

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Matea Mikulčić

MEHANIKA KRUTIH TIJELA PRIMIJENJENA NA
SKELET STROJOVOĐE

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2015.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**MEHANIKA KRUTIH TIJELA PRIMIJENJENA NA SKELET
STROJOVOĐE**

**MECHANICS OF SOLID BODIES APPLIED TO THE
SKELETON OF ENGINE DRIVER**

Mentor: doc. dr. sc. Davor Sumpor

Student: Matea Mikulčić, 0135229441

Zagreb, 2015.

MEHANIKA KRUTIH TIJELA PRIMIJENJENA NA SKELET STROJOVOĐE

SAŽETAK

Istražuju se uvjeti pod kojima je statika krutih tijela primjenjiva na ljudsko tijelo, te pomoću nje određuju numerički pokazatelji fizičkog opterećenja kod strojovođa, koje je rezultat neadekvatnog dizajna upravljačnica lokomotiva i motornih garnitura. Na temelju stvarno izmjerenih statičkih antropomjera na slučajnom uzorku od 51 strojovođe, dokazano je da je slučajni uzorak dovoljan da predstavlja cijelu populaciju strojovođa i da postoji korelacijska ovisnost lumbalnog momenta o indeksu tjelesne mase u hipotetski najnepovoljnijem statičkom sjedećem radnom položaju. Uz osvrt na trenutno stanje upravljačnica raspoloživih lokomotiva i motornih garnitura u RH daje se prijedlog smjernica za njihovu bolju ergonomsku prilagođenost.

KLJUČNE RIJEČI: strojovođe, antropomjere, radno opterećenje, lumbalni moment, dizajn upravljačke ploče

SUMMARY

There are explored conditions under which the statics of solid bodies is applied to the human body, and using it determine the numerical indicators of the physical load in the engine driver, as a result of inadequate driver's cab design on the locomotive or railcar. Based on really measured statistical anthropometric measures on a random sample of 51 engine drivers, it has been proven that the random sample is sufficient to represent the whole population of the engine drivers and that there is correlation dependence of lumbar moment on the body mass index in the hypothetically most unfavourable statistical seating working position. With reference to the current state of driver's cab of available locomotives and railcars in Croatia, there is presented the proposal of guidelines for their better ergonomic suitability.

KEYWORDS: engine drivers, anthropometric measures, workload, lumbar moment, design of control panel

SADRŽAJ

1. Uvod	1
2. Statika krutih tijela primijenjena na tijelo čovjeka	2
3. Vrste opterećenja strojovođe u radnom okruženju upravljačnice.....	4
3.1. Fizičko opterećenje strojovođe	4
3.2. Psihičko i psihofizičko opterećenje strojovođe	5
4. Statička antropometrija ljudskog tijela	6
4.1. Varijacije antropometrijskih čimbenika	6
4.2. Dimenzijski odnosi ljudskog tijela.....	6
4.3. Harmonijska metoda Zederbauera i Muftića	7
4.4. Regresijska metoda Donskog i Zacijorskog.....	9
4.5. Primjena statističkih metoda kod antropometrijskih veličina.....	12
4.6. Individualne antropometrijske raznolikosti.....	13
5. Utvrđivanje karakterističnih antropomjera ljudskog tijela.....	16
6. Mjerenje antropomjera na slučajnom uzorku strojovođa	22
6.1. Dokazivanje da je slučajni uzorak i dovoljan	22
6.2. Određivanje indeksa tjelesne mase	23
6.3. Određivanje raspona antropomjera za središnjih 90% iz dovoljnog i slučajnog uzorka	27
6.4. Određivanje segmentalnih dužina, masa i sila	29
6.5. Metodologija izračuna lumbalnog momenta	34
6.6. Rezultati mjerenja lumbalnog momenta kod 51 strojovođe	35
6.7. Ovisnost lumbalnog momenta i indeksa tjelesne mase strojovođa	37
6.8. Ovisnost lumbalnog momenta o promjeni tjelesne visine u okolnostima iste tjelesne mase... ..	38
7. Stanje upravljačnica lokomotiva i motornih garnitura u RH	39
8. Diskusija	43
9. Zaključak	45
Literatura	46
Popis kratica	49
Popis oznaka i mjernih jedinica	50
Popis slika	54
Popis tablica	55
Popis grafikona	56

1. Uvod

Bilo da je riječ o najjednostavnijem gibanju u prostoru, složenijim promjenama položaja nekog materijalnog tijela ili pak njegovom mirovanju, u čovjekovoj blizini i na njegovo tijelo oduvijek djeluju sile. Upravo je to predmet proučavanja mehanike zahvaljujući kojoj je utjecaj sila moguće analizirati i na ljudskom tijelu, a u ovom slučaju na tijelu strojovođe. Ljudsko tijelo se pritom tretira poput krutog nedeformabilnog tijela, što je prihvatljiva pretpostavka s obzirom na red veličine sila i lumbalnih momenata kojima su strojovođe izloženi tijekom upravljanja, kao i s obzirom na praksu u recentnoj znanstvenoj i stručnoj literaturi iz područja ergonomije i „ljudskog faktora“.

Budući da strojovođe većinu radnog vremena provode u statičkom sjedećem radnom položaju u upravljačnicama lokomotiva ili motornih garnitura poslužujući potrebne komande za upravljanje, u radu se razmatra povezanost svih dominantnih čimbenika koji utječu na radno opterećenje strojovođa, a posebice interakcija između raspona antropomjera u muških strojovođa i razmještaja često korištenih rukama posluživanih komandi unutar upravljačnice. U tu svrhu provedena su mjerenja karakterističnih antropomjera ljudskog tijela na slučajnom uzorku strojovođa koja se potom obrađuju pomoću harmonijskih, regresijskih i statističkih metoda. Ispituje se je li slučajno odabrani uzorak dovoljan da reprezentira cijelu populaciju strojovođa, određuje centralnih 90% iz uzorka mjerodavnih za dizajn interijera upravljačnice te istražuju moguće korelacijske ovisnosti lumbalnog momenta o indeksu tjelesne mase za hipotetski najnepovoljniji sjedeći radni položaj.

Hipoteza koju se želi dokazati u ovome radu je da se fizičko opterećenje strojovođa tijekom rada između ostaloga može unaprijed programirati pogreškama tijekom dizajna upravljačnice i/ili tijekom sastavljanja specifikacija za opremljenost upravljačnice, raspored i dostupnost često korištenih komandi na upravljačkoj ploči, što je uobičajeno prvi korak kod narudžbe nove lokomotive i/ili motorne garniture, i najčešće u domeni inženjera prometa. Na kraju se analizira trenutno stanje upravljačnica lokomotiva i motornih garnitura u Republici Hrvatskoj te se predlažu smjernice za osiguranje humanijeg radnog okoliša strojovođa.

2. Statika krutih tijela primijenjena na tijelo čovjeka

Mehanika (grč. *mehane*; stroj ili naprava) predstavlja jednu od temeljnih znanosti koja se bavi proučavanjem zakonitosti mirovanja ili gibanja materije, odnosno tijela pod djelovanjem sile [1]. Unutar nje postoje različita područja, a ono koje je važno za daljnju tematiku ovoga rada jest statika i to statika krutih tijela. U statici se različitim matematičkim metodama izučavaju načini djelovanja sila i momenata sila kako bi se utvrdilo stanje ravnoteže ili neravnoteže tijela ili mehaničkih tvorbi [1].

Pod krutim tijelom podrazumijeva se tijelo koje pod utjecajem sila ne mijenja svoj početni oblik [1]. Čovjekovo tijelo može se prikazati kao mehanički skup više krutih tijela, tj. mehanizam kojeg čine relacijama povezani dijelovi tijela što se međusobno mogu relativno gibati jedan u odnosu na drugi. Oni povezani zglobovima, kao vezama između pojedinih segmenata unutarnjeg kinematičkog modela, tvore ukupno šest kinematičkih lanaca, pri čemu je jedan zatvoren, a pet ih je otvoreno, povezanih u obliku ljudskog kostura pa se iz tog razloga svi dijelovi tijela pojednostavljeno smatraju krutima [2].

Primijenjena statika krutih tijela na tijelu strojovođa temelji se na nekoliko pretpostavki [3,4]:

- masa m homogena je u cijelom volumenu pojedinih segmenata tijela strojovođa, odnosno tjelesni segmenti po cijelom volumenu imaju podjednaku gustoću ρ_i prema tablici 2.1.;
- tjelesni segmenti osno su simetrični u odnosu na promatranu vertikalnu os u frontalnoj ili sagitalnoj ravnini, u kojima se razmatra 2D biomehanički model u ravnotežnom sjedećem ili stojećem statičkom položaju, stoga se tjelesni segmenti mogu u štapnom 2D biomehaničkom modelu zamijeniti osno simetričnim tijelima poput valjaka, stošca, paralelopipeda, elipsoida i sl.;
- kod gibanja pojedinih tjelesnih segmenata sudjeluju samo mase unutar volumena promatranih tjelesnih segmenata, što u stvarnosti nije tako jer u određenom gibanju jednog tjelesnog segmenta (npr. ruke tijekom posluživanja komande) sudjeluju i mase mišića iz nekoliko susjednih tjelesnih segmenata;

- kada je riječ o deformacijama, kosti u tijelu ispitanika ponašaju se kao pretežito kruta tijela kod unutarnjeg i vanjskog opterećenja silama i spregovima sila.

Statički sjedeći ravnotežni položaj jest statički radni položaj pri kojem su donji, srednji i gornji trup te vrat i glava potpuno vertikalni [2]. Naravno, stvarni radni položaj blago odstupa od istog (strojovođa je blago nagnut unatrag i naslonjen leđima na naslon sjedala).

Tablica 2.1. Gustoća tjelesnih segmenata

Tjelesni segment:	Oznaka za:		Gustoća:	
	Masu:	Težinu:	Oznaka:	(kg/cm ³)
Stopalo	m_1	F_{g1}	ρ_1	0,001095
Potkoljenica	m_2	F_{g2}	ρ_2	0,001090
Natkoljenica	m_3	F_{g3}	ρ_3	0,001050
Šaka	m_4	F_{g4}	ρ_4	0,001550
Podlaktica	m_5	F_{g5}	ρ_5	0,001125
Nadlaktica	m_6	F_{g6}	ρ_6	0,001070
Glava i vrat	m_7	F_{g7}	ρ_7	0,001110
Gornji dio trupa	m_8	F_{g8}	ρ_8	0,000960
Srednji dio trupa	m_9	F_{g9}	ρ_9	0,001100
Donji dio trupa	m_{10}	F_{g10}	ρ_{10}	0,001030

Izvor: Dorađeno od Muftić, O. i sur., 2001. [3]

Kada se govori o prostornom gibanju ljudskog tijela, kao mehaničkog skupa krutih tijela, koje mora biti u skladu sa šest statičkih analitičkih uvjeta ravnoteže za slobodno gibanje tijela u prostoru, postoji šest stupnjeva slobode gibanja: tri translacije po pravcima na osima postavljenog koordinatnog sustava i tri rotacije oko osi istog koordinatnog sustava [2,3,4].

3. Vrste opterećenja strojovođe u radnom okruženju upravljačnice

Općenito se radno opterećenje vozača prometnih sredstava može podijeliti na fizičko, psihičko i senzorno [5].

3.1. Fizičko opterećenje strojovođe

Za vrijeme upravljanja dizelskim (DL) ili električnim lokomotivama (EL) te dizel motornim (DMV) ili elektromotornim vlakovima (EMV), tj. garniturama svi strojovođe većinu radnog vremena provode sjedeći u upravljačnicama pri čemu kod posluživanja potrebnih upravljačkih komandi ovisno o njihovom rasporedu i individualnim statičkim antropomjerama imaju ruke u zoni njihovog normalnog i/ili maksimalnog doseg. Prilikom toga mase pojedinih segmenata tijela u statičkom sjedećem ravnotežnom položaju stvaraju fizičko opterećenje strojovođe koje je moguće izmjeriti pomoću iznosa lumbalnog momenta M_l koji djeluje u slabinskom dijelu kralježnice na razini L4/L5 zbog sila teža segmentalnih masa koje se reduciraju u tu točku kralježnice [5].

Strojovođe se ponekad podižu u stojeći stav uz prozor da bi promotrili situaciju na pruzi zbog nefunkcionalnosti ili nedostatka pojedine opreme na vučnom vozilu, poput retrovizora koji se ne griju zimi ili ih uopće nema, crno-bijelih kamera loše rezolucije i sl., dok cjelovremeni stojeći radni položaj zahtijeva jedino rad u upravljačnici diesel lokomotiva [5].

Fizički napor strojovođe [5] u statičkom sjedećem radnom položaju u radnom okruženju upravljačnice dominantno ovisi o:

- ergonomičnosti upravljačnice, odnosno njenim dimenzijama, simetričnosti tlocrta upravljačnice po širini, osno simetričnoj i blago zaobljenoj upravljačkoj ploči, rasporedu i dostupnosti često korištenih indikatora i komandi povezanih s promjenom brzine na upravljačkoj ploči i unutar vidnog polja bez okretanja glave;

- ergonomičnosti višestruko podesive radne stolice pozicionirane na osi simetričnosti upravljačnice, tj. točno u sredini upravljačnice gledano po širini upravljačnice u tlocrtu;
- vanjskim statičkim antropomjerama ispitanika, posebice o dvije najvažnije antropomjere, tjelesnoj masi i stojećoj visini, iz kojih proizlaze sve ostale tjelesne antropomjere;
- indeksu tjelesne mase *ITM*, koji između ostaloga ovisi i o navršenoj dobi, što će se dokazati u ovome radu.

3.2. Psihičko i psihofizičko opterećenje strojovođe

Uz moguće fizičko opterećenje strojovođe vlastitim segmentalnim masama m_i u statičkom sjedećem ravnotežnom položaju, strojovođa je izložen i psihičkom opterećenju koje se prvenstveno veže uz subjektivni osjećaj sigurnosti strojovođa i sigurnost odvijanja prometa u situacijama kada je, radi poštivanja voznog reda kao osnovnog plana rada na željeznici, potrebno mijenjati brzinu u vremenu. Navedeno posebice dolazi do izražaja kada ne postoji uređaj za autostop sustav, bilo da nema ugrađenog autostop (AS) sustava na vučnom vozilu ili pak on postoji, ali nisu ugrađeni njegovi dijelovi na nekoj dionici pruge (pružne balize), koji bi mogao ispraviti pogrešku strojovođe, tj. utjecaj ljudskog faktora [5].

Osim tipa lokomotive ili motorne garniture kojom strojovođa upravlja, na subjektivni doživljaj ukupnog psihofizičkog opterećenja strojovođe utječe i svrha odvijanja prometa, odnosno radi li se o prijevozu robe ili putnika. Briga za putnike kod ulaska/izlaska iz vozila tada postaje dominantna pa vuča putničke kompozicije DL ili EL zbog nezatvaranja vrata na putničkim vagonima stvara veći ukupni psihofizički napor za strojovođe od, primjerice, vuče bučnije teretne kompozicije istim lokomotivama. Uz spomenutu čujnost prometne buke na ovu vrstu opterećenja utječu i uvjeti vožnje (vožnja danju ili noću), vremenski uvjeti i posebne prometne situacije[5].

4. Statička antropometrija ljudskog tijela

4.1. Varijacije antropometrijskih čimbenika

Općenito govoreći, antropometrija se bavi mjerenjima tijela čovjeka, te je razdioba antropometrijskih varijabli, kao poligenetičkih čimbenika, rezultat višestrukih utjecaja čimbenika genetičkog porijekla, tj. genotipa i ne-genetičkog porijekla, tj. fenotipa, gdje je fenotip rezultat uzajamnog djelovanja genotipa i mnogih čimbenika okolišnih sustava [6].

Na varijabilnost antropometrijskih čimbenika također djeluju i varijacije suvremenih tehnološki oblikovanih radnih i životnih okolišnih sustava koji u ljudi tijekom vremena izazivaju mnoge tjelesno-adaptacijske promjene [6].

4.2. Dimenzijski odnosi ljudskog tijela

Iz mnogobrojnih antropometrijskih studija kojima su predmet proučavanja dimenzijski odnosi ljudskog tijela po tzv. statičkoj antropometriji, vidljiv je sklad dimenzija pojedinih dijelova tijela, ali i odstupanja koja proistječu iz temeljnih gradbenih razlika između ljudi, kako ovisno o spolu i uzrastu, tako i prema građi tijela te rasi, no između navedenih razlikovnih statičkih antropomjera nije moguće odrediti jasnu graničnu klasifikaciju. Na taj se način poznavanjem dimenzija jednog dijela tijela s relativno velikom točnošću mogu odrediti i dimenzije bilo kojeg drugog dijela tijela. Iz ove je činjenice proistekao i cijeli niz pokušaja utvrđivanja zakonitosti između dimenzijskih odnosa [6,7].

