

T. Jurčević Lulić, M. Runjak*

PROCJENA OPTEREĆENJA RADNIKA PRI PODIZANJU TERETA

UDK 331.101.1:331.102.342

PRIMLJENO: 11.2.2013.

PRIHVAĆENO: 1.3.2013.

SAŽETAK: Cilj rada bio je procijeniti opterećenje radnika pri podizanju tereta koristeći se ergonomskom metodom te metodom ocjenjivanja opterećenja radnika prema Pravilniku o zaštiti na radu pri ručnom prenošenju tereta. Ispitanik je bio radnik muškog spola visine 185 cm i mase 85 kg. Analizirana su dva radna postupka: podizanje s poda kutije mase 8 kg i ulaganje na policu na dvije različite razine te podizanje kutije mase 25 kg s poda na radni stol. Ergonomska metoda koristi se intraabdominalnim tlakom za procjenu opterećenja ispitanika, a sastoji se od izrade biomehaničkih modela u sagitalnoj ravnini te izračunavanja lumbalnog momenta i intraabdominalnog tlaka. Intraabdominalni tlakovi utvrđeni su za svaki radni položaj i uspoređeni s kritičnom vrijednosti. Metoda ocjenjivanja opterećenja radnika prema Pravilniku temelji se na bodovnom vrednovanju: učestalosti radnih zadataka, mase tereta, položaja tijela pri prenošenju, ergonomskih uvjeta na radnom mjestu, radnog iskustva i temperature u radnom okolišu. Ergonomska analiza pokazala je da se kod podizanja tereta od 25 kg javlja intraabdominalni tlak veći od kritične vrijednosti. Metodom ocjenjivanja utvrđena su povećana opterećenja, s većim opterećenjem za slučaj tereta od 25 kg. Preporuka je da se kod podizanja tereta od 25 kg smanji broj zadataka podizanja tijekom dana i radno opterećenje raspodijeli na više radnika te da se teret nosi što bliže trupu, uz ravna leđa, jer se na taj način smanjuju krak rezultantne sile, lumbalni moment i intraabdominalni tlak.

Ključne riječi: podizanje tereta, opterećenje radnika, biomehanički model, intraabdominalni tlak, primjena Pravilnika

UVOD

Svaka radna aktivnost čovjeka povezana je s određenim opterećenjima i naprezanjima. Kod poslova ručne manipulacije teretom nužna je primjena ergonomskih načela pri oblikovanju radnoga mjesta. U svakodnevnoj praksi nužno je pratiti radne procese te pokušati pronaći bolja rješenja uzimajući u obzir sve odnose u sustavu

čovjek–teret–radni okoliš. Zbog sigurnosti i zaštite zdravlja zaposlenika potrebno je prije svega primjenjivati Zakon o zaštiti na radu i podzakonske akte koji proizlaze iz Zakona.

Jedan od zadataka ergonomije je prosudba težine rada, pri čemu je potrebno utvrditi kritična mjesta te granična opterećenja kod kojih dolazi do oštećenja zdravlja ili ozljeda. Za pravilnu procjenu opterećenja kod različitih položaja tijela pri podizanju tereta važno je odrediti opterećenje kralježnice, kritičnu točku na tijelu i mišićne sila trupa, pri čemu se primjenjuje biomehanički pristup. Prema postojećoj literaturi,

*Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić (tanja.jurcevic@fsb.hr), Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb, Mladen Runjak, ing. stroj., mag. ing. sig., Visoka škola za sigurnost na radu, Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb.

parametar koji utječe na mehaniku i stabilnost kralježnice je intraabdominalni tlak IAT . Uloga intraabdominalnog tlaka u rasterećenju kralježnice je kontroverzna. Povećanje tlaka unutar trbušne šupljine pomaže stabiliziranju kralježnice prilikom podizanja tereta, ali kod većih opterećenja taj tlak ima negativan utjecaj na kralježnicu. U najnovijim istraživanjima pristup se temelji na kinematici, pri čemu se primjenjuje nelinearni model konačnih elemenata za računanje mišićnih sila i opterećenja kralježnice (*Strokes i sur., 2010.*). Međutim, u ergonomske analize zahtijeva se model koji se može jednostavno izračunati i praktično primijeniti. Za analizu promjena intraabdominalnog tlaka u ergonomiji najčešće se primjenjuje metoda koju su utvrdili Mairiaux, Davis, Stuubs i Baty (*Mairiaux i sur., 1984.*). Prema rezultatima Mairiauxa i suradnika, tlak u trbušnoj šupljini je povezan s lumbalnim momentom M_L na razini lumbalne kralježnice L4/L5. Mairiaux je utvrdio regresijsku jednadžbu za izračunavanje IAT :

$$IAT = 0.079M_L - 1.127 \quad [\text{kPa}]$$

gdje je IAT intraabdominalni tlak (kPa), a M_L predstavlja lumbalni moment oko diska između 4. i 5. lumbalnog kralješka (Nm).

