

N. Čehajić, S. Čerkezović*

RAČUNALOM PODRŽANA ERGONOMSKA ANALIZA RADNIH OPTEREĆENJA ISPITANIKA

UDK 331.101.1:004
PRIMLJENO: 15.3.2012.
PRIHVAĆENO: 4.6.2013.

SAŽETAK: Ponašanje ljudskog tijela u uvjetima djelovanja vanjskih opterećenja pored većeg broja fizioloških faktora povezano je s poznavanjem promjene veličine lumbalnog momenta dijela kralježnice na segmentu L4/L5. Ova činjenica bila je razlog da se u stvarnim uvjetima rada kod ispitanika koji radi na poslovima obrade metala, uzimajući u obzir njegove antropomjere i ostale radno-okolinske čimbenike, izvrši računalom podržana ergonomska analiza radnih opterećenja. Prikupljeni podaci o ispitaniku i radno-okolinskom sustavu u kojemu ispitanik djeluje bili su ulazni podaci za softverski program CATIA V5 i njegov ergonomska modul (engl. *Ergonomic Design and Analysis*). Upotrebom računalnog grafičko-analitičkog CAD/CAM sustava omogućeno je kreiranje virtualnog 3D modela ispitanika i pripadajućeg radno-okolinskog sustava u svrhu analize njihova djelovanja u realnim uvjetima rada, ali i proračuna ljudskog opterećenja. Također je provedena NIOSH 1991 analiza te su dobiveni rezultati ljudskog opterećenja uspoređeni s rezultatima dobivenim na osnovi softverske analize. Na osnovi izvršene softverske i NIOSH 1991 analize utvrđen je nedovoljan utjecaj individualnih antropometrijskih oblika i dimenzija tijela, kao i pripadajućih radnih položaja ispitanika koji se ostvaruju u ergonomskom i biomehaničkom radnom djelovanju ispitanika. Na osnovi navedenog dana je preporuka za ergonomska poboljšanje radnog položaja ispitanika te je u tom položaju izvršena softverska analiza radnih opterećenja kako bi se dobiveni rezultati usporedili s rezultatima dobivenim u nepovoljnom radnom položaju ispitanika.

Ključne riječi: ergonomija, antropometrija, lumbalni moment L4/L5, virtualni 3D humanoidni modeli, NIOSH 1991 metoda

UVOD

Suvremene metode radnih aktivnosti značajno su izmijenile način rada. Praćenjem radnih aktivnosti uočava se da ljudi imaju ograničene mogućnosti djelovanja te da takve promjene treba pratiti i odgovarajuća humanizacija rada. Kao posljedica neprikladno dizajniranih i oblikovanih radnih okruženja u odnosu na čovjeka nastaju oštećenja i degenerativne promjene koštano-zglobnih struk-

tura kod čovjeka, ali i određene psihičke smetnje (zamor, tromost i iscrpljenost). Zanemarivanje primjene ergonomske i biomehaničke načela uzrokuje pojavu ovih obolijevanja.

Međunarodna organizacija rada (engl. *World Health Organization - WHO*) je u svojem izvještaju za 2010. godinu objavila podatak da godišnje u svijetu od posljedica profesionalnih bolesti ili nesreća umire oko 1,2 milijuna, ozlijeđenih bude 270 milijuna ljudi, dok još oko 160 milijuna ljudi pati od posljedica profesionalnih bolesti. Devedestih godina prošlog stoljeća prema dostupnim podacima najčešće se javljaju dvije bolesti koje su u direktnoj vezi s primjenom ergonom-

*Mr. sci. Nurudin Čehajić, dipl. ing. maš., J.U. Mješovita srednja škola Živinice (nurddin_cekajic@hotmail.com), mr. sci. Said Čerkezović, dipl. ing. el., Općina Živinice, vanjski suradnik Rudarsko-geološko-građevinskog fakulteta, Univerzitetu u Tuzli, Tuzla, BiH.

skih i biomehaničkih načela prilikom oblikovanja radnih okruženja, i to:

- bolest kralježnice i
- bolest šake.

Glavni izvor informacija za utvrđivanje razine prilagođenosti radnog prostora čovjeku je antropometrija. U ergonomske antropometriji potrebne su dimenzije ljudskog tijela koje opisuju odnose prilikom izvođenja radnog zadatka i kretanja tijela, kao i odnose vezane s oblikom radnog okruženja. Dalje, potrebno je analizirati koji će dijelovi ljudskog tijela dolaziti u direktan odnos s radnim entitetima (noseći ga, rukujući njime i dr.), ali i one dijelove ljudskog tijela koji se nalaze u njegovoj neposrednoj blizini.

