

S. Bogović*

PROTOKOL DEFINIRANJA DINAMIČKIH MJERA TIJELA PRI PROJEKTIRANJU ZAŠTITNOG KOMBINEZONA

UDK 331.101.1:687.17
PRIMLJENO: 5.12.2024.
PRIHVAĆENO: 21.3.2025.

Ovo djelo je dano na korištenje pod Creative Commons Attribution 4.0 International License



SAŽETAK: U radu je prikazano definiranje dinamičkih mjera tijela u svrhu projektiranja ergonomski oblikovanog zaštitnog kombinezona. Projektiranju ergonomski oblikovanog zaštitnog odjevnog predmeta treba pristupiti sustavno uzimajući u obzir namjenu i funkcionalnost, vrstu zaštite, inkorporirane materijale i antropometriju. Kombinezon je odjevni predmet koji je s konstrukcijskog stajališta kompleksan, dok se s aspekta korisnika smatra pogodnim i jednostavnim za korištenje s obzirom da jedan odjevni predmet pokriva i štiti gotovo cijelo tijelo. Korištenje zaštitnih kombinezona u ovisnosti o potrebnoj vrsti zaštite i namjeni zahtijeva iznalaženje adekvatnih rješenja koja omogućuju nesmetano kretanje i odgovarajuću zaštitu. Pri projektiranju odjeće treba identificirati problematične zone te iznaći rješenja s aspekta dizajna, konstrukcije odjevnog predmeta, izrade te verificirati krajnje rješenje. Koncept za izradu ergonomski oblikovanog odjevnog predmeta zasniva se na subjektivnim i objektivnim procjenama samih korisnika. Problematika neadekvatnog dizajna i kroja kombinezona već dulji niz godina predstavlja veliki problem, a konstrukcijska rješenja koja se apliciraju na kroj često nisu dovoljna da bi krajnji rezultat bio ergonomski odjevni predmet. Prikazani protokol određivanja ulaznih parametara za izradu ergonomski oblikovanog kroja kombinezona prikazan je u radu. Na temelju subjektivnih procjena pristalosti kombinezona u različitim tjelesnim položajima može se odrediti protokol definiranja dinamičkih izmjera tijela. Da bi se provela mjerenja u specifičnim položajima, potrebno je digitalizirati ljudsko tijelo i analizirati dobiveni 3D oblak točaka ljudskog tijela. Na taj način mogu se kvantitativno prikazati problematična područja te se rezultati mogu inkorporirati u konstrukciju kombinezona bilo da se radi o individualiziranom ili serijski izrađenom odjevnom predmetu. Nakon izrade probnog modela potrebno je provesti ispitivanje pristalosti na isti način kako je to napravljeno pri preliminarnim mjerenjima.

Ključne riječi: ergonomsko oblikovanje, dinamička antropometrija, zaštitni kombinezon

UVOD

Zaštitna odjeća, obuća i oprema su glavna barijera između vanjskih opasnosti i ljudskog tijela, a njihova svojstva i oblik razlikuju se ovisno o potrebnoj zaštiti. Razvoj zaštitne odjeće ovisi o funkciji odjevnog predmeta i potrebnoj zaštiti u radnom okruženju ili svakodnevnim aktivnostima (Geršak 2013., Pejnović 2015.). Zaštitna odjeća

dijeli se u tri kategorije prema Direktivi 89/686/EEZ. Kategorija I predstavlja jednostavne zaštitne predmete koji služe za zaštitu od manjih rizika koje korisnik može samostalno predvidjeti. Odjeća i oprema kategorije II je nešto kompleksnija u svojem obliku i pruža srednju razinu zaštite, dok kategorija III obuhvaća odjeću i opremu namijenjenu za zaštitu od opasnosti koje mogu trajno i nepovratno oštetiti zdravlje korisnika ili dovesti do smrtnih ishoda (Pejnović 2015., Hursa Šajatović 2017.).

*Izv. prof. dr. sc. Slavica Bogović, (slavica.bogovic@ttf.hr), Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, 10000 Zagreb, Hrvatska.

Pri projektiranju zaštitne odjeće, obuće i opreme treba uzeti u obzir: funkcionalni dizajn, ergonomiju, udobnost, odabir materijala, ispitivanje materijala, tehnologiju izrade, testiranje opreme, način održavanja i zbrinjavanje (*Hursa Šajatović, 2017.*). Materijali od kojih se izrađuje zaštitna odjeća i oprema imaju ključnu ulogu pri osiguravanju zaštite jer pružaju bolju razinu sigurnosti od raznih ozljeda koje mogu biti posljedica: mehaničkih opasnosti, kemikalija, toplinskih rizika, bioloških agensa, ionizirajućih, radioaktivnih, neionizirajućih zračenja, strujnog udara, zaplitanja i zahvaćanja prema Pravilniku o uporabi zaštitne opreme. Stoga se pri izradi zaštitnih odjevnih predmeta koriste visokoučinkoviti materijali koji sprečavaju prodor tekućih, krutih ili plinovitih agenasa kroz odjeću. Na temelju svojstava upotrijebljenih materijala važno je primijeniti adekvatne suvremene metode i tehnike spajanja (*Geršak 2013., Pejnović, 2015.*).

Vrste materijala koje se koriste pri izradi zaštitne odjeće, obuće i opreme moraju imati odgovarajuću otpornost, zaštitu i udobnost pri različitim aktivnostima (*Geršak 2013., Pejnović 2015.*), a propisnici i norme specificiraju zaštitnu odjeću, obuću i opremu u ovisnosti o vrsti i stupnju zaštite. Djelotvorna zaštitna odjeća, prema EN 340:2003, treba imati sljedeća obilježja: univerzalnost, bez obzira na spol, treba biti izrađena u nekoliko odjevnih veličina, ergonomski oblikovana u skladu s dinamičkim antropometrijskim uvjetima da bi osigurala udobnost kod nošenja i visok stupanj slobode pokreta te posebno dizajnirana za sve mogućnosti nošenja koji mogu nastati prilikom uporabe (nošenje alata, pribora, aparata za disanje i sl.); (*Geršak, 2013.*). U skladu s EN 340:2003 koji propisuje da zaštitni odjevni predmet mora osigurati neometano kretanje tijela, mogu se definirati odrednice na koji se segment odjevnog predmeta točno odnosi (www.hzzzs.hr).

