



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, Zagreb



Katedra za opće programske sadržaje

Ergonomija u prometu i transportu

doc. dr. sc. Davor Sumpor

Zagreb, 2018.

Fakultetski priručnik

Ergonomija u prometu i transportu

Autor

doc. dr. sc. Davor Sumpor

Izdavač

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

Za izdavača

prof. dr. sc. Tomislav Josip Mlinarić

Recenzenti

prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić
Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu

prof. dr. sc. Tino Bucak
Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

doc. dr. sc. Hrvoje Haramina
Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu

ISBN 978-953-243-108-7

Zagreb, 2018.

Predgovor

Ovaj je fakultetski priručnik, pod naslovom *Ergonomija u prometu i transportu*, nastao s namjerom popunjavanja praznine u nastavnim materijalima iz izbornoga kolegija *Ergonomija u prometu* na diplomskim studijima *Promet, ITS i Logistika* Fakulteta prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu.

Materijali su za predavanja oblikovani tijekom nekoliko godina rada, nadopunjeni jednostavnim hipotezama i rezultatima vlastitih istraživanja koji su objavljeni u radovima autora na potporama istraživanjima ili projektima, često u suautorstvu sa studentima istraživačima. Na taj je način poštovano suvremeno načelo učenja na temelju vlastitih istraživanja jer su studenti diplomskih studija, tijekom provođenja laboratorijskih vježba na kolegiju *Ergonomija u prometu* ili tijekom izrade svojih diplomskih radova, bili uključeni u laboratorijska ili terenska mjerena korištenjem opreme *Laboratorija za primijenjenu ergonomiju u prometu* ili drugih srodnih laboratorijskih, poput *Laboratorija za zrakoplovne emisije*, što je često dovodilo do objave znanstvenih radova u suautorstvu sa studentima istraživačima ili studentima demonstratorima.

Ovaj fakultetski priručnik može poslužiti i kao uvodna literatura studentima doktorskoga studija *Promet* na Fakultetu prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu za uvod u područje ergonomije (engl. *ergonomics*) ili ljudskih čimbenika (engl. *human factors*), konkretno za kolegij *Čimbenici izvedbe vozača te za istraživački nacrt Mjerenje izvedbe vozača i povezanih relevantnih čimbenika*.

Kao autor zahvaljujem se svim budućim korisnicima ovoga fakultetskoga priručnika na korisnim primjedbama, kao i na povratnim informacijama o propustima ili omaškama koje uoče tijekom korištenja.

Zagreb, 28. rujna 2018.