Jednadžba vrijedi za statički tip opterećenja, tj. sporo opterećenje, opterećenje bez trzaja, udara i sl. Jednadžba ne vrijedi za lumbalne momente manje od 14.3 Nm jer intraabdominalni tlak postiže negativne vrijednosti, pa je za slučajeve uspravnog položaja tijela bez tereta potrebno primijeniti Muftićevu korigiranu jednadžbu Mairiauxa koja uključuje tlak zbog unutarnjih organa koji postoji u stojećem položaju kada nema tereta, a lumbalni moment je jednak nuli (Muftić, 2008.). Pri dinamičkom opterećenju intraabdominalni tlak ima skok, pa se prema jednom od rješenja statički intraabdominalni tlak množi s faktorom dinamičkog opterećenja 1.3.

Cilj ovoga istraživanja je procijeniti opterećenje radnika pri podizanju tereta ergonomskom prosudbom te primjenom metode ocjenjivanja opterećenja radnika sukladno Pravilniku o zaštiti na radu pri ručnom prenošenju tereta.

METODE I ISPITANICI

Procjena opterećenja radnika pri ručnom podizanju tereta provedena je u skladištu dijetetskih proizvoda jedne zagrebačke tvrtke. Teret koji dolazi u skladište potrebno je raspakirati, pregledati, prepakirati, deklarirati, skladištiti i izdati sa skladišta. Skladišni prostor površine 600 m² izveden je s ravnim, glatkim betonskim podom i glatkim limenim zidovima. Rasvjeta u skladištu odgovara zahtjevima, a temperatura u skladištu kreće se između 15 °C zimi do 25 °C ljeti. Pregled i deklariranje robe obavlja se u posebno odvojenom prostoru koji je klimatiziran tako da je cijelu godinu osigurana temperatura cca 20 °C. Roba u skladištu skladištena je na paletama koje se nalaze na podu. Osim tako skladištene robe, manji dio robe skladišti se u posebnoj prostoriji na police gdje se roba na police ulaže ručno. Visina ulaganja na police je do 2 m.