Svakodnevna su nastojanja, a što je cilj i ovog rada da se definiraju nepovoljni radni položaji radnika u stvarnim uvjetima rada, izvrši njihova eliminacija i zamjena novim rješenjima koja će biti zasnovana na primjeni ergonomske i biomehaničke načela.

Značajnu pomoć u rješavanju ovog problema pruža primjena sofisticiranih softverskih sustava na osnovi kojih je moguće analizirati rad i odabrati povoljnije radne položaje koji će smanjiti opterećenja radnika, ali i povećati razinu humanizacije rada.

Detaljno i točno određivanje radnih položaja ispitanika ovisi o velikom broju podataka. Potrebno je poznavanje antropometrijskih mjera i zona dohvata pojedinih dijelova tijela, dimenzije sredstava rada, dimenzije radnog prostora, dimenzije i položaj upravljačkih i kontrolnih funkcija stroja. Na taj način dobivaju se potrebni podaci za proračun i analizu kao osnovu za ergonomske i biomehanički funkcionalan i fiziološki ispravan radni položaj, s pravilnim dohvatima te udaljenostima i visinama, čime se značajno smanjuje opasnost od nastanka profesionalnih bolesti.

ISPITANIK I METODE

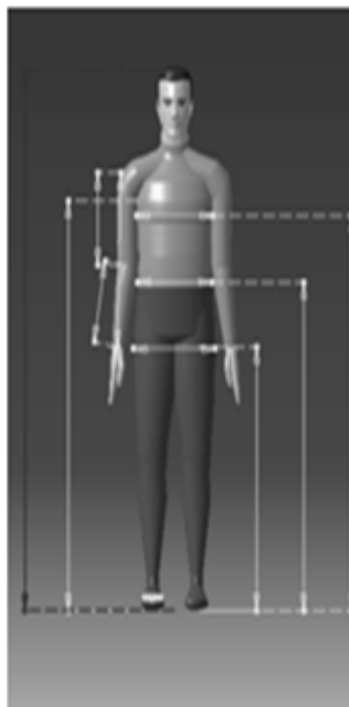
Ispitanik

Istraživanja su provedena kod ispitanika koji radi na poslovima podizanja, prenošenja i spu-

štanja PVC prozora na stroju za ostakljivanje. Kod ispitanika su uočena ergonomska i biomehanička odstupanja od optimalnog radnog položaja. Ispitanik je antropometrijski obrađen mjerenjem i digitalnim snimanjem u skladu sa zahtjevima CAD/CAM softverskog programa CATIA V5 i njegovog ergonomske modula. Rezultati mjerenja antropomjera ispitanika dani su u Tablici 1.

Tablica 1. Antropomjere ispitanika

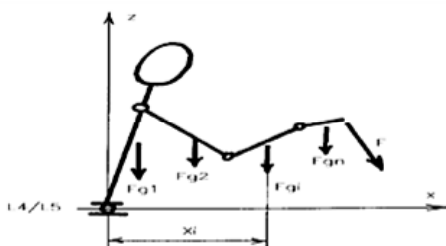
Table 1. Anthropometric measures



Varijabla (mm)	Podaci
Stojeća visina	1790
Dužina nadlaktice	325,70
Dužina podlaktice	279,50
Širina bedra	340
Visina do zdjelice	887
Visina do prsa	1342
Visina do trbuha	1030
Širina prsa	298
Širina trbuha	310
Ukupna masa (kg)	72

Metode istraživanja

Praćenjem promjena tlaka u trbušnoj šupljini čovjeka moguće je definirati njegovo biomehaničko naprezanje tijekom rada, a kao kritični dio pri tome uzima se lumbalna kralježnica, odnosno disk između 4. i 5. lumbalnog kralješka – točka L4/L5. Proučavanja su pokazala da intraabdominalni tlak (IAP) raste u ovisnosti o povećanju tzv. lumbalnog momenta (ML). Veličina lumbalnog momenta definirana je kao zbroj svih momenata sila od segmentalnih masa ispitanika i poznatog tereta u rukama, čiji se krakovi određuju prema procijenjenoj točki položaja kralježaka L4/L5 (Muftić, 2006.). Na slici 1 prikazan je dvodimenzijski model smješten u koordinatni sustav Oxy, gdje je referentni položaj kralježaka u ishodištu koordinatnog sustava.



Slika 1. Dvodimenzijski model
Figure 1. Two-dimensional model

Prema slici 1, lumbalni moment (M_L) bit će definiran kao suma svih komponentnih momenata s obzirom na točku O, pa će biti:

$$M_L = \sum_{i=1}^n F_i x_i$$

Statistička veza između lumbalnog momenta (M_L) i tlaka u trbušnoj šupljini (IAP) koji se mora suprotstaviti lumbalnom momentu definirana je regresijskom jednadžbom (Mairiaux, 1998.):

$$p_{abd} = IAP = 0,079 \cdot M_L - 1,127$$

Virtualni dizajn CATIA V5 softvera

Osnova uporabe CATIA V5 programskog paketa za područje ergonomije predstavlja mogućnost 3D modeliranja ljudskih figura.

