

D. Kralj, S. Kirin, I. Štedul*

ISTRAŽIVANJE MOGUĆNOSTI UNAPREĐENJA RADNIH PROCESA PRIMJENOM RAČUNALNE PODRŠKE

UDK 331.108.6:681.3.06
PRIMLJENO: 24.6.2024.
PRIHVAĆENO: 10.10.2024.

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



SAŽETAK: Prilikom rada u proizvodnim procesima radnici su izloženi statodinamičkim naporima koji mogu biti uzrokom mišićno-koštanih poremećaja i nastanka profesionalnih bolesti. U cilju analize radnih scenarija i unapređenja radnih mjesta oblikovan je projekt čija se metodologija zasniva na izboru i korištenju specijalizirane programske podrške za analizu i simulaciju radnih procesa. Programska podrška i računalna oprema mora biti funkcionalno i cjenovno prihvatljiva. Na temelju dosadašnjih mjerenja i iskustava, kao polazni proizvodni proces odabrana je odjevna industrija. U proizvodnim procesima odjevne industrije rad se izvodi u stojećem ili sjedećem položaju pri čemu radnici podnose psihofizičke i statodinamičke napore koji mogu biti uzrokom mišićno-koštanih poremećaja. Postavljeni ciljevi projekta obuhvaćaju: u prvoj fazi sagledavanje ergonomske karakteristika i prisutnih problema pri izvođenju radnih scenarija u procesima proizvodnje, na temelju prethodno navedene analize izbor prikladne programske podrške koja će omogućiti detaljnu analizu i mogućnosti unapređenja radnih mjesta, na temelju prikupljenih rezultata i iskustava izrada priručnika za rad na siguran način te paralelno uz razvoj projekta u industrijskoj primjeni, unaprijediti nastavni proces i kompetencije studenata na stručnom studiju zaštite na radu.

Glavne riječi: ergonomija, psihofizički i statodinamički naponi, programska podrška, metode analize, odjevna industrija

UVOD

Prema Heiseru i Renderu (1996.) osnovica suvremene znanstvene organizacije je tzv. upravljanje utemeljeno na vremenu (engl. *Time Based Management*). Udruženje za proizvodni konzalting Berger & Partner GmbH postavilo je model vrijeme-točnost-kvaliteta te razradilo model organizacije utemeljen na vremenski uvjetovanoj konkurenciji. Proces proizvodnje u suvremenoj organizaciji rada razmatra se kao djelovanje sportskog tima gdje je osnovni cilj smanjenje vre-

mena izrade (brže), smanjenje troškova (vrijednije) i povećanje kvalitete izrade (bolje); (Mayers & Sewart, 2002.). Svi navedeni ciljevi postižu se stalnom dodatnom edukacijom i sustavom uvežbavanja na svim razinama proizvodnog procesa. Za uspješnu organizaciju proizvodnog procesa potrebno je izraditi što realniji plan proizvodnje odnosno odrediti vrijeme izvođenja pojedine tehnološke operacije, opterećenja radnika i strojeva, potrebnog broja radnika i strojeva te izraditi izračun troškova proizvodnje. Pored toga, potrebno je oblikovati ugodna radna mjesta koja ne dovode do opterećenja ili zamora radnika.

Prilikom rada u proizvodnim procesima radnici su izloženi statodinamičkim naporima koji mogu biti uzrokom mišićno-koštanih poremeća-

Dr. sc. Damir Kralj, prof. struč. stud., (damir.kralj@vuka.hr), (autor za korespondenciju), dr. sc. Snježna Kirin, prof. struč. stud., (snjezana.kirin@vuka.hr), Ivan Štedul, prof., v. pred., (ivan.stedul@vuka.hr), Veleučilište u Karlovcu, Trg J. J. Strossmayera 9, 47000 Karlovac, Hrvatska.

ja te veliki zdravstveni i financijski problem jer narušeno zdravlje radnika može znatno utjecati i na smanjenje radne sposobnosti, smanjenje produktivnosti, uzrokovati odlaske na bolovanje te opterećivati zdravstveni sustav.

CILJEVI I METODOLOGIJA

Prvi cilj ovog rada jest prije svega sagledati ergonomske karakteristike i prisutne probleme pri izvođenju radnih scenarija u procesima proizvodnje. Drugi cilj je, na temelju prethodno navedene analize, izabrati prikladnu programsku podršku koja će omogućiti detaljnu analizu i mogućnosti unapređenja radnih mjesta. Kao treći i krajnji cilj postavljeno je zasnivanje temelja za oblikovanje neke vrste priručnika za postizanje ugodnih radnih uvjeta koji obuhvaća metodologiju oblikovanja radnih mjesta s manje opterećenja.

Kako bi se ostvarili ovi ciljeve oblikovana je metodologija koja polazi od analize problema zatečenih na proizvodnim radnim mjestima, regulative povezane s radom i ostvarivanja sigurnih uvjeta na radnom mjestu te izbora optimalnih metoda za mjerenje opterećenja. U nastavku zacrtane metodologije pristupljeno je istraživanju i analizi cijena i funkcionalnih mogućnosti na tržištu dostupne programske podrške, kako bi se na temelju tih rezultata izradio okvirni izbor programske podrške koja podržava analizu ergonomske opterećenja radnika na radnom mjestu, omogućava pronalaženje rizičnih elemenata te simulaciju cjelokupne radne scene kao i optimizaciju radnog scenarija. U cilju postizanja trećeg cilja, potrebno je odabrati prihvatljivu programsku podršku čije će mogućnosti analize i prezentacije rezultata dati temelj za izradu planiranog priručnika.