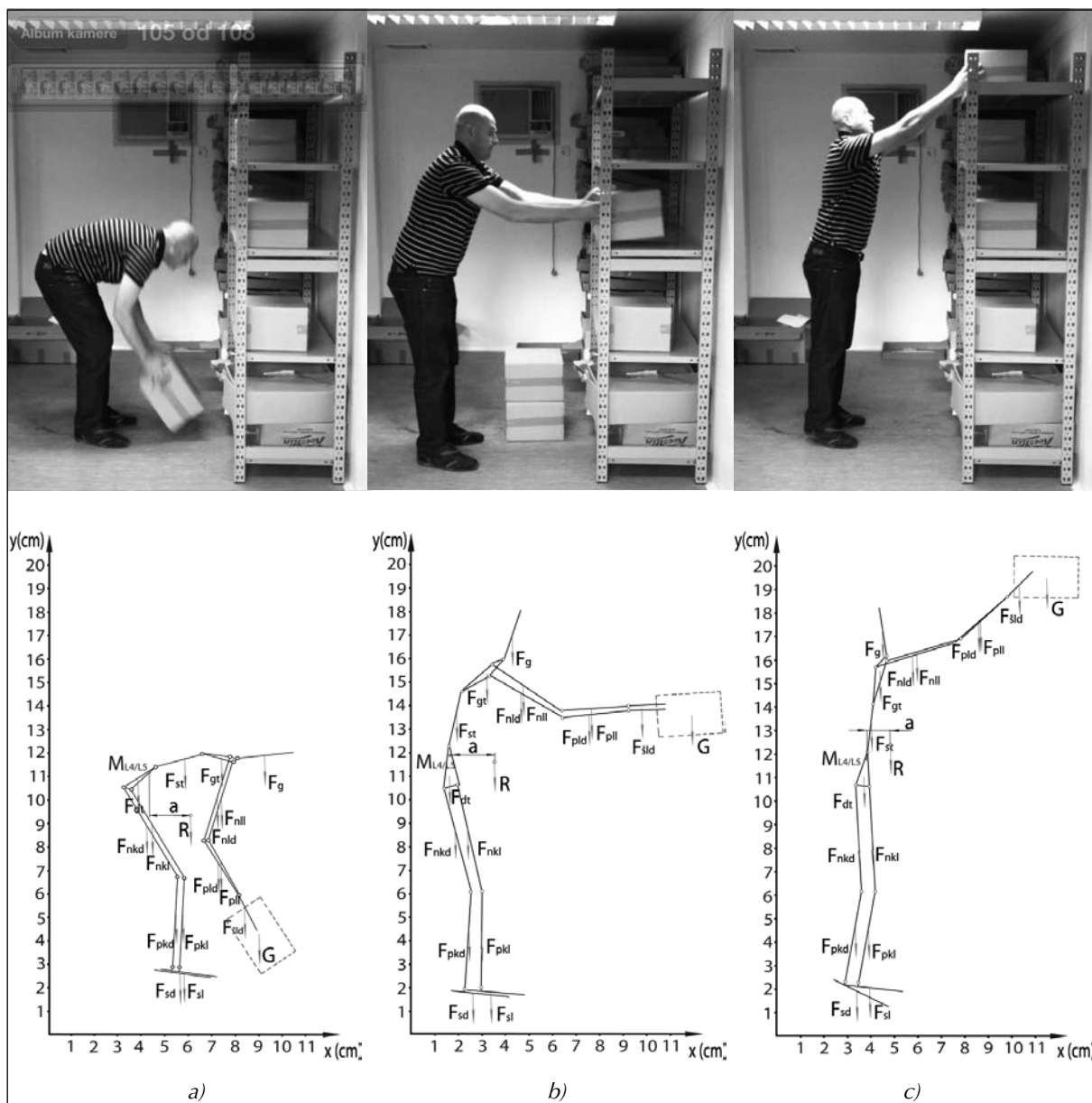
Kao karakteristični radni postupci za prosudbu opterećenja pri ručnom podizanju tereta odabrani su:

- ulaganje kutije mase 8 kg na policu - tri položaja:
 - neposredno nakon podizanja kutije s poda (položaj 1a),
 - ulaganje kutije na policu u visini prsiju (položaji 1b),
 - ulaganje kutije na policu na visinu iznad glave (položaji 1c),
- podizanje kutije mase 25 kg, dimenzija 35x25x45 cm na radni stol - tri položaja:
 - neposredno nakon podizanja kutije s poda (položaj 2a),
 - međupoložaj u kojem ispitanik podigne kutiju (položaj 2b),
 - neposredno prije spuštanja kutije na stol (položaj 2c).

Istraživanja su provedena za radnika muškog spola visine $h = 185$ cm i mase $m = 85$ kg. Na temelju snimljenih položaja napravljeni su „žičani“ modeli u sagitalnoj ravnini koji predstavljaju biomehanički model tijela čovjeka u obliku sustava poluga, tj. ravnih li-