Mjera za zakonitost u odnosima između dimenzija ljudskog tijela naziva se kanon, pri čemu su svi poznati kanoni oblikovani prema određenom modulu, odnosno izabranoj dimenziji dijela tijela prema kojoj se definiraju sve ostale veličine tjelesnih segmenata koje su pak za neki broj veće ili manje od dimenzija odabranog modula. Postoje tzv. egipatski, grčki, Kollmanov i Fritschov kanon [6].

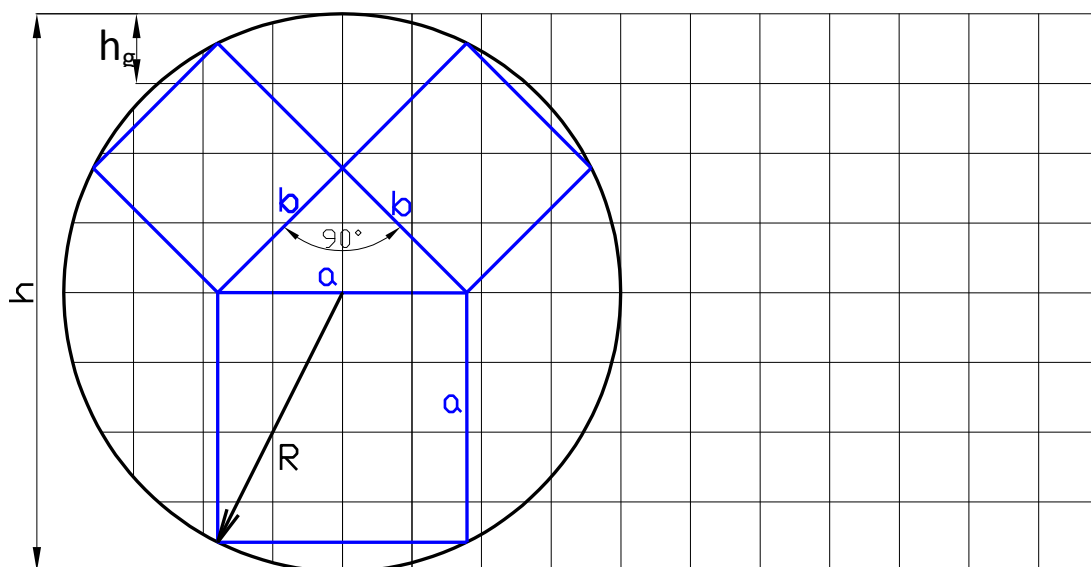
Muftić i suradnici su se tijekom više istraživanja statičkih antropomjera kod čovjeka priklonili grčkom kanonu koji za modul uzima dužinu visine ljudske glave [4], mjereno od vrha tjemena do ruba brade, pri čemu ukupna stojeća visina h promatranog subjekta definira pomoću kanona osam visina glave h_g prema izrazu (4.1):

$$h = 8 \cdot h_g \quad (4.1)$$

4.3. Harmonijska metoda Zederbauera i Muftića

Primjena antropometrije omogućuje da se, po harmonijskoj metodi Zederbauera i Muftića na temelju izmjerene stojeće visine h i mase m te iz izračunatih dužina pojedinih dijelova tijela strojovođe i njima pripadajućih segmentalnih masa m_i , mogu odrediti segmentalne sile teže F_{g_i} , položaji težišta segmentalnih masa i dinamički momenti tromosti pojedinih tjelesnih segmenata [4].

Naime, početkom stoljeća Zederbauer je predložio konstrukciju harmonijske kružnice radijusa R u obliku geometrijske konstrukcije istokračnog trokuta, kojem su na stranicama podignuti kvadrati kao što prikazuje slika 4.1. [4].



Slika 4.1. Harmonijska kružnica Zerderbauera i Muftića [4]

Izvor: Preuzeto modificirano od Muftić, O., Milčić, D., 2001. [4]

Muftić je za čovjekovu stojeću visinu h odabrao promjer Zederbauerove kružnice $2R$ i pridružio ih grčkom kanonu, utvrdivši time vezu između harmonijskih brojeva i antropomjera čovjeka, a prema izrazu (4.2) i slici 4.1. [4].

$$2 \cdot R = h = 8 \cdot h_g \quad (4.2)$$

Odnosi polumjera kružnice R i stranica jednakokračnog trokuta a i b uvijek su jedni te isti harmonijski brojevi, neovisno o promjeni veličine polumjera kružnice, a prikazani su u tablici 4.1. [4].

Tablica 4.1. Harmonijske veličine kao harmonijski brojevi

Osnovne harmonijske veličine:			Izvedene harmonijske veličine:		
Oznaka	Veza s a	Iznos:	Oznaka	Veza sa osnovnim harmonijskim veličinama	Iznos
a	$1a$	1	r	$= b - \frac{a}{2} = \frac{\sqrt{2}-1}{2}$	0,207
b	$\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot a$	0,707	d	$= R - \frac{a}{2} = \frac{\sqrt{5}-1}{2}$	0,618
R	$\frac{\sqrt{5}}{2} \cdot a$	1,118	$b+r$	$= \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot a + \left(b - \frac{a}{2}\right) = \frac{2\sqrt{2}-1}{2}$	0,914

Izvor: Preuzeto od Muftić, O., Milčić, D., 2001. [4]

Harmonijska analiza čovjeka pokazuje da su funkcije antropometrijskih veličina, odnosno segmentalnih dužina, u ovisnosti sa stojećom visinom čovjeka h i u ovisnosti s izrazom (4.2) ti odnosi prikazani su u tablici 4.2. [4].

Tablica 4.2. Antropometrijske veličine čovjeka kao funkcija njegove stojeće visine h

Dužina segmenta tijela:	Oznaka dužine:	Funkcija:	Dužina segmenta tijela:	Oznaka dužine:	Funkcija:
dužina ruke	h_r	$= \frac{25}{64}h$	dužina nadlaktice	h_6	$= \frac{5}{32}h$
dužina podlaktice	h_5	$= \frac{h}{8}$	dužina šake	h_4	$= \frac{7}{64}h$
dužina noge	h_n	$= \frac{17}{32}h$	dužina natkoljenice	h_3	$= \frac{9}{32}h$
dužina potkoljenice	h_2	$= \frac{7}{32}h$	dužina stopala	h_1	$= \frac{h}{8}$
dužina pokretnog dijela kralježnice u stojećem stavu	h_k	$= \frac{1}{3}h$	visina stopala	h_{11}	$= \frac{h}{32}$

Izvor: Modificirano od Muftić, O., Milčić, D., 2001. [4]

4.4. Regresijska metoda Donskog i Zacijorskog

Postupak analize moguće je raditi u dvodimenzionalnom štapnom biomehaničkom modelu na način da se ucrtavaju spojne dužine, tj. segmentalne dužine čovjeka kao funkcije njegove stojeće visine, u harmonijsku kružnicu Zederbauera i Muftića kako bi se dobio pomoćni kostur čovjeka ili njegov žičani model. Zatim se primjenjuje regresijska metoda Donskog i Zacijorskog da bi se izračunale segmentalne mase m_i pojedinih dijelova tijela iz poznate visine h i ukupne izmjerene mase M promatranog subjekta, a iz njih prema izrazu (4.3) sile teže segmenata tijela F_{gi} [4, 8].

$$F_{gi} = m_i \cdot g \quad (4.3)$$

Metoda Donskog i Zacijorskog jedna je od suvremenih metoda za određivanje rasporeda masa i dinamičkih značajki pojedinih segmenata tijela. Utvrđena je na sto muških i sto ženskih subjekata na temelju procjene volumena dobivenog radioizotopnom metodom. Statističkom obradom rezultata autori su za svaki segmentalni dio tijela formirali pravce regresije i pomoću njih utvrdili odgovarajuće regresijske faktore B_0 , B_1 i B_2 pomoću kojih se korištenjem regresijske jednadžbe (4.4) mogu izračunati željene segmentalne mase pojedinačnih segmenata tijela m_i [3, 8].

$$m_i = B_0 + B_1 \cdot M + B_2 \cdot h \text{ [kg]} \quad (4.4)$$

gdje su:

B_0 , B_1 , B_2 - regresijski faktori za muškarce i žene izračunati statističkim metodama

M [kg] - ukupna izmjerena masa tijela ispitanika

h [cm] - stojeća izmjerena visina ispitanika

m_i [kg] - masa analiziranog segmenta po metodi Donskij-Zacijorskij

R - koeficijent korelacije

Dakle, prema ovoj metodi može se iz poznate visine, neovisno o spolu subjekta, i njegove ukupne mase izračunati svaka pojedinačna segmentalna masa prema tzv. vanjskoj podjeli [3, 8].

Prema podjeli u tablici 4.3. moguće je ovisno o iznosu koeficijenta korelacije R za pojedine segmente tijela odrediti točnost linearne aproksimacije funkcijske ovisnosti segmentalne mase m_i o izmjerenoj ukupnoj masi M i izmjerenoj visini h . Usporedi li se iznos koeficijenta korelacije R za pojedine segmente tijela iz tablice 4.3. s ocjenom točnosti linearne aproksimacije prikazanoj u tablici 4.4., vidljivo je da postoji slaba korelacija ili korelacija srednje jačine. Provjerom se može utvrditi

prisutnost vrlo male pogreške u odstupanju ukupne izračunate mase tijela ispitanika m_{uk} od ukupno izmjerene mase tijela M ispitanika.

Tablica 4.3. Regresijski faktori za muškarce i žene prema Donskom i Zacijorskom

Segment tijela	Muškarci				Žene			
	Regresijski faktori			R	Regresijski faktori			R
	B ₀	B ₁	B ₂		B ₀	B ₁	B ₂	
stopalo	-0,829	0,0077	0,0073	0,702	-1,207	0,0175	0,0057	0,71
potkoljenica	-1,592	0,03161	0,0121	0,872	-0,436	-0,011	0,0238	0,42
natkoljenica	-2,649	0,1436	0,0137	0,891	5,185	0,183	-0,042	0,73
šaka	-0,1165	0,0036	0,00175	0,516	-0,116	0,0017	0,002	0,48
podlaktica	0,3185	0,01445	-0,00114	0,786	0,295	0,009	0,0003	0,38
nadlaktica	0,25	0,03012	-0,0027	0,837	0,206	0,0053	0,0066	0,27
glava	1,269	0,0171	0,0143	0,591	2,388	-0,001	0,015	0,24
gornji dio trupa	8,2144	0,1862	-0,058	0,798	-16,593	0,14	0,0995	0,64
srednji dio trupa	7,181	0,2234	-0,0663	0,828	-2,741	0,031	0,056	0,45
donji dio trupa	-7,498	0,0976	0,04896	0,743	-4,908	0,124	0,0272	0,61

Izvor: Muftić, O., Veljović, F., Jurčević - Lulić, T., Milčić, D., 2001. [3]

Tablica 4.4. Vrednovanje linearne aproksimacije preko iznosa koeficijenta korelacije

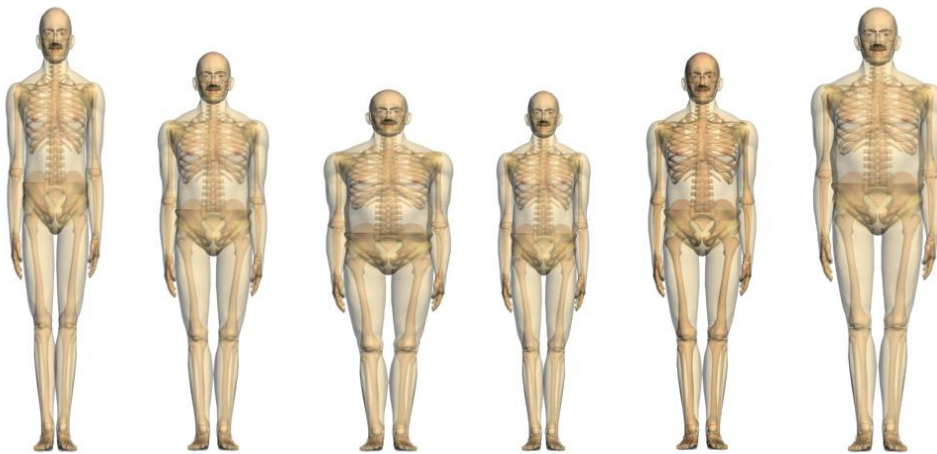
R	Ocjena točnosti linearne aproksimacije
0	Odsutnost korelacije
0,01 – 0,49	Slaba korelacija
0,50 – 0,79	Korelacija srednje jačine
0,80 – 0,99	Čvrsta korelacija
1	Potpuna (perfektna) korelacija

Izvor: Preuzeto od Kovač-Striko, E., Fratrović, T., Ivanković, B., 2008. [9]

Ukupna izračunata masa tijela ispitanika m_{uk} dobiva se zbrajanjem pojedinih segmentalnih masa m_i izračunatih regresijskom metodom Donskog i Zacijorskog. U radu za izmjerenu visinu $h = 178$ cm i izmjerenu tjelesnu masu $m = 92,8$ kg postotna pogreška PG između izračunate mase m_{uk} i izmjerene mase M dobivena preko izraza (4.5) iznosi prihvatljivih 1,24 %.

$$PG = 100 - \frac{m_{uk}}{M} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.5)$$

Pogreška ovisi o tipu konstitucije ljudskog tijela kako je prikazano na slici 4.2. te varijaciji ljudskog tijela u različitim kanonima visine glave prikazanih u slici 4.3. [6].



Slika 4.2. Tipovi konstitucija ljudskog tijela

Slika 4.3. Varijacije ljudskog tijela u različitim kanonima visina glave

Izvor: Jurum-Kipke, J., Baksa, S., Kavran, Z., 2007 [6]

4.5. Primjena statističkih metoda kod antropometrijskih veličina

Uspoređivanje pojedinih antropometrijskih tjelesnih dimenzija može se prikazati logaritamskim zakonom o relativno jedinstvenom rastu. Na temelju njega uz poznavanje samo ukupne visine tijela može se predvidjeti cijeli niz različitih tjelesnih dimenzija za sve proučavane skupine ljudi. Takve se antropometrijske veličine nazivaju mezo-stabilne i one su manje podložne utjecaju okolišnog djelovanja. To su većinom proporcije segmenata visine tijela (sjedea visina), one koje opisuju duljine ekstremiteta i njihovih pojedinih dijelova (duljina ruku, duljina nadlaktica, duljina

podlaktica, itd.), transverzalni dijametri zdjelice (gornje ivice karlične kosti - *cristae iliacae*) [6].

Nasuprot njima postoje i mezo-labilne antropometrijske veličine koje odlikuje prilagodljivost utjecajima varijacija raznovrsnih okolišnih djelovanja pa se stoga za njih ne mogu primijeniti zakonitosti relativno jedinstvenog logaritamskog antropometrijskog rasta. Takve veličine su: tjelesna težina te raznovrsni opsezi trupa i ekstremiteta koje su u suodnosu na ukupnu visinu tijela [6].

Antropometrijske korelacije pojedinih tjelesnih karakteristika neke ljudske populacije moguće je kvantificirati statističkom metodom pronalaženja prosjeka, a tome služi normalna raspodjela, tzv. Gaussova krivulja [10]. Ona može biti simetrična s obzirom na njezinu najvišu točku, ali i ne mora što znači da i raspored frekvencije neke ljudske populacije oko osi aritmetičke sredine odstupa od simetrične Gaussove krivulje [6].

4.6. Individualne antropometrijske raznolikosti

Zbog individualnih antropometrijskih raznolikosti, postoje razlike harmonijskih veličina koje nisu uvijek harmonijski raspoređene na isti način, a dokaz tome su i standardne devijacije uz regresijske koeficijente. Međutim, obzirom na visinu korelacijskih čimbenika, koji se kreću u rasponu od 0,561-0,891, mogu smatrati funkcijskom vezom [6].

Izbor ergonomske antropometrijske mjere ovisi o velikom broju čimbenika, a tu se posebice ističu oblik radnog okoliša ili proizvoda i njegov zadatak, dijelovi tijela koji će dolaziti u izravan odnos s radnim entitetima, bilo tijekom rukovanja njime, oslanjanja na njega i sl., te dijelovi tijela čovjeka koji se nalaze u neposrednoj blizini radnog entiteta i/ili koji samo povremeno dolaze s njim u dodir [7]. Pritom ne treba zaboraviti na utjecaj navršene dobi na promjenu stojeće visine, o čemu će biti riječi kasnije.

Budući da se dimenzije pojedinih dijelova čovjekovog tijela razlikuju od pojedinca do pojedinca ovisno o spolu ili rasi, nije dovoljno da se kod konstrukcije

radnog mjesta ili oblikovanja proizvoda kao osnova uzima tzv. prosječna osoba jer srednje dimenzije pokazuju da u nekoj populaciji ispitanika s registriranim tjelesnim dimenzijama, oko 50% njih ima referentnu mjeru tijela određene veličine ili manju [7].

Dakle, treba poznavati dimenzije čovjeka kao funkcije statističke distribucije pa se u tu svrhu koristi antropometrijska kvantifikacija koja mjerne rezultate definira prema stvarnoj distribuciji frekvencije određenih čimbenika, a odgovarajuće dimenzije antropometrijske varijable prikazuje u obliku percentilne skale (tj. centila i postotaka) jer se podacima percentila, za razliku od aritmetičke sredine koja daje samo prosjek vrijednosti mjera, mogu realnije predočiti obilježja antropometrijskih mjera [7].