Na osnovi poznavanja antropometrijskih podataka ispitanika i podataka o radno-okolinskom sustavu moguće je kreirati virtualni 3D model ispitanika i radno-okolinskog sustava koji će što realnije simulirati stvarno stanje radnih aktivnosti ispitanika, te je na osnovi softverske analize moguće dobiti radna opterećenja ispitanika. Za utvrđivanje dimenzija stroja izvršen je uvid u tehničko-tehnološku dokumentaciju, izvršena su digitalna snimanja i radna mjerenja dimenzija okolinskog sustava kao što su potrebne udaljenosti prozora od poda, dužine prenošenja, podizanja i spuštanja prozora, mjerena su vremena izvođenja radnih operacija kao i dimenzije radnog predmeta i njegova masa.

Definiranje i kreiranje virtualnog 3D humanoidnog modela postiže se upotrebom modula Human Builder. U ovome modulu može se definirati i kreirati virtualni model čovjeka, odnosno virtualni radnik (slika 2) i njegova interakcija s alatima, strojevima, proizvodima i sl., kako bi se osiguralo simuliranje rada u radnom okruženju identičnom onome u kojemu radi stvarni radnik.



Slika 2. Virtualni 3D humanoidni model
Figure 2. Virtual 3D humanoid model

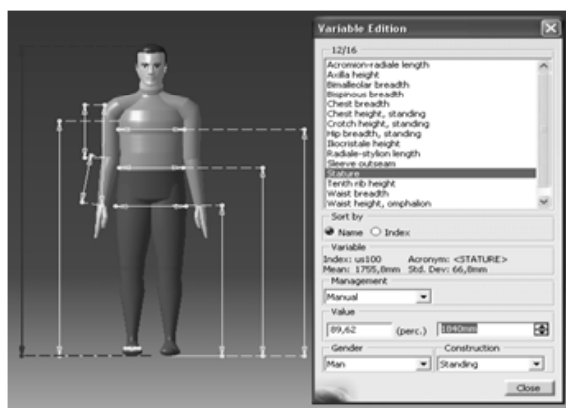
Modul Human Builder omogućava da se nakon kreiranja humanoidnog modela definiraju njegove osobine u dijalogu prozoru New Manikin (slika 3).

Sa slike 3 vidi se da je u TAB-u Manikin moguće definirati ime, spol i dimenzije, a u TAB-u Optional populaciju, tijelo i referentnu točku za simulaciju. Osnovna postavka programa je da je referentna točka os koja prolazi kroz centar figure kojom se koristimo i u ovom radu.



Slika 3. Definiranje osobina humanoidnog modela
Figure 3. Defining humanoid model characteristics

Na osnovi ispitivanjem dobivenih antropometrijskih podataka ispitanika (Tablica 1) u ergonomskom modulu, tj. podmodulu Human Measurements Editor unose se ti podaci za ispitanika. Na slici 4 prikazan je ovaj modul za jedan od nekoliko mogućih položaja ispitanika.



Slika 4. Analiza radnog položaja virtualnog 3D modela
Figure 4. Analysis of the work position in virtual 3D model

Analiza određenog radnog položaja virtualnog 3D humanoidnog modela nakon što je njegovo definiranje završeno obavlja se pomoću modula Human Posture Analysis. Ovaj modul omogućava korisniku analizu stava virtualnog 3D humanoidnog modela nakon što je njegovo definiranje završeno.

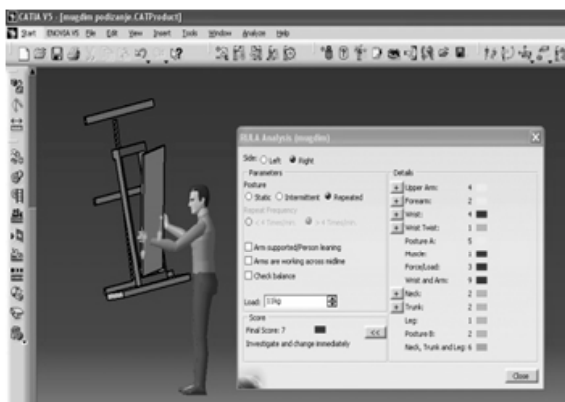
Sustav može lako utvrditi globalni rezultat stav/položaj (od 1 do 10), kao i rezultat za neke detalje koji odgovaraju različitim segmentima položaja. Zasnivajući se na ovako dobivenim rezultatima procjenjuje je li položaj odgovarajući ili ga treba dalje mijenjati kako bi se dobio optimalan radni položaj. Ovakva analiza stava/položaja, praksa je pokazala, može osigurati optimalan položaj (slika 5).