Proizvođači zaštitne odjeće iznalaze vlastita i inovativna rješenja za osiguravanje neometanih kretanja pri korištenju zaštitne odjeće koja često u potpunosti ne zadovoljavaju potrebe korisnika. Dodatni problem javlja se zbog malog broja odjevnih veličina prema kojima se zaštitna odjeća proizvodi jer ne obuhvaćaju različite konstitucije i tipove tijela. Budući da se u radnom procesu

izvode specifični pokreti, potrebno je poznavanje dinamičke antropometrije na temelju najčešćih i uobičajenih pokreta koji se obavljaju pri korištenju zaštitne odjeće da bi se osiguralo neometano kretanje tijela. To podrazumijeva poznavanje karakterističnih kretanja tijela i njihov utjecaj na pomicanje dijelova odjeće prilikom korištenja. U radnom procesu za zaštitu se koriste različiti odjevni predmeti, stoga je potrebno za svaku vrstu odjevnog predmeta predvidjeti karakteristična područja koja moraju osigurati neometano kretanje tijela (*Bogović 2012., 2024., Rudolf 2017.*).

PREGLED TEMATIKE

Pri razvoju funkcionalne odjeće posebnu pozornost treba obratiti na udobnost, primjenjivost i zaštitu odjevnog predmeta u radnom okruženju. Svojstva materijala od kojih se izrađuju odjevni predmeti imaju značajnu ulogu u funkcionalnom dizajnu i projektiranju odjeće te uvelike utječu na udobnost odjevnog predmeta. Zaštitni odjevni predmeti trebaju omogućiti pokretljivost i fleksibilnost, moraju biti prozračni, prilagodljivi, estetski prihvatljivi i jednostavni za uporabu (oblačenje i svlačenje). Svojstva zaštitne odjeće da štite od vanjskih opasnosti (vatre, topline, kemikalija, zračenja i sl.) su temeljni uvjet za odabir zaštitne opreme (*Boorady, 2011., Pejnović, 2015.*), ali ne treba zanemariti subjektivnu procjenu udobnosti jer percepcija udobnosti djeluje na produktivnost korisnika.

Ergonomski oblikovana zaštitna odjeća

Ergonomski oblikovana odjeća je dizajnirana na način da je potpuno prilagođena konstitucijama i tipovima tijela, pokretima i potrebama korisnika osiguravajući pri tome funkcionalnost, udobnost i zaštitu. Smanjivanje rizika od ozljeda, veća produktivnost i smanjeni umor korisnika uz povećanje zadovoljstva i sigurnosti korisnika osnovni su preduvjeti za projektiranje zaštitne odjeće. Za postizanje visokog stupnja zaštite i udobnosti potrebno je sagledati sve parametre koji imaju direktan utjecaj na ergonomski dizajn. S obzirom da se zaštitna odjeća kreira za različite vanjske opasnosti potrebno je odabrati odgovarajući materijal koji prema svojstvima u najvećoj mjeri štiti od vanjskih utjecaja. Materijali za izra-

du zaštitnih odjevnih predmeta mogu biti različite krutosti u ovisnosti o vrsti zaštite kao npr.: kemikalija, topline, mehaničkih ozljeda i sl. Bez obzira na vrstu materijala, zaštitni odjevni predmet treba osigurati slobodu kretanja i minimalnu nelagodu (*Geršak, 2013., Hursa Šajatović, 2017.*). Ergonomskim dizajnom se odjevni predmet prilagođava pokretima tijela prateći anatomiju, pri tome se mogu ugrađivati prilagodljivi elementi kao umetci od elastičnih materijala ili elemenata poput traka pomoću kojih se odjeća prilagođava korisniku. U slučaju nemogućnosti korištenja elastičnih materijala, kada oni ne zadovoljavaju primarnu funkciju zaštite, iznalaze se konstrukcijska rješenja na područjima koljena, lakta ili ramena da bi se osigurala neometano kretanje i zaštita (*Domjanić, 2015., Bogović, 2019.*).

Udobnost zaštitnih odjevnih predmeta također se postiže regulacijom temperature i ventilacijom te su takvi elementi često integrirani u zaštitne kombinezone i zaštitne sustave naročito pri zaštiti od kemijskih i radioaktivnih opasnosti (*Geršak, 2013., Rudolf, 2017.*). Osim navedenih elemenata, u odjevni predmet mogu biti inkorporirani zaštitni elementi koji su ergonomski oblikovani uz istovremeni izbor materijala koji je lakši, a pruža adekvatnu zaštitu (*Bogović, 2022.*).

Ergonomski oblikovan zaštitni odjevni predmet mora biti ispitan i izrađen u skladu sa standardom koji se odnosi na krajnju funkciju razvijenog odjevnog predmeta. U slučaju da zaštitni odjevni predmet mora imati jasnu vidljivost, potrebno je integrirati oznake koje neće narušiti funkciju zaštite pri čemu je težište na odjeći za zaštitu od prodora tekućina i plinova (*Bogović, 2012., Hursa Šajatović, 2017.*). Navedeni primjer ukazuje da se za ergonomski oblikovane zaštitne odjevne predmete moraju koristiti napredne tehnologije spajanja materijala koje neće mehanički oštetiti materijal koji štiti korisnika od vanjskih opasnosti.

U konačnici je nužno ispitati zaštitni odjevni predmet sa stajališta funkcionalnosti, uključujući pri tome parametre koji procjenjuju ergonomsko oblikovanje. S aspekta ergonomije važno je napomenuti da se ispitivanja mogu provoditi objektivnim i subjektivnim metodama. Pri objektivnom ispitivanju kvantificira se stupanj zaštite i udobnost materijala u za to previđenom okruženju. Subjektivno se ispituje pristalost odjevnog predmeta pri

različitim pokretima u radnom okruženju te određuje individualna procjena udobnosti (*Geršak, 2013., Hursa Šajatović, 2017.*). Najveći problem subjektivnog vrednovanja udobnosti i funkcionalnosti odjevnog predmeta ogleda se u tome da korisnici često nisu svjesni ograničenja ili problema koji su rezultat neergonomski oblikovanog predmeta, ako nemaju usporedbe s ergonomijskim opcijama jer takva iskustva mogu percipirati kao normalna ili neizbježna. Navedeno predstavlja izazov za razvoj ergonomski oblikovanog zaštitnog odjevnog predmeta.

