenjem TX (Transmit) i RX (Receive) pinova za komunikaciju. TX modula ESP8266 povezuje se sa RX pinom Raspberry Pi Pico. RX modula ESP8266 povezuje se sa TX pinom Raspberry Pi Pico.

Povezivanje GND pinova se izvodi povezivanjem GND pin ESP8266 sa GND pinom Raspberry Pi Pico kako bi se osigurala zajednička referenca za napon.

ESP8266 treba da ima stabilno napajanje. Ovde treba obratiti pažnju na zahtevanu struju i napon koji je propisan kod konkretnog modula kako bi se osiguralo odgovarajuće napajanje.

Raspberry Pi Pico radi na naponima od 3.3V, pa je potrebno prilagoditi nivoe signala kako bi izbegli oštećenje ESP8266. Moguće je koristiti nivoe signala od 3.3V za obe strane ili nivo signala od 5V sa logičkim nivoom 3.3V za Raspberry Pi Pico.

```

1 import machine
2 import network
3 import usocket as socket
4 import ujson
5 import utime
6
7 # Definisanje Wi-Fi logovanja
8 SSID = "YourWiFiSSID"
9 PASSWORD = "YourWiFiPassword"
10
11 # Kreiranje a socket servera
12 s = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
13 s.bind(('0.0.0.0', 80))
14 s.listen(1)
15
16 # Definisanje Excel strukture podataka
17 excel_data = []
18
19 # Funkcija za obradu dolazecih upita od klijenta
20 def handle_client(client_socket):
21     global excel_data
22     request = client_socket.recv(1024)
23     request = str(request)
24
25     if 'GET /data' in request:
26         # Obrada upita za podatke
27         response = ujson.dumps(excel_data)
28         client_socket.send('HTTP/1.1 200 OK\n')
29         client_socket.send('Content-Type: application/json\n')
30         client_socket.send('Connection: close\n\n')
31         client_socket.sendall(response)
32     else:
33         # Obrada drugih upita (HTML page)
34         response = 'HTTP/1.1 200 OK\n'
35         response += 'Content-Type: text/html\n'
36         response += 'Connection: close\n\n'
37         response += '<html><body>'
38         response += '<h1>Raspberry Pi Pico W Sensor Data</h1>'
39         response += '<a href="/data">Get Data</a>'
40         response += '</body></html>'
41         client_socket.send(response)
42
43     client_socket.close()
44
45 # Konektovanje sa Wi-Fi
46 wlan = network.WLAN(network.STA_IF)
47 wlan.active(True)
48 wlan.connect(SSID, PASSWORD)
49 while not wlan.isconnected():
50     pass
51 print("Wi-Fi connected")
52
53 # Ocitavanje senzora
54 def sensor_readings():
55     # OVDE UBACITI KOD OD PROGRAMA SA PICO SENZORA
56     pass
57
58 # Glavna petlja
59 while True:
60     try:
61         sensor_data = sensor_readings()
62         print("Sensor Data:", sensor_data)
63
64         # Dodavanje podataka ocitanih sa senzora u Excel
65         excel_data.append({'time': utime.time(), 'steps': sensor_data})
66
67         # Proveriti da li program treba da se zaustavi
68         if should_stop_program():
69             break
70
71         # Obrada dolazecih upita od klijenta
72         try:
73             client, addr = s.accept()
74             handle_client(client)
75         except:
76             pass
77
78         utime.sleep(0.1)
79
80     except ZeroDivisionError:
81         print("ZeroDivisionError occurred. Restarting the loop.")
82         continue
83
84 # Zatvoriti server socket komunikaciju
85 s.close()
86

```

Slika 33. Program implementacije Raspberry Pi sa Wi-Fi modulom

Program za implementaciju Raspberry Pi mikrokontrolera sa Wi-Fi modulom je napisan pomoću MicroPython programskog jezika, program služi za čitanje senzorskih podataka i omogućava klijentima da pristupe tim podacima putem HTTP zahteva. Program funkcioniše na sledeći način:

- Uvoz potrebnih MicroPython biblioteka i modula: na početku programa, uvoze se namenski odgovarajuće biblioteke i moduli kako bi se omogućila komunikacija sa senzorima, Wi-Fi mrežom i HTTP zahtevima. Biblioteke *network*, *usocket*, *ujson* i *utime* se koriste za različite predviđene zadatke u programu.
- Definisanje Wi-Fi podešavanja: korisnik definiše SSID i lozinku za svoju Wi-Fi mrežu kao promenljive *SSID* i *PASSWORD*. Ova podešavanja će se koristiti za povezivanje sa Wi-Fi mrežom.
- Kreiranje socket servera: program kreira TCP socket server koji osluškuje dolazne zahteve na IP adresi '0.0.0.0' i portu 80 (standardni HTTP port). Kada klijent pošalje zahtev, server će obraditi taj zahtev i poslati odgovarajući odgovor.
- Definisanje strukture za Excel podatke: struktura *excel_data* je inicijalno prazna lista u kojoj će se skladištiti podaci o senzorima. Ovi podaci će biti dostupni klijentima putem HTTP zahteva.
- Funkcija za obradu klijentskih zahteva: funkcija *handle_client(client_socket)* se poziva svaki put kada klijent pošalje zahtev serveru. Ova funkcija obrađuje dolazni zahtev i šalje odgovarajući odgovor klijentu. Ako se zahtev odnosi na podatke, šalje se JSON reprezentacija podataka, inače se šalje HTML stranica.
- Konektovanje na Wi-Fi: program pokušava da se poveže na Wi-Fi mrežu koristeći unapred definisane SSID i lozinku. Nakon uspešnog povezivanja, prikazuje se poruka "*Wi-Fi connected*".

- Očitavanje senzora: u petlji se definiše funkcija *sensor_readings()* kako bi se očitali podaci sa senzora. Ovde se koristi kod očitavanja senzora predstavljen u predhodnom poglavlju.
- Dodavanje podataka u Excel strukturu: podaci očitani sa senzora se dodaju u strukturu *excel_data* kao rečnik sa vremenom i vrednostima senzora. Ovi podaci se skladište za kasniji pristup.
- Provera da li program treba da se zaustavi: u delu koda gde je navedeno *should_stop_program()*, program proverava uslove kako bi odredio da li treba da se zaustavi. Ova funkcija bi trebalo da se definiše prema potrebama eventualne aplikacije.
- Obrada klijentskih zahteva: u unutrašnjoj petlji se osluškuju dolazni klijentski zahtevi pozivajući *handle_client(client)* funkciju. Ovo omogućava klijentima da pristupe podacima o senzorima putem HTTP zahteva.
- Zaustavljanje CPU-a i obrada izuzetaka: izvršenje programa se zaustavlja u petlji pomoću *utime.sleep(0.1)* kako bi smanjio opterećenje procesora i potrošnja energije. Ako se pojavi izuzetak (npr. *ZeroDivisionError*), program će ga filtrirati i nastaviti sa radom.
- Zatvaranje server socket-a: nakon što program završi ili se zaustavi, server socket se zatvara pomoću *s.close()* kako bi se oslobodili resursi.

Ovaj programski kod omogućava Raspberry Pi uređaju da prikuplja podatke sa senzora nosivog sistema i da udaljenim klijentima omogući pristup tim podacima putem Wi-Fi mreže putem HTTP zahteva.

6. Procena ergonomskih rizika

U ovom poglavlju predstavljeni su rezultati procene ergonomskih rizika dobijenih upotrebom prethodno obrađenog odevnog predmeta opremljenog sistemom nosive tehnologije ugrađenog u odevni predmet specijalne namene.

6.1.Evaluacija ergonomskih rizika standardnim tehnikama

Na početku izraživanja, učesnici su upoznati sa osnovnim radnjama koje se odvijaju na posmatranoj radnoj stanici montažne trake. Kategorisane su sve tehničke radnje koje radnik obavlja tokom celog procesa. Urađena je procena sekundarnih ergonomskih faktora vezanih za dizajn radne stanice i okruženja kako ne bi uticali na ishod našeg istraživanja. Ovi faktori se odnose na visinu radne površine od poda na kojoj radnik stoji, rastojanje tela radnika od ivice radne površine, stabilnost podloge na kojoj stoji, nivo buke, nivo buke, visinu radne površine od poda, rastojanje tela radnika od ivice radne površine, svetlost, ventilaciju, vlažnost i temperaturu. Položaj ruku i ugao zglobova laktova, šake, prstiju, ramena, kukova i nogu bili su van okvira ovog istraživanja, ali su i oni razmotreni i izvršene su adekvatne korekcije kako ovi faktori ne bi delovali. utiču na ishod istraživanja. Svi ovi faktori su pojedinačno značajni za procenu ukupnog ergonomskeg rizika, a svaki zahteva posebnu procenu. Radni zadatak koji smo pratili je statičkog tipa i odvija se na presi u koju radnik postavlja montažne komade proizvoda, a vremenski ciklus radnji radnika zavisi od mašinskog vremena presa potrebnog za rad, tj. 5 sekundi, delovi proizvoda kojima rukuje radnik su teški do 200 grama, a svako zabeleženo opterećenje snage je bilo ispod granične vrednosti od 2kg, presa je kontinualnog tipa i radnik nema direktnu fizičku interakciju sa njom. Visina radne površine od poda je 110 cm, a telo radnika udaljeno je 10 cm od ivice radne površine. Proizvodne operacije obavlja stojeći, koristeći obe ruke istovremeno.

Evaluacija je započela konvencionalnom metodom procene prema uputstvima RULA alata. Radnik je vizuelno praćen, dok su fotografije i video snimci snimani u različitim periodima smene za kasniju analizu od strane tima i na osnovu njih se boduje zabeleženo ergonomsko stanje rizika. Bodovanje je predstavljeno označenim satom, što predstavlja prosečnu vrednost rezultata tokom tog sata. Kao što se i očekivalo, rezultati bodovanja su

fluktuirali kroz vremenske intervale radne smene, najviši vrhovi oscilovanja su se javljali pre prve pauze i pred kraj smene, sa opštom tendencijom rasta tokom vremena. Prosečna ocena koju smo utvrdili za ovo radno mesto i radnika je 5. Kao takva, ona ima ocenu u zoni srednjeg rizika od ergonomske povreda prema smernicama nivoa delovanja RULA Tabela 1. Zahteva intervenciju u vezi sa reorganizacijom procesa rada i procedure.

