

F. Veljović, F. Veljović*

OPTEREĆENOST KRALJEŽNICE U FUNKCIJI POKRETA

UDK 616.71-001:613.65
 PRIMLJENO: 19.11.2013.
 PRIHVAĆENO: 24.3.2014.

SAŽETAK: Radno djelovanje zahtijeva stalno mijenjanje položaja da bi se udovoljilo potrebama raznih aktivnosti koje čovjek obavlja tijekom izvršavanja radnih zadataka. Ako se rad obavlja u radnom prostoru koji nije pravilno dizajniran, dolazi do zamora, smanjenja učinkovitosti rada i ugrožavanja zdravlja. Rad predstavlja analizu mogućnosti poboljšanja postojećeg radnog položaja kod ispitanika i proračuna istih vrijednosti sila i momenata na L4 i L5 pršljena kralježnice kao i naprezanja kod određene skupine mišića za radnika u poznatom radnom procesu u odnosu na dopuštena naprezanja.

Ključne riječi: biomehanika, opterećenost, kralježnica, softverski paket

UVOD

U ovome radu opisuje se primjena softverskog paketa *Jack and Jill* za modeliranje ljudskih figura i simulacija. Navedeni softver pomaže organizacijama iz raznih industrijskih grana poboljšati ergonomiju dizajna proizvoda i redefinirati – modificirati zadatke radnog mjesta. Osim toga, daje optimalne položaje radnika u radnom prostoru u funkciji opterećenja njegovih ekstremiteta, kako skeletnog tako i muskulaturnog. Jack i njegovi opcionalni paketi donose alate usmjerene na čovjeka u virtualnom okruženju za složene analize ljudskih čimbenika novoga dizajna prije izrade fizičkih prototipa. *Jack and Jill* (muški i ženski) ljudski modeli mogu biti dimenzionirani kao predstavnici korisničke populacije da bi procijenili koncept dizajna u smislu ljudske izvedbe, uključujući doseg, vidljivost, rizik od ozljeda, udobnost i druge važne ergonomске informacije.

METODE

Kao primjer, uzeli smo radnika muškog spola (visine 180 cm, težine 85 kg) koji tijekom

svoje jedne radne smjene (8 sati) uzima male kutijice s autosvjećicama i pakira ih u veće kartonske kutije dimenzija 315 x 465 x 110 mm. Prosječna težina jedne kutije u koju stane 30 manjih, i to u 12 redova, iznosi 15 kg.

Nakon toga se kartonske kutije s autosvjećicama slažu u šest redova na jednoj europaleti. Na jednoj paleti maksimalno se može poredati 30 velikih kutija kako je vidljivo na slici 2. Radnik svojim rukama prenese prosječno 300 ovih kutija (10 paleta), što je približno 4,5 tone materijala.



Slika 1. Pakiranje manjih kutijica s autosvjećicama u veće kutije

Figure 1. Packing small boxes of sparkplugs into larger boxes

* Spec. dr. Fahira Veljović (veljovic@mef.unsa.ba), Kantonalna bolnica Zenica, Crkvice 67, 72000 Zenica, BiH, prof. dr. sc. Fikret Veljović, Mašinski fakultet, Vilsonovo šetalište 8, 71000 Sarajevo, BiH.

Svaka od ovih većih kartonskih kutija teška je u prosjeku 15 kg. Načelo *našeg radnika* je da manje kutije s autosvjećicama slaže u veće kako je već istaknuto, a zatim lijepi i, prema potrebi, uvezuje veće kutije (slike 1 i 2). Nakon toga se svaka kutija važe, a poslije čega se slažu na jednu paletu (slika 2).



