

**UPOTREBA DIGITAL HUMAN SIMULACIJE ZA PROCJENU
OPTEREĆENJA U LUMBALNOM DIJELU KIČMENOG STUBA KOD
IZVOĐENJA MANUELNIH ZADATAKA**

**USING DIGITAL HUMAN SIMULATION FOR ESTIMATING LOW
BACK SPINAL LOADS IN MANUAL TASKS**

Denis Spahić, dipl.ing.maš.
Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet
Zenica

Vasvija dr Katica, doktor medicine
JU Domovi zdravlja
Sarajevo

REZIME

U svakoj fazi životnog ciklusa jednog proizvod kao nezaobilazna komponenta pojavljuju se ljudi. Ljudi koji instaliraju, ljudi koji upravljaju, ljudi koji održavaju. Iz tog razloga, jako je važno ljudske faktore uključiti u proces dizajna. U ovom se radu opisuje digital human modeling tehnologija, uz čiju pomoć dizajner može u virtualnom okruženju, koristeći se virtualnim ljudskim modelima, simulirati realan radni proces. Za kreiranje 3D okruženja i digitalnih ljudskih modela korišten je UGS softver-Jack 5.1. Dat je kratak pregled nekoliko analiza za procijenu naprezanje u slabinskom dijelu kičmenog stuba, pri različitim položajima i uslovima opterećenja virtualnog modela.

Ključne riječi: opterećenje kičmenog stuba, biomehanika, virtualno okruženje, virtualni ljudi

ABSTRACT

Every stage of a product lifecycle has a common component – people. People who install, people who operate, people who maintain. Because of that, it's so important to include human factors in a design process. This paper describes the digital human modeling technology, which can assist a designer to simulate a real workplace using virtual human models. Jack software was used for generating 3D environments and digital human models. Brief outline is given of few analyses that can be used to reduce the risk of injury by displaying the strain on the lower back under any posture and loading condition of a virtual model.

Key words: low back spinal loads, biomechanics, virtual environment, virtual human

1. UVOD

Čovjek je u velikoj mjeri uključen u procese nastanka ili eksploatacije većine proizvoda. U procesu proizvodnje učestvuje kao radna snaga, upravlja mašinama, održava postrojenja ili montira gotove dijelove u konačan sklop. U fazi eksploatacije proizvoda, u ovisnosti od toga o kojem se proizvodu radi, čovjek u većoj ili manjoj mjeri također učestvuje.

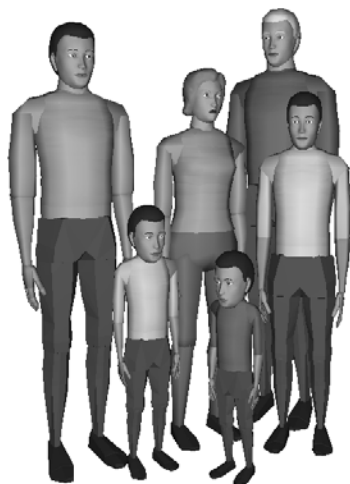
U konačnici, proizvodi su tu upravo zbog ljudi. Iako je sve usmjereno prema ljudima, pored velikog broja faktora koji se uzimaju u obzir prilikom dizajniranja novog proizvoda, nije rijetkost da se upravo čovjek zanemari. Ovdje se prvenstveno misli na nepravilno dizajnirane radne zadatke u sklopu proizvodnog procesa gdje učestvuju ljudi, te krajnje proizvode koji, usljed zanemarivanja faktora vezanih za osobine i limite ljudskog tijela, svojim oblikom, težinom, ili drugim karakteristikama ne odgovaraju ljudima, ili im nakon određenog vremena mogu ugroziti zdravlje. Ove konstatacije jasno ilustruju činjenice da se godišnje u SAD-u, na kompenzacije zbog povreda i dobijanja bolesti na radnom mjestu, radnicima isplati između 15 i 20 milijardi US\$; više od 1,8 miliona radnika oboli usljed promjena na muskulaturno-skeletnom sistemu; na medicinsku njegu oboljelih radnika godišnje se utroši između 30 i 40 milijardi US\$ [1]. Sve govori u prilog tome da veliki broj radnih zadataka, okruženja u kojima ljudi rade i proizvoda, nije dizajnirano tako da obezbijedi minimalan rizik od nastanka povrede.