Prosečni bodovi ocene radnika po elementima ispita su sledeći:

- Ocena držanja vrata: 2;
- Ocena držanja trupa: 2;
- Ocena upotrebe mišića: 1;
- Ocena sile/opterećenja: 0;
- Konačan rezultat: 5; (istraga i promene su uskoro potrebne)

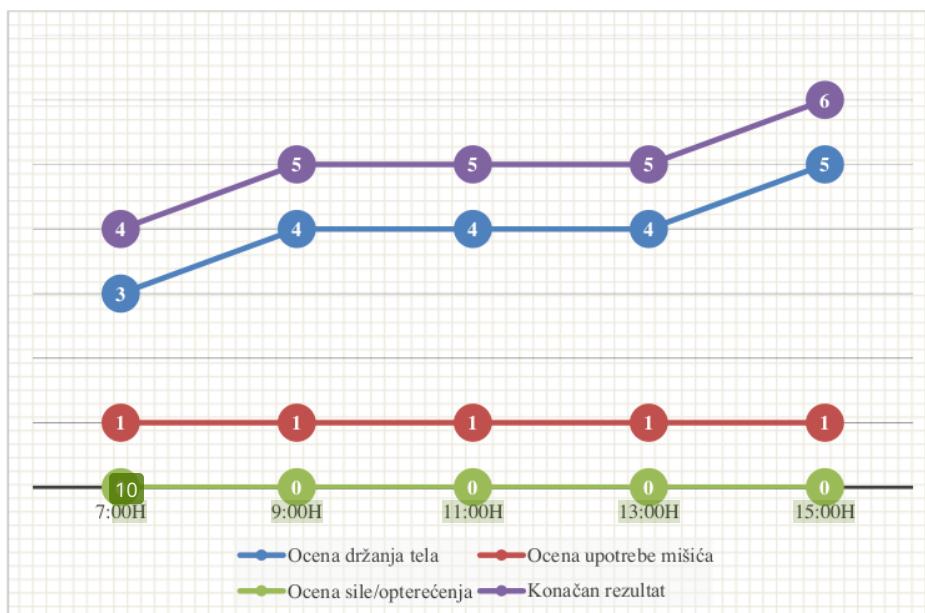
Proces proizvodnje se izvodi repetitivnim stilom više od četiri puta u minuti i dobija ocenu 1 za upotrebu mišića, dok su sve zabeležene sile bile ispod 2 kg, tako da opterećenje sile u proračunu daje 0 poena. Ocene za pozu vrata i trupa utvrđene su kao najkritičnije, sa prosečnom ocenom 2, ali su u pojedinim trenucima dostizale ocenu 3. Uočeno je da posle određenog vremena radnik ima poteškoća da održava pravilno telo. položaj usled zamora i gubitka koncentracije, to se manifestuje spuštanjem brade napred i dole ka montažnom proizvodu, što dovodi do pomeranja celog tela napred i dovodi do promene ugla držanja trupa u ergonomske nepovoljne situacije.

Vreme merenja	7h	9h	11h	13h	15h
Ocena držanja tela	3	4	4	4	5
Ocena upotrebe mišića	1	1	1	1	1
Ocena sile/opterećenja	0	0	0	0	0
Konačan rezultat	4	5	5	5	6

Tabela 6. Prosečni bodovi ocenjeni u različitim vremenskim intervalima tokom smene.

Analizom dobijenih podataka utvrđeno je da se mora razmotriti mogućnost redizajniranja radne stanice, kao i samih postupaka rada, koliko je to u praksi moguće, s obzirom da to ne utiče na produktivnost postrojenja. Najekonomičnija mogućnost smanjenja utvrđenih rizika je dodatna obuka za samog radnika, izazovi ovog pristupa su vreme potrebno za

obuku kao i stalni nadzor nakon obuke jer se fiziološke varijable ne mogu izbjeći, a radnik će uvek biti sklon umoru i nedostatku koncentracije da samostalno prati ergonomske parametre rizikuje. Sledeće razmatranje je rotacija radnika na ovoj radnoj stanici za montažnu traku tokom smene. Ovakav pristup zahteva da radnici budu obučeni za više proizvodnih operacija, ako je moguće i pogodno, ovaj metod se najčešće koristi u praksi industrijske ergonomije. Njeni izazovi su obuka radnika, produktivnost i kontrola kvaliteta same proizvodnje.



Slika 34. Grafikon prikazuje progresiju ergonomske rizika u pravom vremenu.

Poslednje razmatranje je promena proizvodnih procedura, prilagođavanje proizvodne opreme ili kupovina ergonomske adekvatnijih alata i opreme. Ovaj pristup, ako je moguće, je možda najefikasniji na duge staze. Međutim, ono je najmanje ekonomično jer zahteva dodatna ulaganja u opremu i usluge, vreme za prihvatanje i implementaciju novih proizvodnih procedura, često izaziva privremenu obustavu proizvodnje, moguće promene u sistemu upravljanja i logistike i kao takvo generalno najmanje popularan u procesu donošenja odluka.

Ova analiza nam je pokazala izazove specifične radne stanice za montažnu traku i koje izazove treba najefikasnije rešiti. Utvrdili smo da radnik ne može samostalno da prati sve

uslove ergonomskih rizika i zahteva stalnu spoljnu kontrolu kako bi ostao van zone rizika. Rad je statičan i podložan je gubitku koncentracije. Takođe smo ustanovili da se vremenom povećavaju ergonomske rizici same radne stanice, što je u direktnoj korelaciji sa porastom zamora radnika. U nastavku ćemo na ove izazove odgovoriti uvođenjem senzora za praćenje položaja tela, koji će osobu koja ga nosi signalom obavestiti kada su određeni pragovi vrednosti prekoračeni i kada se nalazi u zoni rizika podložnoj ergonomske povrede.

6.2.Evaluacija ergonomskih rizika korišćenjem nosive tehnologije

Da bi se odgovorilo na izazove prethodnog istraživanja, koristićemo radnu odeću u koju je ugrađen senzor za praćenje pokreta. Senzor je instaliran na zadnjem delu majice radne odeće, Slika 35, i radi na principu detekcije rastezanja. Istezanje se javlja u situacijama kada nosilac savija leđa, odeća na kojoj se nalazi senzor je dovoljno rastezljiva da ima osobinu da prati zakrivljenost zadnjeg dela i stoga povećava dužinu zadnjeg dela odeće. Ovo novo stanje detektuje mikroprocesor koji očitava stanje na senzoru, primljeni signal se obrađuje i na osnovu njega se šalje signal u vidu zvuka i LED svetla. Senzor, mikroprocesor i baterija ugrađeni su zajedno u odeću na način da omogućavaju slobodno kretanje i ne ometaju radnika pri obavljanju poslova.

Procena je izvršena narednog dana nakon prethodne analize, a isti radnik je nosio odeću sa senzorom kada je krenuo u smenu. Procene smo izvršili kao i ranije koristeći smernice RULA. Zapažanja su snimljena fotografijama i video zapisima za kasniju analizu na unapred definisan način.



Slika 35. Senzor detektuje loš položaj tela

Ovaj put je sistem nosive tehnologije signalizirao radnika svaki put kada je njegova trenutna poza bila izvan prihvatljivog opsega ergonomske rizika. Tada bi istovremeno i samostalno korigovao položaj tela. Radnik je prethodno bio upoznat sa funkcijama i imao je priliku da isproba nosivi senzor, tako da nije imao vremena da se navikne na njega. Iako su zahtevi samog radnog zadatka bili takvi da je radnik bio doveden u situacije da stvara nepovoljan položaj tela, on je u većini slučajeva svesno korigovao svoje držanje. U situacijama kada bi radna operacija zahtevala da radnik nagne telo napred, što je uglavnom praćeno spuštanjem brade prema predmetu proizvodnje, što izaziva još veći stepen zakrivljenosti vrata i leđa, nakon senzora. signalom, radnik bi podigao bradu i ispravio vrat nakon čega bi se zvučni signal zaustavljao.

Nakon prikupljenih podataka i tokom analize, uočeno je da su se promene dešavale u rangui posture, čiji je prosek za celu smenu sada iznosio 2,4 boda. Za poređenje, ukupan ergonomske prosek rizika bio je 3,4 poena i kategorisan je kao niskorizična aktivnost. Ovaj rezultat je podigao nivo zaštite radnika od ergonomske rizika za jednu lestvicu više prema smernicama RULA standardnog akcionog nivoa Tabela 2.

Prosečni bodovi RULA ocene radnika po elementima ispita su sledeći:

- Ocena držanja vrata: 1;
- Ocena držanja trupa: 1;
- Ocena upotrebe mišića: 1;
- Ocena sile/opterećenja: 0;

- Konačan rezultat: 3; (potrebna je dodatna istraga i možda će biti potrebne promene)

Iako još uvek nismo postigli rezultat koji garantuje ciljani najviši nivo ergonomske zaštite, uspeali smo u kratkom roku da očigledno smanjimo nivo ergonomske rizika bez promena u procesima koji se odvijaju na radnoj stanici i van njega. direktno remeteći procedure na montažnoj traci samog radnika. Nakon obrade dobijenih podataka, sledeći korak je razmatranje i predlozi poboljšanja za dalje prilagođavanje radne stanice ergonomske zahtevima, nakon čega se vrši nova procena po prethodnoj proceduri sa ciljem da se ponovo proceni i potvrdi eventualno beneficije koje se dobijaju u pogledu zaštite radnika. Ponovnu procenu ergonomske rizika treba izvršiti svaki put nakon izvršene promene na radnoj stanici ili procedurama.