Slika 2. Uvezivanje, vaganje i slaganje kutija na europaletu

Figure 2. Binding, weighing and loading boxes on a palette

ODREĐIVANJE SILA - MOMENATA KOJE DJELUJU NA L4/L5 PRŠLJEN I ODGOVARAJUĆU SKUPINU MIŠIĆA

Primjenom softverskog paketa *Jack and Jill*, tj. njegovih modula i potrebnih alata u mogućnosti smo riješiti ovaj programski zadatak, i to u sljedeća četiri koraka:

- Potrebno je definirati 3D virtualni model, kao i predmete s kojim će ljudski model biti u interakciji. Definiraju se ulazni parametri *virtualnog radnika* (težina i visina), kao i parametri same *virtualne kutije* s autosvjećicama (težina i dimenzije) s kojima će *radnik* biti u interakciji (slika 3).
- Zatim se pristupa definiranju odgovarajućeg položaja tijela našeg 3D modela (sjedeći, stojeći, ležeći, čučajući i sl., radi se o zauzimanju radnog položaj tijela) koji je u našem slučaju stojeći u odnosu na predmet. Gornji ekstremiteti našeg modela, također, se definiraju (položaj ruku, ramena, prstiju i sl.); (slika 4).
- Nakon toga se definiraju veze između dlanova ruku *virtualnog radnika* i samog *virtualnog predmeta*. Pritom se postavljaju svi potrebni parametri (slika 5).
- Primjenom *Task Analysis Toolkit* (TAT) modula provode se potrebne analize na

virtualnom 3D modelu i dobivaju se tražena opterećenja i naprezanja kod radnika, a zbog utjecaja *virtualne kutije*.

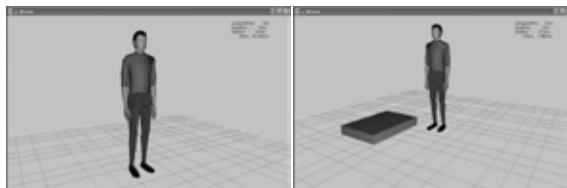
Da bismo dobili tražene podatke o naprezanjima i opterećenjima kod virtualnog čovjeka, koristit ćemo se modulom TAT i to s njegovim analizama:

- *Low Back Analysis Tool* (analiza opterećenja lumbalnog dijela kralježnice);
- *Static Strength Prediction* (analiza koja predviđa statičku snagu u postocima);
- *NIOSH Lifting analiza* koju nećemo provesti jer se radi o spuštanju tereta na paletu.

Nakon svega pristupamo primjeni *Task Analysis Toolkit* (TAT) modula i njegovih prethodno spomenutih analiza.

Analiza opterećenja lumbalnog dijela kralježnice

Primjenom ove analize iz *TAT modula* softverskog paketa *Jack and Jill* moguće je analizirati sva potrebna opterećenja lumbalnog dijela kralježnice prilikom obavljanja određenog radnog zadatka. Ovom analizom dobivaju se podaci o silama i momentima na L4/L5 pršljenovima, kao i podaci o naprezanju određene skupine mišića.



Slika 3. Definiranje virtualnog radnika u virtualnom okruženju

Figure 3. Creating a virtual worker in a virtual environment



Slika 4. Uspostavljanje interakcije između virtualnog radnika i virtualne kutije

Figure 4. Establishing an interaction between the virtual worker and virtual box

Kao što je poznato, virtualni model ljudske figure – virtualni radnik i virtualne kutije bit će sa sljedećim karakteristikama (slika 3):

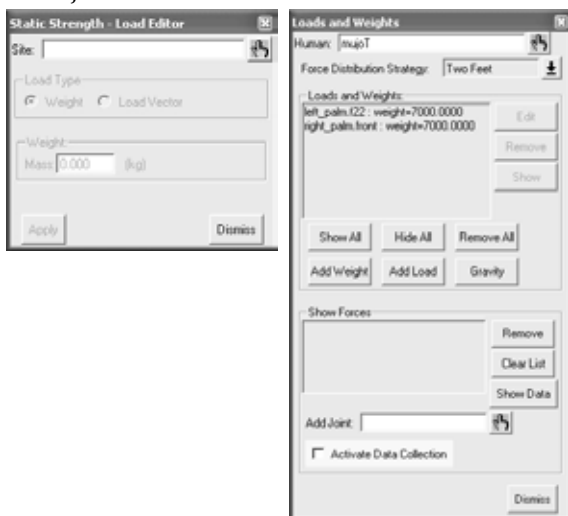
- **spol virtualnog radnika: muški**
- **visina virtualnog radnika: 180 cm**
- **težina virtualnog radnika: 85 kg**
- **dimenzije virtualne kutije: 315 x 465 x 110 mm**
- **težina virtualne kutije: 15 kg.**



Slika 5. Definiranje virtualnog radnika, ulazne karakteristike

Figure 5. Input characteristics of the virtual worker

Na slici 6 prikazan je odgovarajući dijaloški prozor u koji se unose vrijednosti osnovnih karakteristika našeg stvarnog radnika, tj. njegova težina i visina. Ovdje se, također, definira i postotak muške populacije koja je u mogućnosti obavljati radni zadatak.