Kad se govori o unapređenju uvjeta rada u procesima proizvodnje, treba biti svjestan da je to područje vrlo široko i raznoliko. Stoga metodologija podrazumijeva izbor jednog užeg područja u sklopu kojeg će se provesti detaljna istraživanja i mjerenja. Dakle, cjelokupni postupak treba provesti kao projekt usmjeren na uže područje proizvodnje, ali s tendencijom da bude temelj za buduće projekte koji će pokrivati druga područja proizvodnje i/ili projekte koji će biti provedeni na područjima susjednih država. Također, treba na-

stojati da se planirana metodologija i rezultat projekta približe i studentima stručnih studija sigurnosti i zaštite te na taj način unaprijedi nastavni proces, a time i buduće kompetencije studenata.

ERGONOMSKE KARAKTERISTIKE RADA U PROCESIMA PROIZVODNJE

U proizvodnim procesima razlikuju se četiri moguća položaja tijela, i to: sjedenje, stajanje, rukovanje i kretanje pri čemu je najčešći sjedenje i stajanje. Pri tome ne postoji idealan položaj već postoji udobniji i zdraviji položaj od drugih. Ergonomska istraživanja ciljaju na identifikaciju tih položaja i formiranje zahtjeva i načela koji se trebaju razmotriti tijekom oblikovanja radnih mjesta čime se postižu zdravi radni položaji i ograničava se prihvaćanje nezdravih položaja.

Rad se u proizvodnim procesima najčešće izvodi u stojećem i sjedećem položaju, a radnik tijekom izvođenja radnih zadataka koristi trup i gornje udove za rukovanje materijalom i/ili strojem. Rad zahtijeva koordinirano korištenje gornjih i donjih udova te visok stupanj usredotočenosti vida. Tijekom rada često dolazi do uvjetno nepovoljnog položaja tijela i glave zbog stajanja te opterećenja ruku i prstiju. Kada se rad izvodi u sjedećem položaju, radnik koristi trup i gornje udove za izvođenje radnog zadatka.

U procesima proizvodnje rad se može opisati kao kombinacija statičkog i dinamičkog rada mišića, gdje statičku komponentu čini stajanje i sjedenje. Statički položaj stajanja i sjedenja povezan je s trajnim naprezanjem određenih mišićnih skupina leđa i vrata te dovodi do pojave zamora. Tijekom izvođenja rada u sjedećem ili stajaćem položaju, gornji i donji udovi radnika izvode dinamički rad. Zbog dinamike i potrebne koordinacije pokreta te s obzirom na kontinuirano ponavljanje izvođenja radnih zadataka gdje se koriste uvijek iste skupine mišića, dolazi do znatnih opterećenja ruke, šake i prstiju (*Verhovnik & Polajnar, 2007.*). Dugotrajna statička opterećenja, koja nastaju zbog stalnog korištenja istih mišićnih skupina, dovode do oštećenja zglobova, ligamentata i tetiva (tendinitis, tenosinovitis), upale spoja tetiva s kostima (epikondilitis), a u težim slučajevima može doći do degeneracije zglobova (ar-

troza). Nadalje, često se javlja sindrom karpalnog tunela, što predstavlja upalu tetiva zapešća RSI (engl. *Repetitive Strain Injury*). Sve navedene bolesti muskulatornog sustava posljedica su ozljeda zbog ponavljanja pokreta te se zajedničkim imenom nazivaju kumulativni traumatski poremećaj CTDs (engl. *Cumulative Trauma Disorders*).

Prilikom dugotrajnog nepravilnog načina sjedenja dolazi do slabljenja abdominalnih mišića, iskrivljenja kralježnice te smetnji probavnog sustava i disanja. Iskrivljenje kralježnice može biti u sagitalnoj (kifoza i lordoza) ili frontalnoj (skolioza) ravnini, odnosno i u sagitalnoj i frontalnoj ravnini (kifoskolioza) pri čemu dolazi do ozljeda intervertebralnih diskova i cervikalnih vratnih kralježaka. Nastale ozljede očituju se kao grčevi mišića u ramenima i vratu, bolovi i smanjenje pokretljivosti vratne kralježnice (cervikalni sindrom) te bolovi u rukama (cervikalno-brahijalni sindrom); (*Balantić et al., 2016.*).

Svakodnevno je nužno pratiti radne procese, analizirati radna mjesta, odrediti uzroke nastajanja opterećenja i zamora te pronaći bolje rješenje sa svrhom smanjenja opterećenja u sustavu čovjek – stroj – okolina (*Hursa Šajatović & Kirin, 2022.*). Preventivne mjere u cilju smanjenja opterećenja radnika te u sprečavanju nastanka bolesti koštano-zglobnog sustava su ergonomsko oblikovanje radnog mjesta, rad pogodnom metodom rada te edukacija radnika. Određivanje pogodne metode rada znači propisati način rada. Ergonomsko oblikovanje radnog mjesta obuhvaća prilagodbu veličine i visine radne površine te visine sjedalice tjelesnoj visini radnice tako da radi u radnom položaju koji zahtijeva minimalno statičko i dinamičko opterećenje uz korištenje niže razine mišićne skupine. Ako je radno mjesto oblikom i mjerama prilagođeno tijelu radnika i pokretljivosti mišićnog sustava, postiže se manje radno opterećenje i zamor (*Jurčević Lulić & Runjak, 2013.*).