Slika 5. Položaj virtualnog 3D humanoidnog modela
Figure 5. Position in virtual 3D humanoid model

Analizu radnih položaja virtualnog 3D humanoidnog modela u odnosu na prihvaćenu poziciju i težinu radnih aktivnosti (definirano opterećenje) omogućava ergonomski modul Human Activity Analysis (slika 6).

U tom kontekstu može se procijeniti stupanj umora za radnika koji podiže težinu s određenom frekvencijom ponavljanja radnje.

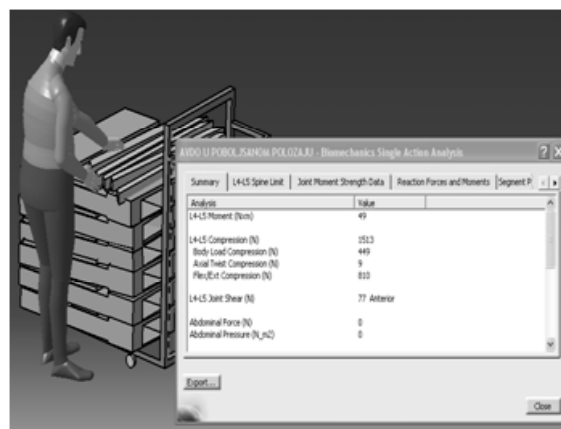


Slika 6. Analiza radnog položaja virtualnog 3D humanoidnog modela

Figure 6. Analysis of the work position in virtual 3D humanoid model

Ergonomska studija koristi se različitim vrstama analiza, a najčešće ovim analizama:

- **RULA analiza** ispituje nekoliko čimbenika rizika: broj ponavljanja, statičko opterećenje mišića, silu, radni položaj i vrijeme rada bez pauze. Svi ovi čimbenici kombiniraju se i kao proizvod daju konačan rezultat koji se kreće između 1 i 7 (slika 6). Uz vrijednosti su pridružene i odgovarajuće boje (zelena, žuta i crvena). Zelena boja znači da je položaj radnika prihvatljiv, žuta da treba nastaviti s ispitivanjem, narančasta da je promjena položaja nužna u skorom vremenu, a crvena znači da su ispitivanja i promjena položaja potrebni odmah.
- **Biomehanička analiza** (slika 7) je ergonomska alat za mjerenje biomehaničkih vrijednosti na radniku u trenutnom radnom položaju. Ova analiza kao izlazne rezultate daje vrijednosti opterećenja lumbalnog dijela kralježnice (lumbalni moment L4/L5 i intraabdominalni tlak), kao i sile reakcije podloge na stopala.



Slika 7. Biomehanička analiza

Figure 7. Biomechanical analysis

NIOSH 1991 metoda

Problematika povezana s dizanjem tereta i križoboljom najšire je razrađena u priručniku Američkog nacionalnog instituta medicine rada i sigurnosti (NIOSH), a koji se odnosi na vođenje i procjenu težine poslova u kojima se dižu tereti (*Application Manual for the...*, 2012.). NIOSH 1991 metoda poznata je kao "reducirana jednadžba podizanja" i odnosi se na probleme podizanja sa obje ruke. U ovoj metodi definiraju se uvjeti spajanja, tj. opisuje se kvaliteta ostvarenog kontakta između šake i objekta. Kvaliteta spajanja opisuje se kao: dobra, prosječna i loša. Unosi se i težina predmeta koji se podiže/spušta.

Rezultati ove metode opisani su sa dva parametra:

- **preporučena granica težine (RWL):** težina koju radnici normalnog zdravstvenog stanja mogu podizati tijekom određenog razdoblja bez rizika, i
- **indeks podizanja/spuštanja (LI):** relativna procjena razine fizičkog napora.

Jednadžba za preporučenu granicu težine (RWL) određuje se izrazom:

$$RWL = LC \cdot HM \cdot VM \cdot DM \cdot AM \cdot FM \cdot CM$$

gdje je:

LC - konstanta koja predstavlja teret prihvatljiv za 75 % ženske i 99 % muške populacije zdravih zaposlenika starosne dobi 18 do 60 godina i iznosi 23 kg ili 230 N. To je preporučena maksimalna težina tereta za dizanje na standardnoj lokaciji za dizanje, s uobičajenim kutom zakretanja, dobrim hvatištem za teret i za udaljenost tereta manju od 25 cm.