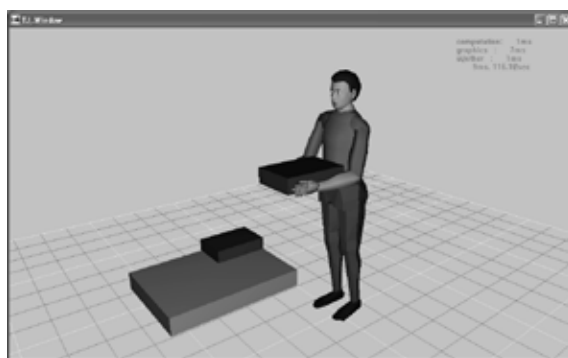


Slika 6. Definiranje karakteristika virtualnog predmeta i uspostavljanje interakcije s virtualnim čovjekom

Figure 6. Defining the characteristics of the virtual object and establishing an interaction with the virtual worker

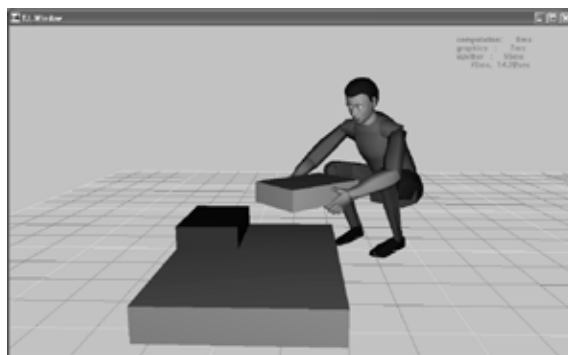
Također na ovoj slici 6 dan je dijaloški prikaz povezivanja – interakcije *virtualnog radnika s virtualnim predmetom – kutijom*. Sve ovo definirano je u *TAT modulu Low Back* analize programskog paketa *Jack and Jill*. Nakon prethodno definiranih ulaznih vrijednosti za čovjeka i predmet, kao i njihova 'povezivanja' pristupa se *Low Back* analizi.

Na slikama 7 i 8 predstavljeni su odgovarajući položaji pri držanju virtualne kutije u stojećem položaju, a zatim pri čučanju i spuštanju kutije na paletu. Sve ovo definirano je u *TAT modulu Low Back* analize.



Slika 7. Držanje tereta u stojećem položaju s postavljenim vezama između predmeta i ruku virtualnog radnika

Figure 7. Holding a load standing up with established connection between the object and the virtual worker's hands

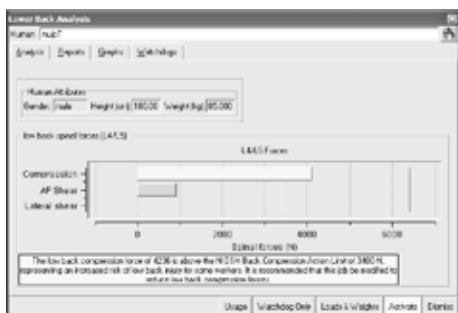


Slika 8. Postavljanje kutije na paletu

Figure 8. Placing the box on the palette

Na slici 9 dijagram prikazuje vrijednosti sila koje djeluju na L4 i L5 pršljenove kralježnice radnika muškog spola.

Compression – **pritisakuća sila: 4236 N**
 AP Shear – **smičuća sila koja djeluje između anterior i posterior dijela pršljena: 970 N**
 Lateral Shear – **smičuća sila koja djeluje s boka: zanemarivo mala vrijednost**



Slika 9. Rezultati opterećenja sila na L4 i L5 pršljenovima kralježnice primjenom Low Back analize
 Figure 9. Results of loads acting on L4 and L5 using Low Back analysis

U **žutom okviru** (slika 9) pritisakuća sila iznosi 4236 N. Ovdje se signalizira da ovako definirana aktivnost predstavlja povećani rizik od ozljeda u lumbalnom dijelu kralježnice za određen broj radnika, jer ona prelazi *NIOSH limit* od 3400 N. Savjetuje se da se ova aktivnost treba na neki način “promijeniti” i to zbog smanjenja sila koje, među ostalim, djeluju na pršljenove lumbalne zone kralježnice radnika muškog spola.