U istraživanjima radnog opterećenja s ergonomskog stajališta razvijene su metode za proučavanje i analizu položaja tijela i pokreta pri radu s ciljem smanjenja opterećenja radnika prilikom izvođenja radnih zadataka koji se mogu podijeliti na (*Kirin & Hursa Šajatović, 2023.*):

- metode za analizu radnog opterećenja putem upitnika kojeg ispunjava radnik (NI-

OSH (*The National Institute for Occupational Safety and Health Method*) metoda, BORG metoda),

- metode za analizu radnog procesa promatranjem i putem upitnika (OADM - *Ocjenevalna analiza delovnog mesta*) metoda PLIBEL (*A Method Assigned for Identification of Ergonomics Hazards*) i DMQ (*The Dutch Musculoskeletal Questionnaire*),
- metode za analizu radnog opterećenja putem analize radnih položaja i pokreta (OWAS (*Ovaco Working Posture Analysis System*), MODAPTS (*Modular Arrangement of Predetermined Time Standards*), RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*), REBA (*Rapid Entire Body Assessment*), QEC (*Quick Exposure Check*), SMART (*Scoring Method for Assessment of Repetitive Tasks*), OCRA (*Occupational Repetitive Action*) EAWS (*Ergonomic Assessment Workshee*),
- metode za analizu radnog opterećenja korištenjem računalnih sustava za simulaciju radnog procesa (SAMMIE, RAMSIS, 3DSSPP/AutoCAD, APOLIN, CAAA, COMBIMAN, ERGOSpace, JACK, SAFEWORK, ANYBODY, eM-Workplace, ERGOPlan, NAWO Solutions).

Nadalje, u proizvodnim sustavima s ciljem smanjenja rizika od nastanka bolesti poslodavac je obvezan kontinuirano procjenjivati rizike na radnim mjestima što je definirano Zakonom o zaštiti na radu. Zadatak procjene rizika je prepoznati opasnosti, procijeniti razinu rizika te predložiti mjere za njihovo smanjenje. Potpuna prevencija rizika i mišićno-koštanih poremećaja na radnom mjestu nije moguća jer postoje razni čimbenici koje nije moguće izbjeći s obzirom na vrstu radnih zadataka. Međutim, potrebno je maksimalno primjenjivati pravila zaštite na radu, preventivne mjere, organizirati i provoditi radne metode te težiti smanjenju izloženosti radnika utvrđenim rizicima kako bi se vjerojatnost nastanka profesionalnih bolesti otklonila ili svela na najmanju moguću mjeru te kako bi se osigurala kvalitetna razina zaštite radnika.

Razvojem suvremenih računalnih sustava za virtualnu simulaciju rada proizvodnih procesa, može se sagledati cjelovit tok proizvodnog procesa. Takvi sustavi omogućuju analizu i pogod-

no oblikovanje ili preoblikovanje radnog mjesta s pripadajućom pogodnom metodom rada za pojedini radni zadatak. Računalnom simulacijom rada proizvodnih sustava i radnih mjesta osigurava se, već u fazi projektiranja, otkrivanje i uklanjanje mogućih ergonomske nepovoljno oblikovanih radnih mjesta i metoda rada. Simulacijom se prepoznaju nepovoljni radni pokreti i položaji tijela koji utječu na psihofizičko opterećenje i zamor radnika te određuju pogodnije metode izvođenja rada.

ANALIZA TRŽIŠTA I IZBOR PROGRAMSKE PODRŠKE

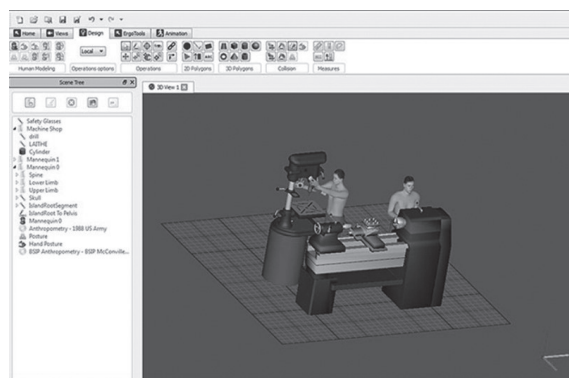
U području programske podrške za upravljanje i unapređenje ergonomije radnih mjesta, na tržištu je dostupno otprilike desetak proizvoda različitih svjetskih proizvođača. Svi ovi proizvodi vrlo su važni za unapređenje područja primijenjene ergonomije i modularno su organizirani. Nemaju svi isto ciljano uže područje primjene pa o tome ovisi svrha i broj uključenih modula, uključene metode za procjenu radnog opterećenja i zdravstvenih rizika, a u skladu s time razlikuju se i cjenovni razredi ovih proizvoda. Provedena je detaljna analiza dostupnosti i svojstava ovih proizvoda, osnovna provjera zastupljenosti i primjene ovih proizvoda u proizvodnoj praksi (referentne liste), cijena paketa i pojedinih modula, kvaliteta sustava pomoći te mogućnost dobivanja demo verzija i/ili kratkotrajnih licenci kako bi se uvidjele mogućnosti pojedine programske podrške te na temelju stečenih iskustava donijela odluku koja od njih najbolje odgovara ciljevima i metodologiji predmetnog projekta.

Nakon prvog kruga istraživanja i analize, u užu izbor ušla su tri programska paketa: HumanCAD (NexGen Ergonomics), AnyBody Technology i NAWO Solutions (HRV Simulation).