Autor

SADRŽAJ

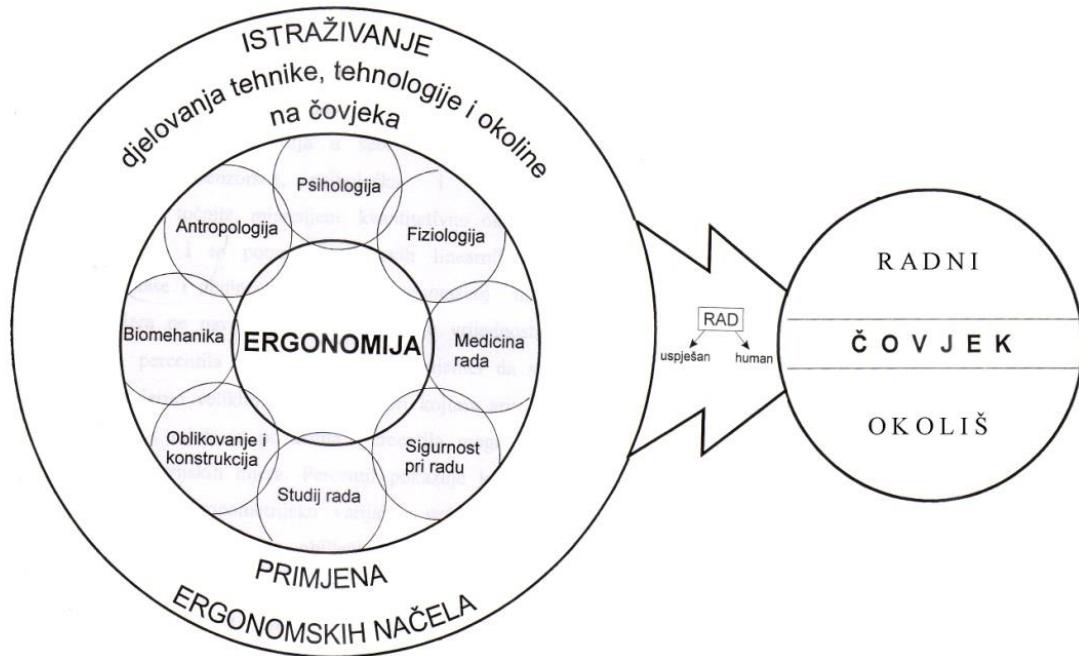
1. UVOD	1
1.1. Razvitak ergonomije s naglaskom na uvođenju kognitivnoga pristupa	3
1.2. Podjela ergonomije	5
1.3. Ergonomski dizajn u prometu	9
2. UPOTREBA STATISTIKE U ERGONOMIJI	11
2.1. Normalna razdioba	11
2.2. Dokazivanje normalne razdiobe varijable stojeće visine h s pomoću χ^2 -testa	17
3. HARMONIJSKA ANALIZA TJELESNIH DULJINA NA TEMELJU HARMONIJSKE KRUŽNICE ZEDERBAUERA I MUFTIĆA	24
4. FIZIOLOŠKA ANTROPOLOGIJA	29
4.1. Primjenjena antropometrija s ciljem dizajna upravljačnice	31
5. UTVRĐIVANJE SEGMENTALNIH MASA I POLOŽAJA TEŽIŠTA	38
6. AMBIJENTALNI ČIMBENICI TERMALNOGA KOMFORA VOZAČA I ČIMBENICI KVALITETE ZRAKA	39
6.1. Čimbenici subjektivnoga osjećaja termalne ugode	39
6.2. Čimbenici kvalitete zraka	42
7. OSVIJETLJENOST, SJAJNOST I KONTRAST U RADNOM OKOLIŠU	44
7.1. Osvijetljenost radnih površina ili iluminacija	44
7.2. Sjajnost radnih površina ili luminacija	44
7.3. Refleksija	44
7.4. Kontrast luminanca između predmeta gledanja i pozadine	45
8. ODREĐIVANJE NAPORA VOZAČA TIJEKOM UPRAVLJANJA PROMETNIM SREDSTVOM	47
8.1. Utjecaj indeksa tjelesne mase na fizičko radno opterećenje i/ili izvedbu sudionika u prometu	48
9. UTJECAJ BUKE NA IZVEDBU SUDIONIKA U PROMETU	54
9.1. Audiogrami sudionika u prometu ovisno o radnom stažu	54
9.2. Preporučena dnevna doza buke za sudionike u prometu	58
10. ČIMBENICI UTJECAJA NA IZVEDBU VOZAČA CESTOVNIH VOZILA	62
10.1. Statistički objektivni rizik u cestovnom prometu	62
10.2. Otvoreni i dinamički TCI model sučelja <i>sposobnost vozača – zahtjev zadaće</i>	65
11. ČIMBENICI ORGANIZACIJE SMJENSKOGA RADA SUDIONIKA U PROMETU	68

11.1. Općenito o smjenskom radu	68
11.2. Relevantni čimbenici organizacije smjenskoga rada	70
11.3. Najvažnije znanstvene smjernice organizacije smjenskoga rada koji uključuje i rad noću	71
12. VRIJEME REAKCIJE SUDIONIKA U PROMETU U KOGNITIVNO- MOTORIČKIM ZADATCIMA	75
12.1. Čimbenici vremena reakcije sudionika u prometu u kognitivno-motoričkim zadatcima	75
12.2. Mjerenje izvedbe ispitanika u laboratorijskim uvjetima	80
LITERATURA	82
POPIS SLIKA	87
POPIS TABLICA	89
POPIS KRATICA	91
POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA	93

1. UVOD

Ergonomija je interdisciplinarna znanstvena disciplina [1].

Najkraća definicija ergonomije (engl. *ergonomics*) jest da je to znanost o radu (grč. *ergon* = djelo, čin, rad + *nomos* = običaj, red, zakon).



Slika 1.1. Čovjek, radno djelovanje, radni okoliš
Izvor: Taboršak, D. 1994. (prilagođeno) [1]

Ergonomija istražuje karakteristike ljudi i reakcije ljudi na okoliš s ciljem oblikovanja proizvoda, alata, strojeva, uređaja, računala, softvera, zadataka, protokola postupanja, tehnoloških procesa, sustava i okoliša koji su prilagođeni potrebama i mogućnostima čovjeka, a s ciljem omogućavanja optimalne izvedbe čovjeka u sustavu *čovjek – stroj – okoliš*.