HM, VM, DM, AM, FM i CM - faktori koji se dobivaju tablično na osnovi prikupljenih podataka o visinama podizanja tereta, udaljenostima tereta u početnom i krajnjem položaju, vremenu trajanja rada, kutovima zakretanja tijela, kvaliteti kontakta s teretom i frekvenciji ponavljanja aktivnosti u određenom intervalu.

Indeks podizanja (engl. *The Lifting Index - LI*) omogućava relativan izračun fizičkog napreznja koji je u vezi s poslom manualnog podizanja tereta. Određuje se jednadžbom:

$$LI = \frac{\text{težina tereta}}{\text{preporučena granica dizanja}} = \frac{L}{RWL}$$

Granične vrijednosti indeksa podizanja su:

- $LI > 1$ - povećani rizik za bol u leđima zbog dizanja tereta,
- $LI > 3$ - većina zaposlenika je pod povećanim rizikom od ozljeđivanja i
- $LI < 1$ - većina zaposlenika je sigurna na radnom mjestu.

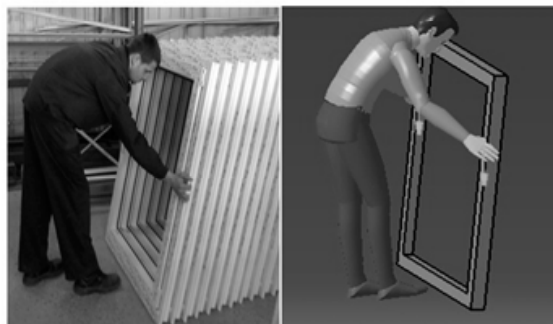
Vrijednosti indeksa podizanja $LI \leq 1$ predstavljaju idealne uvjete.

REZULTATI I DISKUSIJA

Ispitanik tjelesne mase 72 kg, visine 178 cm i starosne dobi 33 godine podiže PVC prozor dimenzija 1100x1300 mm i mase 14 kg s poda hale i prenosi ga na stroj za stakljenje. Teret prenosi u jednom smjeru i pri tome zauzima tri položaja: podizanje, okretanje/prenošenje i spuštanje.

Radni položaji prije poboljšanja

Stvarni i virtualni položaji ispitanika u navedenim položajima dani su na slikama 8, 9 i 10.



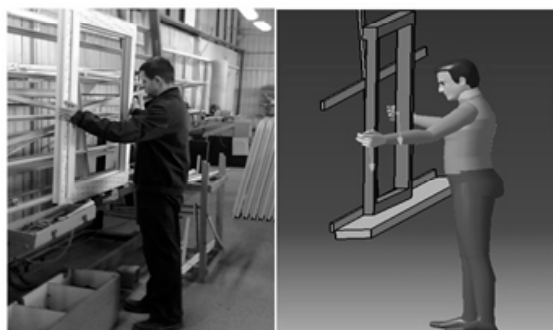
Slika 8. Stvarni i virtualni 3D model ispitanika u fazi podizanja prozora, prije poboljšanja

Figure 8. Real and virtual 3D model of the subject during window lifting, before improvement



Slika 9. Stvarni i virtualni 3D model ispitanika u fazi prenošenja prozora, prije poboljšanja

Figure 9. Real and virtual 3D model of the subject during window carrying, before improvement



Slika 10. Stvarni i virtualni 3D model ispitanika u fazi spuštavanja prozora, prije poboljšanja

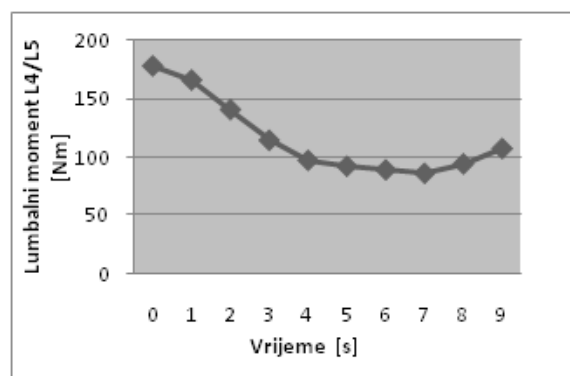
Figure 10. Real and virtual 3D model of the subject during window lowering, before improvement

Na osnovi softverske analize opterećenja kra-
lježnice na segmentu L4/L5 i proračuna intraab-
dominalnog tlaka (IAP) za prikazane položaje
na slikama 8, 9 i 10 dobivene su vrijednosti u
Tablici 2, a na osnovi kojih je izrađen grafikon
na slici 11.