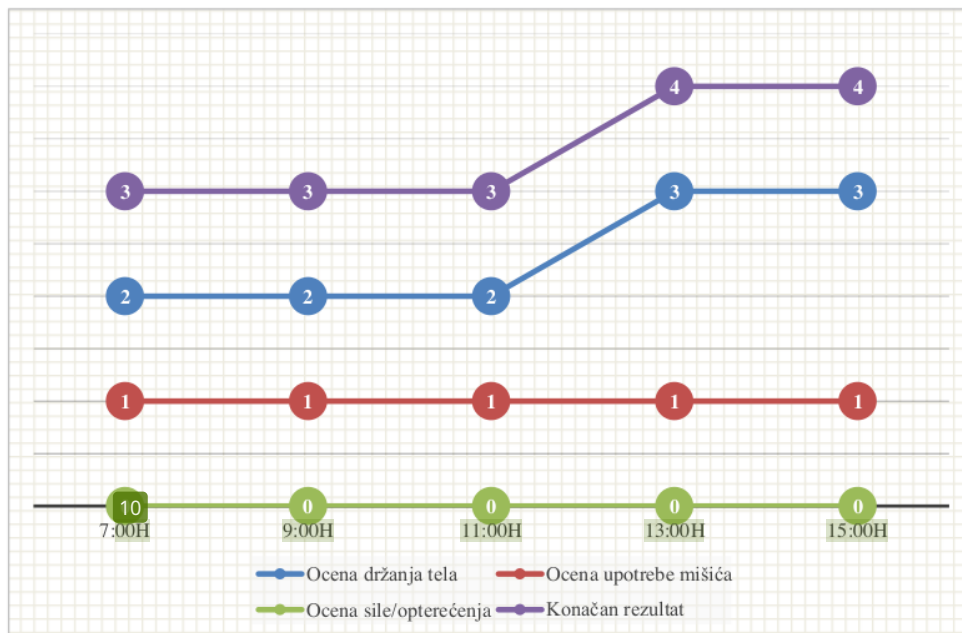


Slika 36. Optimalno i loše držanje tela

Vreme merenja	7h	9h	11h	13h	15h
Ocena držanja tela	2	2	2	3	3
Ocena upotrebe mišića	1	1	1	1	1
Ocena sile/opterećenja	0	0	0	0	0
Konačan rezultat	3	3	3	4	4

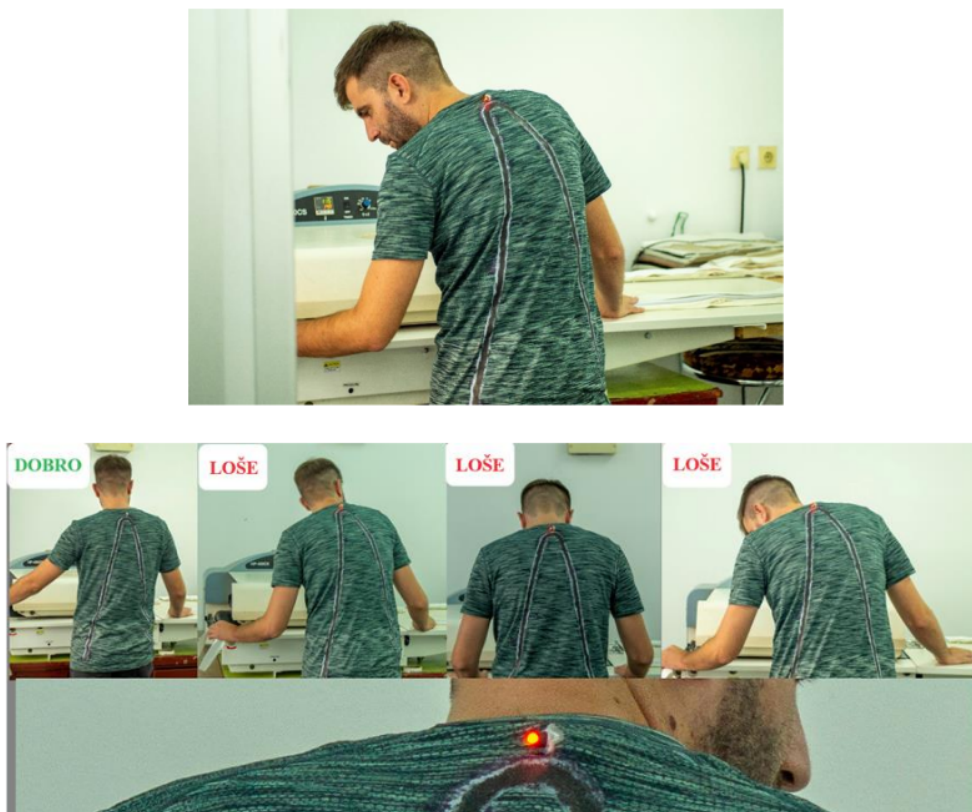
Tabela 7. Prosečni bodovi procenjeni kada radnik nosi senzor.

Nosivi uređaji su pomogli radniku da samostalno ispravi držanje tela. Istovremeno, olakšalo je rad ergonomskim ocenjivačima, iako su za konačni rezultat koristili metode ocenjivanja RULA, pomoglo je u ukupnoj proceni posmatranog postupka i omogućilo im da uoče određene anomalije koje bi mogle ranije su zanemareni. Kao što je ranije objašnjeno, senzor se kalibriše prema neutralnom položaju tela, svako odstupanje se alarmira signalom tako da se sada primećuju nepravilne ergonomske radnje radnika dok ne obavlja radni zadatak i nije prisutan na radnoj stanici, a ove dodatne radnje takođe utiču na nagomilavanje ergonomske ocene rizika, međutim, uglavnom ostaju nezabeležene tokom konvencionalnog praćenja.



Slika 37. Grafikon pokazuje poboljšanja u smanjenju rizika ergonomije

Kao što vidimo pri analizi grafika, faktor zamora radnika ostaje prisutan tokom čitavog perioda, radnik je primao signale sa senzora, ali su njegove reakcije na njih vremenom bile sporije, pa je kao rezultat toga duže boravio u zonama. ergonomskih rizika što je duže proveo na radnoj stanici, evidentno je da je najkritičnije vreme pred kraj radnog dana kada je radnik već umoran i mentalno manje koncentrisan na radne zadatke. Ovu informaciju treba shvatiti ozbiljno kada se razmatraju opasna radna mesta sa ogromnim potencijalom za fizičke povrede radnika, što je svakako značajniji faktor rizika od ergonomskih povreda. Stanja koja se odnose na ergonomiju karakteriše razvoj tokom vremena provedenog pod utvrđenim nepovoljnim normama. Prilikom analize ergonomskih rizika, ukoliko se kao takva ustanovi situacija da se rad obavlja u neidealnim, ali tolerantnim granicama, kao što je to slučaj u našem istraživanju, treba razmotriti šire aspekte uslova zaštite na radu.



Slika 38. Procenjena aktivnost i LED signalizacija nosivih uređaja kada je osoba u položaju sklonom riziku

Kao što se vidi na slici 38. radnik obavlja zadatak na posmatranoj radnoj stanici. U trenucima kada je držanje njegovog tela u zoni prihvatljivog rizika, lampica koja se nalazi na vrhu njegovih leđa se gasi (Slika 39.), a taj položaj na slici je označen kao „Dobar“. U trenutku kada se njegovo držanje pomeri u zonu povećanog ergonomskeg rizika, LED svetli crveno, a zvučni signal se aktivira, ovo je na slici označeno kao „Loše“.



Slika 39. Detekcija dobrog i lošeg položaja tela

6.3 Analiza dobijenih podataka iz evaluacije

Analiza snimljenih podataka obavljena je upoređivanjem dva skupa rezultata dobijenih u odvojenim scenarijima, prvi kada radnik ne koristi podatke nosivog senzora prikupljene u grupi 1, a drugi kada ih koristi u grupi 2. Snimanje podataka je izvršeno, urađeno različitim danima za svaki scenario na radnoj stanici predstavljenoj u ovom istraživanju. Najuticajniji parametar za ovaj eksperiment bio je skor posture prema RULA metodologiji. Ergonomski rizici parametara držanja tela se procenjuju prema metodi

opisanoj u poglavlju 3.2. u pogledu pragova rizika opisanih na Slici 11. i Slici 12. Analiza obuhvata ukupnu ocenu ergonomske rizika za oba slučaja i njihovo poređenje. Rezultati rezultata posmatranja prikazani su u Tabeli 6. i Tabeli 7.

Da bismo analizirali ova dva skupa podataka, izabrali smo statističku metodu dvostranog t-Test-a da procenimo razliku između dva srednje vrednosti grupe podataka koristeći odnos razlike u srednjim vrednostima grupe skupa u odnosu na objedinjenu standardnu grešku oba skupa grupe. Ovde koristimo dvostrani t-test jer se koristi za merenje razlike između tačno dve sredine koja su pogodna za procenu rezultata našeg istraživanja i hipoteze koju smo postavili.

Prilikom snimanja radnog zadatka, kada radnik obavlja normalno i ne koristi nosivi senzor, utvrđen je viši nivo ergonomske rizika na osnovu RULA bodovne tabele 2, što je potvrđeno analizom snimljenih podataka za e- guma 7,5h smene (srednja vrednost = 5, standardna devijacija = 0,6325). Srednja vrednost 5 rangira ovu radnu poziciju kao srednji ergonomski rizik. Tabela 8, na standardnu devijaciju utiču fizički učinak i mentalni fokus radnika tokom vremena.

Sutradan je isti radnik primećen kako pod istim uslovima obavlja isti radni zadatak. Ovaj put su zabeleženi različiti rezultati nakon procene ergonomske rizika (srednja vrednost = 3,4, standardna devijacija = 0,4899). Prosečna vrednost od 3,4 rangira ovaj rezultat kao nizak ergonomski rizik, dok standardna devijacija ukazuje na poboljšanje mentalnog fokusa radnika na držanje tela.

Da bismo pronašli t izračunatu vrednost razlike i stepene slobode, koristićemo sledeće formule:

$$\bar{X}_1 \approx 5,$$

$$\bar{X}_2 \approx 3.4,$$

$$S^2X_1 = \frac{1}{n-1} = \sum_{i=1}^n (X_{1i} + \bar{X}_1)^2 \approx 0.4,$$

$$S^2X_2 = \frac{1}{n-1} = \sum_{i=1}^n (X_{2i} + \bar{X}_2)^2 \approx 0.24,$$

$$S_{X1X2} = \frac{1}{n-1} = \sqrt{\frac{1}{2} (S_{X1}^2 + S_{X2}^2)} \approx 0.5657,$$

Sx1 = Standardna devijacija podataka za grupu 1,

S_{x2} = Standardna devijacija podataka za grupu 2,

S_{x1x2} = Velika standardna devijacija.

$$\frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{x1x2} * \sqrt{\frac{2}{n}}} = \frac{5 - 3.4}{0.5657 * \sqrt{\frac{2}{5}}} \approx 4.472,$$

$$d.o.f = 2n - 2 = 2 * 5 - 2 = 8,$$

Srednje vrednosti grupe 1 i grupe 2 se značajno razlikuju pri ($p < .05$). Izračunata razlika t za ove skupove podataka je ($t = 4,472$) da bismo odredili kritičnu vrednost za t koristimo stepene slobode ($d.o.f = 8$) i ($\alpha = 0,05$). Kritična vrednost t koju ovde dobijamo je 2,306, manja od $t = 4,472$. To nam govori da su sredstva značajno različita.