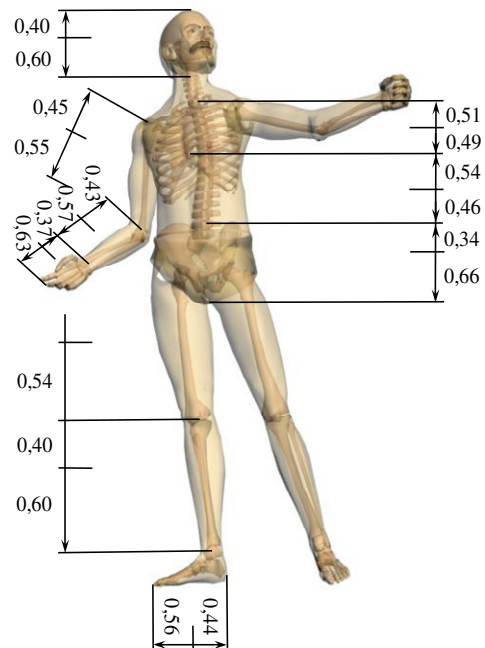
Percentilnom skalom se vrijednosti prilagođavaju tako da se postocima ispitanika određuju vrijednosti na centilnoj mjernoj skali, na način da 1% ispitanika s najslabijim rezultatima dolazi u prvi centil, sljedećih 1% ispitanika koji su po mjernim rezultatima odmah iznad najslabijih u drugi centil, itd. Najčešće se koriste antropometrijska obilježja 5. i 95. percentila jer unutar njih vrijede podaci koje ima 90% neke populacije ili se za detaljnije obuhvaćanje podataka (95,46%) daju podaci srednjih vrijednosti uz rasipanja od dvije standardne devijacije [7].

Za optimizaciju i pojednostavljenje odabira antropomjera koje su utvrđene mjerenjem pojedinih populacija koristi se antropološko–biomehanički, tj. matematički model tih mjera. Da bi se on načinio, potrebno je poznavati položaj središta masa. Podaci o položajima središta masa prikazani su u tablici 4.5., a iste su Donskij i Zacijorskij modificirali i dopunili od Dempstera. Sukladno njima izrađena je slika 4.4. koja se temelji na radu Apolona Belvederskog, a prikazuje segmentalne mase te položaje i težišta segmenata izražene u postotku od dužine segmenta [6,8].

Tablica 4.5. Središta masa u postotku funkcije dužine tjelesnog segmenta

Tjelesni segment	Udaljenost (%)*
Glava i vrat	50,02
Gornji trup	50,66
Srednji trup	45,02
Donji trup	59,59
Šaka	36,91
Natkoljenica	45,49
Potkoljenica	40,49
Stopalo	44,14
Nadlaktica	44,98
Podlaktica	42,74

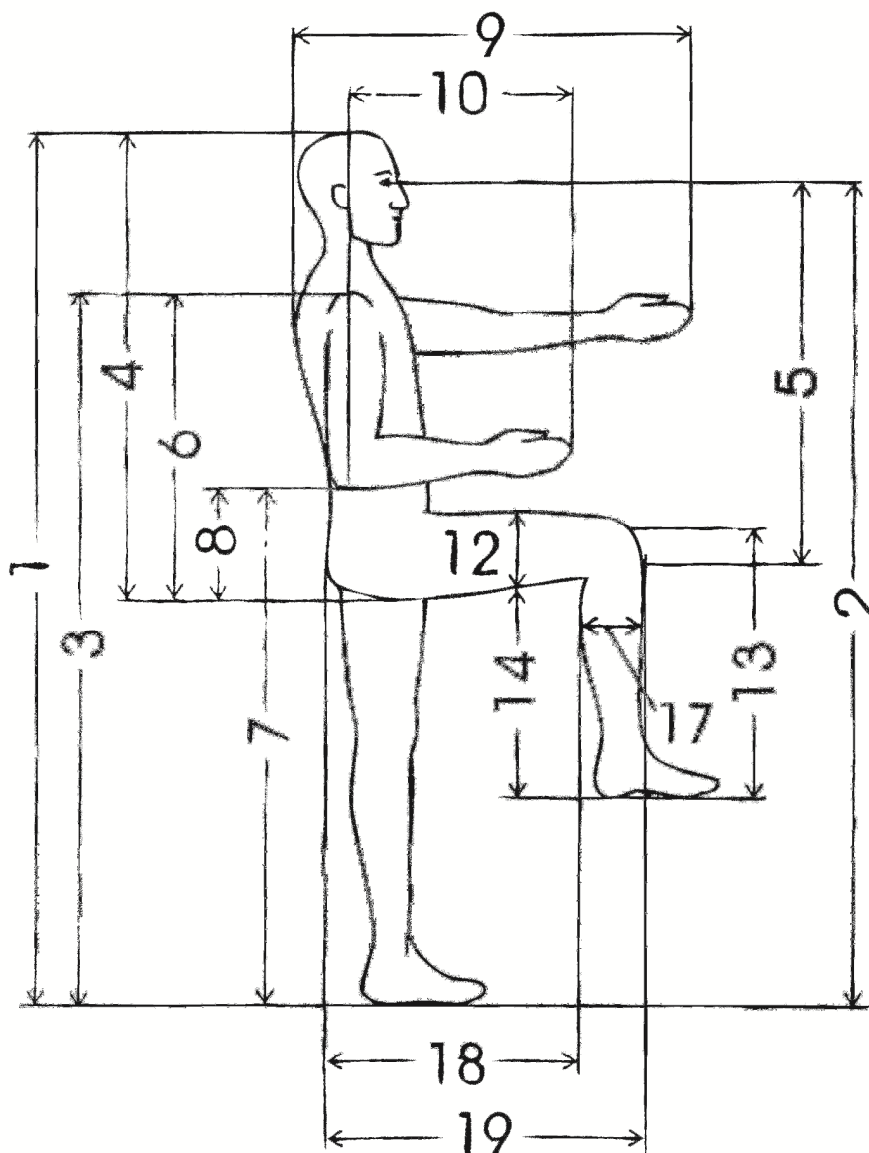
*mjereno od gornje granice segmenta



Slika 4.4. Relativni položaj središta masa dijelova tijela u čovjeka

Izvor: Preuzeto od Milčić, D., Muftić, O., Ljubišić, M., 1999. [11]

5. Utvrđivanje karakterističnih antropomjera ljudskog tijela



Slika 5.1. Kromerov prikaz karakterističnih antropomjera (za sagitalnu ravninu)

Izvor: Modificirano preuzeto od Muftić, O., Milčić, D., 2001. [4]

Na slici 5.1. kotama su označene karakteristične antropomjere u Kromerovom prikazu za sagitalnu ravninu te su iste i izmjerene na slučajnom uzorku od 51 strojovođe iz cijele populacije strojovođa u RH. Pritom je izdvojeno sedam antropomjera koje su jako bitne za tematiku ovoga rada, a to su stojeća visina,

dužina ruke, dužina podlaktice i šake, dužina šake, normalni doseg ruke, maksimalni doseg ruke te biakromijalni raspon, tj. širina ramena. Posljednje tri spomenute antropomjere osobito su važne kod određivanja položaja često korištenih ručno posluživanih komandi na upravljačkoj ploči koje su povezane s promjenom brzine (kočnik, akcelerator i budnik), a prema znanstvenoj literaturi dominantno utječu na radno opterećenje, tj. težinu zadaće.

Bitno je naglasiti da kod mjerenja antropomjera „stojeća visina“ (kota 1), „razina očiju stojeći“ (kota 2) i „razina očiju sjedeći“ (kota 5) ispitanik drži glavu u položaju „frankfurtske horizontale“ koja predstavlja vodoravno položenu zamišljenu liniju što spaja najvišu točku gornjeg lijevog zvukovoda (*tragus*) i najnižu točku donjeg ruba orbite lijeve očne šupljine (*orbitale*) [12].

Nadalje, antropomjere koje nisu statičke nije preporučeno računati iz statičkih antropomjera ili ih poistovjećivati s statičkim antropomjerama. Razlog tome su [3,4,5,13]:

- nabori kože na zglobovima;
- moguća istegnuća u zglobovima;
- što u stvarnosti vozači tijekom vožnje poslužuju i/ili drže komande središnjim dijelom gotovo stisnute šake, a ne vrhom prstiju (npr. ručica višenamjenskog kontrolera za posluživanje kočnika, akceleratora i budnika (*engl. multi purpose controller*)).

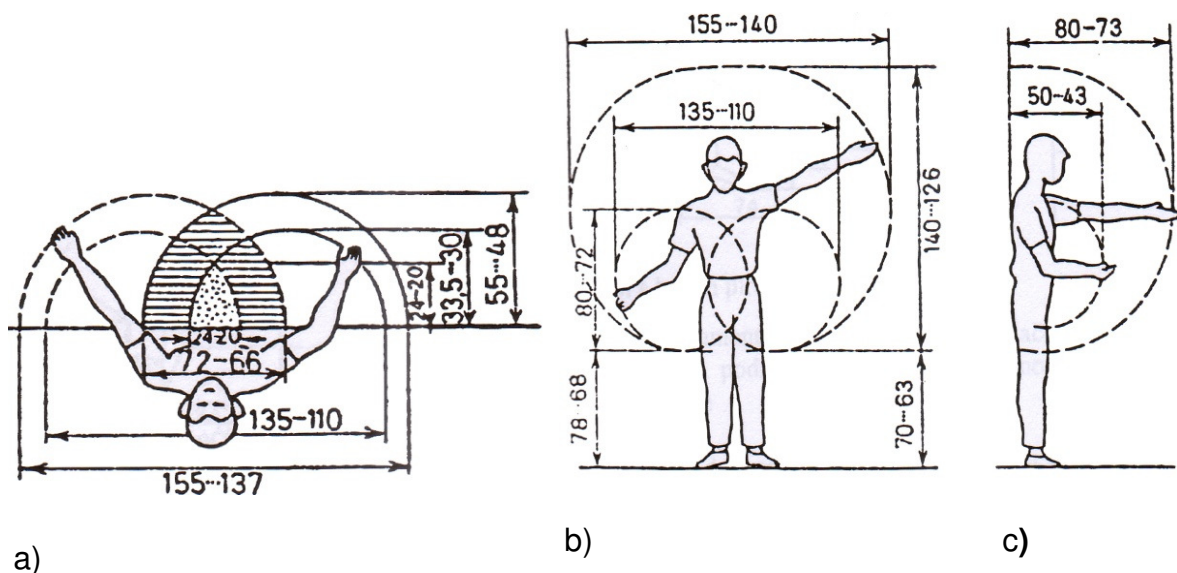
Takve antropomjere su normalni doseg ruke h_{ndr} , maksimalni doseg ruke h_{mdr} i horizontalni dohvat ispružene ruke h_{hdr} , te su, radi dobivanja što preciznijih rezultata, kod mjerenja takvih antropomjera ispitanici u šaci držali okrugli predmet koji je simulirao višenamjensku ručicu za posluživanje.

Svim ispitanicima iz slučajnog uzorka mjerena je lijeva, tj. manje razvijena strana tijela, jer je postotak ljevaka zanemariv u odnosu na dešnjake, te su izmjerene vrijednosti zaokruživane na cijeli centimetar. Mjerenja su izvedena dobrovoljno i anonimno.

Budući da strojovođa u radnom okolišu upravljačnice za neku operaciju obavlja više potrebnih uzastopnih koraka, kod konstruiranja iste važno je predvidjeti da se svi takvi ciklički djelatni zahvati na upravljačkoj opremi izvode u području koje

se najlakše može dohvatiti rukom, odnosno zoni normalnog doseg, i unutar vidnog polja kako bi se mogli posluživati bez zakretanja glave. Zone doseg ispružene ruke nazivaju se zonama maksimalnog doseg te bi se u njima načelno trebali izvoditi samo periodički zahvati [7,14].

Taboršak je 1984. godine ucrtavanjem zona normalnog i maksimalnog doseg na tlocrtni prikaz djelatnog okolišnog sustava utvrdio optimalan položaj čovjeka i djelatnih okolišnih elemenata te pozicije izvođenja cikličkih i periodičkih zahvatnih djelovanja. Područja normalnog i najvećeg doseg ruke u tri ravnine za djelatnika u stojećem položaju prikazane su na slici 5.2., gdje se prva oznaka na koti koristi za muški, a druga za ženski spol, dok su zone za: transverzalnu ravninu (a), frontalnu ravninu (b) i sagitalnu ravninu (c) [14].



Slika 5.2. Zone normalnog i maksimalnog doseg ruke

Izvor: Taboršak, D., 1976. [14]

Također, treba spomenuti da prikazani rezultati iz 80-ih godina prošlog stoljeća više nisu aktualni jer rezultati iz znanstvene literature upućuju na porast tjelesne visine kroz godine, razmatrano za ispitanike iste navršene dobi.

Izračunati i izmjereni raspon antropomjere h_{ndr} iz slučajno odabranog uzorka za središnjih 90% ($n = 45$ strojovođa) kreće se između 32,2 - 38,8 cm, dok je za antropomjeru h_{mdr} kod središnjih 90% ($n = 46$ strojovođa) od 58,6 do 70,9 cm.

Mjerne sprave koje su korištene pri mjerenju na slučajnom uzorku:

- veliki antropometar (VA);
- srednji *Lafayette* antropometar (SA);
- mali *Lafayette* antropometar (MA);
- digitalna *Tanita* vaga WB 3000 (DV) s ručnim visinomjerom (V);
- mjerna vrpca (MV).

Tablica 5.1. sadrži opis mjerenja spomenutih antropomjera s oznakom antropometra koji je korišten za mjerenje pojedine antropomjere.

Tablica 5.1. Upute za mjerenje karakterističnih antropomjera koje su za potrebe rada mjerene na strojovođama

Broj kote	Oznaka	Dio tijela / naziv antropomjere	Uputa za mjerenje	Napomena	Oznaka antropometra
1.	h	Stojeća visina subjekta	Ispitanik koji je leđima okrenut prema visinomjeru uspravno stoji, skupljenih peta, opuštenih ramena i ruku opuštenih uz tijelo na digitalnoj vagi <i>Tanita</i> WB 3000 bez cipela i teških odjevnih predmeta.	Gornji krak visinomjera lagano spuštati dok ne dotakne tjeme ispitanika.	DV+V
	h_r	Dužina ruke (od akromiona do vrha najdužeg prsta)	Ispitanik stoji uspravno, opuštenih ramena, na ravnoj podlozi. Prvo je potrebno ispitaniku na lijevoj ruci pronaći stražnju stranu akromiona i na njoj zadržati prst desne ruke. Ispitanik vertikalno postavlja lijevu ruku (uz tijelo) ispruženih prstiju.	Krakove velikog antropometra prisloniti na stražnju stranu akromiona lijevog ramena i na vrh najdužeg prsta.	VA
	$h_{m\text{dr}}$	Maksimalni doseg ruke (od stražnje strane akromiona do središnjeg dijela stisnute šake)	Ispitanik stoji uspravno, opuštenih ramena, na ravnoj podlozi. Prvo je potrebno ispitaniku na lijevoj ruci pronaći stražnju stranu akromiona i na njoj zadržati prst desne ruke. Ispitanik horizontalno ispruži lijevu ruku dok u šaci drži okrugli predmet (npr. debeli flomaster).	Krakove velikog antropometra prisloniti na stražnju stranu akromiona lijevog ramena i na sredinu okruglog predmeta u šaci ispitanika.	VA

15.	$h_{\text{šr}}$	Širina ramena (<i>biakromijalni raspon</i>)	Ispitanik stoji na ravnoj podlozi bez cipela uspravno uza zid leđima okrenut prema njemu, opuštenih ramena i ruku opuštenih uz tijelo.	Krakove srednjeg <i>Lafayette</i> antropometra prisloniti na akromione lijevog i desnog ramena.	SA
	h_{ndr}	Normalni doseg ruke (<i>od stražnje ploštine lakta do središnjeg dijela stisnute šake</i>)	Ispitanik stoji uspravno na ravnoj podlozi, opuštenih ramena. Nadlaktica lijeve ruke je vertikalno uz tijelo, a podlaktice lijeve ruke je u horizontalnom položaju, pri čemu ispitanik u šaci drži okrugli predmet (npr. debeli flomaster).	Krakove srednjeg <i>Lafayette</i> antropometra prisloniti uz vanjsku stranu podlaktice lakta i na sredinu okruglog predmeta u šaci ispitanika.	SA
10.	$h_{\text{p+š}}$	Dužina podlaktice i šake (<i>od stražnje ploštine lakta do vrha najdužeg prsta</i>)	Ispitanik stoji uspravno na ravnoj podlozi, opuštenih ramena. Nadlaktica lijeve ruke je vertikalno uz tijelo, a podlaktice lijeve ruke je ispružena u horizontalnom položaju.	Krakove srednjeg <i>Lafayette</i> antropometra prisloniti uz vanjsku stranu podlaktice lakta i na vrh najdužeg prsta.	SA
	$h_{\text{š}}$	Dužina šake (<i>od vrha najdužeg prsta do prvog nabora na zapešću ruke</i>)	Podlaktica lijeve ruke je u horizontalnoj liniji s otvorenim šakom (palac izdvojen). Mjeri se udaljenost između najdužeg prsta i prvog neisprekidanog nabora na zapešću lijeve ruke (gledano sa strane podlaktice).	Krakove malog <i>Lafayette</i> antropometra prisloniti na vrh najdužeg prsta lijeve ruke i na prvi neisprekidani nabor na zapešću lijeve ruke (gledano sa strane podlaktice).	MA

Izvor: Nadopunjene antropomjere, Muftić i sur. 2001. [4], Ujević i sur. 2009. [15], Maver i sur. 1984. [12] i Grgić i sur. 1983. [16]

6. Mjerenje antropomjera na slučajnom uzorku strojovođa

6.1. Dokazivanje da je slučajni uzorak i dovoljan

Prema Kovač-Striko, Fratroviću i Ivankoviću [9] na temelju rezultata mjerenja iz uzorka moguće je procijeniti karakteristike i zakonitosti obilježja osnovnog skupa. Po njima je pritom dovoljno veliki svaki uzorak $n > 30$ iz bilo kojeg osnovnog skupa očekivane sredine μ i standardne devijacije σ .