HumanCAD

HumanCAD (NexGen Ergonomics, 2024.) je programsko rješenje za modeliranje ljudi (operatora) u virtualnom okruženju i proizvod je tvrtke NexGen Ergonomics. Stvara digitalne prikaze ljudi u trodimenzionalnom okruženju u kojem se mogu izvesti različite analize ergonomije i ljud-

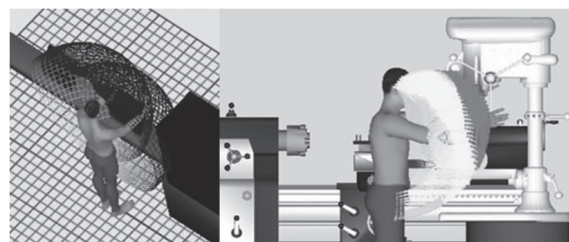
skog čimbenika. HumanCAD pomaže korisnicima u dizajnu proizvoda i radnih mjesta određujući što ljudi različitih veličina mogu vidjeti, dosegnuti ili podići. Primjer digitaliziranog prikaza radnog mjesta unutar radnog područja programa HumanCAD prikazan je na slici 1 (NexGen Ergonomics, 2024.).



Slika 1. Prikaz radnog područja programa HumanCAD

Figure 1. Display of the working area of the HumanCAD program

Tehnologija digitalnog ljudskog modeliranja važan je alat u određivanju prilagođenosti proizvoda i radnih mjesta ljudima prije nego što se izgrade. To uključuje traženje zona udobnosti za određene zadatke (slika 2).



Slika 2. Analiza zona dosega i udobnosti radnika na radnom mjestu

Figure 2. Analysis of the worker's reach and comfort zones in the workplace

HumanCAD ima modularnu arhitekturu koja korisnicima omogućuje kupnju modula koji su im potrebni. U sve konfiguracije uključena je inverzna i prednja kinematika, digitalna ljudska kreacija korištenjem raznih biblioteka i baza podataka, analiza vizije i dosega, i slično. Svoje prilagođene položaje ili antropometrije korisnik može spremati u biblioteke za ponovnu upotrebu. HumanCAD-

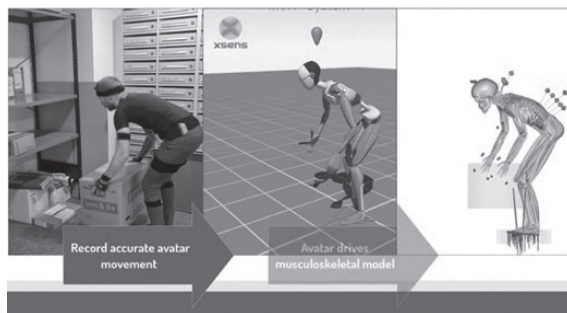
ovi ergonomski alati za procjenu pružaju podatke o potencijalnom riziku od ozljeda i posturalnu analizu. Ostali alati za analizu ljudskog čimbenika pomažu u određivanju zahtjeva za dosegom, vidom, udobnošću i prilagodbom. Elementi radnog mjesta mogu biti oblikovani u drugim CAD alatima i uvezeni u HumanCAD. NexGen Ergonomics nudi široku lepezu instrumenata za ergonomska i biomehanička mjerenja te analizu, istraživanje i dizajn proizvoda. U ponudi su mjerači sile ili dinamometri, ali i sofisticiraniji proizvodi kao što su rješenja za fiziološka mjerenja, mapiranje tlaka ili napredni sustavi za analizu kretanja. U ponudi su i specijalizirani instrumenti za mjerenje razine zvuka, senzori temperature i senzori za analizu vibracija, kao i linija magnetskih, optičkih i inercijalnih uređaja za praćenje pokreta te opcionalna programska podrška koja s navedenim sustavima čini cjelovita rješenja za snimanje i analizu pokreta (*NexGen Ergonomics, 2024.*)

AnyBody Technology

Tvrtka AnyBody Technology pionir je i vodeća u području mehaničkog modeliranja živog tijela, posebno mišićno-koštanog modeliranja (engl. *musculoskeletal modeling, MSM*). Sveobuhvatno primarno područje primjene ovih metoda je ljudsko tijelo. No, ova tehnologija može se primijeniti na analizu bilo kojeg stvorenja - trenutno živog, pretpovijesnog ili imaginarnog. Osnovni tehnološki sustav nazvan je AnyBody Modeling System™ (tzv. simulacijski sustav), a pridruženi su mu i AnyBody Managed Model Repositories tj. sustav biblioteka koje sadrže najpoptešniji model ljudskog mišićno-koštanog sustava cijelog tijela koji je jedinstven na svjetskoj razini (*AnyBody Technology, 2024.*)

AnyBody Technology isporučuje programsku podršku za modeliranje i simulaciju, kao i modele te razne pomoćne alate za postavljanje cijelog lanca alata za simulaciju. Međutim, također pruža svojim korisnicima usluge savjetovanja o simulaciji za posebne svrhe istraživanja i razvoja ili kao podršku i pomoć internim resursima za simulaciju. AnyBody™ jedan je od rijetkih namjenskih mišićno-koštanog simulacijskih sustava (engl. *simulation engine*) u današnjem svijetu, a njihov model ljudskog tijela koristi se u širokom rasponu industrija, od kojih su mnoge prihvatile upravljanje trajanjem proizvoda, a njihovi

korisnici žele razumjeti i dokumentirati kako proizvod radi u skladu s ljudskim tijelom. Ovaj simulacijski sustav vrlo se intenzivno koristi u području medicine, posebno ortopedije, gdje se koristi za analizu mehaničkih čimbenika koji su npr. prouzročili oštećenja lokomotornog sustava, a u daljnjem postupku liječenja za analizu povoljnih položaja i oblika endoproteza koje se ugrađuju u ljudsko tijelo u cilju rješavanja problema. Svim zainteresiranima AnyBody Technology omogućava pristup stručno-znanstvenim webinarima na kojima su opisane konkretne primjene ove programske podrške u istraživanju i praksi. Dakle, analiza radnog mjesta, procjena opterećenja i simulacija uvjeta na radnom mjestu (slika 3) samo su jedan dio cjelokupnog raspona primjena ove programske podrške. Između ostalih vrlo zanimljivih funkcionalnosti, ovaj programski paket nudi i mogućnost analize te simulacije primjene egzoskeleta (*AnyBody Technology, 2024.*)