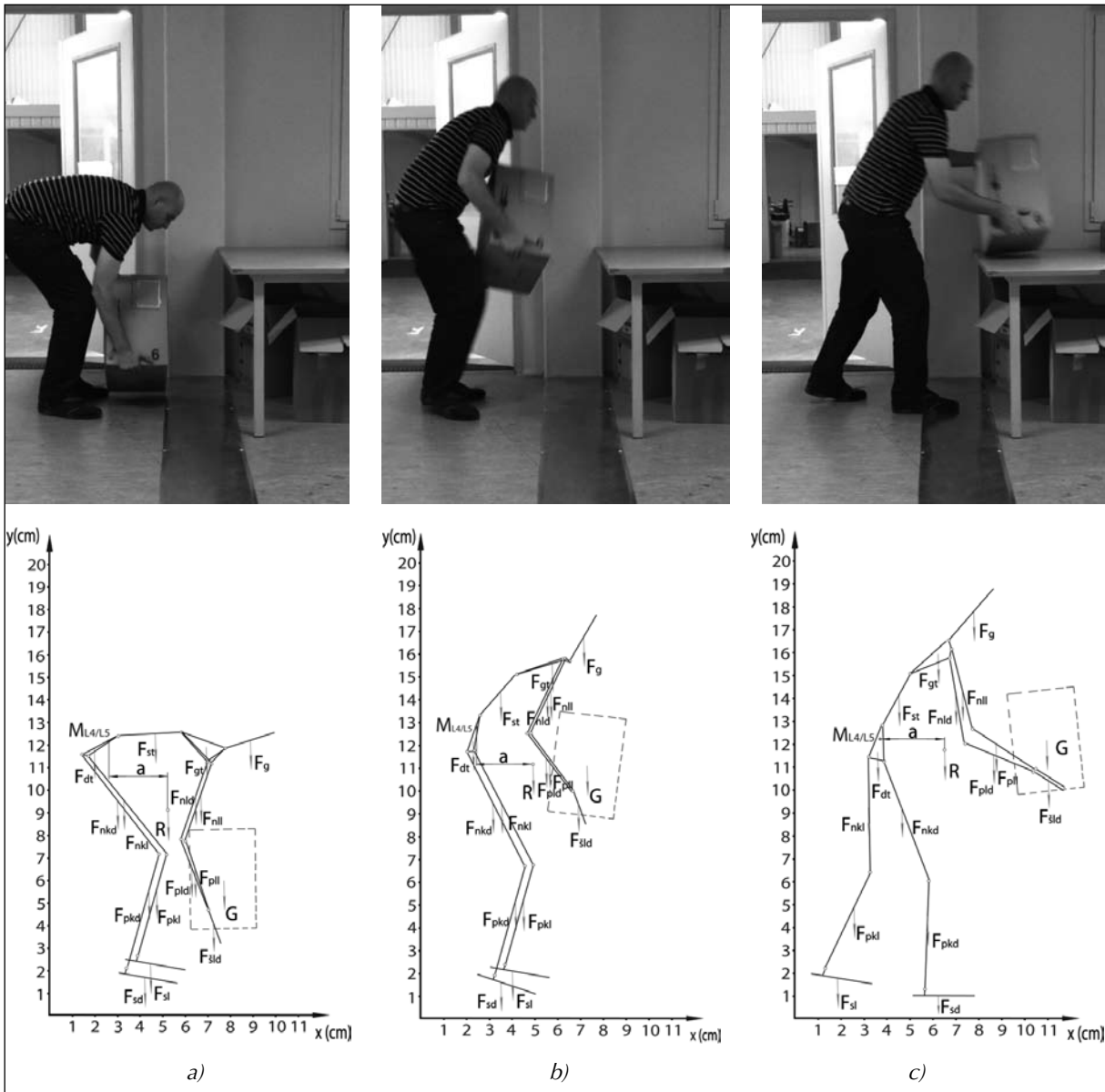
nija međusobno spojenih točkama koje predstavljaju zglobove. Slike 1 i 2 prikazuju ispitanika u radnim položajima te žičane modele s ucrtanim težištima segmenata i silama. Mase dijelova tijela izračunate su prema regresijskoj jednadžbi Donskog i Zaciorskog (*Muftić i sur., 2011.*). Izračunata je resultantna sila koja djeluje na ispitanika, a jednaka je teži-

ni dijelova tijela i težini tereta. Pomoću žičanog modela izračunato je hvatište resultantne sile. Resultantna sila se treba reducirati u kritičnu točku, tj. disk između 4. i 5. lumbalnog kralješka i na taj način se određuje lumbalni moment ML koji se uvrštava u regresijsku jednadžbu za izračunavanje intraabdominalnog tlaka (*Runjak, 2012.*).



Slika 1. Ulaganje kutije mase 8 kg na policu – radnik s ucrtanim žičanim modelom

Figure 1. Lifting 8 kg box on the shelf – worker with wire model drawn



Slika 2. Podizanje kutije mase 25 kg na stol – radnik s ucrtanim žičanim modelom
 Figure 2. Lifting 25 kg box on the work table – worker with wire model drawn

REZULTATI

Za odabrane položaje izračunati su intraabdominalni tlakovi i prikazani u Tablici 1.