Tablica 2. Vrijednosti lumbalnog momenta L4/L5 i intraabdominalnog tlaka (IAP) ispitanika prije poboljšanja

Table 2. Values of lumbar L4/L5 torque and intra-abdominal pressure (IAP), before improvement

Operacija	Vrijeme [s]	Lumbalni moment L4/L5 [Nm]	IAP [kPa]
Podizanje prozora	0	178	12,94
	1	166	11,98
	2	141	10,01
	3	115	7,96
Prenošenje prozora	4	98	6,62
	5	93	6,22
	6	90	5,98
	7	87	5,75
Spuštanje prozora	8	95	6,38
	9	108	7,41



Slika 11. Grafički prikaz vrijednosti momenata L4/L5 ispitanika, prije poboljšanja

Figure 11. Values of lumbar L4/L5 torque, before improvement

Sa slike 11 i iz Tablice 2 vidi se da se maksimalni momenti koji opterećuju tijelo ispitanika javljaju u procesu podizanja prozora i imaju vrijednost 178 Nm. Zbog ove činjenice potrebno

je poboljšati radni položaj ispitanika u fazi podizanja prozora kako bi se smanjila radna opterećenja ispitanika, ali i povećala razina humanizacije rada.

Rezultati provedene NIOSH 1991 revidirane analize prije poboljšanja radnog položaja, odnosno preporučena težina dizanja (RWL) i indeks podizanja (LI) za tri slučaja (za trajanje aktivnosti od 1 sat, 2 sata i od 8 sati) dani su u Tablici 3.

Tablica 3. Rezultati NIOSH 1991 analize ispitanika, prije poboljšanja

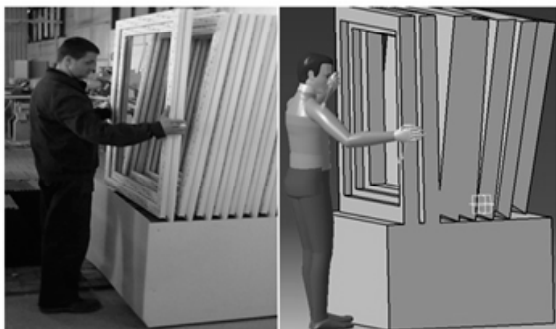
Table 3. Results of NIOSH 1991 analysis, before improvement

Operacija	Vrijeme [s]	Dužina podizanja prozora: 63 cm		Trajanje rada		
				>=8h	>=2h	>=1h
Podizanje prozora	0	Početni položaj	RWL	6,3	9,2	11,4
			LI	2,3	1,5	1,2
	2	Krajnji položaj	RWL	5,1	8,1	10,7
			LI	2,7	1,7	1,3
			Dužina prenošenja prozora: 130 cm	>=8h	>=2h	>=1h
Prenošenje prozora	4	Početni položaj	RWL	6,9	11,2	11,8
			LI	2,0	1,3	1,2
	6	Krajnji položaj	RWL	6,6	8,3	9,1
			LI	2,1	1,6	1,5
			Dužina podizanja prozora na stol: 11 cm	>=8h	>=2h	>=1h
Spuštanje prozora na stol	8	Početni položaj	RWL	6,2	8,1	8,8
			LI	2,2	1,7	1,6
	9	Krajnji položaj	RWL	5,9	7,9	8,6
			LI	2,3	1,8	1,6

Iz Tablice 3 vidi se da su kritične vrijednosti indeksa podizanja (LI) one koje imaju vrijednost blizu 3 i javljaju se pri podizanju prozora. Na ovaj način je i NIOSH 1991 revidirana metoda potvrdila rezultate dobivene na osnovi softverske analize, tj. da su najveća opterećenja ispitanika u fazi podizanja prozora te da ovu fazu rada treba oblikovati u skladu s ergonomskim i biomehaničkim načelima kako bi se smanjila radna opterećenja ispitanika.

Radni položaj nakon poboljšanja

Radni položaj tijela ispitanika u fazi podizanja prozora nakon poboljšanja radnog položaja dan je na slici 12.



Slika 12. Stvarni i virtualni 3D model ispitanika u fazi podizanja prozora, nakon poboljšanja

Figure 12. Real and virtual 3D model during window lifting, after improvement

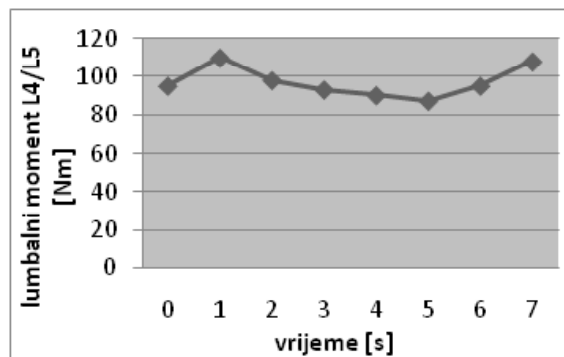
Zbog smanjenja opterećenja tijela ispitanika u fazi podizanja prozora napravljena je platforma čija je visina 68 cm (slika 12). Radnik sada podiže prozor s platforme te je na taj način smanjena visina podizanja prozora za 53 cm, u odnosu na položaj prije poboljšanja. Položaji tijela ispitanika pri prenošenju i spuštanju prozora ostali su isti kao u slučaju prije poboljšanja.