Zaštitna odjeća s konstrukcijskog stajališta

Zaštitna odjeća se s konstrukcijskog stajališta dijeli na: pregače, prsluke, majice, kute, bluže, jakne, hlače, radna odijela, kombinezone i odjevne sustave bez obzira na kategoriju i vrstu zaštite. U zaštitnu odjeću se također ubrajaju rukavice i pokrivala za glavu (kape, potkape, kapuljače i sl.). Pregače, prsluci i majice su s konstrukcijskog stajališta jednostavni odjevni predmeti koji se koriste svakodnevno ili u radnom procesu za zaštitu od samoprocijenjenih opasnosti. Kute, radne bluže, radne hlače i radna odijela su konstrukcijski zahtjevniji, ali su kao odjevni predmeti ili dijelovi odjevnih sustava relativno lako prilagodljivi određenim tjelesnim položajima i konstitucijama. Odjevnim sustavima smatra se kombinacija više navedenih odjevnih predmeta koji u sinergiji korisniku pružaju potpunu zaštitu od vanjskih utjecaja. Izrađeni su na način da se kombinacijom različitih odjevnih predmeta i opreme postigne potpuna zaštita osiguravajući pri tome prilagodbu svakog elementa sustava potrebama korisnika. Odjevni sustavi koriste se pri zaštiti od visokorizičnih vanjskih utjecaja. Primjenjuju se u vatrogastvu, zaštiti od kemikalija, toplinskih rizika, bioloških agensa, radioaktivnog zračenja i sl. (*Bogović, 2012., 2024.*).

Zaštitni kombinezoni su odjevni predmeti koji pokrivaju cijelo tijelo, izrađeni su kao jedna cjelina te su vrlo čest element odjevnog sustava ili jedini zaštitni odjevni predmet. Kao zaštitni odjevni predmet imaju vrlo široku primjenu. Oblik im ovisi o namjeni, materijalima i potrebama za ugradbenim elementima. Kombinezoni mogu imati ugrađene sustave hlađenja, disanja i sl. (*Bogović, 2024.*).

Istraživanja koja se provode u svrhu otklancjanja problematičnih područja na odjevnom predmetu su subjektivnog karaktera i ne postoji mogućnost jednoznačnog objektivnog vrednovanja udobnosti odjavnog predmeta. Na udobnost odjavnog predmeta utječe materijal i kraj odjavnog predmeta. Za ispitivanje svojstava materijala i njihovo rangiranje u svrhu primjenjivosti postoji velik broj normiranih ispitivanja koja definiraju ponovljivu metodu ispitivanja i rezultiraju objektivnom vrijednošću.

S obzirom da s konstrukcijskog stajališta postoji podjela zaštitne odjeće, važno je predvidjeti koje dinamičke mjere utječu na udobnost i pristalost odjavnog predmeta u ovisnosti o namjeni osiguravajući pri tome neometano kretanje te zaštitu od očekivanih rizika ne uzrokujući daljnje rizike za sigurnost i zdravlje radnika, da odgovara općim uvjetima mjesta rada, ergonomskim potrebama kao i da je oblikovan na način da ga radnik može jednostavno prilagoditi (*Hursa Šajatović, 2017., Bogović, 2024., Rudolf, 2017.*).

Specifični i ekstremni pokreti značajno utječu na udobnost i pristalost zaštitnog odjavnog predmeta stoga se iznalaze rješenja koja mogu spriječiti nelagodu. Korištenje rastezljivih materijala za izradu odjavnog predmeta ili dijelova odjavnog predmeta omogućuje prilagodbu odjavnog predmeta pri ekstremnim položajima. Pletivo može dodatno omogućiti ventilaciju odjavnog predmeta. S obzirom da pletivo nije pogodno za sve vrste zaštite koje se koriste u radnom procesu, pri projektiranju zaštitne odjeće ključno je ergonomski oblikovati odjevni predmet s mogućnošću prilagodbe tijelu (*Boorady, 2011.*).

Pri korištenju zaštitnog odjavnog predmeta dolazi do habanja i naprezanja u određenim pozicijama koje su najviše izložene opasnostima ili ponavljajućim pokretima. One se mogu predvidjeti i ergonomskim dizajnom i oblikovanjem u velikoj mjeri ublažiti. Dugotrajnost odjavnog predmeta ovisi o materijalu od kojeg je izrađen odjevni predmet kao i o ergonomskom dizajnu i tehnikama spajanja koje su uvjetovane upotrijebljenim i ugrađenim materijalima.

Za pristalost odjavnog predmeta danas se često koriste 3D virtualni prikazi koji se temelje na objektivnim vrijednostima materijala i antro-

pometriji ljudskog tijela (*Bogović, 2012, Rudolf, 2017.*).

Za razvoj zaštitnog odjavnog predmeta mogu se koristiti 3D programi konstrukcijske pripreme koje ubrzavaju postupak pripreme kroja za serijsku proizvodnju smanjujući broj iteracija i izrada probnih modela odjavnog predmeta jer omogućuju 3D prikaz na predloženom ljudskom tijelu kao i prikaz naprezanja odjeće prilikom mijenjanja položaja tijela. Programski paketi imaju mogućnost prikaza pristalosti i naprezanja odjavnih predmeta u dinamičnim položajima poput čučanja, saginjanja, sjedenja, hodanja i sl. 3D virtualni prikaz izrađenog modela odjavnog predmeta ne jamči pozitivnu subjektivnu ocjenu pristalosti krajnjeg korisnika, programi često nisu namijenjeni za ispitivanje pristalosti i udobnosti odjavnih predmeta u specifičnim položajima koji se javljaju u radnom okruženju.