Slika 3. Analiza radnog mjesta s ergonomskom procjenom vođenom simulacijom

Figure 3. Workplace analysis with simulation-driven ergonomic assessment

NAWO Solution

Treći proizvod, predstavnik ove skupine, je skup programskih rješenja pod nazivom NAWO Solution francuskog proizvođača HRV Simulation. Čine ga programski alati NAWO Live, NAWO Smart i NAWO Studio. NAWO Live je alat za procjenu rizika od mišićno-koštanih poremećaja (engl. *musculoskeletal disorders, MSD*) koji koristi načelo ergosimulacije. Ergosimulacija (slika 4) reproducira ljudski pokret na virtualnoj lutki (tzv. manekenu) koja ustvari predstavlja avatara stvarnog radnika. Ovaj avatar obogaćen je ergonomskim i biomehaničkim pokazateljima koji omogućuju procjenu posturalnih ograničenja, napora i

vremena izloženosti povezanih s profesionalnom aktivnošću (*Nawo Solution, 2024.*).



Slika 4. Prikupljanje podataka putem senzora i ergosimulacija

Figure 4. Data collection through sensors and ergosimulations

Cilj ovog programskog alata jest identificirati rizike povezane s MSD-om, kvantificirati poteškoće profesionalnih aktivnosti te izraditi objektivne i standardizirane ergonomske procjene radilišta.

Programski alat NAWO Smart je besplatni program za mobilne uređaje koji može snimati radnu sekvencu u cilju kreiranja ergosimulacije. S tehnologijom snimanja pokreta koju koristi NAWO Smart, aktivnost se reproducira i bilježi na virtualnoj lutki obogaćenoj ergonomskim i biomehaničkim indikatorima za prepoznavanje rizika od razvoja MSD-a. Ova aplikacija je ustvari džepni alat za mjerenje kojim svi zaposlenici mogu mjeriti rizike povezane s tjelesnom aktivnošću svojim pametnim telefonom i imati aktivnu ulogu u prevenciji rizika. Snimljene sekvence prebacuju se na računalo i obrađuju u alatu NAWO Live koji se mogu automatski procijeniti svi biomehanički čimbenici rizika uz pomoć referentne metode (RULA, REBA, NIOSH itd.).

NAWO Studio je programsko rješenje za pregled ergonomije i dizajna koje koristi prividnu stvarnost (engl. *virtual reality*, VR) te omogućuje integraciju ergonomije radnih mjesta od faze dizajna. Ergonomija dizajna uzima se u obzir odmah od primarnih faza dizajna alata ili radnog mjesta kako bi se smanjio broj nesreća i nastajanje profesionalnih bolesti kao što su poremećaji mišićno-koštanog sustava. Ovaj pristup smanjuje izravne i neizravne troškove. Ukratko, primjenom ovog programskog rješenja postiže se: dizajniranje ili transformiranje industrijskog radnog mjesta uzimajući u obzir ergonomske čimbenik, ogra-

ničavanje slučajeva profesionalnih bolesti i nedostataka u dizajnu, smanjenje izvora nelagode i dodatnih troškova za tvrtku te podizanje višeg stupnja odgovornosti u pogledu zaštite zdravlja zaposlenika (*Nawo Solution, 2024.*).

IZBOR OPTIMALNOG RJEŠENJA

Svi proizvodi opisani u prethodnom poglavlju u znatnoj mjeri zadovoljavaju osnovne zahtjeve koji su postavljeni kroz ciljeve predmetnog projekta. Međutim, donekle se razlikuju u broju modula pa time i brojem licenci koje treba zakupiti na godišnjoj osnovi, a čija cijena nije mala. Također, razlikuju se i u pristupu mjerenja opterećenja u stvarnim uvjetima proizvodnje, kao i u načinu odabira i komunikacije sa sustavom inercijalnih senzora koji se koriste za bilježenje pokreta radnika unutar radnog scenarija. Prilikom izbora optimalnog rješenja bilo je nekoliko ključnih kriterija:

- izabrano rješenje mora funkcionalno podržavati planirane mjerne metode;
- s obzirom na to da postupak mjerenja zahtijeva odlazak na teren (proizvodne pogone), izabrano rješenje mora biti kompaktno i prenosivo u programskom i sklopovskom smislu tj. mora osigurati jednostavnu i laganu prenosivost opreme, ali i ugodan stacionarni rad u kabinetu tijekom naknadne obrade podataka, analize dobivenih izvješća, kao i prilikom simulacije radnih scenarija u cilju poboljšanja uvjeta;
- ukupna cijena mora jamčiti održivost ne samo tijekom trajanja projekta, već i kasnije primjenu opreme, programske podrške i stečenih iskustava u unapređenju nastave stručnog studija zaštite na radu;
- proizvođač bi morao omogućiti razdoblje testiranja programske podrške u trajanju od barem tjedan dana, kako bi se utvrdilo da je u funkcionalnom smislu pravi izbor te uvidjela potrebna minimalna svojstva računalne opreme na koju će se ista instalirati;
- proizvođač mora osigurati podršku u smislu podučavanja za rad i kasnije pomoći u slučaju problema u primjeni.