Ovaj rezultat sugeriše da postoji приметna razlika između ova dva scenarija. Kada analiziramo srednje vrednosti i standardne devijacije, evidentno je da držanje radnika pokazuje poboljšanje u smanjenju ergonomske rizika tokom vremena provedenog na radnom mestu. Ovo je uzrokovano njegovim povećanim fokusom na držanje tela tokom obavljanja radnih zadataka kada nosi senzor.

Postoji razlika u trendu kada se uporede ova dva scenarija, razlike u ergonomske ocenama rizika na početku i na kraju radnog vremena su manje kada se koristi nosivi senzor.

	Grupa 1	Grupa 2
Mena	5	3.4
Varijanca	0.4	0.24
Standardna varijacija	0.6325	0.4899
n	5	5
t	4.472	
d.o.f	8	
Kritična vrednost	2.306	

Tabela 8. Rezultati analize podataka, grupa 2 predstavljaju podatke kada se koristi nosivi uređaj.

7.DISKUSIJA

Rezultati istraživanja pokazuju da korisnici nosivih uređaja imaju tendenciju da pokažu poboljšanja unutar prihvatljivih granica rizika. Istovremeno, ergonomski nadzornici bezbednosti dobijaju bolji kvalitet i kvantitet podataka u realnom vremenu za njihovu analizu. Rezultati pokazuju da uvođenje nosivog senzora koji prati pokrete tela kao preventivne mere za smanjenje ergonomske rizika ima svoje prednosti u smanjenju i otkrivanju ergonomske rizika u radnom okruženju. Koristeći utvrđenu RULA metodu i upoređujući rezultate dobijene na isti način, ali u različitim okolnostima, ovoga puta uz pomoć nosivog senzora, uspešno smo da u praksi dokažemo da postoje razlike u konačnim rezultatima evaluacije kada se nosi. tehnologija se koristi za praćenje i korekciju određivanja faktora rizika utvrđenim metodama. Ova vrsta tehnologije otvara brojne druge mogućnosti nadogradnje, a naš predlog je vrsta otvorene arhitekture koja pruža mogućnost ugradnje senzora u seriju ili druge tipove senzora, kao i komunikacionih modula koji mogu da pretvore nosivi uređaj u neku vrstu IoT uređaja i tako otvara širok spektar inspirativnih mogućnosti. Za nosive uređaje mogu se koristiti različiti tipovi senzora u cilju sprečavanja ergonomske rizika, mogu se podeliti u dve glavne grupe: prikupljanje fizičkih i fizioloških podataka. Prilikom prikupljanja fizičkih parametara uglavnom se koriste senzori pokreta, istezanja ili optički senzori. Uglavnom se sastoje od mernog senzora i jedinice za obradu koja prati odstupanja prikupljenih podataka. Za elektronsko prikupljanje fizioloških parametara mogu se koristiti senzori otkucaja srca, senzori za hemijsku analizu potrošnje krvi, znoja i kiseonika. Fiziološki parametri se takođe mogu pratiti korišćenjem pametnih e-tekstilnih tkanina čija se hemijska i fizička svojstva mogu koristiti za analizu analognih podataka. Sama struktura i materijali koji se koriste za tkanje ili pletenje e-tekstilne tkanine mogu biti fizički ili hemijski reaktivni na odstupanja u okruženju u kojem se koristi. Naravno, ova tehnologija donosi i određeni broj izazova. Sa stanovišta dizajna odeće, postoje izazovi u montaži i održavanju samog predmeta. Ovi izazovi se odnose na izbor odgovarajućih materijala i sam tehnološki proces proizvodnje odeće. Specifični postupci u ovom tehnološkom procesu moraju biti prilagođeni za ugradnju elektronskih komponenti u odevni predmet i često podrazumevaju prilagođavanje tradicionalne proizvodne opreme i postupaka novim zahtevima. Uočen je jedan poremećaj koji bi mogao da utiče na kognitivno stanje radnika,

a to je zvuk zujalice koja upozorava na neželjene položaje tela. Posle izvesnog vremena primećeno je da povremeno privlači pažnju radnika. Za naš eksperiment, kao što je prethodno opisano, korišćen je senzor koji koristi električni otpor, svojstvo materijala za njegovo očitavanje i konverziju vrednosti. Izazovi na koje smo naišli ogledali su se u usklađivanju svojstava elektronike, koja uglavnom postoji na krutim i stabilnim površinama, sa fizički fleksibilnim svojstvima tekstilnih materijala. Ovo ograničava usklađivanje, kao i vek trajanja instaliranih komponenti. Sledeći izazov koji se javlja je u vidu fizičkih karakteristika materijala i njihove veze sa samim otporom, pošto je poznato da električni otpor materijala varira ne samo u zavisnosti od vrste materijala već i od spoljašnjih faktora kao što je npr. kao temperatura i vlažnost. Ljudsko telo, po svojoj prirodi, stvara temperaturu i vlažnost u obliku znojenja. Ovim faktorima može doprineti i radno okruženje. Drugi izazov je fizička osetljivost elektronskih komponenti i njihova sklonost lomljenju i kvaru. Radnik u svom radnom okruženju često dolazi u kontakt sa raznim predmetima koji ga okružuju, a kao rezultat toga, komponente na samom nosivom uređaju mogu da pokvare. Još uvek postoji nekoliko izazova kojima se u budućim istraživanjima mora pristupiti individualno i metodički.

8. Zaključak

Zaključak ovog naučnog rada ukazuje na važnost i potencijalnost upotrebe električnog otpornika kao senzora ljudskog kretanja u običnim odevnim predmetima. Istraživanje je imalo za cilj proceniti upotrebljivost ovog koncepta i pružiti osnovu za razvoj nosive tehnologije u svrhu zaštite na radu. Rezultati eksperimenta potvrdili su buduću upotrebljivost ovog pristupa, s obzirom na pouzdanost i preciznost senzora. Istraživanje je pokazalo da se električni otpornik može efikasno koristiti za praćenje ljudskog kretanja kada je integrisan u odevne predmete. Analiza rezultata dobijenih korišćenjem ovog senzora uspešno je upoređena sa tradicionalnim metodama merenja, potvrđujući njegovu valjanost. Ovo istraživanje postavlja osnovu za dalje istraživanje i razvoj nosive tehnologije u oblasti zaštite na radu. U savremenom industrijskom okruženju, ergonomija je od suštinskog značaja kako bi se obezbedili humani i

produktivni uslovi za radnike. Ergonomski aspekti se odnose na fizičke i kognitivne zahteve radnog mesta. Istraživanja pokazuju da mnogi radnici suočavaju sa odsustvom sa posla ili rade pod otežanim uslovima zbog problema izazvanih radnim aktivnostima. Ergonomski poremećaji predstavljaju značajan deo profesionalnih oboljenja, sa velikim procentom povreda na radnom mestu koje su povezane sa ergonomskim faktorima. Ovaj rad postavlja osnovu za razmišljanje o preventivnim merama i rešenjima za smanjenje ergonomskih rizika u industriji. Implementacija nosive tehnologije u oblačenje radnika može značajno doprineti praćenju i smanjenju rizika od povreda ili oboljenja mišićno-skeletnog sistema. Ova inovativna metoda praćenja i analize može se primeniti u sektorima proizvodnje, maloprodaje i usluga, gde su zaposleni često izloženi fizičkim naporima. Ova tehnologija može obezbediti potrebne informacije za efikasno upravljanje ergonomskim uslovima na radnom mestu i smanjenje rizika od povreda.

U celini, ovaj naučni rad ukazuje na potencijal inovativnih tehnoloških rešenja za unapređenje ergonomije na radnom mestu i stvaranje sigurnijih i produktivnijih uslova za radnike. Istovremeno, otvara vrata za dalje istraživanje i razvoj u ovoj oblasti kako bi se ispunile potrebe savremene industrije i osigurala dobrobit radne snage.

8.1.Pravci daljeg istraživanja

Pravci daljeg istraživanja u oblasti nosive tehnologije za unapređenje ergonomije na radnom mestu su od suštinskog značaja kako bi se osigurala sigurnost i produktivnost radnika. Iako je ovo istraživanje postavilo osnovu za korišćenje električnog otpornika kao senzora u oblačenju, postoje mnogi aspekti koji zahtevaju dodatno istraživanje i razvoj kako bi se ostvarila potpuna implementacija ovih inovativnih rešenja. Jedan od pravaca daljeg istraživanja može biti razvoj naprednih senzora i materijala za integrisanje u odevne predmete. Ovo podrazumeva istraživanje fleksibilnih materijala koji mogu udobno da se nose, ali istovremeno omogućavaju precizno praćenje pokreta i položaja tela. Novi senzori i materijali mogu biti dizajnirani tako da budu još manji, lakši i efikasniji u merenju različitih ergonomskih faktora, kao što su položaj tela, pokreti kičme i nivo stresa na mišićima. Takođe, dalje istraživanje može se usredsrediti na razvoj algoritama za analizu podataka dobijenih od senzora. Ovi algoritmi treba da omoguće precizno praćenje i interpretaciju podataka kako bi se identifikovali rizici i problemi u

vezi sa ergonomijom na radnom mestu. To uključuje i razvoj sistema za automatsko upozoravanje ili obaveštavanje radnika i nadzornog osoblja o potencijalno štetnim uslovima. Drugi važan aspekt daljeg istraživanja je bezbednost i privatnost podataka. Kako nosiva tehnologija prikuplja osetljive informacije o zdravlju i aktivnostima radnika, neophodno je razviti sigurnosne mehanizme i protokole za zaštitu ovih podataka od neovlašćenog pristupa i zloupotrebe. Takođe, treba razmotriti i regulativne aspekte u vezi sa prikupljanjem i čuvanjem ovih podataka kako bi se osigurala usklađenost sa zakonodavstvom. Uz to, interdisciplinarni pristup je ključan za dalje istraživanje. Timovi sa različitim stručnostima u oblastima kao što su elektronika, softver, ergonomija, medicina i dizajn treba da sarađuju kako bi razvili sveobuhvatna rešenja koja zadovoljavaju potrebe radnika i industrije. Konačno, primena nosive tehnologije za unapređenje ergonomije može se proširiti na različite industrije i sektore. Dalje istraživanje može se usmeriti na razvoj specifičnih rešenja za različite sektore, kao što su građevinska industrija, zdravstvo, proizvodnja i usluge. Prilagođavanje tehnologije specifičnim potrebama različitih industrija omogućava širu primenu i doprinosi stvaranju bezbednijih i efikasnijih radnih okolina. U zaključku, nosiva tehnologija ima potencijal da značajno doprinese unapređenju ergonomije na radnom mestu. Dalje istraživanje i razvoj u ovom polju su ključni kako bi se ostvarili ciljevi zaštite radnika, prevencija povreda i unapređenje produktivnosti. Kroz interdisciplinarnu saradnju, inovaciju u senzorima i materijalima, razvoj algoritama i pažljivo razmatranje sigurnosnih i privatnih aspekata, možemo oblikovati budućnost bezbednijeg i ergonomski usklađenijeg radnog okruženja.