Za specifične i ekstremne položaje tijela potrebno je subjektivno procijeniti udobnost i pristalost odjavnih predmeta u realnim uvjetima u kojima će se odjevni predmet koristiti. Ankete trebaju sadržavati ciljana pitanja s mogućnošću opisnih odgovora koji mogu pomoći pri ergonomskom oblikovanju odjeće kao i pitanja povezana s dugotrajnosti i udobnost zaštitnog odjavnog predmeta. Dugotrajnost i udobnost treba se testirati tijekom vremena i ispitati moguće deformacije odjavnog predmeta zbog korištenja ili održavanja (*Bogović, 2012., Geršak, 2013., Hursa Šajatović, 2017.*).

Dinamička antropometrija

Dinamička antropometrija se koristi za određivanje izmjera tijela u dinamičkim položajima. Na temelju tjelesnih mjera u dinamičkom položaju mogu se oblikovati radna mjesta, alati i odjeća. Definiranje tjelesnih mjera u dinamičkom položaju provodi se beskontaktnim putem primjenom 3D skenera koji digitalizira tijelo u određenom položaju. Alatima koji služe za mjerenje tjelesnih mjera moguće je vrlo precizno odrediti potrebne dimenzije. Važno je pri tome odrediti specifične položaje ljudskog tijela pri obavljanju određenih aktivnosti (*Bogović 2012., 2024., Domjanić, 2015., Rudolf, 2017.*). Dinamička antropometrija je važan aspekt pri projektiranju odjeće jer se

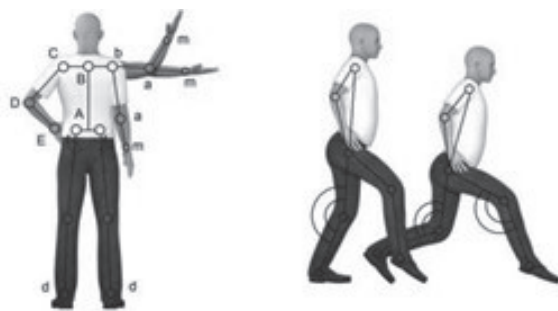
na temelju mjera tijela u specifičnim položajima dobivaju informacije prema kojima se konstruira i izrađuje odjeća koja osigurava slobodu kretanja (ruku, nogu, leđa) pri saginjanju, podizanju, savijanju, penjanju i sl. Na temelju izmjera i oblika tijela u različitim položajima mogu se precizno odrediti pozicije džepova ili elemenata odjevnog predmeta koji služi za prilagođavanje tijelu ili pozicije inkorporiranih elemenata (senzori, sustavi za ventilaciju i disanje, štitnici i sl.). Prema namjeni i učestalosti određenih pokreta, na temelju dinamičke antropometrije mogu se definirati oblici i položaji šavova tako da oni ne utječu na radne aktivnosti korisnika (Bogović, 2012., 2024., Domjanić, 2015., Geršak, 2019., Rudolf, 2017.).

Mjere koje se odnose na duljine dijelova tijela poput ruku i nogu određuju se prema duljinama kostiju i u međusobnoj su ovisnosti te ih je moguće unaprijed izračunati. Prema biomehanici tijela mogu se predvidjeti dodaci za udobnost u određenom području odjevnog predmeta. Predviđeni dodaci na područjima lakta ili koljena moraju biti definirane na adekvatan način da bi se spriječilo pomicanje segmenata odjevnog predmeta na području orukvice ili gležnja, slično je i kod sjedećeg položaja (Boorady 2011., Bogović, 2024.).

Savijanje lakta ili koljena uvelike utječe na položaj odjevnog predmeta na tijelu. Sjedeći položaj utječe na pomicanje odjevnog predmeta u području struka i duljine odjevnog predmeta (Bogović, 2012., Domjanić, 2015., Rudolf, 2017.).

Navedeno ukazuje da je potrebno obratiti pozornost na kinematičke lance i biomehaniku tijela koji imaju ključnu ulogu pri konstrukciji odjeće (Bogović, 2012., Kirin, 2019.).

Sa stajališta kinematike ljudsko tijelo može se prikazati kao sustav štapova koji predstavlja segmente tijela spojene zglobovima. Ljudsko tijelo se može promatrati kao sustav poluga čiji su mišići pokretački dijelovi koji na kosti djeluju kao poluge, a središnja rotacija je u zglobovima. Najjednostavniji kinematički lanac sastoji se od dva člana spojenih jednim zglobovom koji se naziva kinematički par (Kirin, 2019.).



Slika 1. Kinematički lanac ljudskog tijela
Figure 1. The kinematic chain of the human body

Ako se ljudski organizam promatra kao mehanizam, on je sastavljen od kostiju koje su međusobno povezane u kinematičke lance i mišićnog sustava koji je pokretač dijela tog mehanizma. Ljudski kostur je jedan zatvoreni kinematički lanac kralježnice s prsnim košem s pet otvorenih kinematičkih lanaca glave, ruke i noge što je vidljivo na slici 1. Kinematički lanac označava ulančavanje više segmenata tijela (Kirin, 2019.). Unutar strukturne sheme ljudskog kostura nalaze se 264 stupnja slobode. Ruke s ramenom ostvaruju 28 stupnjeva slobode, dok noga 25 stupnjeva slobode gibanja 40 % od ukupnog broja stupnjeva slobode gibanja. Kralježnica sadrži 20 % od ukupnog broja, a preostalih 40 % stupnjeva slobode gibanja ljudskog tijela odnosi se na zglobove prsnog koša, vrata i glave (Kirin, 2019.).

Na temelju kinematičkog modela ljudskog tijela moguće je unaprijed definirati maksimalne pokrete dijelova tijela kao i njihove rotacije. Navedene spoznaje već se dulji niz godina koriste pri konstrukciji odjeće namijenjene svakodnevnoj upotrebi.