Tablica 1. Vrijednosti intraabdominalnog tlaka

Table 1. Values of intraabdominal pressure

Položaj	1a	1b	1c	2a	2b	2c
Intraabdominalni tlak IAT, kPa	12,596	12,988	7,500	19,736	18,131	21,341

Također, opterećenje radnika procijenjeno je metodom ocjenjivanja opterećenja zdravih radnika prema Pravilniku o zaštiti na radu pri ručnom prenošenju tereta koja se temelji na bodovnom vrednovanju učestalosti radnih zadataka, mase tereta, položaja tijela prilikom prenošenja, stanja (ergonomskih uvjeta) na radnom mjestu, radnog iskustva radnika i temperature u radnom okolišu. Ukupno opterećenje UO izračunava se prema jednadžbi:

$$UO = (T2 + T3 + T4 + T5 + T6) \cdot T1$$

gdje T1...T6 predstavlja vrijednost bodova za pojedini kriterij.

Za ulaganje kutije mase 8 kg na policu slijedi:

T1 - 2 boda (dnevno se pregleda i deklarira oko 120 kutija)

T2 - 1 bod (kutija mase 8 kg)

T3 - 4 boda (s obzirom na položaj tijela)

T4 - 0 bodova (dobri ergonomski uvjeti)

T5 - 0 bodova (radnici zaposleni dulje od godinu dana)

T6 - 0 bodova (mjesto gdje se roba deklarira je klimatizirano)

$$UO = (1+4+0+0+0) \cdot 2 = 10$$

Ocjena: povećano opterećenje – mogućnost prekomjernog opterećenja kod radnika sa smanjenom radnom sposobnošću.

Za podizanje kutije mase 25 kg na stol slijedi:

T1 - 2 boda (dnevno se pregleda i deklarira oko 40 kutija)

T2 - 4 boda (kutija mase 25 kg)

T3 - 4 boda (s obzirom na položaj tijela)

T4 - 0 bodova (dobri ergonomski uvjeti)

T5 - 0 bodova (radnici zaposleni dulje od godinu dana)

T6 - 0 bodova (mjesto gdje se roba deklarira je klimatizirano)

$$UO = (4+4+0+0+0) \cdot 2 = 16$$

Ocjena: povećano opterećenje – mogućnost prekomjernog opterećenja kod radnika sa smanjenom radnom sposobnošću.

ZAKLJUČAK

Neke pretpostavke prihvaćene pri izračunavanju masa te duljina dijelova tijela, ili u određivanju koordinata kritične točke L4/L5, mogu predstavljati izvore pogrešaka u računanju lumbalnog momenta, ali malo je vjerojatno da te pogreške mogu bitno modificirati tijek rezultata.

Prema podacima iz literature (*Davis i Stubbs, 1977.*) utvrđeno je da rad pri kojem intraabdominalni tlak prelazi 13.07 kPa uzrokuje oštećenje leđne i lumbalne kralježnice, pa se taj tlak smatra kritičnim. Pri podizanju kutije mase 8 kg vrijednosti intraabdominalnog tlaka su za sve položaje tijela manje od kritične vrijednosti. Pri podizanju kutije mase 25 kg na radni stol, vrijednosti intraabdominalnog tlaka su veće od kritične vrijednosti. Očito je da povećanje mase tereta ima velik utjecaj na porast intraabdominalnog tlaka. Također, povećanjem dimenzija tereta, težište tereta se udaljava od tijela radnika što uzrokuje povećanje kraka rezultantne sile te povećanje lumbalnog momenta, a tako i intraabdominalnog tlaka. Za smanjenje intraabdominalnog tlaka potrebno je teret držati što bliže trupu, noge trebaju biti savijene, a leđa ravna.

Metoda izračunavanja intraabdominalnog tlaka prema Mairiauxu ne može se primijeniti na prostorne modele, nego samo na 2D modele u sagitalnoj ravnini. U frontalnoj ravnini bi se moglo dogoditi da se moment vanjske sile koji djeluje na jednu ruku poništi s momentom vanjske sile koji djeluje na drugu ruku, pa bi ukupan lumbalni moment bio manji, a intraabdominalni tlak niži, što nije pokazatelj stvarnog opterećenja radnika.

Kod upotrebe intraabdominalnog tlaka kao indeksa naprezanja radnika potrebno je preciznije definirati kritičan tlak. Ako se za kritičan tlak uzme tlak koji se javlja pri radnom položaju kad nije prijeđena zona udobnosti, tj. granični tlak koji još ne zahtijeva izniman napor, pojavljuje se novi problem jer fizičke sposobnosti svih ljudi nisu iste.