Dakle, slučajno odabran uzorak od $n = 51$ strojovođe koliko ih izmjereno za potrebe ovoga rada, iz osnovnog skupa sveukupne populacije od $N = 1310$ strojovođa sa područja Republike Hrvatske (RH), predstavlja dovoljan broj ispitanika za mjerenje pojedinih karakterističnih statičkih antropomjera, razmatrano matematički. U praksi je za mjerenje raspona antropomjera uz centralnih 90 % na temelju kojih se projektira upravljačnica potrebno obuhvatiti najveći mogući dostupni uzorak.

Navedeno se može potkrijepiti na primjeru stojeće visine na način da se vrednuje izračunati iznos odstupanja $\sigma_{\bar{h}_{51}}$ aritmetičke sredine visine \bar{h} za uzorak od $n = 51$ strojovođe u odnosu na očekivanu srednju vrijednost visine μ_h za osnovni skup sveukupne populacije od $N = 1310$ strojovođa u RH.

Aritmetička sredina visine uzorka ili srednja visina za uzorak $n = 51$ strojovođe u RH iz tablice 2.8. iznosi $\bar{h}_{51} = 178,9$ cm, a dobiva se prema izrazu (6.1) [9].

$$\bar{h}_n = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{n} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n h_i \quad (6.1)$$

Standardna devijacija visine kod slučajnog uzorka $n = 51$ strojovođe izračunata je prema izrazu (6.2) kao drugi korijen iz varijance (disperzije) i iznosi $\sigma_{h_{51}} = 5,7$ cm [9].

$$\sigma_{h_n} = \sqrt[2]{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h}_n)^2} = \sqrt[2]{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta h^2} \quad (6.2)$$

Odstupanje aritmetičke srednje visine \bar{h}_{51} kod slučajnog uzorka $n = 51$ strojovođe $\sigma_{\bar{h}_{51}} = 0,785$ cm u odnosu na očekivanu srednju vrijednost visine μ_h kod osnovnog skupa sveukupne populacije od $N = 1310$ strojovođa u RH, dobiva se prema izrazu (6.3) budući da je osnovni skup sveukupne populacije strojovođa $N = 1310$ konačan.

$$\sigma_{\bar{h}_n} = \frac{\sigma_{h_n}}{\sqrt[2]{n}} \cdot \sqrt[2]{\frac{N-n}{N-1}} \quad (6.3)$$

Odstupanje od samo $\sigma_{h_n} = 0,785$ cm za antropomjeru srednje stojeće visine uzorka \bar{h}_n , u odnosu na očekivanu srednju vrijednost visine osnovnog skupa μ_h , je u potpunosti zadovoljavajuće te predstavlja dokaz da je slučajni uzorak i dovoljan. Shodno tome, i kod svih drugih antropomjera koje proizlaze iz stojeće visine h na temelju harmonijske kružnice Zerderbauera i Muftića [4] isto tako dolazi do linearnih odstupanja, što se može nadomjestiti ugradnjom radne stolice koja je ergonomski prilagođena antropomjerama strojovođa na način da omogućuje osam stupnjeva podešavanja.

6.2. Određivanje indeksa tjelesne mase

Indeks tjelesne mase *ITM* (*engl. body mass index - BMI*) predstavlja okvirni pokazatelj eventualne pretjerane debljine zbog prevelike mase M u odnosu na stojeću tjelesnu visinu h [5, 17], a može se izračunati pomoću izraza (6.4).

$$ITM = \frac{M}{h^2} \quad (6.4)$$

Na slici 6.1. prikazana je umjerena digitalna vaga s mehaničkim visinomjerom *Tanita* WB 3000 koja je korištena za potrebe mjerenja stojeće visine h , tjelesne mase m i brzi izračun indeksa tjelesne mase za sudionike iz slučajnog uzorka [17], a čije granične vrijednosti su prikazane u tablici 6.1. Tjelesne mase ispitanika mjerene su u isto doba dana zbog općepoznate činjenice da se masa ispitanika mijenja tijekom dana.



Slika 6.1. Digitalna vaga s mehaničkim visinomjerom *Tanita* WB 3000

Izvor: Katalog laboratorijske opreme, 2015. [17]

Tablica 6.1. Smjernice za ispitanike na osnovu iznosa *ITM*

Opis		Iznos <i>ITM</i>
Pothranjenost		$ITM < 18,5$
Normalni raspon		$18,5 \leq ITM < 25$
Prekomjerna tjelesna masa (gojaznost)		$25 \leq ITM < 30$
Pretjerana tjelesna masa (pretilost)	Klasa I: Umjerena pretilost	$30 \leq ITM < 35$
	Klasa II: Ozbiljna pretilost	$35 \leq ITM < 40$
	Klasa III: Vrlo ozbiljna pretilost	$ITM \geq 40$

Izvor: Katalog laboratorijske opreme, 2015. [17]

Prema rezultatima *ITM*, iz tablice 6.2. razmatrano za cijeli slučajni uzorak od 51 strojovođe, dobivenih na temelju izmjerenih tjelesnih masa i stojećih visina i uspoređenih sa preporukama iz tablice 6.1. vidljivo je da najviše ispitanika, 47,06%, spada u kategoriju gojaznosti, njih 33,33% je pretilo, a tek 19, 61% ima normalni raspon *ITM*.

Tablica 6.2. Dvije najbitnije statičke antropomjere sadržane u *ITM* za slučajni uzorak od 51 strojovođe iz ukupne populacije od 1310 strojovođa u RH

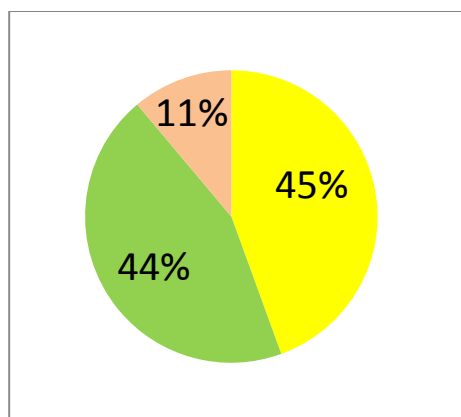
Red.br.	starost	masa	visina:	ITM	Red.br.	starost	masa	visina:	ITM
ID	god	kg	cm	kg/m ²	ID	god	kg	cm	kg/m ²
S1	54	101,4	174	33,5	S28	36	74,5	175	24,3
S2	56	76,2	178	24,0	S29	34	104,6	185	30,6
S3	40	85,7	184	25,3	S30	27	90	185	26,3
S4	37	83,3	180	25,7	S31	28	90	176	29,1
S5	35	122,3	186	35,4	S32	52	70	174	23,1
S7	37	103,0	187	29,5	S33	58	95,4	174	31,5
S8	49	98,1	183	29,3	S34	34	102,6	173	34,3
S9	52	95,0	185	27,8	S35	26	58,9	169	20,6
S10	48	96,2	178	30,4	S36	32	91,7	184	27,1
S11	53	110,6	175	36,1	S37	49	84	171	28,7
S12	31	94,9	187	27,1	S38	50	79	183	23,6
S13	27	68,4	176	22,1	S39	52	124	180	38,3
S14	32	111,1	182	33,5	S40	28	75	188	21,2
S15	51	114,3	177	36,5	S41	51	94	180	29,0
S16	49	97,7	185	28,5	S42	47	97	171	33,2
S17	50	92,2	183	27,5	S43	45	98	186	28,3
S18	48	98,4	174	32,5	S44	29	78	177	24,9
S19	27	75,5	172	25,5	S45	36	85	179	26,5
S20	41	92,9	185	27,1	S46	35	99	188	28,0
S21	27	92,8	178	29,3	S47	33	89	179	27,8
S22	32	106,5	167	38,2	S48	41	100	188	28,3
S23	43	80,6	172	27,2	S49	47	78	178	24,6
S24	29	103,9	174	34,3	S50	40	87	171	29,8
S25	48	96,7	175	31,6	S51	47	104,9	180	32,4
S26	48	59,3	171	20,3	S52	45	104	185	30,4
S27	48	83,8	178	26,4					
n = 51	N= 1310	$\bar{h}_{51} = 178,9$ cm	$\sigma_{h_{51}} = 5,7$ cm	$\Delta h_{51} = 167 - 188$ cm	$\sigma_{h_{51}} = 0,785$ cm				

Izvor: Vlastita mjerenja autora, 2015.

Kod slučajnog uzorka od $n = 51$ strojovođe prosječne starosti 41,1 godinu, indeks tjelesne mase u prosjeku iznosi $ITM = 28,8$, što znači da čak 80% njih ima preveliku tjelesnu masu m u odnosu na tjelesnu visinu h .

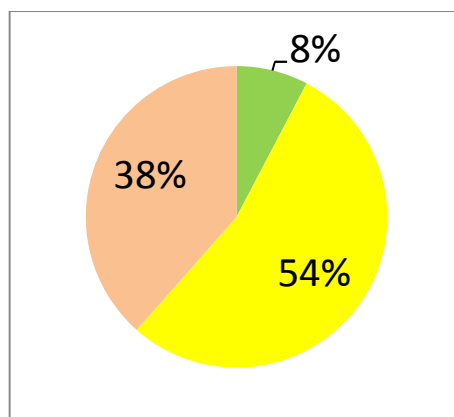
Promotri li se rezultate po dobnom kriteriju, najviše ispitanika s normalnim ITM ima do 29. god., a najmanje njih ima između 30. i 39. god. Najviše ispitanika s prekomjernom tjelesnom masom ima od 30. do 49. god., a najmanje su gojazni oni stariji od 50. god. Najmanju pretjeranu tjelesnu masu imaju ispitanici do 29. god. starosti, dok najvišu pretilost imaju oni stariji od 50. god. Precizniji rezultati su grafički prikazani u četiri dijagrama gdje zelena boja označava postotak ispitanika s normalnim ITM , žuta postotak gojaznih, a roza pretilih:

1. Strojovođe od 20. do 29. godina



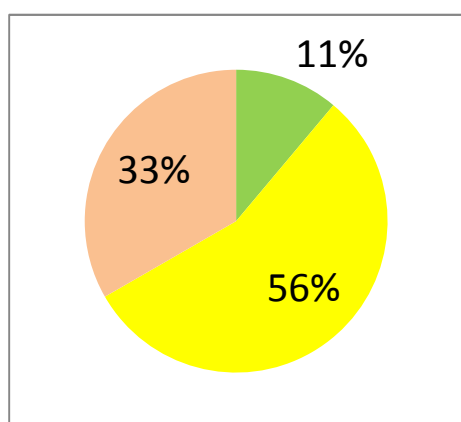
Grafikon 6.1. ITM (20-29. g.)

2. Strojovođe od 30. do 39. godina



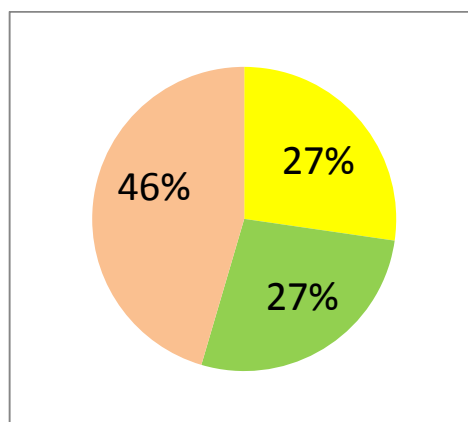
Grafikon 6. 2. ITM (30-39. g.)

3. Strojovođe od 40. do 49. godina



Grafikon 6.3. ITM (40-49. g.)

4. Strojovođe od 50. do 59. godina



Grafikon 6.4. ITM (50-59. g.)

Izvor: Rezultati dobiveni na temelju vlastitih mjerenja, 2015.

ITM može poslužiti za svojevrsno pojednostavljeno određivanje fizičkog napora strojovođe u sjedećem radnom položaju u sagitalnoj ravnini budući da se proračuni parametara potrebnih za vrednovanje fizičkog napora mogu predočiti pomoću regresijske jednadžbe ovisnosti o *ITM* na temelju stvarno izmjerenih dimenzija pojedinih dijelova tijela strojovođa iz slučajnog uzorka i segmentalnih masa m_i dobivenih preko metode Donskog i Zacijorskog [8].

6.3. Određivanje raspona antropomjera za središnjih 90% iz dovoljnog i slučajnog uzorka

Kao što je već prethodno spominjano, a po preporuci Kroemera i Grandjeana [13], kad se planira razmještaj često korištenih ručno posluživanih komandi, poput kočnika, kontrolera brzine, sklopke za vrata, tastera za autostop i budnik, na upravljačkoj ploči, treba paziti da one budu u zoni normalnog dosega ruke za strojovođe iz RH. Kako je nemoguće oblikovati upravljačnicu lokomotive da odgovara apsolutno svim djelatnicima, potrebno je zanemariti ekstremne tjelesne dimenzije, što znači isključivanje 5% najviših i 5% najnižih osoba iz ciljne skupine strojovođa da bi preostalo približno središnjih 90% iz slučajno odabranog i dovoljnog uzorka.¹

U daljnjem tekstu navedeno će se koristiti za svaku pojedinačnu tjelesnu dimenziju na koju se analiza odnosi, a koja predstavlja važnu mjeru za tlocrt upravljačnice i transverzalnu ravninu strojovođe jer nije nužno da najviši ispitanik ima najduže i ostale dijelove tijela, kao i najniži ispitanik najmanje.

U skladu sa spomenutim, kod određivanja raspona stojećih visina za ukupnu populaciju na osnovi približno središnjih 90% iz slučajno odabranog uzorka od 51 strojovođe, isključeno je dvoje najnižih strojovođa do 5 centila (brojevi S22 i S35 iz tablice 6.2.). Dakle, preporučeni rasponi populacije strojovođa za stojeću visinu temeljit će se na rasponu mjerenja uzorka $n = 49$ od ukupnog slučajnog uzorka $n = 51$ strojovođe iz ukupne populacije, što je prema Kovač-Striko dovoljno velik uzorak.

¹ Ekstremni iznosi pojedinih antropomjera izvan raspona iznosa za središnjih 90 % mogu u manjem iznosu kompezirati pomicanjem stolice u odnosu na upravljačku ploču ili promjenom nagiba naslona stolice.

Radi dodatne provjere raspona stojećih visina za središnjih 90 % iz tablice 6.2., upotrijebljeni su izrazi (6.5) i (6.6) od Kroemera i Grandjeana [13], koji povezuju centile c , aritmetičku sredinu uzorka \bar{h}_n i standardnu devijaciju uzorka σ_{h_n} za statičke antropomjere poput stojeće visine h koje podliježu zakonitostima normalne ili Gaussove razdiobe.

$$5,0 \cdot c = \bar{h}_n - 1,65 \cdot \sigma_{h_n} \quad (6.5)$$

$$95,0 \cdot c = \bar{h}_n + 1,65 \cdot \sigma_{h_n} \quad (6.6)$$

Iz izraza (6.5) i (6.6) proizlazi izraz (6.7) za $\Delta h_{90\%}$ kao izračunati raspon stojećih visina središnjih 90% ispitanika iz uzorka.

$$\Delta h_{90\%} = 5,0 \cdot c \div 95,0 \cdot c \quad (6.7)$$

Tablica 6.3. Usporedba slučajno odabranog uzorka od 51 strojovođe i preporučenih središnjih 90% iz uzorka prema Kroemeru i Grandjeanu

Fizikalna veličina			Iznos fizikalne veličine za uzorak n iz ukupne populacije $N = 1310$	
Oznaka	Mjerna jedinica	Napomena		
			$n = 51$	$n = 49 (\approx \Delta 90\%)$
\bar{h}_n	cm	izračunato prema izrazu (6.1)	178,9	179,4
Δh_n	cm	izmjereno, tablica 6.2	167 - 188	171 - 188
$\Delta h_{90\%}$	cm	izračunato prema izrazima (6.5), (6.6) i (6.7)	/	169,5 - 188,4
σ_{h_n}	cm	izračunato prema izrazu (6.2)	5,7	5,4
$\sigma_{h_n}^-$	cm	izračunato prema izrazu (6.3)	0,785	/

Izvor: Vlastita mjerenja i izračuni autora, 2015.