Primjenom 3D tehnologija moguće je istraživati utjecaj dinamičke antropometrije na pristalost odjevnog predmeta. Pri tome se mogu točno definirati segmenti odjevnog predmeta koji su izloženi najvećim naprezanjima. Kod odjevnih predmeta koji pokrivaju gornji ili donji dio tijela, kompenziraju se naprezanja na segmentima odjevnog predmeta njegovim pomicanjem u smislu skraćivanja. Pri korištenju kombinezona ne postoji mogućnost pomaka odjevnog predmeta

na način da se neometano mogu izvesti pokreti tijela koji su rezultat složenih kinematičkih lanaca. Izvođenjem pokreta pojavljuje se naprezanje odjevnog predmeta jer odjeća ne može pratiti dinamiku tijela. Na taj način može doći do ograničavanja pokreta drugih dijelova tijela, a samim time nemogućnost izvođenja pokreta što može uzrokovati ozlijede. Iz navedenog razloga korisnici često odabiru veće odjevne veličine što može imati jednake negativne učinke (Bogović, 2012., 2024., Rudolf, 2017.).

Dosadašnja iskustva korisnika kombinezona nisu na zavidnoj razini i korisnici vrlo često prilagođavaju svoje pokrete koji su im sputani uslijed neadekvatnog kroja ili veličine kombinezona. Preveliki ili premali kombinezoni mogu uzrokovati slična ograničenja pokreta. Premali kombinezon može uzrokovati naprezanja u statičkom položaju tijela u području ramena i prepona. Prilikom izvođenja pokreta, naprezanja se javljaju u području lakta, koljena i stražnje sredine (Bogović, 2012., Domjanić, 2015., Rudolf, 2017.). Ako kombinezon ima kapuljaču, naprezanja se mogu javljati u području vrata.

EKSPERIMENTALNI RAD

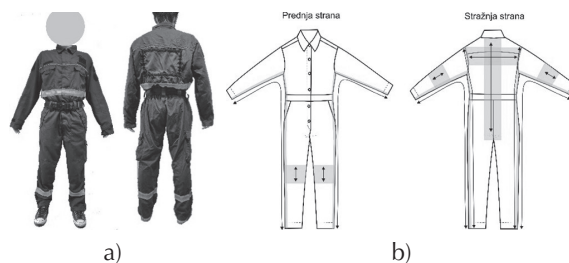
Eksperimentalni rad podijeljen je u 4 koraka:

- ispitivanje pristalosti postojećeg modela u specifičnim položajima,
- 3D skeniranje u specifičnim položajima,
- određivanje pozicija mjerenja u dinamičkom položaju,
- definiranje utjecaja različitih položaja tijela na ergonomsko oblikovanje kombinezona.

Za ispitivanje pristalosti kombinezona u različitim položajima koristi se radni kombinezon namijenjen različitim zanimanjima (slika 2a) koji je po svojim konstrukcijskim elementima djelomično prilagođen različitim položajima u radnom okruženju. Kombinezon je oblikovan na način da osigurava udobnost u koraku i orukavlju te na stražnjem dijelu ima nabore prema bočnom šavu. Na području lakta, koljena i sjedala ima ojačanja, a džepovi se nalaze na području grudi i natkoljenice. Ima mogućnost proširivanja nogavice i čičak traku na donjem rubu rukava zbog

prilagodbe širine te integrirani pojas koji omogućuje prilagodbu kombinezona u području struka. Kopča se pomoću zatvarača i preklopa na čičak. Reflektirajuće trake našivene su na nogavice i područje struka, a traka u kontrastnoj boji nalaze se na području grudi na prednjem dijelu, dok se na stražnjem dijelu traka nalazi iznad nabora obrubljujući oplećnicu.

Uz sliku kombinezona nalazi se skica s predviđenim područjima naprezanja koja se mogu javiti pri gibanju tijela (slika 2b).



Slika 2. Zaštitni kombinezon: a) model; b) predviđena područja naprezanja pri izvođenju pokreta

Figure 2. Protective coverall: (a) model; (b) the intended areas of stress when performing the movement

Slika 3. prikazuje različite položaje tijela koji su najčešći u radnom okruženju i utječu na udobnost kombinezona. Prema subjektivnoj procjeni korisnika te na temelju izgleda odjevnog predmeta iz različitih perspektiva mogu se odrediti problematične zone pri korištenju kombinezona.

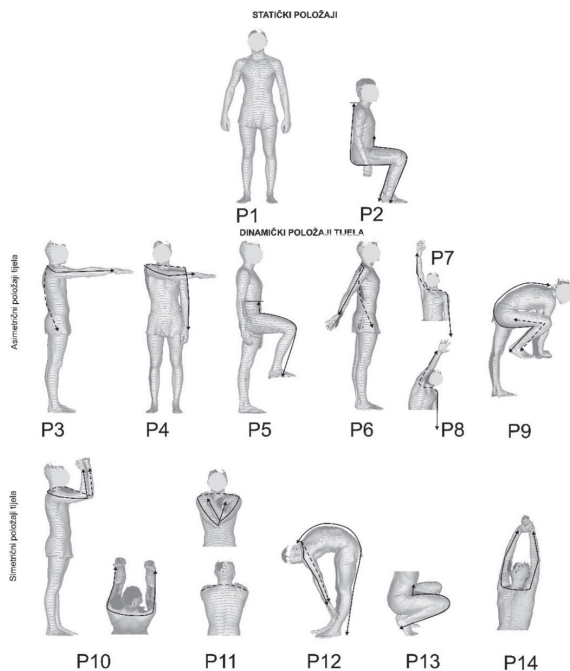


Slika 3. Identificiranje problematičnih zona u različitim položajima tijela kao preliminarne postavke za definiranje pozicija mjerenja

Figure 3. Identification of problem areas in different body positions as a preset for the definition of measurement positions

Pomoću 3D skenera ljudskog tijela VitusSmart digitalizira se ljudsko tijelo. 3D skener VitusSmart je laserski skener opremljen modularnim sustavom sa četiri vodiča koji sadrži po dvije CCD kamere. CCD kamera bilježi udaljenost točaka i pokriva prostor za snimanje 1 x 0,95 m i visine 2,03 m. Skeniranje se provodi u 12 s, a podaci se procesuiraju u 40 s. Virtualno ljudsko tijelo sadrži oko 500.000 prostornih točaka i tzv. oblak točaka može se primijeniti u različite svrhe. Za potrebe ovog istraživanja provedeno je skeniranje u različitim položajima tijela kako je prikazano na slici 4.