Kada se govori o održivosti u općem smislu, treba biti svjestan da je financijska održivost te-

melj funkcionalne održivosti. Financijska sredstva koja se ulažu u sklopovlje (računalna oprema, senzori i sl.) jednokratna su tijekom jednog relativno duljeg razdoblja. Međutim, programske licence moraju se obnavljati svake godine, a s ciljem podizanja kvalitete nastave u budućem razdoblju, trebalo bi planirati povećanje broja radnih stanica što ujedno povećava i broj godišnje potrebnih licenci. Ukratko, preveliki iznos cijene programskih licenci mogao bi činiti preveliki udio u cijeni izvedbe stručnog studija čime se dovodi u pitanje održivost istog.

Na temelju postavljenih kriterija i usporedbe cijena i funkcionalnosti triju analiziranih programskih rješenja, finalni izbor pao je na proizvod tvrtke NAWO Solutions. Ovaj programski paket dovoljno je kompaktan i prenosiv za predviđene scenarije primjene. Kao što je u prethodnom poglavlju već spomenuto, sastoji se od tri programska modula. NAWO Live je aplikacija s godišnjom licencom. Omogućava snimanje radnih pokreta samo videokamerom uz digitalnu obradu videosnimke (manje precizno) ili snimanje pomoću videokamere i inercijalnih senzora (visoka preciznost uz praćenje zakretanja zglobova s točnošću od 1°). Programska podrška za kalibraciju, komunikaciju i prihvata podataka sa senzora ulazi u cijenu senzorskog kompleta i ima trajnu licencu na USB ključu (engl. *dongle*). Dakle, NAWO Live je ključna aplikacija za snimanje radnih sekvenci i kasniju analizu prikupljenih podataka. Za brzi pregled i kontrolu (engl. *screening*) radnih sekvenci, može se koristiti NAWO Smart koja je besplatna i instalira se na mobilni uređaj. Prikadna je za ergonomsku provjeru radne sekvence tijekom rada, gdje radnici u pogonu mogu za kontrolu snimiti jedni druge pa učitavanjem snimke u NAWO Live napraviti brzu analizu stanja. Ovaj pristup pogodan je i za studentske primjene tijekom terenskih vježbi ili stručne prakse. Dovoljno je zauzeti dobru poziciju snimanja uz dobro osvjtljenje i izbjegavanje fizičkih zapreka između snimanog radnika i kamere mobilnog uređaja, tako da digitalni lik (avatar) pokriva cijelo tijelo snimanog radnika, snimiti snimku i prebaciti ju na računalo u aplikaciju NAWO Live. Aplikacija NAWO Studio ima godišnju licencu kao i NAWO Live i služi VR simulaciji radnih sekvenci u stvarnom (prethodno digitaliziranom) ili tek projektiranom radnom okruženju. Pomoću VR naočala

moguće je "učiti" u digitalnu scenu i analizirati njezine postavke. Kako bi se sagledale mogućnosti NAWO Live aplikacije, proizvođač je ustupio testnu licencu u dva razdoblja od po tjedan dana u sklopu kojih su analizirane funkcionalne mogućnosti aplikacija NAWO Live i NAWO Smart te utvrđena granična svojstva računalne opreme na kojoj ova programska podrška radi na zadovoljavajući način. Proizvođač je cijelo vrijeme bio dostupan za pomoć i savjete. U testnom razdoblju napravljeno je desetak testnih mjerenja snimanjem videozapisa na temelju kojih su načinjena izvješća o radnim opterećenjima te su se stekla prva iskustva u digitalnoj analizi radnih scenarija primjenom ovakve specijalizirane programske podrške. Metode procjene koje izabrana programska podrška funkcionalno podržava su: RULA, REBA, OCRA, NIOSH, EAWS (EN1005 i ISO 11228) i BORG (*Nawo Solution, 2024.*).

Na temelju iskustava stečenih tijekom testiranja programske podrške donesena je i odluka o okvirnoj konfiguraciji računalne opreme na kojoj će se instalirati ova programska podrška. U svakom slučaju u cilju prenosivosti, računalo mora biti mobilna radna stanica s naprednom procesnom jedinicom (Intel i7 ili naprednija), barem 32 GB RAM, brzim SSD diskom, naprednom grafikom (za CAD crtanje i VR), minimalnom veličinom zaslona od 17" te vanjskim monitorom od barem 27" za ugodan rad u stacionarnim uvjetima.

UŽE PODRUČJE PROVOĐENJA PROJEKTA

Kako je već u opisu ciljeva i metodologije navedeno, područje proizvodnih procesa vrlo je široko te stoga metodologija podrazumijeva izbor užeg područja u kojem će se provesti detaljna istraživanja i mjerenja. S obzirom na dosadašnja iskustva i istraživanja provedena do sada konvencionalnim metodama, izbor je prvo pao na tekstilnu industriju.

U tekstilnoj industriji rad se najčešće izvodi u sjedećem ili stojećem položaju, pri čemu dolazi do statodinamičkog opterećenja te je radnik podložan i profesionalnim bolestima. Pored toga dolazi i do nepovoljnih radnih uvjeta koji su odre-

đeni temperaturom, relativnom vlažnošću, strujanjem zraka te intenzitetom svjetla, buke i vibracija.

U sklopu tekstilne industrije, kao ogledna za potrebe projekta, izabrana je odjevna industrija pri čemu radnice obavljaju radne zadatke (tehno­loške operacije) u stojećem položaju u tehnološkom procesu krojenja i tehnološkom procesu dorade te u sjedećem položaju u tehnološkom procesu šivanja.