Metodom ocjenjivanja opterećenja radnika prema Pravilniku o zaštiti na radu pri ručnom prenošenju tereta za oba slučaja podizanja tereta utvrđena su povećana opterećenja uz mogućnost prekomjernog opterećenja kod radnika sa smanjenom radnom sposobnošću, pri čemu je brojčana ocjena za položaj 2 veća nego za položaj 1, što predstavlja i veće opterećenje. Iako radnici s obzirom na terete i učestalosti radnih zadataka nisu posebno opterećeni u smislu teškog fizičkog rada, potrebno je razmotriti moguća poboljšanja u tom smislu. Svakako je, ako je to moguće, potrebno izmjenjivati radnike na radnim mjestima koja su zahtjevnija u smislu teškog rada u svrhu smanjenja zamora, na način da se opterećenje rasporedi na više djelatnika. Smanjenjem broja zadataka tijekom radnog dana smanjilo bi se i ukupno opterećenje na vrijednost manju od 10. Prema Pravilniku o zaštiti na radu pri ručnom prenošenju tereta takvo opterećenje bilo bi ocijenjeno kao nisko, odnosno ne bi postojale nikakve opasnosti za zdravlje radnika.

Podizanje tereta s poda potrebno je izvoditi na način da su leđa radnika što je moguće

ravnija, a noge blago savinute. Čučajući položaj, zbog pritiska natkoljenica i koljena na trbuh, nepotrebno povećava intraabdominalni tlak i potrebno ga je izbjegavati. Uvijek treba voditi računa da je teret potrebno prenositi u manjim količinama i na kraće udaljenosti u uspravnom položaju i držati ga što bliže trupu.

LITERATURA

Davis, P.R., Stubbs, D.A.: Safe levels of manual forces for young males, *Applied Ergonomics*, 8, 1977., 141-150.

Mairiaux, Ph., Davis, P.R., Stubbs, D.A., Baty, D.: Relation between intra-abdominal pressure and lumbar moments when lifting weights in the erect posture, *Ergonomics*, 27, 1984., 8, 883-894.

Muftić, O.: Razmatranje o fiziološkom i funkcijskom utjecaju tlaka trbušne preše na opterećenje lumbalne kralježnice, U: *Zbornik radova 2. međunarodnog stručno-znanstvenog skupa Zaštita na radu i zaštita zdravlja*, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 27-32, 2008.

Muftić, O., Jurčević Lulić, T., Godan, B.: Harmonijska raspodjela mase dijelova ljudskog tijela, *Sigurnost*, 53, 2011., 1, 1-9.

Pravilnik o zaštiti na radu pri ručnom prenošenju tereta, N.N., br 42/05.

Runjak, M.: *Ergonomijska prosudba težine rada pri ručnoj manipulaciji teretom*, diplomski rad, Visoka škola za sigurnost, Zagreb, 2012.

Strokes, I., Gardner-Morse, M., Henry, S.: Intra-abdominal pressure and abdominal wall muscular function: Spinal unloading mechanism, *Clinical Biomechanics*, 25, 2010., 859-866.

ESTIMATION OF THE LOAD ACTING ON THE WORKER DURING LIFTING TASKS

SUMMARY: The aim of this study was to estimate the load acting on the worker during weight lifting using the ergonomic approach and the method of load assessment set out in the Regulations on Safety Requirements for the Manual Handling of Loads. One volunteer employee (height 185 cm, body mass 85 kg) was included in the study. Two lifting tasks were analyzed: lifting a box of 8 kg mass from the ground to the shelves of two different heights, and lifting a box of 25 kg mass from the ground to the work table. The ergonomic method used intraabdominal pressure as a measure of load acting on the worker. The method consists of constructing biomechanical models in the sagittal plain and calculation of the lumbar moment and intraabdominal pressure. The values of intraabdominal pressure were determined for every working posture and compared with critical value. The method of the work load assessment, according to the Regulations on Safety Requirements for the Manual Handling of Loads, relies on a point-based assessment of loads which takes into account: frequency of the working tasks, load mass, body postures, ergonomic conditions, work experience and temperature in the work environment. The ergonomic analysis showed that lifting a 25 kg load causes intraabdominal pressure which is higher than critical value. The method of the work load assessment set in the Regulations showed that increased load was acting on the worker in both working tasks, and the point value was higher when the box of 25 kg mass was lifted. In the case of the 25 kg load, it was recommended to share lifting tasks among several workers and to keep the load as close to the body as possible.

Key words: *load lifting, load acting on the worker, biomechanical model, intraabdominal pressure, implementation of the Regulations*

Preliminary communication

Received: 2013-02-11

Accepted: 2013-03-01