Rješenje problema leži u samom procesu dizajna. Neophodno je ljudski faktor uključiti u najraniju fazu procesa dizajna te na taj način doći do kvalitetnijih i sugurnijih rješenja. Kako živimo u vremenu visoko razvijene tehnologije, računara uz pomoć kojih je moguće vizualizirati i analizirati veliki broj pojava i procesa, dolazimo do pojma *human modeling*-modeliranje ljudi. Radi se o upotrebi virtualnih ljudskih 3D modela, kreiranih na bazi tačnih antropometrijskih i biomehaničkih podataka. Ovakvi modeli postavljaju se u virtualno okruženje koji se sastoji od nepokretnih i pokretnih objekata.

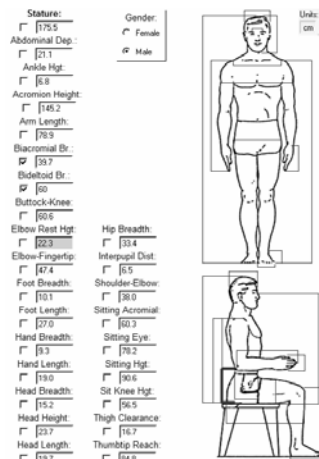
Virtualni-digitalni ljudi, vide, mogu da uhvate predmet, hodaju, daju informaciju o tome da li im je udobno, koliko napora trebaju uložiti da bi dohvatili neki predmet, da li je aktivnost koju obavljaju rizična po zdravlje itd. Danas na tržištu postoji nekoliko softvera uz pomoć kojih je moguće simulirati interakciju virtualnih ljudi i predmeta, te korištenjem različitih analiza procijeniti opterećenje pojedinih dijelova tijela.

2. 3D MODELI LJUDSKIH FIGURA

Jack predstavlja softversko rješenje, odnosno *human modeling* program kompanije *Unigraphics Solutions*. Ovaj softver omogućava rad sa različitim modelima ljudskih figura, kao i kreiranje virtualnih okruženja u kojima 3D modeli vrše interakciju sa objektima. Za kreiranje virtualnog ljudskog modela dovoljno je raspolagati sa podacima o težini i visini željenog modela. Na osnovu antropometrijskih zakonitosti i statističkog algoritma kreira se detaljan 3D model. *Jack* predstavlja jedini softver ovog tipa koji može kreirati virtualne modele oba spola, a uz pomoć naprednog skaliranja i modele koji odgovaraju dječijoj populaciji (slika 1.). Moguće je kreirati i potpuno individualne modele definisanjem određenog broja antropometrijskih mjera (slika 2.). U sklopu modula *Task Analysis Toolkit*, *Jack* također nudi znatan broj analiza. Za potrebe rada korišten je *Low Back Analysis Tool*, alat koji računa i prikazuje podatke o silama i momentima u slabinskom dijelu kičmenog stuba, tačnije u zoni L4/L5 pršljenova, kao i naprezanja određenih mišića- *latissimus dorsi*, *erector spinae*, *external/internal obliques* i *rectus abdomini*.



Slika 1. Upotrebom skaliranja mogu se kreirati 3D modeli različitih karakteristika.



Slika 2. Definisiranje antropometrijskih mjera.