S obzirom na kompleksnost rada u tehnološkom procesu šivanja, radnica sjedi pri čemu izvođenje tehnološke operacije zahtijeva visok stupanj točnosti izvođenja i koordinaciju pokreta s potrebnom vizualnom usredotočenosti pogleda u središnjem vidnom polju uz istovremeno vođenje procesa šivanja kontroliranim pokretom stopala, čime se regulira ubodna brzina šivanja te istovremeno kontrolira udaljenost kraja šava od ruba izratka, međusobna usklađenost rubova izratka i duljina spoja do kraja šava (*Kirin et al., 2014.*).

U tehnološkom procesu krojenja, prilikom iskrojavanja krojnih naslaga strojevima s tračnim i udarnim nožem, radnica stoji uz često prisilni položaj kralježnice i glave zbog potrebne motoričke aktivnosti ruku i vidne koncentracije radi vođenja krojne naslage ili stroja po krojnim linijama (*Kirin & Dragčević, 2012.*). U tehnološkom procesu dorade, kontrolira gotove odjevne predmete u stojećem položaju koji zahtijevaju vidnu usredotočenost uz koordinaciju ruku.

U razdoblju koji prethodi projektu, istraživana je metoda rada primjenom MTM (engl. *Method Time Measurement*), metode i opterećenje radnika primjenom OWAS (engl. *Ovaco Working Analysing System*), RULA (engl. *Rapid Upper Limb Assessment*), REBA (engl. *Rapid Entire Body Assessment*) i SMART (engl. *Scoring Method for Assessment of Repetitive Tasks*) metodama (*Kirin, 2020., 2019., Kirin & Dragčević, 2018.*). Za istraživanje REBA i RULA metodom, u to vrijeme korišten je program ErgoFellow. Na temelju tih istraživanja uočeno je značajno opterećenje radnika u tekstilnoj i odjevnoj industriji te izražena potreba za preoblikovanjem radnih mjesta i određivanje pogodne metode rada u cilju smanjenja opterećenja i povećanja produktivnosti rada što

bi značajno smanjilo broj profesionalnih bolesti i bolovanja.

Prethodno istraživanje rezultiralo je istraživanjem radnih uvjeta i načina oblikovanja radnih mjesta u sustavu čovjek – stroj – okolina u odjevnoj industriji.

Samim projektom Teksergo predviđeno je:

- mjerenje parametara radne okoline (relativna vlažnost, temperatura, strujanje zraka, buka i osvijetljenost)
- prisutnost mišićno-koštanih poremećaja primjenom ANSI Z 365 standarda
- određivanje radne sposobnosti primjenom indeksa radne sposobnosti WAI (Work Ability Indeks)
- analiza radnih mjesta SMART metodom
- analiza radne metode primjenom MTM sustava
- analiza radnog opterećenja primjenom softvera (RULA, REBA, NIOSH)
- simulacija preoblikovanog radnog mjesta primjenom programske podrške.

Ovim pristupom sagledala bi se radna mjesta u odjevnoj industriji na cjelovit način, pri čemu bi se dobili pokazatelji o psihofizičkom i statodinamičkom opterećenju radnika, kao i opterećenje uzrokovano radnim uvjetima. Na temelju dobivenih pokazatelja moguće je oblikovati povoljnije metode rada i povoljno oblikovano radno mjesto koje dovodi do manjeg stupnja radnog opterećenja i zamora radnika.

Preoblikovanjem radnih mjesta i radne metode može se postići bolji radni učinak, veća proizvodnost, ergonomska stabilnost stojećeg ili sjedećeg radnog položaja, manji zamor te kraće vrijeme izvođenja radnih zadataka. Primjena programskog paketa NAWO Solution omogućava analizu metoda rada, analizu statičkog i dinamičkog opterećenja radnika tijekom rada te analizu usklađenosti dimenzija radnih elemenata na radnom mjestu s tjelesnim mjerama radnica. Time je omogućeno lako i brzo preoblikovanje postojećih radnih mjesta ili oblikovanje novih radnih mjesta u fazi projektiranja.

ZAKLJUČAK

Proučavanje psihofizičkog i statodinamičkog opterećenja u proizvodnim sustavima zahtijeva različiti pristup te različite metode provođenja ispitivanja s obzirom na vrstu proizvodnje.

Rad u odjevnoj industriji može se klasificirati kao lagan rad kod kojeg se srčana frekvencija kreće u rasponu od 75 do 100 l/min, plućna ventilacija 20 do 31 l/min, potrošnja kisika između 0,5 do 1,0 l/min te energetska potrošnja 8,5 do 15,5 kJ/min. S obzirom na zahtjevnost radnih zadataka, pojavljuju se značajno psihofizičko i statodinamičko opterećenje.

Prema Zakonu o zaštiti na radu svaki radnik mora biti osposobljen za rad na siguran način uz što manje opterećenje i zamor što obuhvaća ugodne radne uvjete i pogodno oblikovanu radnu metodu i pogodno oblikovanje radnog mjesta. Stručnjaci zaštite na radu na temelju Pravilnika o zaštiti na radu radnika izloženih statodinamičkim, psihofizičkim i drugim naporima na radu u sklopu procjene rizika opterećenje procjenjuju kvantitativno. Ovim projektom rad u odjevnoj industriji proučavao bi se i kvalitativno i kvantitativno.

Pokazatelji i doprinos projekta Teksergo bit će izraženi kroz: izradu prijedloga mjera za smanjenje statodinamičkog opterećenja i zamora radnika, izradu prijedloga za smanjenje psihofiziološkog napora radnika, implementaciju specijalizirane programske podrške u nastavni proces, izradu prijedloga mjera za unapređenje sigurnosti radnih mjesta u sklopu industrije 4.0 i industrije 5.0, izradu priručnika za rad na siguran način te publikaciju rezultata kroz predviđeni broj radova u časopisima i na znanstveno-stručnim skupovima.