10. LITERATURA

- [1] Maksimović N., Čabarkapa M., Tanasković M., Randjelović D., Challenging Ergonomics Risks with Smart Wearable Extension Sensors, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), Basel, Switzerland, 2022., Volume 11, Issue 20, (ISSN: 2079-9292, IF 2.690, Electronics, M21).
- [2] Stefana, Elena et al. "Wearable Devices for Ergonomics: A Systematic Literature Review." *Sensors* (Basel, Switzerland) vol. 21,3 777. 24 Jan. 2021, doi:10.3390/s21030777
- [3] Mardonova M., Choi Y. Review of wearable device technology and its applications to the mining industry. *Energies*. 2018;11:547. doi: 10.3390/en11030547.
- [4] Khakurel J., Melkas H., Porras J. Tapping into the wearable device revolution in the work environment: A systematic review. *Inf. Technol. People*. 2018;31:791–818. doi: 10.1108/ITP-03-2017-0076.
- [5] Sazonov E. Introduction. In: Sazonov E., editor. *Wearable Sensors: Fundamentals, Implementation and Applications*. Academic Press; Cambridge, MA, USA: 2020. pp. 15–16.
- [6] Kong X.T.R., Luo H., Huang G.Q., Yang X. Industrial wearable system: The human-centric empowering technology in Industry 4.0. *J. Intell. Manuf.* 2019;30:2853–2869. doi: 10.1007/s10845-018-1416
- [7] Mewara D., Purohit P., Pratap B., Rathore S. Wearable Devices Applications & its Future. *Int. J. Technol. Res. Eng.* 2016;59–64.
- [8] Jeong S.C., Kim S.H., Park J.Y., Choi B. Domain-specific innovativeness and new product adoption: A case of wearable devices. *Telemat. Inform.* 2017;34:399–412. doi: 10.1016/j.tele.2016.09.001.
- [9] Koutromanos G., Kazakou G. The use of smart wearables in primary and secondary education: A systematic review. *Themes eLearn*. 2020;13:33
- [10] Cheng J.W., Mitomo H. The underlying factors of the perceived usefulness of using smart wearable devices for disaster applications. *Telemat. Inform.* 2017;34:528–539. doi: 10.1016/j.tele.2016.09.010.

- [11] Chander H., Burch R.F., Talegaonkar P., Saucier D., Luczak T., Ball J.E., Turner A., Kodithuwakku Arachchige S.N.K., Carroll W., Smith B.K., et al. Wearable Stretch Sensors for Human Movement Monitoring and Fall Detection in Ergonomics. *Int. J. Env. Res. Public Health*. 2020;17:3554. doi: 10.3390/ijerph17103554.
- [12] Geršak V., Vitulić H.S., Prosen S., Starc G., Humar I., Geršak G. Use of wearable devices to study activity of children in classroom; Case study—Learning geometry using movement. *Comput. Commun.* 2020;150:581–588. doi: 10.1016/j.comcom.2019.12.019.
- [13] Conforti I., Mileti I., Del Prete Z., Palermo E. Measuring Biomechanical Risk in Lifting Load Tasks Through Wearable System and Machine-Learning Approach. *Sensors*. 2020;20:1557. doi: 10.3390/s20061557
- [14] Tomberg V., Kelle S. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Volume 500. Springer; Berlin, Germany: 2016. Towards Universal Design Criteria for Design of Wearables; pp. 439–449.
- [15] Niknejad N., Ismail W.B., Mardani A., Liao H., Ghani I. A comprehensive overview of smart wearables: The state of the art literature, recent advances, and future challenges. *Eng. Appl. Artif. Intell.* 2020;90 doi: 10.1016/j.engappai.2020.103529.
- [16] Park S., Jayaraman S. Wearables: Fundamentals, advancements, and a roadmap for the future. In: Sazonov E., editor. *Wearable Sensors: Fundamentals, Implementation and Applications*. Academic Press; Cambridge, MA, USA: 2020. pp. 3–27.
- [17] Dimou E., Manavis A., Kyratsis P., Papachristou E. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. Volume 413. Springer; Berlin, Germany: 2017. A Conceptual Design of Intelligent Shoes for Pregnant Women; pp. 69–77.
- [18] Seneviratne S., Hu Y., Nguyen T., Lan G., Khalifa S., Thilakarathna K., Hassan M., Seneviratne A. A Survey of Wearable Devices and Challenges. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 2017;19:2573–2620. doi: 10.1109/COMST.2017.2731979.
- [19] Tsao L., Li L., Ma L. Human work and status evaluation based on wearable sensors in human factors and ergonomics: A review. *IEEE Trans. Hum. Mach. Syst.* 2019;49:72–84. doi: 10.1109/THMS.2018.2878824.

- [20] Lim S., D'Souza C. A narrative review on contemporary and emerging uses of inertial sensing in occupational ergonomics. *Int. J. Ind. Ergon.* 2020;76:102937. doi: 10.1016/j.ergon.2020.102937.
- [21] Kim W., Lorenzini M., Kapicioglu K., Ajoudani A. ErgoTac: A Tactile Feedback Interface for Improving Human Ergonomics in Workplaces. *IEEE Robot. Autom. Lett.* 2018;3:4179–4186. doi: 10.1109/LRA.2018.2864356.
- [22] International Organization for Standardization . *ISO 26800: Ergonomics—General Approach, Principles and Concepts*. ISO; Geneva, Switzerland: 2011.
- [23] Karwowski W. Ergonomics and human factors: The paradigms for science, engineering, design, technology and management of human-compatible systems. *Ergonomics*. 2005;48:436–463. doi: 10.1080/00140130400029167.
- [24] Bridger R.S. *Introduction to Ergonomics*. Routledge, Taylor & Francis Group; London, UK: 2003.
- [25] International Organization for Standardization . *ISO 6385: Ergonomics Principles in the Design of Work Systems*. Volume 2016 ISO; Geneva, Switzerland: 2016.
- [26] Wilson J.R. Fundamentals of ergonomics in theory and practice. *Appl. Ergon.* 2000;31:557–567. doi: 10.1016/S0003-6870(00)00034-X.
- [27] Centre for Reviews and Dissemination Systematic Reviews . *CRD's Guidance for Undertaking Reviews in Health Care*. CRD; York, UK: 2009.
- [28] Higgins J.P.T., Thomas J., Chandler J., Cumpston M., Li T., Page M.J., Welch V.A. In: *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. 2nd ed. Higgins J.P.T., Thomas J., Chandler J., Cumpston M., Li T., Page M.J., Welch V.A., editors. John Wiley & Sons; Chichester, UK: 2019.
- [29] Moher D., Liberati A., Tetzlaff J., Altman D.G. The PRISMA Group Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Med.* 2009;6:e1000097. doi: 10.1371/journal.pmed.1000097.
- [30] Rezende A., Alves C., Marques I., Silva M.A., Naves E. Polymer Optical Fiber Goniometer: A New Portable, Low Cost and Reliable Sensor for Joint Analysis. *Sensors*. 2018;18:4293. doi: 10.3390/s18124293.
- [31] Wu H.C., Chiang M.L., Hong W.H., Kou H.A. Application of wearable device to develop visual load intelligence monitoring and evaluation technology. In: Bagnara S., Tartaglia R., Albolino S., Alexander T., Fujita Y., editors. *Advances*

- in Intelligent Systems and Computing, Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018), Florence, Italy, 26–30 August 2018*. Volume 818. Springer; Cham, Switzerland: 2019. pp. 285–288.
- [32] Sayegh F., Fadhli F., Karam F., Boabbas M., Mahmeed F., Korbane J.A., Alkork S., Beyrouthy T. A wearable rehabilitation device for paralysis; Proceedings of the BioSMART 2017 2nd International Conference on Bio-Engineering for Smart Technologies; Paris, France. 30 August–1 September 2017.
- [33] Lo J.C., Sehic E., Meijer S.A. Measuring Mental Workload with Low-Cost and Wearable Sensors: Insights into the Accuracy, Obtrusiveness, and Research Usability of Three Instruments. *J. Cogn. Eng. Decis. Mak.* 2017;11:323–336. doi: 10.1177/1555343417716040.
- [34] Ercolini G., Trigili E., Baldoni A., Crea S., Vitiello N. A Novel Generation of Ergonomic Upper-Limb Wearable Robots: Design Challenges and Solutions. *Robotica*. 2019;37:2056–2072. doi: 10.1017/S0263574718001340.
- [35] Zhou Y., David B., Chalon R. PlayAllAround: Wearable one-hand gesture input and scalable projected interfaces. *ERGO IHM*. 2012:105–112. doi: 10.1145/2652574.2653418.
- [36] Fusca M., Negrini F., Perego P., Magoni L., Molteni F., Andreoni G. Validation of a Wearable IMU System for Gait Analysis: Protocol and Application to a New System. *Appl. Sci.* 2018;8:1167. doi: 10.3390/app8071167.
- [37] Stefana E., Marciano F., Cocca P., Alberti M. Predictive models to assess Oxygen Deficiency Hazard (ODH): A systematic review. *Saf. Sci.* 2015;75:1–14. doi: 10.1016/j.ssci.2015.01.008.
- [38] Marciano F., Mattogno P.P., Codenotti A., Cocca P., Fontanella M.M., Doglietto F. Work-related musculoskeletal disorders among endoscopic transsphenoidal surgeons: A systematic review of prevalence and ergonomic interventions. *Int. J. Occup. Saf. Ergon.* 2020:1–10. doi: 10.1080/10803548.2020.1774160.
- [39] Caputo F., Greco A., D’Amato E., Notaro I., Sardo M.L., Spada S., Ghibaud L. A Human Postures Inertial Tracking System for Ergonomic Assessments. In: Bagnara S., Tartaglia R., Albolino S., Alexander T., Fujita Y., editors. *Advances in Intelligent Systems and Computing, Proceedings of the 20th Congress of the*