Iz tablice 6.3 vidljivo je da je srednja visina kompletnog uzorka $n = 51$ strojovođe i onog za približno središnjih 90% uzorka gotovo jednaka kada se zaokruži na cijeli broj $\bar{h}_n = 179$ cm. Vidljivo je prihvatljivo odstupanje srednje visine u slučajnom uzorku $n = 51$ u odnosu na očekivani srednji iznos stojeće visine u cijeloj populaciji, što znači da je broj od $n = 51$ strojovođe iz slučajno odabranog uzorka dovoljno velik, pa je slučajni uzorak i dovoljan. Matematičke pogreške, pogreške kod uzorkovanja, kao i granične iznose antropomjera za strojovođe ispod 5-og percentila i iznad 95-og percentila u manjem obujmu moguće je kompenzirati pomoću ergonomske stolice s više stupnjeva podešavanja. Sukladno tome, smanjenje standardne devijacije visine $\sigma_{h_{51}} > \sigma_{h_{49}}$ uzrokuje dodatno smanjenje odstupanja aritmetičke sredine $\sigma_{\bar{h}_{51}} > \sigma_{\bar{h}_{49}}$ iste srednje visine $\bar{h}_n = 179$ cm u odnosu na očekivanu srednju vrijednost visine za ukupnu populaciju od 1310 strojovođa, što znači da je dobiveni broj $n = 49$ strojovođa za približno središnjih 90% od uzorka dovoljno velik kao i cijeli slučajno odabrani uzorak iz sveukupne populacije.

Međutim, kod dizajniranja dimenzija upravljačnica u RH potrebno koristiti izračunati raspon izmjerenih visina strojovođa $\Delta h_{46} = 169,5 - 188,4$ cm iz tablice 6.3, što je i prema Kroemeru i Grandjeanu [13] približno središnjih 90% od uzorka i približno identično rasponu visina za središnjih 90% od sveukupne populacije.

6.4. Određivanje segmentalnih dužina, masa i sila

Kako se harmonijska analiza Zederbauera i Muftića [4] odnosi na mlade i zdrave ispitanike te daje univerzalne harmonijske brojeve za muškarce i žene², a strojovođe iz slučajno odabranog uzorka prosječne su starosti 41,1 godinu, s povećanim ITM (28,8) i manjom visinom u odnosu na maksimalnu visinu kod muškaraca u 30-im godinama, u radu se antropomjere ispitanika ne računaju iz stojeće visine h i mase m po harmonijskoj metodi Zederbauera i Muftića, nego se svaka antropomjera mjeri za svakog ispitanika posebno i računa se raspon u centralnih 90 % za slučajni i dovoljni uzorak.

² U stvarnosti se harmonijski brojevi za muškarce i žene razlikuju.

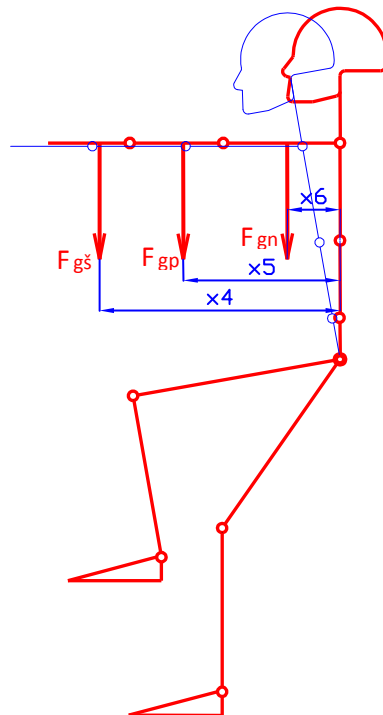
Tablica 6.4. pokazuje segmentalne dužine dijelova tijela za n strojovođa iz slučajno odabranog uzorka za segmente tijela koji se nalaze izvan statičkog ravnotežnog sjedećeg ili stojećeg položaja (prikazanog na slici 6.2.), tj. šake (h_4), podlaktice (h_5) i nadlaktice (h_6) horizontalno ispruženih ruku (h_r), a koje su izračunate iz izmjerenih antropomjera n strojovođa.

Tablica 6.4. Izmjerene segmentalne dužine šake, podlaktice i nadlaktice za 51 strojovođu iz slučajno odabranog uzorka

Red.br.	ITM	h	h_4	h_5	h_6	h_r	Red.br.	ITM	h	h_4	h_5	h_6	h_r
	kg/m ²	cm	cm	cm	cm	cm		kg/m ²	cm	cm	cm	cm	cm
S21	29,3	178	20	28	30	78	S48	28,3	188	22	30	32	84
S30	26,3	185	21	29	29	79	S23	27,2	172	19	24	31	74
S40	21,2	188	20	30	27	77	S52	30,4	185	19	30	33	82
S35	20,6	169	19	27	25	71	S42	33,2	171	19	26	27	72
S13	22,1	176	19	29	29	77	S49	24,6	178	20	29	29	78
S19	25,5	172	19	28	27	74	S51	32,4	180	20	30	25	75
S24	34,3	174	20	28	25	73	S10	30,4	178	20	28	27	75
S44	24,9	177	20	29	28	77	S16	28,5	185	22	29	35	86
S31	29,1	176	19	28	30	77	S25	31,6	175	19	28	26	73
S14	33,5	182	21	29	31	81	S26	20,3	171	19	29	28	76
S12	27,1	187	21	29	31	81	S27	26,4	178	18	25	31	74
S5	35,4	186	20	29	32	81	S8	29,3	183	20	29	30	79
S47	27,8	179	20	30	28	78	S37	28,7	171	21	27	27	75
S22	38,2	167	19	27	27	73	S18	32,5	174	18	29	27	74
S46	28,0	188	22	29	30	81	S38	23,6	183	21	26	35	82
S4	25,7	180	19	26	33	78	S33	31,5	174	21	28	31	80
S36	27,1	184	21	30	32	83	S15	36,5	177	20	29	27	76
S29	30,6	185	21	28	32	81	S9	27,8	185	20	30	31	81
S34	34,3	173	20	28	30	78	S32	23,1	174	19	29	30	78
S45	26,5	179	20	28	28	76	S1	33,5	174	19	28	28	75
S28	24,3	175	20	26	27	73	S11	36,1	175	19	27	28	74
S7	29,5	187	21	27	35	83	S17	27,5	183	21	28	32	81
S3	25,3	184	23	27	30	80	S39	38,3	180	19	29	28	76
S43	28,3	186	21	29	29	79	S41	29,0	180	19	29	27	75
S50	29,8	171	19	29	30	78	S2	24,0	178	21	26	28	75
S20	27,1	185	21	27	31	79							

Izvor: Izračun na temelju vlastitih mjerenja autora, 2015.

Vidljivo je da 2 strojovođa s ekstremnim iznosima visine ispod 5 centila, tj. izvan središnjih 90% iz preporučenog uzorka po napatku Kroemera i Grandjena [13], ispitanici S22 i S35, nisu jedni te isti strojovođe ako se promatra strojovođe s ekstremnim iznosom indeksa tjelesne mase ITM. Iz toga razloga je za proračun lumbalnog momenta M_l na temelju segmentalnih masa dijelova tijela koji su u hipotetski najnepovoljnijem položaju ispruženih ruku izvan statičkog ravnotežnog položaja prema slici 6.2., obuhvaćeno svih $n = 50$ strojovođa iz slučajno odabranog uzorka.



Slika 6.2. Štapni biomehantički 2D model strojovođe u sagitalnoj ravnini za sjedeći ili stojeći ravnotežni položaj, u najnepovoljnijem hipotetskom statičkom sjedećem ili stojećem radnom položaju s obje ruke horizontalno ispružene u zoni maksimalnog dosega

Izvor: Preuzeto od Sumpor, D., 2009. [18]

U tablici 6.5. prikazani su rezultati izračuna segmentalnih masa šake, podlaktice i nadlaktice dobiveni preko regresijske metode Donskog i Zacijorskog za slučajno odabran uzorak od 51 strojovođe.

Tablica 6.5 Segmentalne mase šake, podlaktice i nadlaktice za 51 strojovođu iz slučajno odabranog uzorka

Red.br.	ITM	h	m	m ₄	m ₅	m ₆	Red.br.	ITM	h	m	m ₄	m ₅	m ₆
	kg/m ²	cm	kg	kg	kg	kg		kg/m ²	cm	kg	kg	kg	kg
S21	29,3	178	92,8	0,53	1,46	2,56	S48	28,3	188	100	0,57	1,55	2,75
S30	26,3	185	90	0,53	1,41	2,46	S23	27,2	172	80,6	0,47	1,29	2,21
S40	21,2	188	75	0,48	1,19	2,00	S52	30,4	185	104	0,58	1,61	2,88
S35	20,6	169	58,9	0,39	0,98	1,57	S42	33,2	171	97	0,53	1,53	2,71
S13	22,1	176	68,4	0,44	1,11	1,84	S49	24,6	178	78	0,48	1,24	2,12
S19	25,5	172	75,5	0,46	1,21	2,06	S51	32,4	180	104,9	0,58	1,63	2,92
S24	34,3	174	103,9	0,56	1,62	2,91	S10	30,4	178	96,2	0,54	1,51	2,67
S44	24,9	177	78	0,47	1,24	2,12	S16	28,5	185	97,7	0,56	1,52	2,69
S31	29,1	176	90	0,52	1,42	2,49	S25	31,6	175	96,7	0,54	1,52	2,69
S14	33,5	182	111,1	0,60	1,72	3,10	S26	20,3	171	59,3	0,40	0,98	1,57
S12	27,1	187	94,9	0,55	1,48	2,60	S27	26,4	178	83,8	0,50	1,33	2,29
S5	35,4	186	122,3	0,65	1,87	3,43	S8	29,3	183	98,1	0,56	1,53	2,71
S47	27,8	179	89	0,52	1,40	2,45	S37	28,7	171	84	0,49	1,34	2,32
S22	38,2	167	106,5	0,56	1,67	3,01	S18	32,5	174	98,4	0,54	1,54	2,74
S46	28,0	188	99	0,57	1,53	2,72	S38	23,6	183	79	0,49	1,25	2,14
S4	25,7	180	83,3	0,50	1,32	2,27	S33	31,5	174	95,4	0,53	1,50	2,65
S36	27,1	184	91,7	0,54	1,43	2,52	S15	36,5	177	114,3	0,60	1,77	3,21
S29	30,6	185	104,6	0,58	1,62	2,90	S9	27,8	185	95,0	0,55	1,48	2,61
S34	34,3	173	102,6	0,56	1,60	2,87	S32	23,1	174	70	0,44	1,13	1,89
S45	26,5	179	85	0,50	1,34	2,33	S1	33,5	174	101,4	0,55	1,59	2,83
S28	24,3	175	74,5	0,46	1,20	2,02	S11	36,1	175	110,6	0,59	1,72	3,11
S7	29,5	187	103,0	0,58	1,59	2,85	S17	27,5	183	92,2	0,54	1,44	2,53
S3	25,3	184	85,7	0,51	1,35	2,33	S39	38,3	180	124	0,64	1,91	3,50
S43	28,3	186	98	0,56	1,52	2,70	S41	29,0	180	94	0,54	1,47	2,60
S50	29,8	171	87	0,50	1,38	2,41	S2	24,0	178	76,2	0,47	1,22	2,06
S20	27,1	185	92,9	0,54	1,45	2,55							

Izvor: Izračun na temelju vlastitih mjerenja autora, 2015.

U tablici 6.6. prikazani su rezultati izračuna sila teža za sve segmentalne mase iz tablice 6.5. (šake, podlaktice i nadlaktice) izvan ravnotežnog položaja za sve strojovođe iz slučajno odabranog uzorka, pomoću izraza (6.8).

$$F_{gzi} = m_i \cdot 9,81 \text{ [N]} \quad (6.8)$$

Tablica 6.6. Sile teže segmentalnih masa šake, podlaktice i nadlaktice za slučajno odabran uzorak od 51 strojovođe

Red. br.	ITM	h	m	F _{g4}	F _{g5}	F _{g6}	Red. br.	ITM	h	m	F _{g4}	F _{g5}	F _{g6}
	kg/m ²	cm	kg	N	N	N		kg/m ²	cm	kg	N	N	N
S21	29,3	178	92,8	5,19	14,29	25,16	S48	28,3	188	100	5,62	15,20	27,02
S30	26,3	185	90	5,21	13,81	24,15	S23	27,2	172	80,6	4,66	12,63	21,71
S40	21,2	188	75	4,73	11,65	19,63	S52	30,4	185	104	5,71	15,80	28,28
S35	20,6	169	58,9	3,84	9,58	15,38	S42	33,2	171	97	5,22	14,96	26,58
S13	22,1	176	68,4	4,29	10,85	18,00	S49	24,6	178	78	4,67	12,19	20,79
S19	25,5	172	75,5	4,48	11,90	20,21	S51	32,4	180	104,9	5,65	15,98	28,68
S24	34,3	174	103,9	5,51	15,91	28,54	S10	30,4	178	96,2	5,31	14,77	26,16
S44	24,9	177	78	4,65	12,20	20,81	S16	28,5	185	97,7	5,48	14,90	26,42
S31	29,1	176	90	5,06	13,91	24,38	S25	31,6	175	96,7	5,28	14,88	26,39
S14	33,5	182	111,1	5,91	16,84	30,46	S26	20,3	171	59,3	3,89	9,62	15,45
S12	27,1	187	94,9	5,42	14,49	25,54	S27	26,4	178	83,8	4,87	13,01	22,50
S5	35,4	186	122,3	6,37	18,38	33,66	S8	29,3	183	98,1	5,46	14,98	26,59
S47	27,8	179	89	5,07	13,74	24,01	S37	28,7	171	84	4,76	13,12	22,74
S22	38,2	167	106,5	5,49	16,35	29,50	S18	32,5	174	98,4	5,32	15,13	26,92
S46	28,0	188	99	5,58	15,06	26,73	S38	23,6	183	79	4,79	12,28	20,95
S4	25,7	180	83,3	4,89	12,92	22,30	S33	31,5	174	95,4	5,21	14,70	26,03
S36	27,1	184	91,7	5,25	14,07	24,67	S15	36,5	177	114,3	5,93	17,35	31,54
S29	30,6	185	104,6	5,73	15,88	28,46	S9	27,8	185	95,0	5,39	14,52	25,62
S34	34,3	173	102,6	5,45	15,73	28,19	S32	23,1	174	70	4,32	11,10	18,53
S45	26,5	179	85	4,93	13,17	22,83	S1	33,5	174	101,4	5,43	15,55	27,81
S28	24,3	175	74,5	4,49	11,73	19,83	S11	36,1	175	110,6	5,77	16,85	30,50
S7	29,5	187	103,0	5,71	15,63	27,93	S17	27,5	183	92,2	5,25	14,15	24,85
S3	25,3	184	85,7	5,04	13,22	22,90	S39	38,3	180	124	6,33	18,69	34,32
S43	28,3	186	98	5,51	14,94	26,48	S41	29,0	180	94	5,27	14,44	25,46
S50	29,8	171	87	4,87	13,54	23,63	S2	24,0	178	76,2	4,60	11,94	20,25
S20	27,1	185	92,9	5,31	14,22	25,00							

Izvor: Izračun na temelju vlastitih mjerenja autora, 2015.

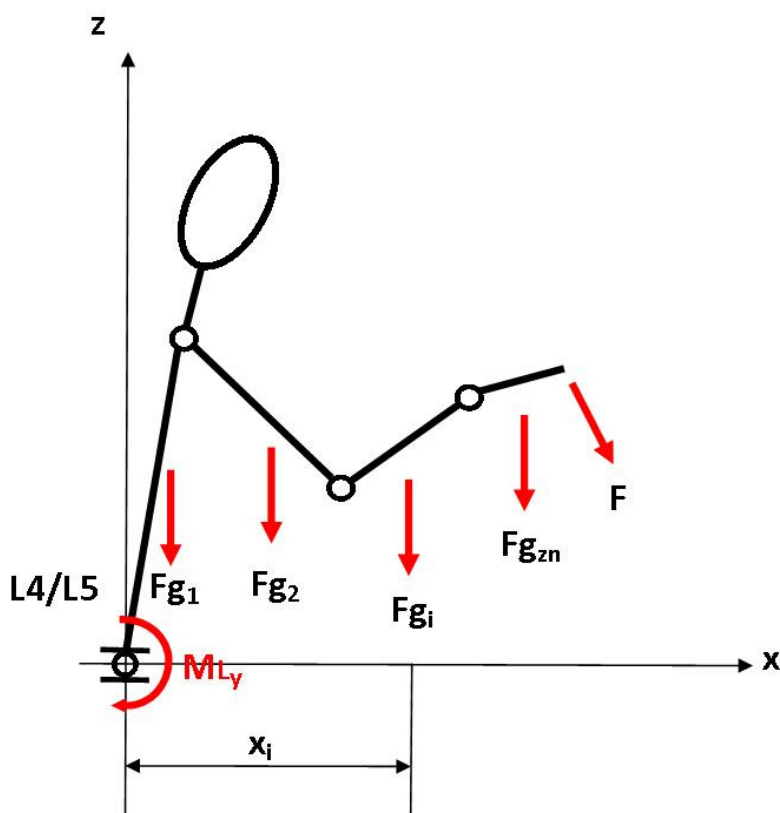
Dužine pojedinih segmenata tijela koji su izvan ravnotežnog sjedećeg ili stojećeg radnog položaja dobivene su mjerenjima strojovođa, a njima pripadajuće mase na temelju poznate visine h i mase m .