Uobičajeni se sustav *čovjek – stroj – okoliš* može u prometu razmatrati kao sustav:

- *vozač – radni okoliš upravljačice (prometno sredstvo) – prometni okoliš*
- *putnik – boravišni putnički okoliš (u prometnom sredstvu) – prometni okoliš.*

Dva su glavna pravila ergonomije:

1. Čovjeka treba prilagoditi radnom zadatku u sustavu *čovjek – stroj – okoliš*.

Način: Treba izabrati čovjeka koji svojim atributima (psihičkim, fizičkim i senzornim) odgovara radnom zadatku.

2. Radni zadatak treba prilagoditi čovjeku u sustavu *stroj – čovjek – okoliš*.

Način: Treba oblikovati stvari, alate, strojeve, uređaje, računala, softver, zadatke, protokole postupanja, tehnološke procese, sustave i okoliš koji su prilagođeni potrebama i mogućnostima čovjeka.

Ljudski su čimbenici (engl. *human factors*) atributi čovjeka koji uz zahtijevane karakteristike okoliša utječu na rezultate sustava *čovjek – stroj*. To su:

- fizikalni čimbenici
- senzorni čimbenici (npr. senzorna detekcija i senzorna diskriminacija)
- kognitivni čimbenici.

Primjerom su u prometnom procesu javnoga prijevoza putnika rezultati ergonomski oblikovanoga sustava *čovjek – stroj – okoliš* koji su sljedeći:

- proizvod sustava (ekonomičnost): isplativ i održiv prijevoz putnika
- sigurnost i pouzdanost prometnoga procesa javnoga prijevoza putnika
- udobnost, zadovoljstvo i zdravlje svih sudionika u prometu, korisnika usluge (putnika), ali i vozača.

Ergonomija je u širem kontekstu u Europi poznata pod imenom *Ergonomics*, a u USA-u pod imenom *Human factors*. Nazivi su nekih identičnih ili srodnih znanstvenih disciplina u svijetu ovdje navedeni kao karakteristične skupine tema na engleskom jeziku te se mogu koristiti kao ključne riječi za pronalazak stručne i/ili znanstvene literature na engleskom jeziku:

- *Aesthetics and ergonomics*
- *Biomechanics and modelling in ergonomics*
- *Cognitive ergonomics*
- *Cognitive psychology*
- *Engineering psychology (USA)*
- *Education and trainings in work safety and ergonomics*
- *Ergonomics for people with disabilities and aging population*
- *Ergonomics in product and process design*
- *Ergonomic regulations, standards and guidelines*
- *Healthcare ergonomics*
- *Physical ergonomics*
- *Human factors*
- *Human comfort*

- *Human engineering (USA army)*
- *Occupation ergonomics*
- *Performance ergonomics*
- *Personal wellbeing*
- *Psychoacoustic ergonomics*
- *Safety and risk ergonomics*
- *Social and occupational ergonomics*
- *Traffic and transport ergonomics*
- *Tools and equipment ergonomics*
- *User centered design.*

1.1. Razvitak ergonomije s naglaskom na uvođenju kognitivnoga pristupa

Razvoj je ergonomije u svijetu [2] započeo ergonomskom prosudbom radnoga okoliša u proizvodnji i studijama rada s ciljem racionalizacije rada tijekom industrijske proizvodnje. Korektivna ili klasična ergonomija (naknadno ispunjenje ergonomskih zahtjeva, ergonomija se primjenjuje kada je sustav djelomično gotov ili već korišten) trajala je od industrijske revolucije pa do 50-ih godina 20. st., a sistemska ili projektna ergonomija (preventivna ergonomija, usklađivanje funkcija cijelog sistema) traje od 50-ih godina 20. st. do danas uz paralelnu pojavu mlađih grana ergonomije poput koncepcione, hardverske i softverske.

Kognitivni pristup u proučavanju utjecaja čimbenika „ljudskoga faktora” i vrednovanju utjecaja čimbenika iz radnoga i/ili prometnoga okoliša na radno opterećenje i izvedbu sudionika u prometu i u Republici Hrvatskoj (RH) dobiva sve dominantniju ulogu.