- International Ergonomics Association (IEA 2018), Florence, Italy, 26–30 August 2018*. Volume 825. Springer; Cham, Switzerland: 2019. pp. 173–184.
- [40] Caputo F., Greco A., D'Amato E., Notaro I., Spada S. Imu-based motion capture wearable system for ergonomic assessment in industrial environment. In: Ahram T., editor. *Advances in Human Factors in Wearable Technologies and Game Design*. Volume 795. Springer; Cham, Switzerland: 2019. pp. 215–225.
 - [41] Caputo F., D'Amato E., Greco A., Notaro I., Spada S. Human posture tracking system for industrial process design and assessment. In: Karwowski W., Ahram T., editors. *Intelligent Human Systems Integration*. Volume 722. Springer; Cham, Switzerland: 2018. pp. 450–455. [[Google Scholar](#)]
 - [42] Conforti I., Mileti I., Del Prete Z., Palermo E. Assessing ergonomics and biomechanical risk in manual handling of loads through a wearable system; Proceedings of the 2019 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT, MetroInd 4.0 and IoT; Naples, Italy. 4–6 June 2019; pp. 388–393.
 - [43] Peppoloni L., Filippeschi A., Ruffaldi E. Assessment of task ergonomics with an upper limb wearable device; Proceedings of the 2014 22nd Mediterranean Conference on Control and Automation, MED 2014; Palermo, Italy. 16–19 June 2014; pp. 340–345.
 - [44] Peppoloni L., Filippeschi A., Ruffaldi E., Avizzano C.A. (WMSDs issue) A novel wearable system for the online assessment of risk for biomechanical load in repetitive efforts. *Int. J. Ind. Ergon.* 2016;52:1–11.
doi: 10.1016/j.ergon.2015.07.002.
 - [45] Kunze K., Uema Y., Tanaka K., Kise K., Ishimaru S., Inami M. MEME—Eye wear computing to explore human behavior; Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and the Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers; Osaka, Japan. 9–11 September 2015; pp. 361–364.
 - [46] Antwi-Afari M.F., Li H., Yu Y., Kong L. Wearable insole pressure system for automated detection and classification of awkward working postures in construction workers. *Autom. Constr.* 2018;96:433–441.
doi: 10.1016/j.autcon.2018.10.004.

- [47] Antwi-Afari M.F., Li H., Umer W., Yu Y., Xing X. Construction Activity Recognition and Ergonomic Risk Assessment Using a Wearable Insole Pressure System. *J. Constr. Eng. Manag.* 2020;146 doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001849.
- [48] Cerqueira S.M., Da Silva A.F., Santos C.P. Smart Vest for Real-Time Postural Biofeedback and Ergonomic Risk Assessment. *IEEE Access.* 2020;8:107583–107592. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3000673.
- [49] Conforti I., Mileti I., Panariello D., Caporaso T., Grazioso S., Del Prete Z., Lanzotti A., Di Gironimo G., Palermo E. Validation of a novel wearable solution for measuring L5/S1 load during manual material handling tasks; Proceedings of the 2020 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT, MetroInd 4.0 and IoT 2020; Naples, Italy. 4–6 June 2020; pp. 501–506.
- [50] Doshi M., Shah H., Gada H., Shah M. Wearable DAQ (Data Acquisition System) for Measurement of R.U.L.A. (Rapid Upper Limb Assessment) Rating of Vehicles; Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligent Computing and Control Systems, ICICCS 2018; Madurai, India. 14–15 June 2018; pp. 545–550.
- [51] Ferreira E.C., Beingolea J.R., Rendulich J.E. Wearable and IoT technology in the development of applications for Postural Physiotherapy; Proceedings of the 2019 IEEE 1st Sustainable Cities Latin America Conference, SCLA 2019; Arequipa, Peru. 26–29 August 2019.
- [52] Giannini P., Bassani G., Avizzano C.A., Filippeschi A. Wearable sensor network for biomechanical overload assessment in manual material handling. *Sensors.* 2020;20:3877. doi: 10.3390/s20143877.
- [53] Hahm K.S., Asada H.H. Design of a Fail-Safe Wearable Robot with Novel Extendable Arms for Ergonomic Accommodation during Floor Work; Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems; Macau, China. 4–8 November 2019; pp. 8179–8184.
- [54] Jin S., Kim M., Park J., Jang M., Chang K., Kim D. A comparison of biomechanical workload between smartphone and smartwatch while sitting and standing. *Appl. Ergon.* 2019;76:105–112. doi: 10.1016/j.apergo.2018.11.009.

- [55] Lenzi S.E., Standoli C.E., Andreoni G., Perego P., Lopomo N.F. Comparison among standard method, dedicated toolbox and kinematic-based approach in assessing risk of developing upper limb musculoskeletal disorders; Proceedings of the International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics; Orlando, FL, USA. 22–26 July 2018; pp. 135–145.
- [56] Lins C., Fudickar S., Gerka A., Hein A. A wearable vibrotactile interface for unfavorable posture awareness warning; Proceedings of the 4th International Conference on Information and Communication Technologies for Ageing Well and e-Health; Funchal, Portugal. 22–23 March 2018; pp. 178–183.
- [57] Lu M.L., Barim M.S., Feng S., Hughes G., Hayden M., Werren D. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* Volume 12198. Springer; Berlin, Germany: 2020. Development of a Wearable IMU System for Automatically Assessing Lifting Risk Factors; pp. 194–213.
- [58] Manjarres J., Narvaez P., Gasser K., Percybrooks W., Pardo M. Physical workload tracking using human activity recognition with wearable devices. *Sensors*. 2020;20:39. doi: 10.3390/s20010039.
- [59] Meltzer A.J., Hallbeck M.S., Morrow M.M., Lowndes B.R., Davila V.J., Stone W.M., Money S.R. Measuring Ergonomic Risk in Operating Surgeons by Using Wearable Technology. *JAMA Surg*. 2020;155:444–446. doi: 10.1001/jamasurg.2019.6384.
- [60] Nath N.D., Chaspari T., Behzadan A.H. Automated ergonomic risk monitoring using body-mounted sensors and machine learning. *Adv. Eng. Inform.* 2018;38:514–526. doi: 10.1016/j.aei.2018.08.020.
- [61] Nath N.D., Akhavian R., Behzadan A.H. Ergonomic analysis of construction worker's body postures using wearable mobile sensors. *Appl. Ergon.* 2017;62:107–117. doi: 10.1016/j.apergo.2017.02.007.
- [62] Sedighi Maman Z., Alamdar Yazdi M.A., Cavuoto L.A., Megahed F.M. A data-driven approach to modeling physical fatigue in the workplace using wearable sensors. *Appl. Ergon.* 2017;65:515–529. doi: 10.1016/j.apergo.2017.02.001.

- [63] Valero E., Sivanathan A., Bosché F., Abdel-Wahab M. Analysis of construction trade worker body motions using a wearable and wireless motion sensor network. *Autom. Constr.* 2017;83:48–55. doi: 10.1016/j.autcon.2017.08.001.
- [64] Yan X., Li H., Li A.R., Zhang H. Wearable IMU-based real-time motion warning system for construction workers' musculoskeletal disorders prevention. *Autom. Constr.* 2017;74:2–11. doi: 10.1016/j.autcon.2016.11.007.
- [65] S. F. Yeo, C. L. Tan, K. B. Lim, A. Chelvarayan and S. Teng, "Analytical Impact of Social Media: A Case of Wearable Technology Devices," 2022 International Conference on Digital Transformation and Intelligence (ICDI), Kuching, Sarawak, Malaysia, 2022, pp. 225-229, doi: 10.1109/ICDI57181.2022.10007173.
- [66] Yeo, Sook Fern & Tan, Cheng Ling & Lim, Kah Boon & Teng, Shu. (2020). Wearable Technology and Social Media: An Insight of Consumer Buying Behaviour. *Global Conference on Business and Social Sciences Proceeding*. 11. 80-80. 10.35609/gcbssproceeding.2020.11(80).
- [67] Ates, H.C., Nguyen, P.Q., Gonzalez-Macia, L. et al. End-to-end design of wearable sensors. *Nat Rev Mater* 7, 887–907 (2022).
<https://doi.org/10.1038/s41578-022-00460-x>
- [68] N. Mughees, (2020). Types of wearable sensors,
<https://electronics360.globalspec.com/article/15378/types-of-wearable-sensors>
- [69] Dolson, C.M.; Harlow, E.R.; Phelan, D.M.; Gabbett, T.J.; Gaal, B.; McMellen, C.; Geletka, B.J.; Calcei, J.G.; Voos, J.E.; Seshadri, D.R. Wearable Sensor Technology to Predict Core Body Temperature: A Systematic Review. *Sensors* 2022, 22, 7639. <https://doi.org/10.3390/s22197639>
- [70] Teo Wil Son, Dzati Athiar Ramli, Azniza Abd Aziz, Wearable Heat Stroke Detection System in IoT-based Environment, *Procedia Computer Science*, Volume 192, 2021, Pages 3686-3695, ISSN 1877-0509,
- [71] Wearable Light Sensors Based on Unique Features of a Natural Biochrome Author: Daniel J. Wilson, Francisco J. Martín-Martínez, Leila F. Deravi Publication: ACS Sensors Publisher: American Chemical Society Date: Feb 1, 2022.
- [72] R.S. Bridger, Introduction to Ergonomics, 29 West 35th Street, New York, NY 10001, USA, ISBN 0-415-27378-1, 2003.