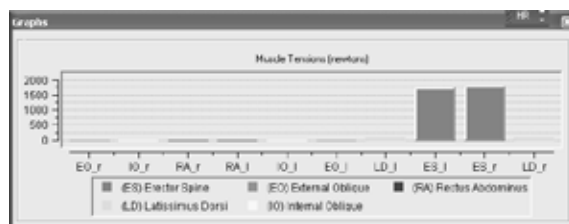
Ako bi opterećenje prelazilo stvarne mogućnosti *radnika muškog spola*, tj. ako povećamo vrijednost težine kutija, osim ovog žuto signalizirajućeg okvira, moguće je da se pojavi i *crveni okvir*. Crveni okvir upozoravao bi da ponavljanje ovih aktivnosti može izazvati visoki rizik od ozljeda lumbalnog dijela kralježnice i to za većinu radnika koji obavljaju ove aktivnosti. Ako se kojim slučajem pojavi *zeleni okvir na Lower Back Analysis* prozoru, tada je pritisakuća sila ispod *NIOSH limita*. Ovaj limit je zapravo nominalna vrijednost pritisakuće sile pri kojoj se mogu javiti ozljede u ovom dijelu kralježnice, i to za većinu zdravih radnika.

Na osnovi rezultata ove **Low Back** analize (slike 9, 10 i 11) možemo primijetiti da je radnik u analiziranom položaju pod djelovanjem prethodno definiranog opterećenja podložan riziku od nastanka ozljeda lumbalnog dijela kralježnice.

Na slici 9 vidljiv je *signalizirajući žuti okvir* koji upozorava da pritisakuća sila od 4236 N prekoračuje nominalnu granicu *NIOSH limita* od 3400 N, pri kojoj se javljaju ozljede na spomenutom dijelu kralježnice.

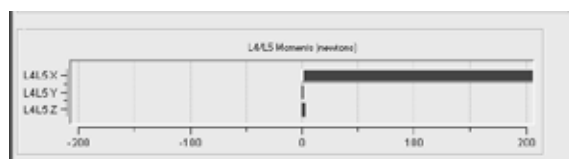
Prema tome, ovdje bi bilo potrebno modificirati opterećenje, ili položaj *virtualnog radnika*, kako ne bi došlo do ozljeda na kralježnici koje su vrlo vjerojatne ako se nastavi s ovakvim načinom (radni položaji na slikama 9 i 10) i u ovakvim uvjetima pri obavljanju radnih zadataka.

Primjetno je, također, (slika 11) da je moment L4L5X enormno visok, pa je kao takav u kombinaciji s pritisakućom silom od 4236 N potencijalni rizik za pogoršanje zdravlja u lumbalnom dijelu kralježnice radnika koji obavlja spomenute radne zadatke.



Slika 10. Rezultati opterećenja skupine mišića (erector spinae, latissimus dorsi, external i internal obliques i rectus abdominus) primjenom Low Back analize

Figure 10. Results of loads acting on groups of muscles (erector spinae, latissimus dorsi, external and internal obliques and rectus abdominus) using Low Back analysis

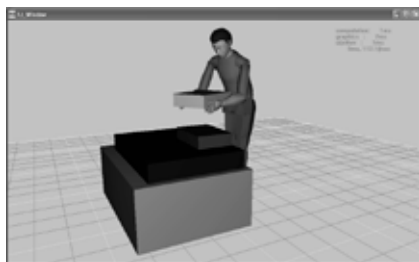


Slika 11. Rezultati momenata koji djeluju na L4 i L5 pršljenove kralježnice primjenom Low Back analize
 Figure 11. Results of momentums acting on L4 and L5 using Low Back analysis

Zbog svega spomenutog potrebno je promijeniti radni ambijent kako bi se spomenuta naprezanja i naponi radnika tijekom ovih radnih koraka pri slaganju kutija na palete na izvjestan način ublažili.