To je preduvjet za statiku krutih tijela primijenjenu na skelet strojovođa jer se, uz poznata težišta sila teža segmentalnih masa strojovođa, može procijeniti lumbalni moment M_l na način da se sve sile, što djeluju na tijelo strojovođe u određenom statičkom radnom položaju, reduciraju u jednu točku ljudskog tijela [2,3,4].

6.5. Metodologija izračuna lumbalnog momenta

Kada se skup svih sila koje djeluju na strojovođu reducira u bilo koju točku ljudskog tijela u nekoj željenoj ravnini, svodi se na rezultirajuću silu i rezultirajući spreg sila, odnosno moment. To se može primijeniti i na sile teže F_{gzi} koje stvaraju segmentalne mase m_i pojedinih dijelova tijela [2,3,4].

Postoje dvodimenzionalni 2D i trodimenzionalni 3D modeli za izračun lumbalnog momenta M_l . Kod trodimenzionalnih modela oponaša se stvarni radni proces analiziranjem zamrznutih 2D položaja tijela s različitim vremenskim odmacima. Dakle, za stvaranje 3D modela ispitanika [2] potrebno izračunati lumbalni moment M_l reduciran na jednu točku za 2D štapni model u sagitalnog ravnini prema slici 6.3.



Slika 6.3. Dvodimenzionalni štapni model ispitanika u sagitalnoj ravnini

Izvor: Sumpor, D., Taboršak, D., Jurum-Kipke, J.: 2015 [19]

Iznos ili intenzitet lumbalnog momenta M_l dobiva se redukcijom svih sila teža segmentalnih masa u ishodište koordinatnog sustava xy , a dobiva se prema izrazu (6.9) za dvodimenzionalni štapni model ispitanika u sagitalnoj ravnini prikazan na slici 6.3. [19].

$$M_{l_y} = \sum_{i=1}^n F_{gzi} \cdot x_i \quad (6.9)$$

Prema Mairiauxu i suradnicima te Muftiću i suradnicima [2,3,4,5,14], ishodište koordinatnog sustava xy koje predstavlja točku redukcije lumbalnog momenta M_l pojednostavljeno je na razinu između četvrtog (predzadnjeg) L4 i petog (zadnjeg) L5 kralješka u pokretnom dijelu kralježnice gledajući odozgo prema dolje, tj. na razini između četvrtog i petog slabinskog (lumbalnog) kralježaka L4/L5.

6.6. Rezultati mjerenja lumbalnog momenta kod 51 strojovođe

U skladu s najnepovoljnijim hipotetskim ravnotežnim statičkim radnim položajem, s obje ruke horizontalno ispružene u zoni maksimalnog dosega, a prema slici 6.3 za štapni biomehanički 2D model strojovođe u sagitalnoj ravnini, u tablici 6.7. izračunati su lumbalni momenti M_l za sve strojovođe iz slučajno odabranog uzorka prema izrazu (6.9). Također su i uspoređeni iznosi izračunatog lumbalnog momenta M_l za svakog strojovođu pojedinačno s iznosima lumbalnog momenta $M_l = M_l(ITM)$ izračunatog prema dobivenoj regresijskoj funkciji (7.1) iz dijagrama na slici 6.4. čime je dokazano da je za 61% ispitanika iz slučajno odabranog uzorka od $n = 51$ strojovođe pogreška kod iznosa M_l^* dobivenog po regresijskoj funkciji (7.1) manja od 10%.

Tablica 6.7. Rezultati mjerenja lumbalnog momenta M_l za 51 strojovođu (M_l^* je izračunat po regresijskoj jednadžbi $M_l=M_l(ITM)$)

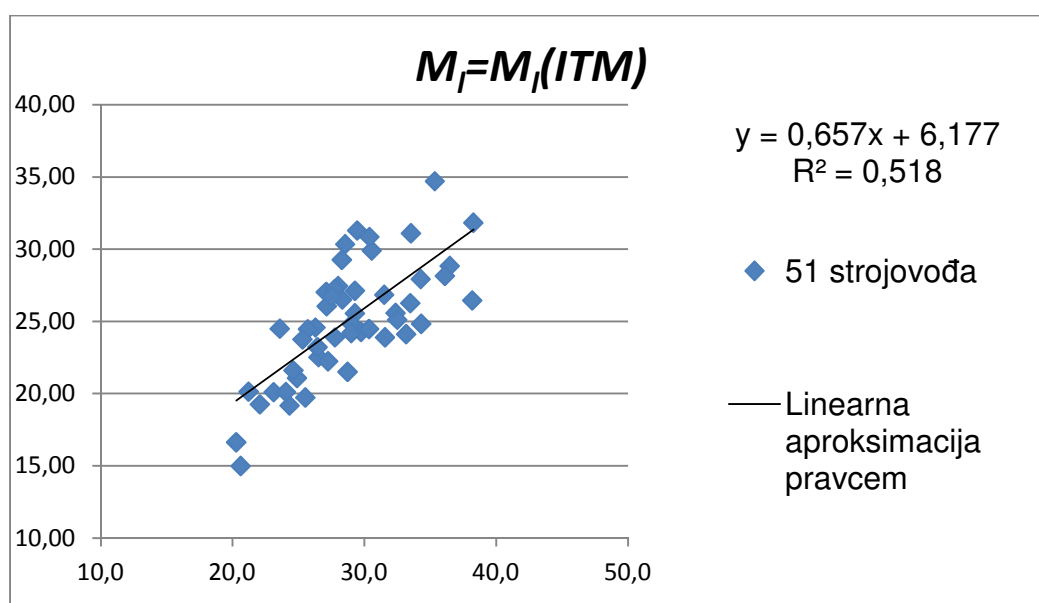
ID	ITM	F_{g4}	k_4	F_{g5}	k_5	F_{g6}	k_6	M_l	M_l^*	ΔM_l	ID	ITM	F_{g4}	k_4	F_{g5}	k_5	F_{g6}	k_6	M_l	M_l^*	ΔM_l
	kg/m ²	N	m	N	m	N	m	Nm	Nm	%		kg/m ²	N	m	N	m	N	m	Nm	Nm	%
S21	29,3	5,19	0,65	14,29	0,42	25,16	0,13	25,57	25,42	0,59	S48	28,3	5,62	0,70	15,20	0,45	27,02	0,28	29,28	24,77	15,41
S30	26,3	5,21	0,66	13,81	0,41	24,15	0,26	24,59	23,45	4,61	S23	27,2	4,66	0,62	12,63	0,41	21,71	0,25	22,25	24,08	-8,22
S40	21,2	4,73	0,64	11,65	0,40	19,63	0,26	20,15	20,12	0,13	S52	30,4	5,71	0,70	15,80	0,46	28,28	0,28	30,86	26,14	15,30
S35	20,6	3,84	0,59	9,58	0,37	15,38	0,23	14,99	19,73	-31,57	S42	33,2	5,22	0,60	14,96	0,38	26,58	0,24	24,13	27,97	-15,94
S13	22,1	4,29	0,65	10,85	0,41	18,00	0,26	19,26	20,68	-7,37	S49	24,6	4,67	0,65	12,19	0,41	20,79	0,26	21,62	22,35	-3,39
S19	25,5	4,48	0,62	11,90	0,39	20,21	0,25	19,74	22,94	-16,25	S51	32,4	5,65	0,62	15,98	0,38	28,68	0,25	25,59	27,45	-7,26
S24	34,3	5,51	0,60	15,91	0,37	28,54	0,24	24,84	28,72	-15,64	S10	30,4	5,31	0,62	14,77	0,39	26,16	0,25	24,49	26,13	-6,67
S44	24,9	4,65	0,64	12,20	0,40	20,81	0,26	21,09	22,53	-6,86	S16	28,5	5,48	0,72	14,90	0,47	26,42	0,29	30,36	24,93	17,87
S31	29,1	5,06	0,65	13,91	0,42	24,38	0,26	24,83	25,27	-1,74	S25	31,6	5,28	0,61	14,88	0,38	26,39	0,24	23,91	26,92	-12,61
S14	33,5	5,91	0,68	16,84	0,43	30,46	0,27	31,11	28,21	9,31	S26	20,3	3,89	0,64	9,62	0,40	15,45	0,26	16,64	19,50	-17,21
S12	27,1	5,42	0,68	14,49	0,43	25,54	0,27	27,04	24,01	11,21	S27	26,4	4,87	0,63	13,01	0,42	22,50	0,25	23,23	23,55	-1,40
S5	35,4	6,37	0,68	18,38	0,44	33,66	0,27	34,72	29,40	15,32	S8	29,3	5,46	0,66	14,98	0,42	26,59	0,27	27,13	25,42	6,31
S47	27,8	5,07	0,65	13,74	0,41	24,01	0,26	23,90	24,43	-2,21	S37	28,7	4,76	0,62	13,12	0,39	22,74	0,24	21,51	25,05	-16,44
S22	38,2	5,49	0,61	16,35	0,39	29,50	0,24	26,46	31,27	-18,15	S18	32,5	5,32	0,63	15,13	0,39	26,92	0,25	25,12	27,53	-9,59
S46	28,0	5,58	0,67	15,06	0,42	26,73	0,27	27,47	24,58	10,52	S38	23,6	4,79	0,69	12,28	0,46	20,95	0,27	24,50	21,68	11,54
S4	25,7	4,89	0,66	12,92	0,44	22,30	0,27	24,47	23,07	5,74	S33	31,5	5,21	0,67	14,70	0,43	26,03	0,27	26,85	26,88	-0,09
S36	27,1	5,25	0,70	14,07	0,45	24,67	0,28	27,04	23,97	11,35	S15	36,5	5,93	0,63	17,35	0,39	31,54	0,25	28,85	30,15	-4,50
S29	30,6	5,73	0,68	15,88	0,44	28,46	0,27	29,92	26,26	12,24	S9	27,8	5,39	0,68	14,52	0,44	25,62	0,27	27,24	24,41	10,38
S34	34,3	5,45	0,65	15,73	0,42	28,19	0,26	27,94	28,70	-2,72	S32	23,1	4,32	0,66	11,10	0,42	18,53	0,27	20,11	21,37	-6,24
S45	26,5	4,93	0,63	13,17	0,40	22,83	0,25	22,53	23,61	-4,77	S1	33,5	5,43	0,63	15,55	0,40	27,81	0,25	26,27	28,18	-7,26
S28	24,3	4,49	0,60	11,73	0,38	19,83	0,24	19,18	22,16	-15,52	S11	36,1	5,77	0,62	16,85	0,40	30,50	0,25	28,16	29,90	-6,21
S7	29,5	5,71	0,70	15,63	0,47	27,93	0,28	31,31	25,53	18,45	S17	27,5	5,25	0,68	14,15	0,44	24,85	0,27	26,71	24,27	9,17
S3	25,3	5,04	0,65	13,22	0,42	22,90	0,26	23,76	22,81	4,03	S39	38,3	6,33	0,64	18,69	0,40	34,32	0,26	31,84	31,32	1,64
S43	28,3	5,51	0,66	14,94	0,41	26,48	0,26	26,52	24,79	6,54	S41	29,0	5,27	0,63	14,44	0,39	25,46	0,25	24,20	25,24	-4,31
S50	29,8	4,87	0,66	13,54	0,42	23,63	0,27	24,29	25,72	-5,93	S2	24,0	4,60	0,62	11,94	0,39	20,25	0,24	20,12	21,98	-9,21
S20	27,1	5,31	0,66	14,22	0,43	25,00	0,26	26,06	24,01	7,87											

Izvor: Izračun na temelju vlastitih mjerenja autora, 2015.

6.7. Ovisnost lumbalnog momenta i indeksa tjelesne mase strojovođa

Lumbalni moment M_l , prema regresijskoj funkciji (7.1) dobivenoj iz dijagrama na slici 6.4., ima korelacijsku ovisnost srednje jačine $M_l = M_l(ITM)$, uz koeficijent korelacije $R = 0,72$, a odnosi se na štapni biomehanički 2D model strojovođe u sagitalnoj ravnini prema slici 6.3., u najnepovoljnijem hipotetskom ravnotežnom statičkom radnom položaju, s obje ruke horizontalno ispružene u zoni maksimalnog doseg.

$$M_l = 0,657 \cdot ITM + 6,177 \quad (7.1)$$



Slika 6.4. Funkcijska ovisnost lumbalnog momenta M_l o indeksu tjelesne mase ITM za 51 strojovođu iz slučajno odabranog uzorka

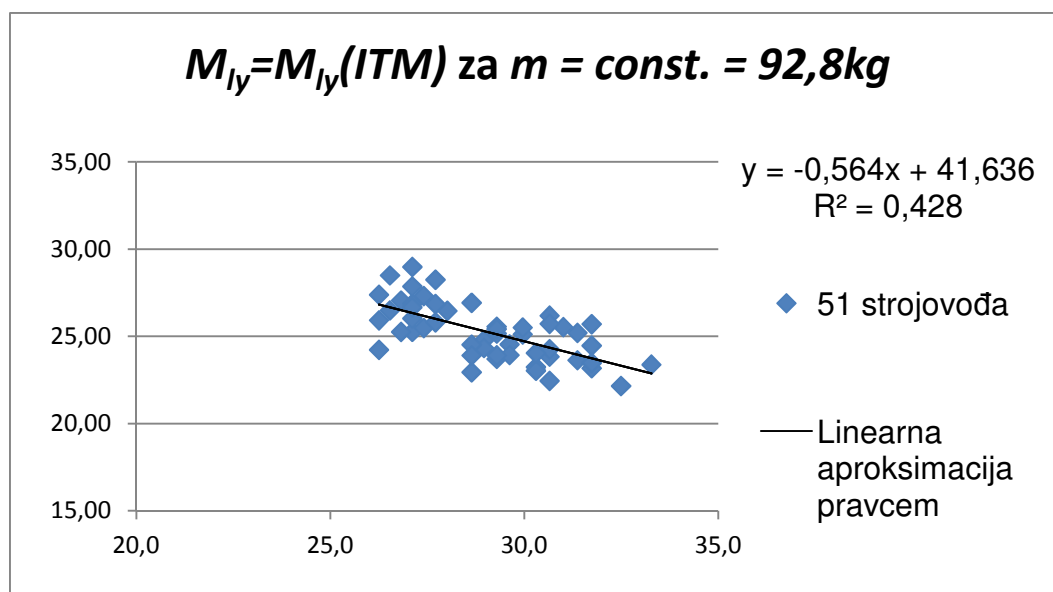
Izvor: Dobiveno vlastitim mjerenjima autora, 2015.

Regresijska funkcija (7.1) prikladna je za brz i relativno točan izračun lumbalnog momenta M_l kod svih 1310 strojovođa u RH uz poznavanje samo stojeće visine h i tjelesne mase m , a bez potrebe dizajniranja 3D biomehaničkog modela u virtualnom radnom okolišu kojim bi se dobila individualna rješenja za svakog ispitanika pojedinačno. Time je dokazana funkcijska ovisnost lumbalnog momenta M_l o indeksu tjelesne mase ITM [5] što znači da je za isti ravnotežni statički sjedeći položaj prema slici 6.2. za sve strojovođe različit iznos lumbalnog momenta M_l .

6.8. Ovisnost lumbalnog momenta o promjeni tjelesne visine u okolnostima iste tjelesne mase

Prema dijagramu na slici 6.5. u okolnostima iste tjelesne mase, za koju je uzeta srednja masa $n = 51$ strojovođe iz slučajno odabranog i dovoljnog uzorka, $m = 92,8$ kg, a za raspon izmjerenih tjelesnih visina $h = 167 - 188$ cm, lumbalni moment M_l ima linearnu korelacijsku ovisnost srednje jačine $M_{ly}=M_{ly}(ITM)$ pri čemu koeficijent korelacije prema regresijskoj funkciji (7.2) iznosi $R = 0,654$.

$$M_l = -0,564 \cdot ITM + 41,63 \quad (7.2)$$



Slika 6.5. Funkcijska ovisnost lumbalnog momenta M_l o promjeni visine za istu tjelesnu masu za 51 strojovođu iz slučajno odabranog uzorka

Izvor: Dobiveno vlastitim mjerenjima autora, 2015.