- [73] Mark R. Lehto, James R. Buck, Introduction to human factors and ergonomics for engineers, Lawrence Erlbaum Associates Taylor & Francis Group 270 Madison Avenue New York, NY 10016, International Standard Book Number-13: 978-0-8058-5308-7, 2008.
- [74] Colovic G., Maksimovic N., Paunovic D., Ergonomics Workplace Design of the Sewing Operator, III IV International Scientific Conference Contemporary Trends Innovations in the Textile Industry, SITTS, 2020, pp 247-256.
- [75] Colovic G., Paunovic D., Maksimovic N., Application of Ergonomic QEC to Increase Productivity in the Garment Manufacturing, Списание за Текстил, Облекло, Кожи и Технологии, Number 8/2020, pp 183-185
- [76] International Organization for Standardization . *ISO 11226: Ergonomics—Evaluation of Static Working Postures*. ISO; Geneva, Switzerland: 2000.
- [77] McAtamney L., Nigel Corlett E. RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Appl. Ergon.* 1993;24:91–99.
doi: 10.1016/0003-6870(93)90080-S.
- [78] Man-machine engineering [by] Alphonse Chapanis, Belmont, Calif., Wadsworth Pub. Co. [1965] vii, 134 p. 129-131.
- [79] Lind, C.M.; Diaz-Olivares, J.A.; Lindecrantz, K.; Eklund, J. A Wearable Sensor System for Physical Ergonomics Interventions Using Haptic Feedback. *Sensors* 2020, 20, 6010.
- [80] Jackson, J.A.; Mathiassen, S.E.; Wahlström, J.; Liv, P.; Forsman, M. Is what you see what you get? Standard inclinometry of set upper arm elevation angles. *Appl. Ergon.* 2015, 47, 242–252.
- [81] Jackson, J.A.; Mathiassen, S.E.; Wahlström, J.; Liv, P.; Forsman, M. Is what you see what you get? Standard inclinometry of set upper arm elevation angles. *Appl. Ergon.* 2015, 47, 242–252.
- [82] Hansson, G.Å.; Arvidsson, I.; Ohlsson, K.; Nordander, C.; Mathiassen, S.E.; Skerfving, S.; Balogh, I. Precision of measurements of physical workload during standardised manual handling. Part II: Inclinometry of head, upper back, neck and upper arms. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 2006, 16, 125–136.
- [83] Kim, A.; Golnaraghi, M.F. A quaternion-based orientation estimation algorithm using an inertial measurement unit. In *Proceedings of the IEEE Position Location*

- and Navigation Symposium (PLANS), Monterey, CA, USA, 26–29 April 2004; pp. 268–272.
- [84] Caldwell, L.S.; Chaffin, D.B.; Dukes-Dobos, F.N.; Kroemer, K.H.; Laubach, L.L.; Snook, S.H.; Wasserman, D.E. A proposed standard procedure for static muscle strength testing. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1974, 35, 201–206.
- [85] Luo, Ting, and Qiang Wang. "Effects of Graphite on Electrically Conductive Cementitious Composite Properties: A Review." *Materials* (Basel, Switzerland) vol. 14, 17 4798. 24 Aug. 2021, doi:10.3390/ma14174798
- [86] Wang, Lie et al. "Batteries for wearables." *National science review* vol. 10, 1 nwac062. 31 Mar. 2022.
- [87] M. S. Diab and E. Rodriguez-Villegas, "Embedded Machine Learning Using Microcontrollers in Wearable and Ambulatory Systems for Health and Care Applications: A Review," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 98450-98474, 2022.
- [88] Lowe, B.D.; Dempsey, P.G.; Jones, E.M. Ergonomics assessment methods used by ergonomics professionals. *Appl. Ergon.* 2019, 81, 102882.
- [89] Moore J.S., Garg A. The strain index: A proposed method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1995;56:443–458. doi: 10.1080/15428119591016863.
- [90] International Organization for Standardization . *ISO 11228-3: Ergonomics—Manual Handling—Part 3: Handling of Low Loads at High Frequency*. ISO; Geneva, Switzerland: 2007.
- [91] Waters T.R., Putz-Anderson V., Garg A. *NIOSH 94-110: Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation*. U.S. Department of Health and Human Services; Cincinnati, OH, USA: 1994.
- [92] International Organization for Standardization . *ISO 11228-1: Ergonomics—Manual Handling—Part. 1: Lifting and Carrying*. ISO; Geneva, Switzerland: 2003.
- [93] Cocca P., Marciano F., Rossi D. Assessment of biomechanical risk at work: Practical approaches and tools. *Acta Bioeng. Biomech.* 2008;10:21
- [94] David G.C. Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders. *Occup. Med.* 2005;55:190–199. doi: 10.1093/occmed/kqi082.

- [95] Valero E., Sivanathan A., Bosché F., Abdel-Wahab M. Musculoskeletal disorders in construction: A review and a novel system for activity tracking with body area network. *Appl.Ergon.* 2016;54:120–130. doi: 10.1016/j.apergo.2015.11.020.
- [96] De Kok J., Vroonhof P., Snijders J., Roullis G., Clarke M., Peereboom K., van Dorst P., Isusi I. *Work-Related Musculoskeletal Disorders: Prevalence, Costs and Demographics in the EU*. European Agency for Safety and Health at Work; Luxembourg: 2019.
- [97] Adaramola S. Ergonomics and Standard. In: Bagnara S., Tartaglia R., Albolino S., Alexander T., Fujita Y., editors. *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018). IEA 2018, Advances in Intelligent Systems and Computing*. Volume 824. Springer; Cham, Switzerland: 2019. pp. 1348–1354.
- [98] Rossi D., Bertoloni E., Fenaroli M., Marciano F., Alberti M. A multi-criteria ergonomic and performance methodology for evaluating alternatives in “manuable” material handling. *Int. J. Ind. Ergon.* 2013;43:314–327. doi: 10.1016/j.ergon.2013.04.009.
- [99] Lee W., Lin J.-H., Bao S., Lin K.-Y. Reliability and Validity of a Posture Matching Method Using Inertial Measurement Unit-Based Motion Tracking System for Construction Jobs; Proceedings of the ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering 2019; Atlanta, Georgia. 17–19 June 2019; pp. 589–597.
- [100] Palikhe S., Yirong M., Choi B.Y., Lee D.E. Analysis of musculoskeletal disorders and muscle stresses on construction workers’ awkward postures using simulation. *Sustainability*. 2020;12:5693. doi: 10.3390/su12145693.
- [101] Stefana E., Marciano F., Cocca P., Rossi D., Tomasoni G. Oxygen deficiency hazard in confined spaces in the steel industry: Assessment through predictive models. *Int. J. Occup. Saf. Ergon.* 2019 doi: 10.1080/10803548.2019.1669954.
- [102] Fu J., Ma L., Tsao L., Zhang Z. Continuous measurement of muscle fatigue using wearable sensors during light manual operations. *Lect. Notes Comput. Sci.* 2019;11581:266–277.
- [103] Duval S., Hashizume H. Questions to improve quality of life with wearables: Humans, technology, and the world; Proceedings of the 2006 International

- Conference on Hybrid Information Technology, ICHIT; Daejeon, Korea. 23–25 August 2006; pp. 227–236.
- [104] Vega-Barbas, M.; Diaz-Olivares, J.A.; Lu, K.; Forsman, M.; Seoane, F.; Abtahi, F. P-Ergonomics Platform: Toward precise, pervasive, and personalized ergonomics using wearable sensors and edge computing. *Sensors* 2019, *19*, 1225.
- [105] Mahdavian, N.; Lind, C.M.; Antonio Diaz Olivares, J.; Iriondo Pascual, A.; Högberg, D.; Brolin, E.; Yang, L.; Forsman, M.; Hanson, L. Effect of Giving Feedback on Postural Working Techniques. In *Advances in Manufacturing Technology XXXII*; Thorvald, P., Case, K., Eds.; IOS Press: Amsterdam, The Netherlands, 2018; pp. 247–252.
- [106] Ribeiro, D.C.; Sole, G.; Abbott, J.H.; Milosavljevic, S. Extrinsic feedback and management of low back pain: A critical review of the literature. *Man. Ther.* 2011, *16*, 231–239.
- [107] Korshoj, M.; Skotte, J.H.; Christiansen, C.S.; Mortensen, P.; Kristiansen, J.; Hanisch, C.; Ingebrigtsen, J.; Holtermann, A. Validity of the Acti4 software using ActiGraph GT3X+accelerometer for recording of arm and upper body inclination in simulated work tasks. *Ergonomics* 2014, *57*, 247–253.
- [108] Jackson, J.A.; Mathiassen, S.E.; Wahlström, J.; Liv, P.; Forsman, M. Is what you see what you get? Standard inclinometry of set upper arm elevation angles. *Appl. Ergon.* 2015, *47*, 242–252.
- [109] Hansson, G.Å.; Arvidsson, I.; Ohlsson, K.; Nordander, C.; Mathiassen, S.E.; Skerfving, S.; Balogh, I. Precision of measurements of physical workload during standardised manual handling. Part II: Inclinometry of head, upper back, neck and upper arms. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 2006, *16*, 125–136.
- [110] Kim, A.; Golnaraghi, M.F. A quaternion-based orientation estimation algorithm using an inertial measurement unit. In Proceedings of the IEEE Position Location and Navigation Symposium (PLANS), Monterey, CA, USA, 26–29 April 2004; pp. 268–272.
- [111] Arvidsson, I.; Dahlgvist, C.; Enquist, H.; Nordander, C. *Action Levels for Prevention of Work Related Musculoskeletal Disorders*; Arbets- och miljömedicin Syd: Lund, Switzerland, 2017.

- [112] Erlandsson, A. *En Utredning om Brevbärrarpersonalens Arbetsförhållanden och Införandet av Bästa Metod [An Investigation into the Working Conditions of the Mail-Carrier Staff and the Introduction of Best Method]*; Lindköping University: Lindköping, Switzerland, 2002.
- [113] Borg, G. *Borg's Perceived Exertion and Pain Scales*; Human Kinetics: Champaign, IL, USA, 1998
- [114] Kuorinka, I.; Jonsson, B.; Kilbom, A.; Vinterberg, H.; Biering-Sørensen, F.; Andersson, G.; Jørgensen, K. Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Appl. Ergon.* 1987, *18*, 233–237.
- [115] Ciriello, V.M.; Maikala, R.V.; Dempsey, P.G.; O'Brien, N.V. Psychophysically determined forces of dynamic pushing for female industrial workers: Comparison of two apparatuses. *Appl. Ergon.* 2010, *41*, 141–145.
- [116] Caldwell, L.S.; Chaffin, D.B.; Dukes-Dobos, F.N.; Kroemer, K.H.; Laubach, L.L.; Snook, S.H.; Wasserman, D.E. A proposed standard procedure for static muscle strength testing. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1974, *35*, 201–206.
- [117] Pheasant, S.; Haslegrave, C.M. *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work*, 3rd ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2006.
- [118] Kvale, S.; Brinkmann, S.; Torhell, S.-E. *Den Kvalitativa Forskningsintervjun [Qualitative Interviewing]*; Studentlitteratur: Lund, Switzerland, 2014.
- [119] Spook, S.M.; Koolhaas, W.; Bultmann, U.; Brouwer, S. Implementing sensor technology applications for workplace health promotion: A needs assessment among workers with physically demanding work. *BMC Public Health* 2019, *19*, 1100.
- [120] Lind, C.M.; Rhen, I.M.; Forsman, M. Bias and repeatability of standard calibration postures for inclinometry of the upper arms and trunk. Unpublished work. 2020.
- [121] Robert-Lachaine, X.; Mecheri, H.; Larue, C.; Plamondon, A. Effect of local magnetic field disturbances on inertial measurement units accuracy. *Appl. Ergon.* **2017**, *63*, 123–132.
- [122] Buchanan, J.J.; Wang, C. Overcoming the guidance effect in motor skill learning: Feedback all the time can be beneficial. *Exp. Brain Res.* **2012**, *219*, 305–320.