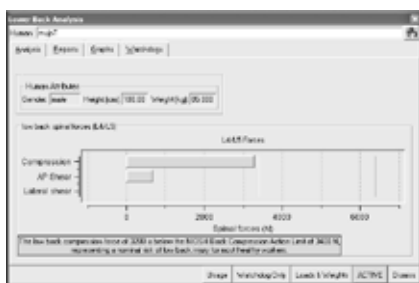
Modifikacija radnog mjesta zbog smanjenja pritiskujućih sila koje djeluju na lumbalni dio kralježnice (L4 i L5)

Pri čučnju, spuštanju - slaganju kutija na samu paletu ne može se nešto promijeniti oko samog "načina", tj. postupka u "transportu" kutija. Prema tome, moguće je u cilju smanjenja pritiskujućih sila (slika 9) paletu na kojoj su smještene kutije postaviti na nepomični stol visine 60 cm. Ako se uzme da je visina palete zajedno s kutijama (poredanim po paleti) približno 80 cm (slika 12), može se zaključiti da ukupna maksimalna visina palete s kutijama i stola (sanduka) iznosi 140 cm. Na ovaj način smo izbjegli izvjesni čučanj virtualnog radnika, jer pri ovom čučnju i spuštanju-slaganju kutija na palete *virtualni čovjek* u kralježnici (L4 i L5 pršljenovima) ima najveća naprezanja.



Slika 12. Paleta s kutijama nalazi se na stolu (sanduku) visine 60 cm

Figure 12. Palette with boxes on a table (case), height 60 cm



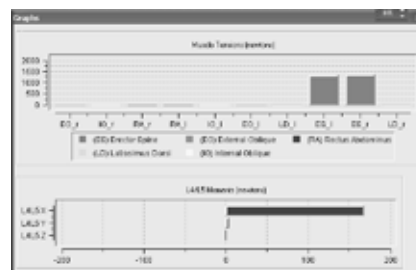
Slika 13. Rezultati opterećenja sila na L4 i L5 pršljenovima kralježnice za slučaj palete koja se nalazi na stolu visine 60 cm

Figure 13. Results of loads on L4 and L5 when a palette is placed on a 60 cm high table

Vrijednosti sila koje djeluju na L4 i L5 pršljenove kralježnice virtualnog radnika (slika 13) pri radu s *virtualnim kutijama* jesu:

- *compression* – **pritiskujuća sila: 3288 N**
- *AP shear* – **smičuća sila koja djeluje između anterior i posterior dijela pršljena: 710 N**
- *lateral shear* – **smičuća sila koja djeluje s boka: zanemarivo mala vrijednost.**

Na slici 13 vidljivo je da pri "transportu" *virtualnih kutija, virtualnog čovjeka* u slučaju palete koja se nalazi na nepomičnom stolu visine 60 cm, pritiskujuća vrijednost sile iznosi 3288 N, što je znatno manje od 3400 N - NIOSH limita (nominalne vrijednosti pri kojoj nastaju ozljede na lumbalnom dijelu kralježnice). U *zelenom okviru* je istaknuto: *Pritiskujuća sila je manja od limitirane NIOSH sile.*



Slika 14. Rezultati opterećenja skupine mišića i momenata koji djeluju u lumbalnom dijelu kralježnice za slučaj kada se paleta nalazi na stolu visine 60 cm

Figure 14. Results of loads on groups of muscles and momentums acting on the lumbar spine when a palette is placed on a 60 cm high table

Na ovaj način smo preventivno i s olakšanjem (naprezanja na L4/L5 pršljenju kralježnice su znatno manja) omogućili da *virtualni čovjek* izvršava prethodno spomenute radnje (slika 12).

Ako promatramo vrijednosti pritiskujućih sila (slika 11) gdje je *radnik* morao uložiti veći napor da bi obavio jedan radni ciklus (uzeti kutiju, podići je u visini trbuha, a zatim prenijeti i spustiti na odgovarajuću paletu), sada je napor koji *radnik* treba izvršiti s istim kutijama mnogo manji. To je vidljivo iz dobivenih rezultata primjenom *Low Back analize* (slike 13 i 14).