Michon [3] je već 1985. godine, tijekom vođenja istraživanja u okviru *Drive* projekta Europske ekonomiske zajednice (EEZ-a), podržavao kognitivni pristup smatrajući da u Europi postoji kašnjenje u kognitivnom u odnosu na bihevioristički pristup kod istraživanja ponašanja i reakcija vozača.

Prema *Fullerovojoj* općoj teoriji ponašanja vozača iz 2005. godine [4] kognitivni pristup podrazumijeva uvažavanje utjecaja skupine čimbenika „ljudskoga faktora” (npr. umor, pospanost, stres, budnost) jer u TCI (engl. *the task-capability interface model*) sučelju *zahtjev zadatke – sposobnost vozača* skupina čimbenika „ljudski faktor” može prouzrokovati istovremenu i dinamičku promjenu sposobnosti vozača i zahtjeva zadatka.

Istraživanjima je iz 1976. godine [5] odbačen koncept statičkoga objektivnoga rizika kao odrednice ponašanja vozača, a emocionalni odgovori vozača poput nesigurnosti, iznenađenja i

razdražljivosti povezani su s različitim prometnim situacijama, što je moguće uočiti s pomoću mjerena psihogalvanskih reakcija vozača. Isti autori upotrebljavaju pojam indeksa subjektivnoga rizika i uspoređuju subjektivni i objektivni rizik, a promjenu frekvencije pulsa sudionika u prometu u nekim prometnim situacijama navode kao jednu od mogućih psihofizioloških mjera za određivanje indeksa subjektivnoga rizika.

Prema razvrstavanju čimbenika iz 1982. godine koje se temelji na klasičnoj korektivnoj ergonomiji, pri kojem skupina eksperata analizira oštećena cestovna vozila [6], mjesto i sudionike nakon prometne nesreće, postotni udio skupine čimbenika „ljudskoga faktora” uvijek znatno dominira nad skupinama čimbenika „prometnoga sredstva” i „prometnoga okoliša” koji imaju manji utjecaj.

U znanstvenoj je literaturi tijekom istraživanja „ljudskoga faktora” prihvaćeno i uobičajeno tumačenje da se „ljudskim faktorima” nazivaju čimbenici koji svojim utjecajem mogu sprječavati ili oslabiti izvedbu povećavajući vrijeme reakcije na kognitivno-motoričke zadatke i povećavajući učestalost krivih reakcija. Pojam „ljudskih faktora” u općenitijem smislu sadrži sve aspekte odnosa između čovjeka (sudionika u prometu) i zadanoga sustava (npr. prometnoga sredstva) u zadanom ambijentu (prometnom okolišu).

Fuller [4] u čimbenike iz skupine „ljudskoga faktora” svrstava one poput stava, motivacije, napora, iscrpljenosti, pospanosti, umora, doba dana, droge, alkohola, rastresenosti, emocija i stresa.

Najistaknutija je značajka sposobnosti (engl. *capability*) vozača kompetencija (engl. *competence*). Kompetencija u poslu vozača odnosi se na ono što je vozač optimalno spremан učiniti. Kompetencije se vozača mogu unaprijediti znanjem i vještinama koje su postignute formalnim obrazovanjem i naknadnim edukacijama, ali i treningom te iskustvom u vožnji [4].

Sposobnost je vozača u najvećoj mjeri definirana, ali i ograničena njegovim biološkim značajkama [4] poput kapaciteta za obradu informacija, vremena reakcije, fizičkoga dosega (ruku), motoričke koordinacije, fleksibilnosti i snage.

1.2. Podjela ergonomije

U ovom je poglavlju navedena samo jedna od mogućih podjela koje se navode u stručnoj i znanstvenoj literaturi. Ovakve su općenite podjele izrazito nezahvalne i ne treba ih smatrati konačnima jer u tom segmentu i u raspoloživoj stručnoj i znanstvenoj literaturi ima znatnih razlika.

Podjela ergonomije koja je predložena u ovom poglavlju nikako nije konačna niti jedina moguća jer se ergonomija kao interdisciplinarna znanstvena disciplina intenzivno primjenjuje i razvija u svim područjima ljudskoga djelovanja, pa se stalno pojavljuju i razvijaju nove grane ergonomije.

- **Klasična ili korektivna ergonomija:** od industrijske revolucije do 50-ih godina 20. st.

Nedostaci:

- najstarija i najskuplja
- zapostavljanje ergonomskih načela u razdoblju projektiranja
- čovjek se pokušava prilagođavati radnom procesu
- ergonomski se načela javljaju tek u kasnjem razdoblju korištenja kada je sustav u većem dijelu ili u potpunosti gotov.