- [123] Lam, C.F.; DeRue, D.S.; Karam, E.P.; Hollenbeck, J.R. The impact of feedback frequency on learning and task performance: Challenging the “more is better” assumption. *Organ. Behav. Hum. Decis. Process.* **2011**, *116*, 217–228.
- [124] Patterson, J.T.; Carter, M.J.; Hansen, S. Self-controlled KR schedules: Does repetition order matter? *Hum. Mov. Sci.* 2013, *32*, 567–579.
- [125] Gerard, M.J.; Armstrong, T.J.; Rempel, D.A.; Woolley, C. Short term and long term effects of enhanced auditory feedback on typing force, EMG, and comfort while typing. *Appl. Ergon.* 2002, *33*, 129–138.
- [126] Tompa, E.; Mofidi, A.; van den Heuvel, S.; van Bree, T.; Michaelsen, F.; Jung, Y.; Porsch, L.; van Emmerik, M. The Value of Occupational Safety and Health and the Societal Costs of Work-Related Injuries and Diseases; Publications Office of the European Union: Luxembourg, 2019.
- [127] Punnett, L. Musculoskeletal disorders and occupational exposures: How should we judge the evidence concerning the causal association? *Scand. J. Public Health* 2014, *42*, 49–58.
- [128] Eurofound. Sixth European Working Conditions Survey; Publications Office of the European Union: Luxembourg, 2016.
- [129] Beier, G.; Ullrich, A.; Niehoff, S.; Reißig, M.; Habich, M. Industry 4.0: How it is defined from a sociotechnical perspective and how much sustainability it includes—A literature review. *J. Clean. Prod.* 2020, *259*, 120856.
- [130] Eliasson, K.; Lind, C.M.; Nyman, T. Factors influencing ergonomists’ use of observation-based risk-assessment tools. *Work* 2019, *64*, 93–106.
- [131] Falck, A.-C.; Örtengren, R.; Rosenqvist, M.; Söderberg, R. Proactive assessment of basic complexity in manual assembly: Development of a tool to predict and control operator-induced quality errors. *Int. J. Prod. Res.* 2017, *55*, 4248–4260.

11. INDEKS SLIKA

Slika 1. Cerkueira i sar. [48] ledni, bočni i unutrašnji prikaz razvijenog nosivog uređaja i grafički interfejs (GUI) njegove aplikacije.

Slika 2. Meltzer i sar. [59] procenjuju ergonomske rizike u realnim uslovima

Slika 3. Giannini i sar. [52] nosiva senzorska mreža

Slika 4. Caputo et al. [39,40,41] pozicije senzora i komponenti za nadzor radnika

Slika 5. Ian i sar. [64] Pozicije senzora na zaštitnom šlemu i radnom prsluku

Slika 6. Apple Watch Series 8

Slika 7. Thalmic Lab, Myo narukvica

Slika 8. Google Glass Enterprise Edition 2

Slika 9. Elbit systems JHMCS II pilotska kaciga

Slika 10. Model čovek – mašina

Slika 11. Pozicije vrata sa bodovima u uglove fleksije ili ekstenzije

Slika 12. Pozicije trupa sa bodovima i uglovima fleksije.

Slika 13. Seergo RULA kalkulator

Slika 14. Chapanisov dijagram toka analize razvoja odeće specijalne namene

Slika 15. Konceptualni prikaz toka povratnih informacija nosivog sistema. Crne strelice označavaju tok podataka ili aktiviranja, dok bele strelice ilustruju tok bežične komunikacije sa aplikacijom pametnog telefona [79].

Slika 16. (a.) Sistem pametne radne odeće, (b.) postavljen na ljudsko telo sa dve IMU za snimanje radnih položaja nadlaktica i za obezbeđivanje haptičkog signala povratne informacije o dominantnoj ruci [79].

Slika 17. Pojednostavljenje filtera. Orijentacija je prvobitno određena integracijom ugaone brzine dobijne od žiroskopa nakon kalibracije. Orijentacija se zatim koriguje (rotacija i nagib) sa vektorom ubrzanja [79].

Slika 18. (a) Adafruit Feather 32u4 Bluefruit razvojna ploča povezana sa ekscentričnim rotirajućim motorom sa masnim vibracijama i napaja se iz baterije; (b) prikaz ubrzanja ekscentra obrtne mase vibracionog motora. Prvi nivo (plavo) se sastoji od dve oscilacije nižeg intenziteta, dok se drugi nivo (crveno) sastoji od četiri oscilacije većeg intenziteta, u trajanju od 1000 milisekundi. Korisnici su prvi nivo doživljavali kao manje intenzivan od drugog [79].

Slika 19. Radnici prilikom sortiranja pošte [79].

Slika 20. Pozicija senzora na radnoj majici i detekcija devijacije položaja leđa

Slika 21. Oblik senzora oblikovanog da prati i detektuje devijacije leđa

Slika 22. Grafit i njegovi oblici

Slika 23. Pozicija senzora na leđnom krojnom delu radne majice

Slika 24. Pinout dijagram Raspberry Pi Pico RP2040

Slika 25. Grafički prikaz povezanih komponenti sa mikrokontrolerom

Slika 26. Šematski prikaz povezivanja komponenti

Slika 27. Program nadgledanja stanja senzora kreiran za Raspberry Pi Pico

Slika 28. Pozicija džepa sa kućištem mikrokontrolera

Slika 29. Pozicija senzora na leđnom delu majice

Slika 30. Testiranje i kalibracija senzora

Slika 31. Pinout dijagram za Raspberry Pi Pico W sa integrisanim Wi-Fi modulom

Slika 32. Pinout dijagram za ESP8266 Wi-Fi modul

Slika 33. Program implementacije Raspberry Pi sa Wi-Fi modulom

Slika 34. Grafikon prikazuje progresiju ergonomske rizika u pravom vremenu.

Slika 35. Senzor detektuje loš položaj tela

Slika 36. Optimalno i loše držanje tela

Slika 37. Grafikon pokazuje poboljšanja u smanjenju rizika ergonomije

Slika 38. Procenjena aktivnost i LED signalizacija nosivih uređaja kada je osoba u položaju sklonom riziku

Slika 39. Detekcija dobrog i lošeg položaja tela

12. INDEKS TABELA

Tabela 1. Nivoi procenjenih ergonomskih rizika prema RULA metodologiji

Tabela 2. Referentni vodič za bodovanje upotrebe mišića i rezultirane sile.

Tabela 3. RULA akcioni nivo ergonomske procene rizika i smernice korekcija.

Tabela 4. Materijali korišćeni prilikom kreiranja elektroprovodive boje

Tabela 5. Postupak izrade elektroprovodive boje

Tabela 6. Prosečni bodovi ocenjeni u različitim vremenskim intervalima tokom smene.

Tabela 7. Prosečni bodovi procenjeni kada radnik nosi senzor.

Tabela 8. Rezultati analize podataka, grupa 2 predstavljaju podatke kada se koristi nosivi uređaj.

RAZVOJ I PRIMENA PAMETNIH IoT TEHNOLOGIJA ZA ODEĆU SPECIJALNE NAMENE

ORIGINALITY REPORT

3%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	nardus.mpn.gov.rs Internet	238 words — 1%
2	www.mdpi.com Internet	229 words — 1%
3	eprints.ugd.edu.mk Internet	81 words — < 1%
4	uvidok.rcub.bg.ac.rs Internet	76 words — < 1%
5	pdfcoffee.com Internet	48 words — < 1%
6	singipedia.singidunum.ac.rs Internet	48 words — < 1%
7	iss.rs Internet	23 words — < 1%
8	www.slideshare.net Internet	20 words — < 1%
9	bs.scribd.com Internet	19 words — < 1%

10	docplayer.com.br Internet	18 words — < 1%
11	ergonomicconsulting.blogspot.com Internet	13 words — < 1%
12	www.paragraflex.co.rs Internet	13 words — < 1%
13	Nazmiye Tufan Tolmaç, Özlenen Erdem İşmal. "A new era: 3D printing as an aesthetic language and creative tool in fashion and textile design", Research Journal of Textile and Apparel, 2023 Crossref	12 words — < 1%
14	jesk.or.kr Internet	12 words — < 1%
15	"Human Interaction, Emerging Technologies and Future Systems V", Springer Science and Business Media LLC, 2022 Crossref	10 words — < 1%
16	schlaud.de Internet	10 words — < 1%
17	www.slideserve.com Internet	10 words — < 1%
18	ba.leaderbrush.com Internet	9 words — < 1%
19	demo.paragraf.rs Internet	9 words — < 1%
20	uspesnazena.com Internet	9 words — < 1%

21	vdocuments.site Internet	9 words — < 1%
22	weconnectinternational.org Internet	9 words — < 1%
23	Fatemeh Mokhtari. "Self-Powered Smart Fabrics for Wearable Technologies", Springer Science and Business Media LLC, 2022 Crossref	8 words — < 1%
24	alarmcentar.com Internet	8 words — < 1%
25	chinabjj.cn Internet	8 words — < 1%
26	fitnesbeograd.rs Internet	8 words — < 1%
27	fraxinus.mendelu.cz Internet	8 words — < 1%
28	repozitorij.unios.hr Internet	8 words — < 1%
29	stubovi.co.rs Internet	8 words — < 1%
30	www.lejla-bm.com.ba Internet	8 words — < 1%
31	www.sgpjbg.com Internet	8 words — < 1%
32	www.sindikat.rs Internet	8 words — < 1%

33	www.vestinet.rs Internet	8 words — < 1%
34	"Advances in Information Technology in Civil and Building Engineering", Springer Science and Business Media LLC, 2024 Crossref	6 words — < 1%
35	"Human Systems Engineering and Design", Springer Nature America, Inc, 2019 Crossref	6 words — < 1%
36	"Springer Handbook of Robotics", Springer Science and Business Media LLC, 2016 Crossref	6 words — < 1%
37	(Alberto Miguel, Gonalo Perestrelo, João Santos Baptista, M3nica Paz Barroso, Nelson Costa, Paula Carneiro, Pedro Martins Arezes and Rui Melo). "Occupational Safety and Hygiene - SHO 2012", Reposit3rio Aberto da Universidade do Porto, 2013. Publications	6 words — < 1%
38	Geissler, Catherine, Powers, Hilary. "Human Nutrition", Human Nutrition, 2023 Publications	6 words — < 1%

EXCLUDE QUOTES ON

EXCLUDE BIBLIOGRAPHY ON

EXCLUDE SOURCES

EXCLUDE MATCHES

OFF

OFF