2.1. Pozicioniranje i vizualizacija modelâ

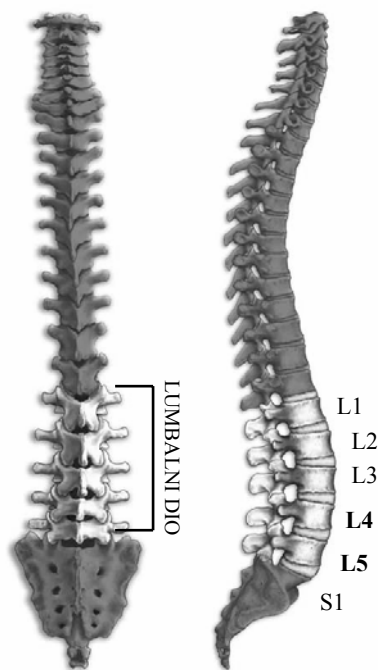
Virtualni 3D modeli posjeduju veliki broj pokretnih segmenata i spojeva koji omogućavaju njihovo pomjeranje. Pored toga, posjeduju i ograničenja koja postoje kod realnih ljudskih tijela, tako da se pomjeranje pokretnih dijelova može izvesti samo na način kako to rade ljudi u realnom svijetu. U svrhu lakše i brže manipulacije, u samom softveru već se nalazi određeni broj predefinisanih položaja tijela (stojeći opušteni, stojeći radni, ležeći, itd.), također postoji mogućnost definisanja i snimanja novih (slika 3). Pored ručnog pozicioniranja modela, Jack pruža podršku i za *motion capture* tehnologiju. Uz posjedovanje odgovarajuće opreme moguće je snimiti pokrete realnih modela, a zatim analizirati opterećenja u virtualnom okruženju.



Slika 3. Predefinisani položaji i različiti načini vizualizacije.

3. ANALIZA LUMBALNOG DIJELA KIČMENOG STUBA

Kičmeni stub se sastoji iz prednjeg i stražnjeg segmenta, gdje su osnovne sastavne jedinice-pršljenovi (vertebrae) odvojeni intervertebralnim diskusima, želatinozno – hrskavičave mase koji su odgovorni za 25 % dužine kičme i svojom elastičnošću (koja se starenjem gubi) odgovorni za pokrete kičme (najveći diskusi su u lumbalnom dijelu kičme gdje su i najveći pokreti). Za odgovarajuće nastavke kralježaka pripajaju se mišići i ligamenti, tako da kontrakcija mišića za njih stvara sisteme kotura i poluga koji rezultiraju prednjim, stražnjim i bočnim kretanjama kičme. Unutar kičmenog stuba smještena je kičmena moždina iz koje izlaze korijeni nerava. Kičmena moždina se završava na nivou tijela lumbalnih pršljenova L1-L2, kao posljedica toga korijeni lumbalnih živaca



Slika 4. Položaj pršljenova L4/L5.

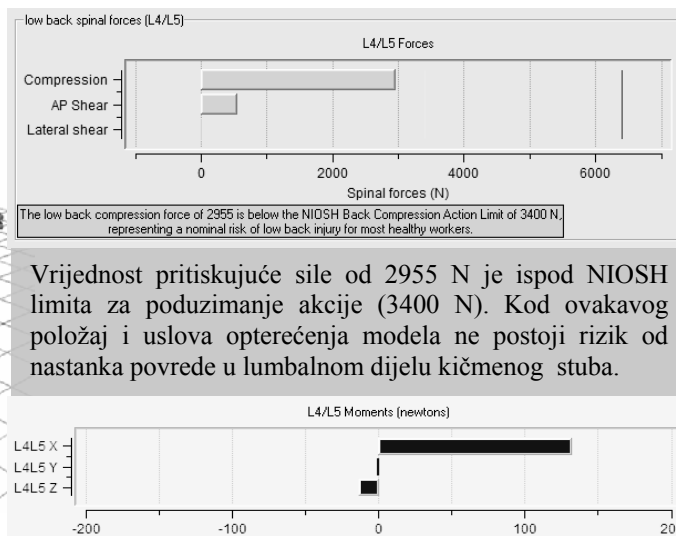
mogu biti povrijeđeni bilo gdje od gornjeg dijela lumbalne kičme. Bolest intervertebralnih diskusa lumbalne regije najčešće se javlja na nivou L4-L5 (slika 4) i L5-S1, povremeno su zahvaćeni i gornji lumbalni nivoi. Rizik oštećenja diskusa je veći kod gojaznih osoba-osim toga, degeneracija dijela diskusa se povećava godinama. U mehaničkom smislu kičmeni stub je vrlo složen organ s vrlo velikim brojem stepena slobode gibanja, ako se uz to još doda i to, da su veze sa kičmenim stubom putem mišića i ostalih dijelova ljudskog tijela također mnogobrojne, onda jasno odatle sijedi značajna nemoć da se gibanje kičmenog stuba opisuje matematičkim metodama. Ono što se pouzdano može utvrditi u ergonomijskom smislu u vezi opterećenja kičmenog stuba, svakako je način na koji se preporučuje držanje tijela, a time i kičmenog stuba u postupku podizanja tereta s poda na neku razinu [2].