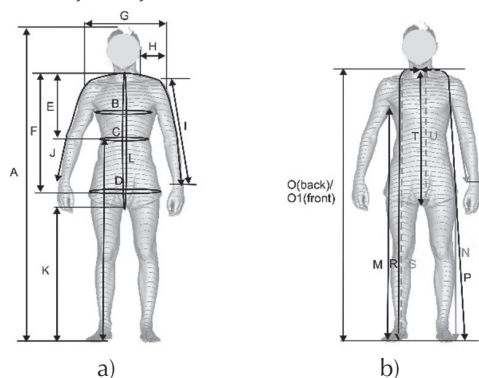
Definiran je 21 položaj tijela u kojem se skeniraju ispitanici. S obzirom da je definirano 7 asimetričnih položaja, u ovom istraživanju prikazani su asimetrični položaji s dominacijom desne strane, budući da dominantna strana korisnika može uvelike utjecati na oblikovanje zaštitnog odjevnog predmeta. Na slici 4 prikazano je 14 položaja tijela podijeljenih u skupine, od kojih je prva skupina statičkih položaja (osoba stoji i sjedi), druga skupina je skupina dinamičkih položaja koji su podijeljeni na asimetrične i simetrične položaje.



Slika 4. 3D skenirani položaji tijela za mjerenje za određivanje statičkih i dinamičkih mjera tijela

Figure 4. 3D-scanned body positions for measurement to determine static and dynamic body dimensions

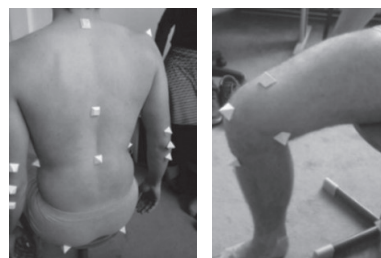
Pozicije mjerenja ljudskog tijela prikazane su na slici 5 dok se osoba nalazi u statičkom položaju. Mjerenje je provedeno prema antropometrijskim načelima. Na slici 5a prikazane su pozicije mjera koje izravno utječu na udobnost odjevnog predmeta. Na slici 5b prikazano je definiranje dimenzija na područjima na kojima se nalaze šavovi odjevnog predmeta ili najveća naprezanja odjevnog predmeta. Za različite položaje tijela izmjenjeni su samo oni segmenti kod kojih je ostvaren pomak dijela tijela.



Slika 5. Pozicije mjerenja: a) tjelesne mjere, b) mjere odjevnog predmeta (duljine šavova i pozicije naprezanja na kombinezonu)

Figure 5. measurement positions: a) body measurements, b) garment measurements (seam lengths and stress positions on coverall)

S obzirom da su sjedeći položaj (P2) i čučanji (P13) te položaji penjanja (P5 i P9) i saginjanja (P12) kod subjektivne procjene ukazala na problematične zone u području koljena i leđa, potrebno je provoditi dodatna mjerenja. Pri tome se pozicioniraju markeri kako je prikazano na slici 6.



Slika 6. Pozicije markera na tijelu u svrhu utvrđivanja promjene dimenzije u području leđa i koljena prilikom izvođenja položaja P2, P5, P9, P12 i P13 u odnosu na položaj P1

Figure 6. Positions of the markers on the body to determine the change in dimensions in the back and knee area at positions P2, P5, P9, P12 and P13 compared to position P1

REZULTATI I RASPRAVA

Na temelju prikazane metodologije dobivene su mjere prikazane u Tablici 1 za asimetrične položaje tijela i mjere prikazane u Tablici 2 za simetrične položaje. Prikazane tjelesne mjere na izravan način utječu na pristalost odjevnog predmeta pri izvođenju specifičnih pokreta.

Položaj tijela P1 je osnovni statički položaj koji je temelj za konstrukciju odjevnog predmeta. Statička antropometrija utječe na pristalost i udobnost odjevnog predmeta pri izvođenju jednostavnijih pokreta. Odabir odgovarajuće odjevne veličine omogućit će korisniku izvođenje jednostavnijih pokreta.

Pri izvođenju asimetričnih pokreta dijelova tijela koji su česti u radnom procesu dolazi do promjene tjelesnih dimenzija. Ako se promatraju mjere definirane s oznakom J a odnose se na pokrete rukom u položajima P3, P4, P6, P7, P8, P10, P11 i P14 vidljivo je da su dimenzije koje ukazuju na potrebu produljenja rukava samo za položaj P11. Navedeni položaj uvelike utječe na duljine rukava jer je ruka savijena u dva zgloba. Prema prikazanim rezultatima moglo bi se zaključiti da pokreti ruku utječu samo na gornji dio tijela, odnosno samo na duljinu rukava jer je ostatak tijela statičan i identičan izmjerama u položaju P1. S obzirom da se promatra utjecaj specifičnih pokreta tijela na udobnost nošenja kombinezona, pristupilo se izmjeri duljine šavova rukava i bočnog

Tablica 1. Tjelesne mjere specifičnih pozicija u različitim asimetričnim položajima tijela

Table 1. Body measurements in certain positions with different asymmetrical postures

| Pozicija | Simetrični položaji tijela | | | | | | | | |
|----------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 |
| | Mjere u cm | | | | | | | | |
| A | 177,9 | | | | | | | | |
| B | 100,0 | | | | | | | | |
| C | 82,6 | 82,2 | | | | | | | |
| D | 99,9 | | | | | | | | |
| E | 26,3 | | | | | | | | |
| F | 49,8 | | | | | | | | |
| G | 42,4 | | | | | | | | 44,3 |
| H | 15,4 | | | | | | 11,6 | 9,2 | |
| I | 61,8 | | | | | | | | |
| J | 169,3 | | 165,1 | 168,7 | | | 152,7 | 152,5 | 169,7 |
| K | 78,6 | 78,1 | | | | | | | |
| L | 167,9 | 162,0 | | | | | | | |
| M | 122,3 | 126,5 | | | 132,0 | | | | L 165,3 D 137,2 |
| N | 169,5 | 164,0 | 192,6 | 191,9 | 168,1 | 174,0 | 196,8 | 209,0 | L 197,2 D 194,9 |
| O | 154,0 | 153,7 | | | | | | | |
| O1 | 146,6 | 137,4 | | | | | | | |
| P | 165,9 | 160,4 | 165,2 | 165,4 | 165,0 | 166,6 | 164,4 | 170,4 | |
| R | 161,9 | 152,7 | | | 151,9 | | | | L 146,3 |
| S | 152,4 | 154,5 | | | 160,4 | | | | L 181,0 D 169,5 |
| T | 67,6 | 63,2 | | | | | | | 49,2 |
| U | 84,0 | 89,4 | | | | | | | 90,5 |