Uz pretpostavku iste tjelesne mase ispitanika jednake srednjem iznosu mase za cijeli slučajni uzorak, $m = const. = 92,8$ kg, povećanje iznosa tjelesne visine u većih ispitanika uzrokuje smanjenje ITM te povećanje lumbalnog momenta M_l , a za najnepovoljniji hipotetski ravnotežni statički radni položaj.

7. Stanje upravljačnica lokomotiva i motornih garnitura u RH

U radu se razmatraju dizelske lokomotive serija HŽ 2044 (podserija 000), HŽ 2062 (000, 100), HŽ 2063 (000), električne lokomotive serija HŽ 1141 (000, 100, 300) i HŽ 1142 (000), elektromotorni vlakovi serija HŽ 6111 i HŽ 6112 te dizelmotorni vlakovi serija HŽ 7121 (000, 100), HŽ 7122 (100) i HŽ 7123 (000).

Već je prethodno istaknuto koliko je važno da se smještaj svih potrebnih komandi, naročito onih vezanih uz promjenu i održavanje brzine (akceleratora, kočnika i budnika), za posluživanje tijekom radnog vremena u ravnotežnom sjedećem položaju, učini dostupnim strojovođi u njegovom normalnom doseg ruku i unutar vidnog polja strojovođe bez potrebe za okretanjem glave, kako bi se osigurala njihova dostupnost i preglednost i ne bi ugrozila sigurnost odvijanja prometa.

U tom smislu nije dovoljno propisati da se ručni kontroler zračne kočnice vlaka mora nalaziti na desnoj strani upravljačke ploče, a upravljački kontroler elektromotornog vlaka na lijevoj strani, a za njihov se položaj pozivati na standard Međunarodne željezničke unije (*franc. Union Internationale des Chemins de fer, UIC*) 612 [20]. Također, ni uvođenje tuđih standarda za dizajniranje upravljačnica nije zadovoljavajuće rješenje ukoliko se ne uzmu u obzir iskustva i navike strojovođa iz RH i utjecaj istoga na vrijeme reakcije [5].

Prema Woodson W.E., Tillman B. i Tillman P. preporučeno je da se ručno posluživanim komandama upravlja pokretima ruke isključivo prema naprijed i nazad, a ne u bočnim smjerovima, koje se trebaju nalaziti neposredno ispred strojovođe kako bi opcija ubrzavanja bila nasuprot opciji kočenja [21].

Često korištene komande poput raznih tipkala, ručica, prekidača, sklopki i regulatora kod svih spomenutih DL i DMV serije HŽ 7121 (000) proizvođača Đure Đakovića i HŽ 7122 (100) proizvođača Kalmar & Fiat se tijekom vožnje ne nalaze u normalnom doseg ruke što bitno utječe na stvaranje dodatnog fizičkog opterećenja za vrijeme njihovog posluživanja, a isto je i sa svim bitnim svjetlosnim indikatorima koje da bi uočili strojovođe moraju okrenuti glavu.

U upravljačnicama svih na početku pobrojanih lokomotiva i motornih vlakova postoje jedna, dvije ili maksimalno tri nožne pendale, pri čemu se prva pendala s lijeva koristi za posluživanje budnika, a ako postoje i ostale pendale, uobičajeno je da se u sredini nalazi pjeskarnik, a s desne strane lokomotivska sirena.

Loš raspored tastera za posluživanje budnika i AS sustava koji su izvan normalnog dosega ruke strojovođa primijećen je kod svih promatranih DL i EL za vuču putničkih kompozicija. U njima se budnik poslužuje putem najčešće lijeve nožne pendale te se njegov svjetlosni indikator kod DL ne nalazi u vidnom polju strojovođe kao što je to slučaj za indikator AS sustava.

Kod DMV serije HŽ 7121 podserije 000 obrnut je redoslijed pendala za budnik i lokomotivsku sirenu pa se budnik poslužuje desnom, a lokomotivska sirena lijevom nogom što ponekad djeluje zbunjujuće za strojovođe. U podseriji 100 iste serije DMV promijenjen je taj raspored te je uz proširenje nožne pendale za budnik dodana i opcija posluživanja istog lijevom rukom na upravljačkoj ploči unutar normalnog dosega ruke.

Jako je bitno da su obje komande za posluživanje budnika za istu stranu tijela, tj. za lijevu nogu i za lijevu ruku, jer s lijevim ekstremitetima upravlja desna strana mozga pa je promjena posluživanja budnika ruka – noga brza i spontana.

Kod DMV serije HŽ 7122 (100) proizvođača Kalmar & Fiat i svih promatranih EMV ne postoji taster za budnik na upravljačkoj ploči u normalnom dosegu ruku, ali je njegov svjetlosni indikator moguće vidjeti bez potrebe za zakretanjem glave. Kod spomenutog DMV nedostatak je i nepostojanje AS sustava u upravljačnici što uzrokuje subjektivni osjećaj nesigurnosti u strojovođa (posebice tijekom prijevoza putnika) i pojačano psihičko radno opterećenje [5].

Kod nagibnog DMV serije HŽ 7123 (000) proizvođača Bombardier Transportation postoji široka centralno pozicionirana pendala za posluživanje budnika lijevom nogom bez potrebe zakretanja stolice (u slučaju grča u lijevoj nozi vozača) te dodatna mogućnost posluživanja budnika palcem lijeve ruke putem tastera na vrhu ručice kontrolera unutar normalnog dosega ruke. Također, taster za posluživanje budnika se zajedno s drugim potrebnim komandama nalazi uz oba

bočna prozora kako bi se moglo upravljati iz stojećeg radnog položaja prije i tijekom početka pokretanja vlaka.

Kako je prethodno dokazano, povećani iznosi lumbalnih momenata M_l kod pretilih i gojaznih strojovođa koji čine 80% razmatranog slučajnog i dovoljnog uzorka od 51 strojovođe, u kombinaciji s ergonomski neoblikovanim stolicama koje imaju premalo stupnjeva podešavanja prema individualnim antropomjerama strojovođa u velikoj većini vučnih vozila (osim nagibnih DMV serije HŽ 7123 000) znatno utječu na fizički napor strojovođe.

Kada je u pitanju smještaj radne stolice unutar upravljačnice, njena udobnost i mogućnost individualnog podešavanja, potpuno neprilagođene su stolice u svim promatranim dizelskim i električnim lokomotivama te DMV serije HŽ 7122 (100). Njih karakterizira loša pozicioniranost unutar upravljačnice, nedostatak anatomskog oblikovanja (osim kod EL) i potrebne amortizacije (kod svih DL), nemogućnost podešavanja naslona za ruke i glavu te relativno malen broj stupnjeva podešavanja.

Rješenje problema pravilnog pozicioniranja svih potrebnih često korištenih komandi na upravljačkoj ploči i pitanja vezanih uz radnu stolicu u upravljačnicama lokomotiva i/ili motornih garnitura nalazi se u uspostavi sustava povratnih informacija između strojovođa kao izvršnih djelatnika i tehničkog osoblja koje projektira upravljačnice, prometna sredstva, ali i prometne procese. Takve informacije omogućile bi tvrtki operatera da, uz minimalne sigurnosne zahtjeve propisane zakonskom regulativom, izvršnom dokumentacijom i uvjetima iz kolektivnog ugovora strojovođa, postavi i dodatne zahtjeve proizvođačima lokomotiva i motornih garnitura radi smanjivanja ukupnog psihofizičkog opterećenja strojovođa maksimalnom prilagodbom njihovim potrebama [5].

U tu svrhu prilikom dizajniranja radnog okoliša upravljačnica u RH trebalo bi se voditi sljedećim smjernicama:

- ergonomičnost, osna simetričnost i klimatiziranost upravljačnice s blago zaobljenom upravljačkom pločom;
- bolja preglednosti i dostupnost upravljačkih elemenata i elemenata vizualnog nadzora unutar vidnog polja uz eliminaciju potrebe za zakretanjem glave;
- ugodno osvjetljenje svjetlosnih indikatora i upravljačnice noću;

- postojanje ergonomične višenamjenske ručice (budnik, akcelerator, kočnik) za posluživanje u normalnom doseg ruke iz sjedećeg radnog položaja u svim serijama i modelima lokomotiva i/ili motornih garnitura uvijek na istoj strani i na istom mjestu na svim upravljačkim pločama;
- višestruko posluživanje budnika nogom i/ili rukom (uvijek za istu stranu tijela), a po mogućnosti i postojanje tastera za posluživanje budnika rukom uz lijevi i desni prozor u uvjetima kada nema kamera i vanjskih retrovizora ili su isti negrijani ili neispravni;
- postojanje kamera u boji ili grijanih retrovizora koji pokrivaju mrtvi kut;
- postojanje ergonomski oblikovane stolice smještene u sredini upravljačnice sa sedam stupnjeva podešavanja, koji se prema Sumporu D. [22] odnose na podešavanje visine sjedala, nagiba sjedala, nagiba naslona sjedala, visine naslona za vrat, visine i nagiba naslona za ruke, mogućnost pomicanja cijelog sjedala naprijed-nazad u odnosu na upravljačku ploču te rotaciju stolice oko vertikalne osi, a kako bi bile podesive individualnim antropomjerama strojovođa čije antropomjere su ispod 5-og percentila i iznad 95-og percentila u odnosu na centralnih 90% iz slučajnog i dovoljnog uzorka;
- poznavanje raspona statičkih antropomjera kod središnjih 90 % iz cijele populacije strojovođa u RH³.

³ Neovisno o velikoj brojci svih strojovođa (1310 strojovođa) koje HŽ zapošljava, trenutno još ne postoji baza podataka statičkih antropomjera zaposlenika.

8. Diskusija

Tijekom vremena kojeg strojovođe provode u sjedećem radnom položaju upravljajući putničkim i teretnim kompozicijama ili motornim garniturama na njihovo radno opterećenje djeluje čitav niz različitih čimbenika. Kao najvažniji ističu se čimbenici iz radnog okoliša upravljačnice, odnosno raspored, preglednost i dostupnost potrebne upravljačke opreme, komandi i indikatora na upravljačkoj ploči, te kvaliteta i karakteristike radne stolice.

Treba predvidjeti mogućnost objedinjavanja više različitih logički srodnih naredbi povezanih s promjenom brzine (za ubrzavanje, usporavanje i kontrolu budnosti) u obliku jedne ergonomski oblikovane višenamjenske ručice pozicionirane uvijek na istoj strani i na istom mjestu ispred strojovođe na svim upravljačkim pločama, te razmotriti uvođenje više opcija (na više mjesta) posluživanja istih često posluživanih komandi što bi strojovođama dodatno olakšalo upravljanje lokomotivama i/ili motornim garniturama.

Dobar raspored komandi unutar upravljačnice trebao bi omogućiti da se najvažniji upravljački i kontrolni elementi koji se često koriste i poslužuju rukama tijekom upravljanja za vrijeme vožnje nalaze u vidnom polju bez potrebe za okretanjem glave i na udaljenosti između 32,2 i 38,8 cm, odnosno unutar raspona normalnog doseg ruku za središnjih 90 % iz cijele populacije strojovođa. Svu sporednu opremu koja zahtijeva tek povremeno rukovanje potrebno je smjestiti unutar zone maksimalnog doseg ruku koja se za središnjih 90 % strojovođa iz cijele populacije kreće od 58,6 do 70,9 cm.

Ostale bitnije smjernice odnose se na adekvatno osvjetljenje svjetlosnih indikatora i upravljačnice neovisno o dobi dana i postojanje kamera u boji ili grijanih retrovizora koji pokrivaju mrtvi kut.

Također, preporuka je da upravljačnice budu klimatizirane, osno simetrične s blago zaobljenom upravljačkom pločom i ergonomski prilagođenom stolicom (smještenom u sredini) s više stupnjeva podešavanja individualnim antropomjerama strojovođa, čijom bi se primjenom stvorili prihvatljivi uvjeti za upravljanje i onim

strojovođama koji imaju ekstremne iznose pojedinih antropomjera izvan raspona iznosa za središnjih 90 %.

Preporučljivi stupnjevi podešavanja stolice individualnim antropomjerama strojovođa su: podešavanje visine sjedala, nagiba sjedala, nagiba naslona sjedala, visine naslona za vrat, visine i nagiba naslona za ruke, mogućnost pomicanja cijelog sjedala naprijed-nazad u odnosu na upravljačku ploču te rotacija stolice oko vertikalne osi.

Kako se stojeća visina i masa, kao i dimenzije pojedinih dijelova tijela razlikuju između pojedinaca ovisno o rasi i spolu, nedopustivo je usvajanje tuđih rješenja za oblikovanje i raspored opreme u upravljačnicama prilikom njihovog dizajniranja bez mjerenja antropomjera na strojovođama iz ciljane populacije u RH jer takve pogreške projektanata mogu dovesti do negativnog efekta u obliku dodatnog fizičkog napora strojovođa prilikom njegova rada.

Pri tome treba napomenuti da fizičkog opterećenja ne bi bilo ili bi se isto znatno reduciralo u okolnostima dizajna upravljačnice prilagođenog za raspone antropomjera u centralnih 90 % iz cijele populacije strojovođa u RH, što podrazumijeva periodička mjerenja antropomjera na slučajnom i dovoljnom uzorku strojovođa iz cijele RH i usku suradnju između inženjera prometa i inženjera strojarstva tijekom izrade specifikacija za dizajn upravljačnica, čega sada nažalost u praksi nema.

9. Zaključak

U radu je dokazana hipoteza da tijekom upravljanja zbog često korištenih komandi koje se poslužuju rukama smještenih izvan normalnog dosega ruku i/ili izvan biakromijalnog raspona, ali i zbog ostalih čimbenika neadekvatnog dizajna upravljačnice, dolazi do pojačanog fizičkog napora strojovođe razmatrano po iznosu lumbalnog momenta. Dakle, radno opterećenje je u hipotetski najnepovoljnijem radnom položaju moguće vrednovati parametrima koji proizlaze iz primjene statike krutih tijela na skelet strojovođa. Za pojednostavljeni proračun fizičkog napora u ovisnosti o indeksu tjelesne mase dovoljno je poznavati samo dvije najvažnije statičke antropomjere za svakog strojovođu, stojeću visinu i tjelesnu masu, dok se za njegovu detaljniju procjenu koriste pojedine izmjerene tjelesne dimenzije i izračunate sile teže segmentalnih masa reducirane u točku na razini kralježaka L4/L5.

Na temelju obrade stvarno izmjerenih statičkih antropomjera na slučajnom i dovoljnom uzorku od 51 strojovođe dokazana je korelacijska ovisnost lumbalnog momenta o indeksu tjelesne mase u hipotetski najnepovoljnijem statičkom sjedećem radnom položaju (horizontalno ispružene ruke simuliraju komande u maksimalnom dosegu ruku). Isto tako potvrđena je činjenica da 80% strojovođa iz promatranog uzorka s pretjeranom i/ili prekomjernom tjelesnom masom u odnosu na stojeću visinu sami sebi dodatno fizički opterećuju kralježnicu povećanim lumbalnim momentom, dok u okolnostima starenja, tj. veće navršene dobi, drastično pada statički lumbalni kapacitet, a povećava se udio pretilih i gojaznih strojovođa, što sve zajedno utječe na pojačano fizičko opterećenje strojovođa.

S obzirom na aktualno stanje ergonomske neprilagođenosti radnog okoliša upravljačnica raspoloživih dizelskih i električnih lokomotiva i motornih garnitura na području RH rasponima antropomjera strojovođa iz centralnih 90 %, nužno je, osim mjerenja antropomjera na slučajnom i dovoljnom uzorku, i provođenje analize prikupljenih povratnih informacija od strojovođa, s ciljem stvaranja univerzalne i nedvosmislene norme opremljenosti upravljačnica prilagođenih rasponima antropomjera strojovođa u centralnih 90% iz cijele populacije strojovođa u RH u kojima bi efikasnost i motiviranost strojovođa bila veća, a iznos radnog opterećenja zanemariv.

Literatura

- [1] Jurum-Kipke, J.: Mehanika u prometnom inženjerstvu, Sveučilišni udžbenik Sveučilišta u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2001., IBN: 953-6790-50-5
- [2] Jurum-Kipke, J., Baksa, S., Sumpor, D.: Primjena ergoprosudbe napora putnika u virtualnom prostoru zrakoplovne putničke kabine, Međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje "Transportni lanci I distribucija u logističkim sustavima", Znanosti i razvitak prometa, ZIRP '07., Zagreb, 28. i 29. ožujak 2007., Pozivno predavanje
- [3] Muftić, O., Veljović, F., Jurčević-Lulić, T., Milčić, D.: Osnovi ergonomije, Univerzitet u Sarajevu, Mašinski fakultet Sarajevo, Sarajevo, 2001.
- [4] Muftić, O., Milčić, D.: Ergonomija u sigurnosti, Visoka škola za sigurnost na radu, Zagreb, Iproz, Zagreb, 2001.
- [5] Sumpor, D.: Metodologija ergonomске prosudbe tehnološkoga procesa prijevoza željeznicom (Methodology of Ergonomic Assessment of the Rail Transport Technological Process), Doctoral Thesis, University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences, Zagreb, 2012.
- [6] Jurum-Kipke, J., Baksa, S., Kavran, Z.: Anthropometric Relations Of Human Body In The Function Of Traffic Environment Analysis, Proceedings of 3rd International Ergonomics Conference "Ergonomics 2007", June 13th-16th, Stubičke toplice, 2007, pp. 239.-247.
- [7] Baksa, S., Muftić, O., Sumpor, D.: Computer Aided Ergonomics Analysis of Exhibition-Transport Element, Proceedings of 3rd International Ergonomics Conference "Ergonomics 2007", June 13th-16th, Stubičke toplice, 2007, pp. 249.-258.
- [8] Donskij, D.D., Zacijorskij, V.M.: Biomehanika, Izdateljstvo Fizkultura i sport, Moskva, 1979.