3.1. Rezultati

U nastavku se prikazani rezultati analiza za nekoliko karakterističnih položaja i uslova opterećenja virtualnih modela. Pored vrijednosti koje pokazuju iznose pritiskajućih sila (*compression*) u zoni L4/L5, također su prikazani i podaci o smičućim silama između *anterior* i *posterior* dijela pršljena (*AP Shear*), te vrijednost smičuće sile koja djeluje na pršljenove s bočne strane (*Lateral Shear*). Dobijene vrijednosti softver upoređuje sa граниčnim-propisanim od strane NIOSH-a (*The National Institute for Occupational Safety and Health*). Rezultat usporedbe stvarnih i dozvoljenih vrijednosti softver daje u obliku obrazloženja sa preporučenom akcijom.

karakteristike analiziranog modela:

pol: muški
visina :1754,90 mm
težina: 77,690 kg
težina predmeta: 10kg



Vrijednost pritiskujuće sile od 2955 N je ispod NIOSH limita za poduzimanje akcije (3400 N). Kod ovakavog položaj i uslova opterećenja modela ne postoji rizik od nastanka povrede u lumbalnom dijelu kičmenog stuba.

Slika 5. Rezultati Low back analize za položaj modela 1

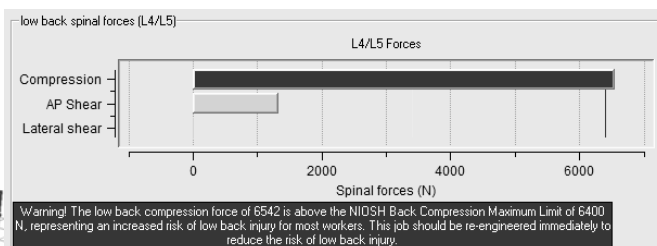
karakteristike analiziranog modela:

pol: muški

visina :1754,90 mm

težina: 77,690 kg

težina predmeta: 25kg

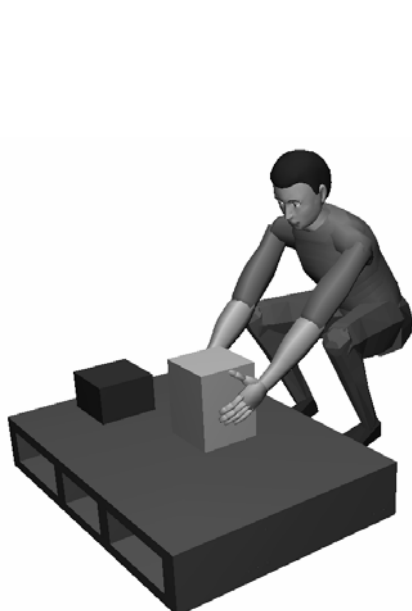


Vrijednost pritiskujuće sile od 6542 N je iznad maksimalne vrijednosti koje NIOSH preporuke dozvoljavaju (6400 N). Kod ovakvog položaj i uslova opterećenja modela postoji visok rizik od nastanka povrede u lumbalnom dijelu kičmenog stuba.