Prednosti:

- prijedlozi korekcija daju se na temelju pouzdanih iskustava tijekom korištenja
- važno je prije serijske proizvodnje proizvoda isprobati prototip proizvoda u realnim uvjetima i prikupiti povratne informacije i iskustva korisnika (engl. *feedback*).

- **Sistemska ili projektna ergonomija:** od 50-ih godina 20. st. do danas

Velik je doprinos razvoju od strane vojne industrije.

Glavna prednost: odmah pri projektiranju počinju se koristiti ergonomski načela.

Cilj: međusobno uskladiti sve funkcije u sustavu *čovjek – stroj – okoliš*.

Zadaće su:

- organizirati radni (proizvodni ili prometni) proces tako da je prilagođen čovjeku
- oblikovati radno mjesto, radnu okolinu ili radno područje
- educirati izvršitelje zadataka.

• Koncepcijska ergonomija

Koncepcijska je ergonomija usredotočena na zadaću poboljšanja uvjeta rada na dvama izrazito važnim područjima:

- ugodnost rada čovjeka u humanom radnom okolišu koji je prilagođen čovjeku
- postizanje ekonomičnosti procesa.

Glavna prednost: odmah pri projektiranju počinju se koristiti ergomska načela.

Tablica 1.1. Zadaće koncepcijske ergonomije u područjima humaniteta i ekonomičnosti

Područje ekonomičnosti	Područje humaniteta
Glavni cilj: smanjiti troškove rada	Glavni cilj: učiniti rad udobnim i sigurnim
Zadaće: <ul style="list-style-type: none"> • omogućiti izvođenje rada • ubrzati radni ritam • smanjiti zahtjeve (težinu zadaće) • povećati preciznost rada • poboljšati iskorištenje vremena • olakšati odlučivanje. 	Zadaće: <ul style="list-style-type: none"> • povećati sigurnost rada (engl. <i>safety</i>) • smanjiti radno opterećenje (engl. <i>workload</i>) • postići veću razinu izvedbe (engl. <i>performance</i>) • unaprijediti radni učinak, tj. produktivnost • omogućiti čovjeku uvid u rezultate • poboljšati spoznaju informacija • smanjiti štetno djelovanje na okolinu • poboljšati zaštitu na radu • smanjiti monotoniju • omogućiti odmor • učiniti rad ugodnim • povećati radno zadovoljstvo • smanjiti gubitak zdravlja.

• **Softverska ergonomija**

Općeniti je trend prebacivanje težišta iz fizičkoga u psihičko i/ili senzorno radno opterećenje djelatnika, a isti je trend karakterističan i za radna mesta sudionika u prometu s obzirom na globalizacijski trend okrupnjavanja kompanija, ali i okrupnjavanja tereta uz primjenu suvremenih prometnih tehnologija.

Glavna prednost: unaprjeđenje interakcije čovjeka i softvera temelji se na uvažavanju

potreba i na povratnim informacijama korisnika.

Područje: istražuje se djelovanje softverskih proizvoda na čovjeka u sustavu *stroj – čovjek*.

Cilj: izrada ergonomskih smjernica za unaprjeđenje interakcije čovjeka i softvera u kancelarijskom, tvorničkom ili prometnom okruženju s namjerom provođenja praktičnih poboljšanja i prilagođavanja softvera potrebama korisnika.

Zadaće:

- bolje prihvaćanje novih tehnologija
- poboljšanje radne motivacije
- povećanje radnih kompetencija
- razvoj osobnosti
- optimiranje opterećenja koje je prouzrokovano uvođenjem novih tehnologija.

Metode: koriste se suvremene metode poput kvantitavnoga ocjenjivanja softverskih proizvoda, procesa ili sustava prikupljanjem povratnih informacija o izvedbi korisnika, realizaciji zadatka, kao i reakcijama korisnika na proizvod, a sve s namjerom provođenja poboljšanja (engl. *feedback*).

- **Hardverska ergonomija**

Hardverska ergonomija bavi se tehničko-fizikalnim komponentama računalnoga sustava te radnim okolišem toga sustava.

Glavna prednost: odmah pri projektiranju počinju se primjenjivati ergonomski načela.