Ovdje se naravno moglo ići s dodatnim povećanjem - smanjenjem visine stola na koji se postavlja paleta s kutijama i računanjem naprezanja u lumbalnom dijelu kralježnice (sile i momenti) dok se ne iznađe optimalnija visina stola pri kojoj

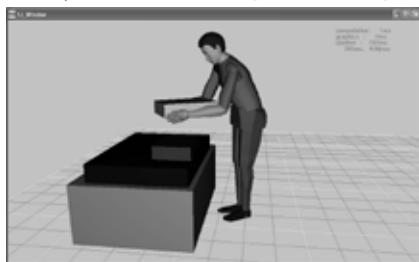
bi *virtualni čovjek* mogao sa sigurnošću obavljati svoje radne zadatke tijekom proizvodnih procesa u tvornici.

Kao trajno i pouzdano rješenje može se uzeti slučaj palete s kutijama postavljenim na nepomičnom stolu odgovarajuće visine, jer se sile i moment lumbalne zone kralježnice nalaze u granicama dopuštenog.

Predviđanje statičke snage

Ovo je još jedna od šest *Human factors* analiza koja se nalazi u *Task Analysis Toolkit* (TAT) modulu programskog paketa *Jack and Jill*.

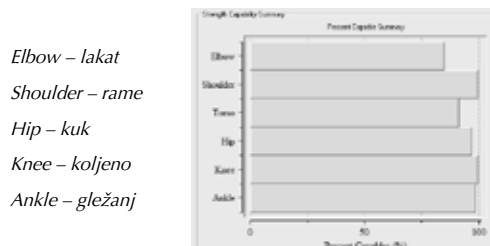
Pomoću ove analize predviđa se populacija koja ima dovoljnu statičku snagu za obavljanje prethodno definiranog radnog zadatka u ovisnosti o radnom položaju, utrošenom naporu i antropometriji.



Slika 15. Odgovarajući položaj modela kod Static Strength Prediction analize

Figure 15. Position of model in the Static Strength Prediction analysis

Kao što je prikazano na slici 15, *virtualni radnik* (muški model) postavljen je u stojeći radni položaj, te opterećen s težinom kutije od 15 kg. Dobiveni rezultati ove Static Strength Prediction analize prezentirani su na slikama 16 i 17.

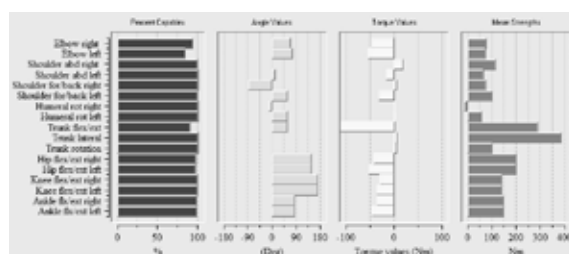


Slika 16. Rezultati Static Strength Prediction analize izraženi u postocima

Figure 16. Results of the Static Strength Prediction analysis expressed in percentages

Iz rezultata dobivenih na osnovi *Static Strength Prediction analyze* može se vidjeti koliki je postotak muškaraca imao snagu dovoljnu za pomicanje lakatnog i ramenog zgloba, zatim potrebnu snagu pri pokretanju torza, kuka, koljena i gležnja da bi uopće mogao izvršiti odgovarajući radni zadatak u prethodno postavljenim uvjetima za čovjeka i predmet s kojim je u interakciji.

Na slici 17 predstavljeni su detaljni rezultati (momenti i uglovi zaokretanja pojedinih zglobova) ove analize za naš promatrani virtualni model.



Slika 17. Rezultati momenata, uglova i glavnih naprezanja

Figure 17. Results of momentums, angles and major strains

Primjenom ove analize mogli bi se usporediti i rezultati muškog modela sa ženskim, ali kako je vidljivo iz same postavke ovoga zadatka, ovi poslovi pripadaju u skupinu težih - teških i kao takvi nisu predviđeni za žene.

ZAKLJUČAK

Primjenom tehnologije ljudskog modeliranja u mogućnosti smo kvalitetno simulirati, optimizirati, analizirati i ocijeniti razne radne zadatke i poslove u kojima sudjeluju ljudi tijekom svakodnevnih poslova na radnim mjestima (proizvodnja, montaža, održavanje i sl.).