Nakon softverske analize opterećenja kralježnice ispitanika na segmentu L4/L5 i proračuna intraabdominalnog tlaka (IAP) za prikazani položaj na slici 12 dobivene vrijednosti su dane u Tablici 4, a na osnovi njih je nacrtan grafikon na slici 13. Treba napomenuti da su vrijednosti lumbalnog momenta u fazi prenošenja i spuštanja prozora ostale nepromijenjene, jer su ovi položaji radnika ostali nepromijenjeni.

Tablica 4. Vrijednosti lumbalnog momenta L4/L5 i intraabdominalnog tlaka (IAP) ispitanika, nakon poboljšanja

Table 4. Values of lumbar L4/L5 torque and intraabdominal pressure (IAP), after improvement

Operacija	Vrijeme [s]	Lumbalni moment L4/L5 [Nm]	IAP [kPa]
Podizanje prozora	0	95	6,38
	1	110	7,56
Prenošenje prozora	2	98	6,54
	3	93	7,11
	4	90	5,75
Spuštanje prozora	5	87	6,70
	6	95	6,86
	7	108	7,41



Slika 13. Grafički prikaz vrijednosti momenata L4/L5 ispitanika, nakon poboljšanja

Figure 13. Values of lumbar L4/L5 torque, after improvement

Sa slike 13 i iz Tablice 4 vidi se da su maksimalni lumbalni momenti koji opterećuju tijelo ispitanika u fazi podizanja prozora znatno smanjeni, od vrijednosti 178 Nm (njutnmetar) na vrijednost 110 Nm. Vrijednosti lumbalnog

momenta dijela kralježnice na segmentu L4/L5 su značajno smanjene, jer je ispitanik rasterećen od saginjanja u fazi podizanja prozora, pa mu je na taj način smanjeno vrijeme izvođenja radnih operacija od vrijednosti 3 sekunde prije poboljšanja na vrijednost 1 sekunde nakon poboljšanja radnog položaja (tablice 1 i 2).

Rezultati provedene NIOSH 1991 analize nakon poboljšanja radnog položaja ispitanika, odnosno preporučena težina dizanja (RWL) i indeks podizanja (LI) za tri slučaja (za trajanje aktivnosti od 1 sat, 2 sata i od 8 sati) dane su u Tablici 5.

Tablica 5. Rezultati NIOSH 1991 analize ispitanika, nakon poboljšanja

Table 5. Results of NIOSH 1991 analysis, after improvement

Operacija	Vrijeme [s]	Dužina podizanja prozora: 5 cm		Trajanje rada		
				>=8h	>=2h	>=1h
Podizanje prozora	0	Početni položaj	RWL	7,3	11,9	12,9
			LI	1,9	1,2	1,1
	1	Krajnji položaj	RWL	6,8	8,7	11,8
			LI	2,1	1,6	1,2
		Dužina prenošenja prozora: 130 cm	>=8h	>=2h	>=1h	
Prenošenje prozora	2	Početni položaj	RWL	6,9	11,2	11,8
			LI	2,0	1,3	1,2
	4	Krajnji položaj	RWL	6,6	8,3	9,1
			LI	2,1	1,6	1,5
			Dužina podizanja prozora: 11 cm	>=8h	>=2h	>=1h
Spuštanje prozora na stol	6	Početni položaj	RWL	6,2	8,1	8,8
			LI	2,2	1,7	1,6
	7	Krajnji položaj	RWL	5,9	7,9	8,6
			LI	2,3	1,8	1,6

Na osnovi NIOSH 1991 analize iz Tablice 5 vidi se da su vrijednosti indeksa podizanja (LI) smanjene, što ukazuje na učinak koji je napravljen na polju smanjenja radnih opterećenja ispitanika. Naime, u fazi podizanja prozora prije poboljšanja radnog položaja ispitanika vrijednost indeksa podizanja (LI) iznosila je 2,7 a nakon poboljšanja radnog položaja ima vrijednost

2,1. Ovi rezultati nedvojbeno potvrđuju rezultate softverske analize da su vrijednosti radnih opterećenja ispitanika znatno smanjene i da je smanjen rizik od nastanka profesionalnog obolijevanja koštano-zglobne strukture ispitanika.