Nemjerljivi pokazatelji prije svega proizlaze iz svrhe ovih istraživanja, a to je postizanje kulture sigurnosti kod izvođenja poslova radnika pri tehnološkim postupcima te predlaganje mjera za smanjenje psihofizičkih i statodinamičkih napora u tekstilnoj industriji što može omogućiti smanjenje bolovanja radnika. Nadalje, tu su i programski pokazatelji predloženih istraživanja koji će svakako rezultirati u: jačanju ljudskih potencijala za znanstveni rad na Veleučilištu u Karlovcu, unapređenju istraživačke infrastrukture i suradnji Veleučilišta u Karlovcu s tvornicama tekstilne industrije, jačanju

interdisciplinarnosti znanstvenog rada te povezivanju s drugim znanstvenim institucijama u istom znanstvenom području i popularizaciji znanosti održavanjem seminara za industriju.

LITERATURA

AnyBody Technology: "Who is AnyBody Technology?", dostupno na: <https://www.anybodytech.com/>, pristupljeno: 25. 5. 2024.

Balantič, Z., Polajnar, A., Jevšnik, S.: *Ergonomija v teoriji in praksi*, Nacionalni inštitut za javno zdravje, Ljubljana, 2016.

Heiser, J., Render, B.: *Production and Operations Management*, New Jersey, Prentice Hall, 1996

Jurčević Lulić, T., Runjak, M.: Procjena opterećenja radnika pri podizanju tereta, *Sigurnost*, 55, 2013., 2, 125-131.

Meyers F. E., Stewart J. R.: *Motion and Time Study*, 3rd edition, Prentice Hall, New Jersey/ Columbus/Ohio, 2002.

Verhovnik, V., Polajnar, A.: *Oblikovanje dela in delovnih mest*, II izdanje, Univerza v Maribor Fakulteta za strojništvo, Maribor, 2007.

Hursa Šajatović, A., Kirin, S.: Ergonomska analiza statodinamičkog opterećenja radnika u tehnološkom procesu šivanja odjeće, *Sigurnost*, 64, 2022., 3, 223-235

Kirin, S., Dragčević, Z.: Investigation of Workers Load in the Technological Cutting Process, *Book of Proceedings of the 6th International Textile, Clothing & Desing Conference - Magic World of Textiles*, Dragčević Z.(ed.), October 7th to 10th, 2012, Dubrovnik, Croatia, 354-359.

Kirin, S., Dragčević, Z., Firšt Rogale, S.: Workplace redesign in the computer-aided technological sewing process, *Tekstil*, 63, 2014., 1-2, 14-26.

Kirin, S., Dragčević, Z.: Investigation of Workload in the Technological Sewing Process Using the RULA Method, *Book of Proceedings of the 9th International Textile, Clothing&Desing Conference - Magic World of Textiles*, Dragčević Z.(ed.), October 7th-10th, 2018, Dubrovnik, Croatia, 197-202.

Kirin, S.: Ergonomska procjena opterećenja radnika u tehnološkom procesu šivanja REBA metodom, *12th International Scientific Conference on Production Engineering*, RIM 2019.-Development and modernization of production, Hodžić, Atif ; Islamović, Fadil ; Mijović, Budimir (ur.), Univerzitet u Bihaću Tehnički fakultet, 2019., 372-377.

Kirin, S.: Ergonomska istraživanja opterećenja radnika u procesu šivanja odjeće, *Sigurnost*, 62, 2020., 3, 239-249.

Kirin, S., Hursa Šajatović, A.: Karakteristike rada i istraživanje radnog opterećenja u odjevnoj industriji, *Sigurnost*, 65, 2023., 3, 269-282

Nawo Solution: „*Ergonomic analysis solution to identify MSDs – Nawo Solution*“, dostupno na: <https://nawo-solution.com/home/>, pristupljeno: 25. 5. 2024.

NexGen Ergonomics: „*NexGen Ergonomics – Welcome*“, dostupno na: <http://www.nexgenergo.com/>, pristupljeno: 25. 5. 2024.

Pravilnik o zaštiti na radu radnika izloženih statodinamičkim, psihofizičkim i drugim naporima na radu, N.N., br. 2021.

Zakon o zaštiti na radu, N.N., br. 71/14., 118/14., 94/18.

RESEARCH OF THE POSSIBILITY OF IMPROVING WORK PROCESSES USING COMPUTER SUPPORT

SUMMARY: When working in production processes, workers are exposed to statodynamic efforts that can be the cause of musculoskeletal disorders and occupational diseases. In order to analyze work scenarios and improve workplaces, we designed a project whose methodology is based on the selection and use of specialized software support for the analysis and simulation of work processes. Software support and computer equipment must be functional and reasonably priced. Based on previous measurements and experiences, the clothing industry was chosen as the starting production process. In the production processes of the clothing industry, work is performed in a standing or sitting position, during which workers endure psychophysical and statodynamic efforts that can be the cause of musculoskeletal disorders. The set goals of the project include: in the first phase, an overview of the ergonomic characteristics and the present problems when performing work scenarios in the production processes, based on the aforementioned analysis, to choose suitable program support that will allow us to do a detailed analysis and the possibilities of improving workplaces, based on the collected results and experience manual for working in a safe way and, in parallel with the development of the project in industrial application, to improve the teaching process and competencies of students on the professional study of occupational safety.

Key words: ergonomics, psychophysical and statodynamic efforts, software support, analysis methods, clothing industry

*Subject review
Received: 2024-06-24
Accepted: 2024-10-10*