Jedini način do sada provjere karakteristika (funkcije proizvoda, udobnost, odgovara li populaciji kojoj je namijenjen i sl.) bio je izrada prototipa, a zatim testiranje na određenom broju uzoraka budućih korisnika. U slučaju eventualnih grešaka na proizvodu, ovakav nas koncept vraća u ponovni proces dizajna, pa na ovaj način gubimo vrijeme, daljim odgađanjem plasiranja proizvoda na tržište, a samim tim i novac. Me-

đutim, još veći problemi javljaju se ako proizvod s greškom bude plasiran na tržište, jer njegovo povlačenje i prepravljavanje greški zahtijeva velike izdatke u vremenu i novcu. Sa druge strane gledajući na zdravlje radnika i njihove profesionalne deformacije (bolesti), primjena tehnologije ljudskog modeliranja je uvelike značajna.

U ovom projektu prezentirali smo prednosti i mogućnosti pri uporabi programskih softvera kao što su *Jack and Jill* programi. Poznato je da mnoge države godišnje na kompenzacije svojim radnicima zbog ozljeda i bolesti koje se javljaju na radnim mjestima troše goleme svote novaca (u milijardama \$). Također veliki broj radnika (u milijunima), gdje radeći na teškim fizičkim poslovima obolijevaju, i to muskulatorno – koštani sustav, a sve iz razloga što veliki broj njihovih radnih mjesta nije dizajniran tako da osigura minimalan rizik od mogućih ozljeda i obolijevanja tijekom rada. U značajnoj mjeri primjenom tehnologije ljudskog modeliranja možemo osigurati minimalan rizik od ozljeda, tako što na virtualnim modelima provodimo niz analiza, s obzirom na preporuke o dopuštenim opterećenjima i položajima, te na taj način poduzimamo odgovarajuće mjere (redizajniranjem radnog ambijenta i sl.).

Pored dobivenih rezultata, vizualna simulacija može se iskoristiti za educiranje radnika o pravilnim položajima i radnjama tijekom obavljanja radnih zadataka.

Digitalni (virtualni) modeli značajnu primjenu imaju i kod ocjene ergonomičnosti proizvo-

da, tako da se u znatnoj mjeri smanjuje vrijeme potrebno za plasiranje novog proizvoda na tržište, jer nema potrebe za izradom prototipa i konvencionalnim testovima na takvim uzorcima. Primjenom *Jack and Jill* programa u mogućnosti smo kreirati oba spola i kvalitetno skalirati antropometrijske mjere virtualnog modela.

Primjenom ovakvih tehnologija u stanju smo digitalnim kodom "prenijeti" stvarne ljude i njihov radni prostor (okruženje) iz realnosti u virtualnu stvarnost, a zatim izvršiti sva moguća testiranja i analize te poslije toga doći do željenih zaključaka. Ovakvih "prijenosa" može biti veoma mnogo, pa je iz tog razloga primjena ovakvih programskih paketa uvelike značajna i kao takva mnogo obećava u budućnosti.

LITERATURA

Veljović, F., Muftić, O., Jurčević-Lulić, T., Miličić, D.: *Osnovi ergonomije*, Mašinski fakultet, Sarajevo, 2001.

Veljović, F., Jurčević Lulić, T., Šimun, B.: *Biomehatronika, univ. udžbenik*, Mašinski fakultet, Sarajevo, 2013.

Veljović, F.: *Prirodni dizajn: univ. udžbenik*, Mašinski fakultet, Sarajevo, 2007.

Yang, J. and Pitarch, E. P.: *The Virtual Soldier Research (VSR) Program, Kinematic Human Modeling*, The University of Iowa, Iowa, 2004.

SPINAL LOAD AS FUNCTION OF MOBILITY

SUMMARY: Work requires constant change of body positions in order to perform the various work related activities. If work is carried out in a space not correctly designed, it will result in fatigue, impaired work efficiency and threat to health. The paper presents an analysis of the improvements in body position and posture and a calculation of the values of forces and momentums acting on L4 and L5 vertebrae and the strain on certain muscle groups in a known work process in relation to permitted strains.

Key words: *biomechanics, load, spine, software package*

*Professional paper
Received: 2013-11-19
Accepted: 2014-03-24*