ZAKLJUČCI

Potvrđeno je da se primjenom sofisticiranih softverskih paketa mogu s velikom točnošću dobiti vrijednosti lumbalnog momenta kralježnice na segmentu L4/L5. U radu je to ostvareno upotrebom ergonomske modula CATIA V5 programa koji omogućava kreiranje virtualnih 3D humanoidnih modela ispitanika i radno-okolinskog sustava. Na ovaj način omogućeno je računalno mjerenje radnih opterećenja u karakterističnim položajima, što u realnim situacijama analize radnog djelovanja unutar nekog referentnog radnog prostora nije moguće.

Rezultati dobiveni pomoću softverske analize kompatibilni su s rezultatima dobivenim pomoću NIOSH 1991 metode.

Primjena "human modeling" tehnologije između ostalog pomaže u očuvanju zdravlja ljudi, jer se unutar virtualno kreiranog pripadajućeg 3D modela radno-okolinskog sustava, putem analize tog odnosa mogu poduzeti određene korektivne mjere za preventivno djelovanje.

Radno okruženje mora biti prilagođeno ljudskom tijelu kako bi bez pretjeranog zamaranja uspješno obavilo neki zadatak. Optimiranje ljudskog rada ne smije se utvrđivati samo na osnovi standardiziranih ili uopćenih antropometrijskih podataka, jer na osnovi njih nije u potpunosti moguće odrediti dimenzije radno-okolinskog sustava koje će pružiti radniku sigurnost i spriječiti nastanak profesionalne bolesti. Minimiziranjem zdravstvenih rizika na radnom mjestu povećava se vjerojatnoća dugog i uspješnog radnog vijeka rasterećenog brojnih zdravstvenih problema izazvanih profesijom.

LITERATURA

Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation, DHHS (NIOSH) Publication No. 94 - 110, dostupno na: <http://www.ede.gov/niosh/94-110.html>, pristupljeno: 1.3.2012.

Baksa, S., Skoko, M., Baksa, I.: Virtual People in a Computer World, *The 3rd CARNet Users Conference*, CUC 2001, September 24 – 26, 2001., 1– 10, Zagreb.

Dassault Systemes, dostupno na: <http://www.3ds.com/products/catia/welcome/>, pristupljeno: 2.2.2012.

Draghici, A., Draghici, G., Nitulescu, M.: Ergonomic virtual design human posture and activity analysis., *2nd VIDA International Conference*, Brasov, 2003.

Kroemer, K., Kroemer, H., Kroemer-Elbert, K.: *How to design for ease and efficiency*, Prentice Hall, New York, 1994.

Mairiaux, P., Malchaire, J.: Relations between intraabdominal pressure and lumbar stress: ef-

fect of trunk posture, *Ergonomics*, 31, 1988., 9, 1331 - 1342.

Muftić, O.: *Biomehanička ergonomija*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2006.

Muftić, O., Baksa, S., Baksa, I.: Scientific 3D Visualisation of Body During Hurdle Racing, *International Journal of Computer Science in Sport*, 2, 2003. 1, 158 – 160.

Muftić, O., Veljović, F., Jurčević-Lulić, T., Milčić, D.: *Osnovi ergonomije*, Univerzitet u Sarajevu, Mašinski fakultet Sarajevo, Sarajevo, 2001.

World Health Organization, dostupno na: <http://www.who.int/whosis/whostat/2010/en/index.html>., pristupljeno: 2.2.2012.

COMPUTER AIDED ERGONOMIC ANALYSIS WORK LOAD

SUMMARY: In addition to a number of physiological factors, the behaviour of the human body exposed to external loads is related to the changes in the size of the lumbar spine moment in the L4/L5 segment. This was the reason to study the actual working conditions of the subjects who work with metal, taking into account their anthropometric measures and work environment factors. A computer aided ergonomic analysis of the work load was carried out. The data collected on the respondents and on the environment in which they work were used as input for the software programme CATIA V5 and its ergonomic module (Ergonomic Design and Analysis). Using computer graphic-analytical CAD / CAM system allows the creation of virtual 3D models of participants and the accompanying environment in order to analyze their actions in real conditions of work and human load. Also conducted was the NIOSH 1991 analysis of the obtained results and human load was compared with results obtained from software analysis. Based on the software and NIOSH 1991 analysis, an insufficient impact of individual anthropometric dimensions and shape of the body was identified, as well as that of the corresponding working positions of the respondents assumed during work. Based on the above, recommendations were given for improving the ergonomic position of the respondents and a software analysis was carried for that position to compare the results with those obtained in the harshest working position of the subjects.

Key words: ergonomics, anthropometry, lumbar L4/L5 torque, virtual 3D humanoid models

Original scientific paper

Received: 2012-03-15

Accepted: 2013-06-04