Tablica 1.2. Područja djelovanja hardverske ergonomije

Uže područje: tehničko-fizikalne komponente računalnoga sustava	Šire područje: radni okoliš
Zadaća – prilagođavanje segmenata računalnoga sustava ili sustava koji je podržan računalom (gabarići i razmještaj) potrebama korisnika za segmente: <ul style="list-style-type: none"> • zaslon • tipkovnicu • miš • prateće uređaje. 	Zadaća – prilagođavanje neposrednoga i posrednoga okoliša korisniku za segmente: <ul style="list-style-type: none"> • raspoloživost prostora ($m^2/korisniku$ i/ili $m^3/korisniku$) • ergonomiju stolice (antropometrijska prilagođenost i stupnjevi slobode prilagođavanja) • čimbenike rasvjete • ekvivalentnu razinu buke i/ili dozu buke • klimatske čimbenike termalne ugode • kvalitetu zraka.

1.3. Ergonomski dizajn u prometu

Više je definicija ergonomskoga dizajna. Pojednostavljeno, ergonomski je dizajn oblikovanje svih segmenata čovjekovoga okoliša za upotrebu tako da se uzimaju u obzir mogućnosti i ograničenja čovjeka.

Ako se razmatra radni okoliš upravljačnice za vozače, tada je primjer predmeta upotrebe u upravljačnicama tramvaja ili motornih garnitura i lokomotiva često korištena komanda posluživana rukom, a za istu je potrebno uzeti u obzir sljedeće:

- vanjski dizajn tijela komande (materijal, oblik i gabarite);
- razmještaj rukama često posluživanih komanda na upravljačkoj ploči (za lijevu ili desnu ruku, položaj s obzirom na srodne komande i uobičajeni redoslijed korištenja istih), ali tako da je pozicija komande bez okretanja glave i/ili pomicanja očne jabučice vidljiva dvostrukim pogledom unutar vidnoga polja u transverzalnoj ravnini (radi raspoznavanja riječi, simbola i boja), bez potrebe za korištenjem perifernoga vida;
- dostupnost rukama često posluživanih komanda u normalnom dosegu ruku u rasponu antropometra za središnjih 90 % (od 5-oga do 95-oga percentila) iz ciljane populacije vozača;
- broj srodnih i/ili sljedivih komanda (funkcija) koje se grupiraju na višenamjenskim upravljačkim palicama, tj. kontrolerima (engl. *multi-purpose controller*) za posluživanje istom rukom, poput kontrolera za lijevu ruku (za grupirane radne komande za promjenu i/ili održavanje brzine poput kočnika, akceleratora i budnika) u upravljačnicama novih tramvaja u Zagrebu ili u upravljačnicama nagibnih dizel motornih garnitura (DMV) serije HŽ 7123 (000) proizvođača *Bombardier Transportation* iz Njemačke, kao na Slikama 1.2. i 1.3. (Napomena: vrijednosti statičkih i/ili kinematičkih antropomjera bitnih za dizajn upravljačke ploče i upravljačnice strojovođa, koje su prikazane na Slikama 1.2 i 1.3., unutar su raspona antropomjera za centralnih 90 % iz cijele populacije strojovođa u RH).



Slika 1.2. Ljeva ruka strojovođe na ergonomski oblikovanoj ručici kontrolera s rezervnom opcijom tastera za posluživanje budnika palcem lijeve ruke



Slika 1.3. Pozicioniranje ručice kontrolera s tasterom za budnik i manje ručice za promjenu smjera kretanja u normalnom dosegu lijeve ruke ravno naprijed ispred lijevoga ramena vozača

Zaključno razmatrajući, ergonomski je dizajn u sustavu *čovjek – prometno sredstvo – prometni okoliš* oblikovanje uređaja, komanda, sučelja, prikaznika, protokola postupanja (tzv. postupnika), zadataka, kabinske i vanjske signalizacije, prometnih procesa, dakle cjelokupnoga radnoga okoliša upravljačnice vozila i prometnoga okoliša, a sve navedeno s ciljem optimalne izvedbe čovjeka (sudionika u prometu) tako da se uvažavaju:

- sposobnost čovjeka (engl. *capability of the human*)
- znanja i vještine (engl. *human knowledge and skills*)
- motivacija čovjeka (engl. *motivation of the human*)
- osobine ličnosti (engl. *personality traits*)
- ograničenja čovjeka (engl. *limitations of the human*)
- reakcije čovjeka na okoliš (engl. *human response on the environment*).