- [9] Kovač-Striko, E., Fratrović, T., Ivanković, B.: Vjerojatnost i statistika s primjerima iz tehnologije prometa, Sveučilišni udžbenik Sveučilišta u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2008.
- [10] Lange W.: Kleine Ergonomische Datensammlung, Bundesanstalt für Arbeitsschutz 6. überarbeitete auflage, Verlag TÜV Rheinland, (1991), ISBN 3-921059-63-1
- [11] Milčić, D., Muftić, O., Ljubišić, M.: Metoda utvrđivanja promjene trbušnog tlaka za čučanj i povratak u početni položaj, Sigurnost–časopis za sigurnost u radnoj i životnoj okolini, 41, 1999,1, pp.1.-12.
- [12] Maver, H., Rudan, P., Tarbuk, D.: Praktikum biološke antropologije–Morfološka i funkcionalna antropometrija, Republički savez samoupravnih interesnih zajednica za zapošljavanje Hrvatske i sekcija za biološku antropometriju Zbora liječnika Hrvatske, Zagreb, 1984.
- [13] Kroemer, K.H.E., Grandjean, E.: Prilagođavanje rada čovjeku, Naklada Slap, Jastrebarsko, 2000. (Original: Kroemer, K.H.E., Grandjean, E.: Fitting the Task to the Human, A Textbook of Occupational Ergonomics, Fifth Edition, Taylor & Francis, London, 1997.)
- [14] Taboršak, D.: Ergonomija, Tehnička enciklopedija, sv.5., Leksikografski zavod, Zagreb, 1976., pp. 349.-352.
- [15] Ujević, D. et al.: Theoretical Aspects and Application of Croatian Anthropometric System, University of Zagreb, Faculty of Textile Technology , 2009.
- [16] Grgić, Z. i sur.: Praktikum biološke antropologije - Ergonomija, Republički savez samoupravnih interesnih zajednica za zapošljavanje Hrvatske i sekcija za biološku antropometriju Zbora liječnika Hrvatske, Zagreb, 1984.
- [17] Katalog laboratorijske opreme, Laboratorij za primijenjenu ergonomiju u prometu, Katedra za opće programske sadržaje, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2015.
- [18] Sumpor, D.: Multipliciranje čimbenika ergoprosudbe sustava čovjek – okoliš u vodnom prometu (Multiplying of Ergo-assessment Factors in the “humans –

environment” system in Water Transport), Znanstveni magistarski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2009.

[19] Sumpor, D., Taboršak, D., Jurum-Kipke, J.: Anthropometric Measures Important for Control Panel Design in Locomotive or Railcar, Technical Gazette, Scientific professional journal of technical faculties of the Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Vol.22, No.1, Slavonski Brod, 2015, pp. 1-10, Original Scientific Paper, ISSN: 1330-3651

[20] Juretić, S. at all, HŽ putnički prijevoz: Elektromotorni vlak za gradsko - prigradski promet, Specifikacija tehničkih zahtjeva za novi EMV, Zagreb, 2009.

[21] Woodson, W.E., Tillman, B., Tillman, P.: Human Factors Design Handbook. (2nd ed.), McGraw, New York, USA, 1992.

[22] Sumpor, D., Toš, Z., Musabašić, N.: Static Anthropometry Measures of Tram Drivers in Bosnia & Herzegovina Important for Tram Control Panel Design, Fourth International Rail Human Factors Conference, London, 5-7 March 2013, Rail Human Factors “Supporting reliability, safety and cost reduction”, Published by: CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group, 2013, pp. 118-125.

Popis kratica

AS	Auto Stop (system)	Autostop sustav
DL	Diesel locomotive	Dizelska lokomotiva
DMV	Diesel Motor Composition	Dizel motorni vlak (garnitura)
DV	Digital Tanita scale	Digitalna Tanita vaga
EL	Electric-locomotive	Električna lokomotiva
EMV	Electric-motor Composition	Elektromotorni vlak (garnitura)
MA	Small anthropometer	Mali antropometar
MV	Measuring tape	Mjerna vrpca
RH	Republic of Croatia	Republika Hrvatska
SA	Medium anthropometer	Srednji antropometar
UIC	International Union of Railways	Međunarodna željeznička unija
VA	Large anthropometer	Veliki antropometar
V	Altimeter	Visinomjer
2D	Two-dimensional model	Dvodimenzionalni model
3D	Three-dimensional model	Trodimenzionalni model

Popis oznaka i mjernih jedinica

a, b	stranice jednakokračnog trokuta kao harmonijski brojevi iz kružnice Zederbauera i Muftića
B_0, B_1, B_2	regresijski faktori za muškarce i žene izračunati statističkim metodama za regresijsku metodu Donskog i Zacijorskog
c	centili, vrijednosti izražene u postocima u nekoj distribuciji [%]
F_{gi}, F_{gzi}	sila teža pojedinog segmenta tijela čovjeka [N]
F_{g1}	sila teža stopala čovjeka [N]
F_{g2}	sila teža potkoljenice čovjeka [N]
F_{g3}	sila teža natkoljenice čovjeka [N]
F_{g4}	sila teža šake čovjeka [N]
F_{g5}	sila teža podlaktice čovjeka [N]
F_{g6}	sila teža nadlaktice čovjeka [N]
F_{g56}	sila teža nadlaktice i podlaktice čovjeka [N]
F_{g7}	sila teža glave i vrata čovjeka [N]
F_{g8}	sila teža gornjeg dijela trupa čovjeka [N]
F_{g9}	sila teža srednjeg dijela trupa čovjeka [N]
F_{g10}	sila teža donjeg dijela trupa čovjeka [N]
g	ubrzanje Zemljine sile teže koje iznosi 9,81 [m/s ²]
h_g	visina glave čovjeka kao funkcija tjelesne visine [cm]
h	izmjerena stojeća visina tijela čovjeka [cm]
h_1	dužina stopala čovjeka [cm]
h_2	dužina potkoljenice čovjeka [cm]
h_3	dužina natkoljenice čovjeka [cm]
h_4	izmjerena dužina šake pojedinog strojovođe iz slučajnog uzorka od n strojovođa iz ukupne populacije strojovođa u RH [cm]
h_5	izmjerena dužina podlaktice pojedinog strojovođe iz slučajnog uzorka od n strojovođa iz ukupne populacije strojovođa u RH [cm]

h_6	izmjerena dužina nadlaktice pojedinog strojovođe iz slučajnog uzorka od n strojovođa iz ukupne populacije strojovođa u RH [cm]
h_{11}	visina stopala čovjeka [cm]
h_{hdr}	antropomjera horizontalni dohvat ispružene ruke mjerena na slučajnom uzorku od n strojovođa iz ukupne populacije strojovođa u RH [cm]
\bar{h}_n	aritmetičke sredine visine na uzorku od n strojovođa iz ukupne populacije strojovođa u RH [cm]
\bar{h}_{51}	aritmetičke sredine visine uzorku od 51 strojovođe iz ukupne populacije strojovođa u RH [cm]
h_n	dužina noge čovjeka kao funkcije tjelesne visine [cm]
h_{ndr}	antropomjera normalni doseg ruke mjerena na slučajnom uzorku od n strojovođa iz ukupne populacije strojovođa u RH [cm]
h_{mdr}	antropomjera maksimalni doseg ruke mjerena na slučajnom uzorku od n strojovođa iz ukupne populacije strojovođa u RH [cm]
h_k	dužina pokretnog dijela kralježnice u stojećem stavu kao funkcije tjelesne visine [cm]
h_r	dužina ruke čovjeka [cm]
$h_{\check{s}r}$	antropomjera širina ramena mjerena na slučajnom uzorku od n strojovođa iz ukupne populacije strojovođa u RH [cm]
$h_{p+\check{s}}$	antropomjera dužina podlaktice i šake mjerena na slučajnom uzorku od n strojovođa iz ukupne populacije strojovođa u RH [cm]
$h_{\check{s}}$	antropomjera dužina šake mjerena na slučajnom uzorku od n strojovođa iz ukupne populacije strojovođa u RH [cm]
ITM	indeks tjelesne mase [kg/m^2]
k_4	krak sile teže segmentalne mase šake u sagitalnoj ravnini kod redukcije sila teža u točku na razini kralježaka L4/L5 [m]
k_5	krak sile teže segmentalne mase podlaktice u sagitalnoj ravnini kod redukcije sila teža u točku na razini kralježaka L4/L5 [m]
k_6	krak sile teže segmentalne mase nadlaktice u sagitalnoj ravnini kod redukcije sila teža u točku na razini kralježaka L4/L5 [m]
$L4/L5$	razina između predzadnjeg (L4) i zadnjeg (L5) lumbalnog kralješka u lumbalnom dijelu kralježnice

M	ukupna izmjerena masa tijela čovjeka [kg]
m	ukupna izmjerena masa za pojedinog strojovođu na slučajnom uzorku od n strojovođa iz ukupne populacije strojovođa u RH [kg]
m_i	masa pojedinog segmenta tijela čovjeka izračunata regresijskom metodom Donskog i Zacijorskog [kg]
m_1	masa stopala čovjeka izračunata regresijskom metodom Donskog i Zacijorskog [kg]
m_2	masa potkoljenice čovjeka izračunata regresijskom metodom Donskog i Zacijorskog [kg]
m_3	masa natkoljenice čovjeka izračunata regresijskom metodom Donskog i Zacijorskog [kg]
m_4	masa šake čovjeka izračunata regresijskom metodom Donskog i Zacijorskog [kg]
m_5	masa podlaktice čovjeka izračunata regresijskom metodom Donskog i Zacijorskog [kg]
m_6	masa nadlaktice čovjeka izračunata regresijskom metodom Donskog i Zacijorskog [kg]
m_7	masa glave čovjeka izračunata regresijskom metodom Donskog i Zacijorskog [kg]
m_8	masa gornjeg dijela trupa čovjeka izračunata regresijskom metodom Donskog i Zacijorskog [kg]
m_9	masa srednjeg dijela trupa čovjeka izračunata regresijskom metodom Donskog i Zacijorskog [kg]
m_{10}	masa donjeg dijela trupa čovjeka izračunata regresijskom metodom Donskog i Zacijorskog [kg]
m_{uk}	ukupna masa tijela čovjeka izračunata regresijskom metodom Donskog i Zacijorskog [kg]
M_l, M_{ly}	lumbalni moment reduciran u kritičnu točku slabinskog dijela kralježnice čovjeka na razini kralježaka L4/L5 [Nm]
n	veličina slučajnog uzorka strojovođa iz ukupne populacije strojovođa u RH
N	veličina osnovnog skupa ukupne populacije strojovođa u RH
R	koeficijent korelacije

$2R$	promjer harmonijske kružnice Zederbauera i Muftića
Δh_n	raspon izmjerenih visina za n strojovođa iz slučajnog uzorka od n iz ukupne populacije strojovođa u RH [cm]
Δh_{49}	raspon izmjerenih visina kod 49 strojovođa za približno središnjih 90% iz slučajnog uzorka od 51 strojovođe u RH [cm]
Δh_{51}	raspon izmjerenih visina za slučajno odabrani uzorak od 51 strojovođe [cm]
$\Delta h_{90\%}$	izračunati raspon visina za središnjih 90% kod slučajnog uzorka prema Kroemeru i Grandjeanu kod 51 strojovođe [cm]
μ	očekivane srednja vrijednost neke antropomjere za ukupnu populaciju od 1310 strojovođa u RH [cm]
μ_h	očekivana srednja vrijednost visine za ukupnu populaciju od 1310 strojovođa u RH [cm]
ρ_1	gustoća stopala čovjeka [kg/cm ³]
ρ_2	gustoća potkoljenice čovjeka [kg/cm ³]
ρ_3	gustoća natkoljenice čovjeka [kg/cm ³]
ρ_4	gustoća šake čovjeka [kg/cm ³]
ρ_5	gustoća podlaktice čovjeka [kg/cm ³]
ρ_6	gustoća nadlaktice čovjeka [kg/cm ³]
ρ_7	gustoća glave i vrata čovjeka [kg/cm ³]
ρ_8	gustoća gornjeg dijela trupa čovjeka [kg/cm ³]
ρ_9	gustoća srednjeg dijela trupa čovjeka [kg/cm ³]
ρ_{10}	gustoća donjeg dijela trupa čovjeka [kg/cm ³]
σ	standardna devijacija antropomjere na uzorku od 51 strojovođe [cm]
σ_{h51}	standardna devijacija visine na uzorku od 51 strojovođe [cm]
$\sigma_{\bar{h}51}$	odstupanje srednje visine kod uzorka od 51 strojovođe u odnosu na očekivanu srednju vrijednost visine kod populacije od 1310 strojovođa [cm]
x_i	krakovi sile teže segmentalnih masa u sagitalnoj ravnini kod redukcije sila teža u točku na razini kralježaka L4/L5 [m]

Popis slika

Slika 4.1. Harmonijska kružnica Zerderbauera i Muftića s pridruženim kanonom osam visina glava kao mjerom za stojeću visinu čovjeka

Slika 4.2. Tipovi konstitucija ljudskog tijela

Slika 4.3. Varijacije ljudskog tijela u različitim kanonima visina glave

Slika 4.4. Relativni položaj središta masa dijelova tijela u čovjeka

Slika 5.1. Kromerov prikaz karakterističnih antropomjera (za sagitalnu ravninu)

Slika 5.2. Zone normalnog i maksimalnog doseg ruke

Slika 6.1. Digitalna vaga s mehaničkim visinomjerom Tanita WB 3000

Slika 6.2. Štapni biomehanički 2D model strojovođe u sagitalnoj ravnini za sjedeći ili stojeći ravnotežni položaj, u najnepovoljnijem hipotetskom statičkom sjedećem ili stojećem radnom položaju s obje ruke horizontalno ispružene u zoni maksimalnog doseg

Slika 6.3 Dvodimenzionalni štapni model ispitanika u sagitalnoj ravnini

Slika 6.4. Funkcijska ovisnost lumbalnog momenta M_l o indeksu tjelesne mase ITM za 51 strojovođu iz slučajno odabranog uzorka

Slika 6.5. Funkcijska ovisnost lumbalnog momenta M_l o promjeni visine za istu tjelesnu masu za 51 strojovođu iz slučajno odabranog uzorka

Popis tablica

Tablica 2.1. Gustoća tjelesnih segmenata

Tablica 4.1. Harmonijske veličine kao harmonijski brojevi

Tablica 4.2. Antropometrijske veličine čovjeka kao funkcija njegove stojeće visine h

Tablica 4.3. Regresijski faktori za muškarce i žene prema Donskom i Zacijorskom

Tablica 4.4. Vrednovanje linearne aproksimacije preko iznosa koeficijenta korelacije

Tablica 4.5. Središta masa u postotku funkcije dužine tjelesnog segmenta

Tablica 5.1. Upute za mjerenje karakterističnih antropomjera koje su za potrebe rada mjerene na strojovođama

Tablica 6.1. Smjernice za ispitanike na osnovu iznosa ITM

Tablica 6.2. Dvije najbitnije statičke antropomjere sadržane u ITM za slučajni uzorak od 51 strojovođe iz ukupne populacije od 1310 strojovođa u RH

Tablica 6.3. Usporedba slučajno odabranog uzorka od 51 strojovođe i preporučenih središnjih 90% iz uzorka prema Kroemeru i Grandjeanu

Tablica 6.4. Izmjerene segmentalne dužine šake, podlaktice i nadlaktice za 51 strojovođu iz slučajno odabranog uzorka

Tablica 6.5 Segmentalne mase šake, podlaktice i nadlaktice za 51 strojovođu iz slučajno odabranog uzorka

Tablica 6.6. Sile teže segmentalnih masa šake, podlaktice i nadlaktice za slučajno odabran uzorak od 51 strojovođe

Tablica 6.7. Rezultati mjerenja lumbalnog momenta M_l za 51 strojovođu

Popis grafikona

Grafikon 6.1. *ITM* (20-29. g.)

Grafikon 6.2. *ITM* (30-39. g.)

Grafikon 6.3. *ITM* (40-49. g.)

Grafikon 6.4. *ITM* (50-59. g.)