šava (označeno s N) za navedene položaje. Može se vidjeti da se razlika u duljini šava kreće 5 do 40 cm. Navedena razlika duljine šava utječe na skraćivanje rukava i podizanje odjevnog predmeta ako se radi o jakni ili kuti. Kod kombinezona se podizanjem dijela odjevnog predmeta može pojaviti naprezanje u području prepona jer se kod nekih modela odjevni predmet ne može podići.

Položaji P3, P4, P7, P8 i P14 su eklatantan primjer utjecaja dinamike tijela na dinamiku odjevnog predmeta. Na fotografijama odjevnog predmeta u navedenim položajima vidljivo je da kombinezon u potpunosti gubi svoju funkciju otkrivajući područje noge, ruke i zatežući u preponama. Linija struka također mijenja svoj položaj, a povratak u statički položaj zahtijeva podešavanje odjevnog predmeta na tijelu.

Sjedeći položaj (P2), podizanje noge (P5) i položaj čučnja (P13) utječu u najvećoj mjeri na mjere donjeg dijela odjevnog predmeta. Mjerena je duljina bočnog šava (oznaka P), pri čemu je razlika u odnosu na položaj P1 5,5 do 6 cm. Mjerenjem prednjeg i stražnjeg dijela od 7. vratnog kralješka preko područja koljena na prednjem dijelu (poz. R) i stražnjem (poz. S) dobivaju se iznosi koji su na prednjem dijelu umanjeni i do 10 cm u odnosu na položaj P1. Dok su na stražnjem dijelu veći do 8 cm.

Dodatnim mjerenjem utvrđeno je da se u području koljena pojavljuje razlika od 5 cm prilikom savijanja noge, dok se u području stražnjice pojavljuje razlika od 8,5 cm.

Položaj P12 s pripadajućim mjerama ukazuje na razliku mjera prilikom savijanja trupa. Duljina

Tablica 2. Tjelesne mjere specifičnih pozicija u različitim simetričnim položajima tijela

Table 2. Body measurements in certain positions with different symmetrical postures

| Pozicija | Simetrični položaji tijela | | | | | |
|----------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | P1 | P10 | P11 | P12 | P13 | P14 |
| | Mjere u cm | | | | | |
| A | 177,9 | | | | | |
| B | 100,0 | | | | | |
| C | 82,6 | | | | | |
| D | 99,9 | | | | | |
| E | 26,3 | | | | | |
| F | 49,8 | | | | | |
| G | 42,4 | 42,9 | | | | |
| H | 15,4 | | | | | 9,2 |
| I | 61,8 | | | | | |
| J | 169,3 | 161,5 | 172,5 | 166,3 | | 135,9 |
| K | 78,6 | | | | | |
| L | 167,9 | | | | 161,3 | |
| M | 122,3 | | | 130,9 | 136,0 | |
| N | 169,5 | 190,2 | 189,4 | 195,0 | | 202,0 |
| O | 154,0 | | | 175,9 | | |
| O1 | 146,6 | | | 122,9 | | |
| P | 165,9 | | | 159,9 | 157,8 | |
| R | 161,9 | | | | 152,6 | |
| S | 152,4 | | | | 150,1 | |
| T | 67,6 | | | | | |
| U | 84,0 | | | | | |

bočnog šava sa šavom rukava (N) razlikuje se za 25,5 cm u odnosu na položaj P1. Stražnji dio od 7. vratnog kralješka (O) je za 21,9 cm dulji nego kod statičnog položaja P1, pri čemu na stražnji sjedalni šav treba izdvojiti 8,5 cm dok se 13,5 cm odnosi na savijanje trupa od 7. vratnog kralješka do struka. Prednji dio (O1) u položaju P12 je kraći za 23,7 cm i ne utječe na naprezanje odjevnog predmeta u tom području tijela jer se javlja nabiranje odjevnog predmeta na prednjem dijelu.

Položaj tijela P9 je položaj penjanja, pri čemu je izražena dinamika gornjeg i donjeg dijela tijela. Vidljive su razlike u mjerama u odnosu na lijevu i desnu stranu tijela. Bočni šav (N) lijeve i desne strane razlikuju se međusobno za 2,3 cm dok se u odnosu na položaj P1 razlikuje za 27,7 cm. Stražnji dio mjeran od 7. vratnog kralješka do poda veći je za 29 cm u odnosu na položaj P1. U ovom položaju također treba izdvojiti savijanje u području bokova i koljena prema dobivenim izmjerama.

Pri mjerenju trupa od 7. vratnog kralješka do vratnog izreza na prednjem dijelu zamijećeno je da razlike u mjerama u različitim položajima tijela ne utječu na projektiranje kombinezona jer su iznosi manji nego u položaju P1 prema kojem se izrađuje temeljna konstrukcija.

Svi navedeni podaci o izmjerama tijela u specifičnim položajima od ključnog su značaja za projektiranje funkcionalnog kombinezona. Iz navedenih rezultata mjerenja tijela i područja naprezanja odjevnog predmeta može se vidjeti da je prema uobičajenim konstrukcijskim metodama potrebno korigirati način konstrukcije kombinezona.