2. UPOTREBA STATISTIKE U ERGONOMIJI

S obzirom na to da se u sklopu ergonomije često koriste statistički podatci, u ovom će se poglavlju analizirati samo odabrani segmenti deskriptivne statistike koji su primjenjeni na konkretnim primjerima. Odabrani će primjeri iz prakse u RH biti analizirani na auditornim vježbama i/ili na laboratorijskim vježbama tijekom istraživanja na sudionicima u prometu u Laboratoriju za primjenjenu ergonomiju u prometu [7], u dalnjem tekstu Lab za PEuP.

Tako se, na primjer, gotovo sve antropomjere ljudskoga tijela (uključivši i dvije najvažnije antropomjere – stojeću visinu h i masu ljudskoga tijela m) u populaciji raspodjeljuju prema normalnoj ili *Gaussovoj razdiobi*, neovisno o tome jesu li ispitanici muškarci ili žene te koje su navršene dobi.

Osim toga, normalna je razdioba ulaznih varijabla u različite testove uvjet za primjenu višetipskih testova u programskom paketu SPSS pa je tako, na primjer, za primjenu T-testa jedan od uvjeta normalna raspodjela ulazne varijable ili podjednako asimetrična raspodjela ulazne varijable, a za dvije nezavisne skupine ispitanika zbog dviju razina jedne ulazne nezavisne varijable (u dalnjem tekstu NV).

Normalna razdioba varijabla dviju najvažnijih statičkih antropomjera, poput stojeće visine h i tjelesne mase m , može se dokazati s pomoću Hi-kvadrat testa (χ^2 -testa) i u programskom paketu Excel.

Hi-kvadrat test (χ^2 -test) temelji se na usporedbi opaženih frekvencija f_o i teoretskih frekvencija f_t grupiranih rezultata dviju veličina s pripadajućim razredima r (kategorijama).

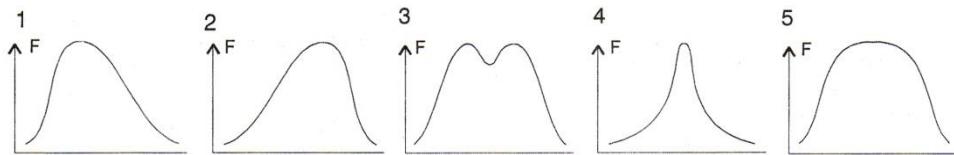
2.1. Normalna razdioba

Normalna je razdioba neke varijable simetrična, unimodalna i većinom mezokurtična (krivulja pravilnoga zvonolikoga oblika sa strminom koja se smatra osrednjom). Kod normalne razdiobe neke varijable na slučajnom uzorku od n ispitanika aritmetička srednja vrijednost varijable M mora biti jednak medijanu C (centralni iznos varijable na 50 % ispitanika) i modu D (najčešća, tj. dominantna vrijednost varijable).

Dakle, simetrična razdioba neke varijable ne mora biti i normalna, ali normalna je razdioba varijable uvijek simetrična.

U stvarnosti raspored frekvencije f pojedine antropomjere ljudskoga tijela više ili manje odstupa oko osi aritmetičke sredine u odnosu na zrcalno simetričnu *Gaussovu* krivulju koja je karakteristična za normalnu razdiobu [8].

Neki su od mogućih oblika odstupanja krivulje frekvencija raspodjela istraživane varijable predočeni na Slici 2.1.: 1. Pozitivno asimetrična distribucija (npr. masa ljudi), 2. Negativno asimetrična distribucija, 3. Bimodalna distribucija, 4. Leptosomna distribucija (leptokurtična, tj. uska distribucija) i 5. Platodistribucija (platikurtična, tj. široka distibucija). U skladu s navedenim, pozitivno asimetrična razdioba neke varijable ($D < C < M$) i negativno asimetrična razdioba neke varijable ($M < C < D$) nisu normalne razdiobe jer nisu simetrične razdiobe.