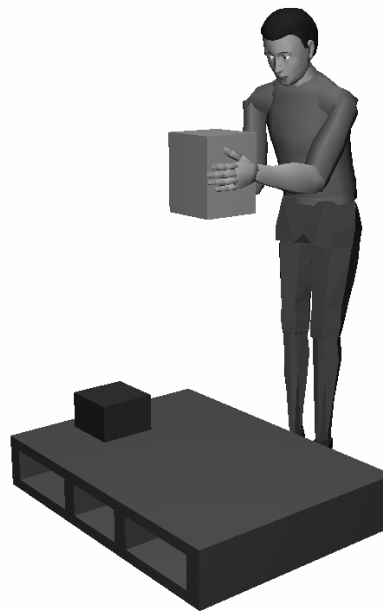
Slika 6. Rezultati Low back analize za položaj modela 2

Za analizu radnih zadataka koji uključuju podizanje predmeta koristi se *NIOSH Lifting* analiza. Uz pomoć ove analize, posmatrano za karakterističan radni položaj modela i određeni period vremena, dobijaju se slijedeći podaci: *recommended weight limit* (preporučena gornja granica težine) - predstavlja težinu predmeta koju većina radnika može podići bez rizika od povrede, *lifting index* (odnos aktuelne težine sa preporučenom) - porastom ovog indeksa raste i rizik od nastanka povrede lumbalnog dijela kičmenog stuba [3].

Analizirana je aktivnost u kojoj virtualni model podiže predmete između 3kg (prosjeak) i 5kg (maksimalno). U roku od jedne minute pet puta ponovi ovu radnju. Modeli se postavljaju u specifične položaje (slika 7. i 8.), a softver automatski računa horizontalne i vertikalne koordinate pojedinih tačaka tijela. Po preporukama *NIOSH*-a, horizontalna udaljenost između ruku i članaka treba biti između 25 i 63 cm. Od ulaznih podataka neophodno je još definisati ukupno vrijeme obavljanja zadatka, broj ponavljanja, vrijeme odmora, vrstu objekta (veličina objekta, grube ili glatke površine, da li se moraju nositi rukavice, položaj težišta, itd).



Slika 7. Početni položaj prilikom podizanja predmeta



Slika 8. Krajnji položaj posmatrane aktivnosti

Rezultati analize za posmatrani zadatak iznose:

LI = 0.670 (*lift index*)

RWL = 4.45 (*recommended weight limit*)

Vrijednost **RWL** predstavlja preporuku za maksimalnu težinu koju radnik smije podizati, uzevši u obzir detalje posmatranog radnog zadatka (start pozicija, end pozicija, distanca, frekvencija, itd.). **LI** se dobije dijeljenjem prosječnog opterećenja sa vrijednošću **RWL**.

Dobijene rezultate softver upoređuju sa *NIOSH* preporukama – za rezultat prikazuje preporučenu akciju. Za posmatrani zadatak, rizik od nastanka povrede usljed fizičkog naprežanja ima minimalnu vrijednost.

4. ZAKLJUČAK

Primjenjujući *human modeling* tehnologiju, u stanju smo kvalitetno simulirati, optimirati i ocijeniti veliki broj radnih zadataka u kojima učestvuju ljudi (proizvodnja, montaža, održavanje). U značajnoj mjeri možemo osigurati minimalan rizik od povreda provodeći niz analiza na virtualnim modelima, te na osnovu preporuka o dozvoljenim opterećenjima i položajima poduzeti adekvatne mjere.

Pored korisnih podataka o opterećenju virtualnog modela, vizualne simulacije možemo koristiti za educiranje radnika o pravilnom načinu izvođenja radnog zadatka.

Virtualni modeli značajnu primjenu nalaze i kod ocjene ergonomičnosti proizvoda, što u znatnoj mjeri smanjuje vrijeme potrebno za plasiranje novog proizvoda, jer ne traži izradu i ispitivanje prototipa. Mogućnost kreiranja modela oba spola, kao i kvalitetno skaliranje antropometrijskih mjera, otvara široku mogućnost primjene *human modelinga*.

5. LITERATURA

- [1] Jack User Manual, UGS 2006.,
- [2] Muftić O., Biomehanička ergonomija, Fakultet strojništva i brodogradnje Zagreb, 2005
- [3] Jack 5.0 Training Manual – TAT, UGS 2006.,
- [4] Myer K., Standard Handbook of Biomedical Engineering and Design, McGraw-Hill 2003.,