ZAKLJUČAK

Na temelju prikazanog može se zaključiti da dinamička antropometrija ima veliki utjecaj na projektiranje zaštitnih odjevnih predmeta. Zbog specifičnih položaja tijela u radnom okruženju nužno je osmisliti konstrukcijska rješenja koja će osigurati udobnost i potrebnu zaštitu. Zaštitni kombinezoni imaju široku primjenu i iznimno su kompleksni u pogledu prilagodbe raznim konstitucijama i specifičnim položajima tijela. Iz navedenog razloga nužna je subjektivna procjena

udobnosti da bi se izradio ergonomski oblikovani kombinezon. U radu je dan primjer na temelju kojeg se mogu dobiti egzaktni ulazni parametri koji se mogu koristiti pri istraživanju dinamičke antropometrije. Korisnici često nisu upoznati s ergonomskim načelima i njihovom primjenom u oblikovanju odjevnog predmeta, stoga ih treba postaviti u simulirane ili stvarne situacije uz promatranje sa strukovnog stajališta.

Prikazano istraživanje ukazuje da je potrebno poznavanje kinematike ljudskog tijela, dinamičke antropometrije, pozicija naprezanja na odjevnom predmetu i konstrukcije odjeće u svrhu utvrđivanja potrebnih dodataka za udobnost na segmentima odjevnog predmeta. Važno je utvrditi međusobni utjecaj pojedinih segmenta tijela, pokreta i odjevnog predmeta u cjelini.

LITERATURA

Bogović, S.: Construction of Functional Protective Clothing, *Functional Protective Textiles*, Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, 71-100, 2012.

Bogović, S., Dragčević Z., Hursa Šajatović A.: Ergonomic design and construction of protective clothing based on dynamic anthropometric, U zborniku radova, *Proceedings 12th World Textile Conference AUTEX 2012*, Innovative Textile for high Future Demands, I, Zagreb, 995-1000, 2012.

Domjanić, J., Bogović, S.: The Impact of Dynamic Anthropometry on the Pattern Construction of One-piece Suit, U zborniku radova, *Proceedings of the 15th World Textile Conference AUTEX 2015*, Bukurešt, 2015.

Bogović, S., Stjepanović, Z., Cupar, A., Jevšnik, S., Rogina-Car, B., Rudolf, A.: The use of new technologies for the development of protective clothing: comparative analysis of body dimensions of static and dynamic postures and its application, *AUTEX research journal*, 19, 2019., 4, 301-311.

Bogović, S., Čorak, A.: A New Method for Testing the Breaking Force of a Polylactic Acid-Fabric Joint for the Purpose of Making a Protective Garment, *Materials*, 15, 2022., 10, 3549-3549

Bogović S.: The Influence of Dynamic Anthropometry on the Design of Protective Clothing, *International Professional and Scientific Conference „Occupational Safety and Health“*, 27-38, 18-19. 9. 2024. Zadar

Boorady, L.: Functional clothing-Principles of fit, *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 36, 2011., 4, 344-347

Geršak, J., Marčić, M.: Složeni koncept projektiranja funkcionalne zaštitne odjeće, *Tekstil*, 62, 2013., 1-2, 31-37.

Horvat, J., Regent, A.: *Osobna zaštitna oprema*, Veleučilište u Rijeci, Rijeka, 2009.

HRN EN 340:2004: *Zaštitna odjeća - opći zahtjevi*, Hrvatski zavod za norme, Zagreb, 2004.

Hrvatski zavod za javno zdravstvo - služba za medicinu rada: Zaštitna odjeća, dostupno na: [http://www.hzzzs.hr/wp-content/](http://www.hzzzs.hr/wp-content/uploads/2016/11/Zaštitna-odjeća.pdf)

[uploads/2016/11/Zaštitna-odjeća.pdf](http://www.hzzzs.hr/wp-content/uploads/2016/11/Zaštitna-odjeća.pdf), pristupljeno 15. 05. 2024.

Hursa Šajatović, A., Dragčević, Z., Zavec Pavlinić, D.: Oblikovanje zaštitne odjeće, obuće i opreme s ergonomskog stajališta, *Sigurnost*, 59, 2017., 3, 227-236.

Kirin, S.: *Uvod u ergonomiju*, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac 2019.

Pejnović, N.: Osobna zaštitna oprema za zaštitu tijela, *Sigurnost*, 57, 2015., 2, 229-242

Pravilnik o uporabi osobne zaštitne opreme, N. N., br. 5/21.

Rudolf A., Bogović S., Rogina-Car B., Stjepanović Z., Jevšnik S., Cupar A.: Virtual prototyping of special protective clothing for sport aircraft pilots. U zborniku radova, *Inovations in protective and e-textiles in balance with comfort and ecology*, Lodz, 84-96, 2017.

PROTOCOL FOR DEFINING DYNAMIC BODY MEASUREMENTS WHEN DESIGNING PROTECTIVE COVERALL

SUMMARY: This paper presents the definition of dynamic body dimensions for the purpose of designing an ergonomically designed protective coverall. The design of an ergonomically designed protective suit should be approached systematically, taking into account purpose and functionality, type of protection, materials used and anthropometry. Coveralls are garments that are complex from a construction point of view, while from the user's point of view they are considered comfortable and easy to use, as one garment covers and protects almost the entire body. The use of protective clothing requires appropriate solutions, depending on the type of protection and purpose, that allow unrestricted movement and adequate protection. When designing clothing, problem areas should be identified and solutions found from the point of view of design, garment construction, manufacture and verification of the final solution. The concept of creating an ergonomically designed garment is based on subjective and objective assessments of the users themselves. The problem of inadequate design and cut of coveralls has been a major issue for many years, and the construction solutions for the cut are often not sufficient to ensure that the end result is an ergonomic garment. The presented protocol for determining the input parameters for creating an ergonomic cut for coveralls is presented in the paper. Based on subjective assessments of the fit of the coverall in different body positions, a protocol for defining dynamic body measurements can be established. In order to perform measurements in certain positions, it is necessary to digitize the human body and analyze the resulting 3D point cloud of the human body. In this way, problem areas can be represented quantitatively and the results can be incorporated into the construction of the coverall, regardless of whether it is a customized or mass-produced garment. After creating a test model, it is necessary to carry out a fit test, as was done for the initial measurements.

Key words: *ergonomic design, dynamic anthropometry, protective coverall*

Original scientific paper

Received: 2024-12-05

Accepted: 2025-03-21