Slika 2.1. Devijacije statističke raspodjele antropoloških podataka

Izvor: Jurum-Kipke, J. et al. 2007. Zagreb. [8]

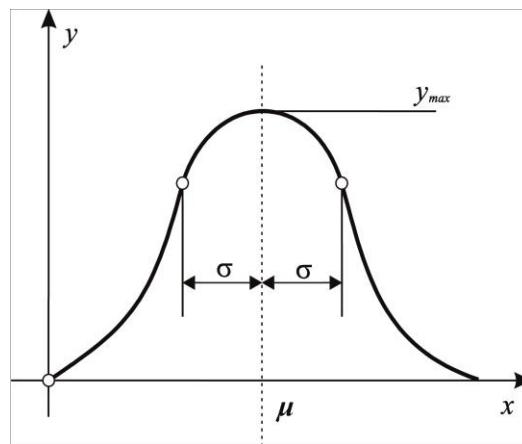
Normalna ili *Gaussova* krivulja, koja je prikazana na Slici 2.2., nestandardna je funkcija gustoće vjerojatnosti jer je prosječna (aritmetička) vrijednost slučajne varijable veća od nule ($\mu > 0$), a definirana je prema formuli (1).

$$y(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2}}, \quad (1)$$

gdje su:

μ - prosječna (aritmetička) vrijednost slučajne varijable za N ispitanika iz cijele populacije istraživanih sudionika

σ – standardna devijacija za N ispitanika iz cijele konačne populacije



Slika 2.2. Normalna simetrična razdioba za nestandardnu funkciju gustoće vjerojatnosti

Ukupna će površina između *Gaussove* krivulje i x-osi biti prema formuli (2) jednaka površini A kao rješenju jednostrukog integrala (A=1 za cijelu površinu).

$$A = \int_{x=-\infty}^{+\infty} y dx \quad (2)$$

Površina A između *Gaussove* krivulje i x-osi za određene intervale normalne slučajne varijable x definira vjerojatnost pojavljivanja rezultata u dotičnom intervalu prema Tablici 2.1.

$$A = \int_{\bar{x}-u\cdot\sigma}^{\bar{x}+u\cdot\sigma} y dx \quad (2.1)$$

Tablica 2.1. Vjerojatnost p (%) pojavljivanja rezultata u dotičnom intervalu ovisno o intervalu normalne slučajne varijable X

Interval normalne slučajne varijable $X = \bar{x} \pm u \cdot \sigma$	Površina A prema formuli (2.1)	Vjerojatnost p (%)	Napomena
$\bar{x} \pm 0,67 \cdot \sigma$	A = 0,5	50 %	
$\bar{x} \pm 1 \cdot \sigma$	A = 0,683	68,3 %	
$\bar{x} \pm 2 \cdot \sigma$	A = 0,954	95,4 %	
$\bar{x} \pm 3 \cdot \sigma$	A = 0,997	99,7 % ≈ 100 %	gotovo siguran događaj

$M = \bar{h}$, izračunan prema formuli (3), prosječna (aritmetička) je vrijednost neke antropomjere, npr. visine h iz slučajnoga uzorka od n ispitanika (sudionika u prometu) oko koje su nanizane sve izmjerene vrijednosti visina za n ispitanika iz slučajnoga uzorka [9,10].

$$M = \bar{h} = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{n} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n h_j \quad (3)$$

$M_r = \overline{h_i/h}$, izračunan prema formuli (3.1), prosječna (aritmetička) je vrijednost omjera h_i/h pojedine izmjerene antropomjere h_i u odnosu na izmjerenu stojeću visinu h iz slučajnoga uzorka od n ispitanika (sudionika u prometu) oko koje su nanizane sve ostale izračunane vrijednosti omjera h_i/h za n ispitanika iz slučajnoga uzorka [9].

$$M_r = \overline{h_i/h} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n \left(\frac{h_i}{h} \right)_j \quad (3.1)$$

Međutim, ako se analizira omjer dviju izmijerenih veličina, tj. izmjerene antropomjere, poput omjera h_i/h neke antropomjere h_i u odnosu na stojeću visinu h , preporučuje se [9] koristiti harmonijsku srednju vrijednost tjelesnih omjera H_r izračunatu prema formuli (4).

$$H_r = \frac{n}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{x_i} \right)_j} = \frac{n}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{h_i}{h} \right)_j} \quad (4)$$

Statistička veličina izračunana prema formuli (5) koja opisuje rasipanje vrijednosti antropomjera za konačnu populaciju od N ispitanika naziva se varijancom ili disperzijom σ^2 . Ona predstavlja prosječnu vrijednost kvadrata odstupanja za slučajnu varijablu, na primjer stojeću visinu pojedinoga ispitanika h_j od njezine očekivane srednje vrijednosti μ .

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{j=1}^n (h_j - \mu)^2 \quad (5)$$

Umjesto varijance često se koristi standardna devijacija ili srednja kvadratična pogreška SD koja se za n ispitanika iz slučajnoga uzorka izračunava prema formuli (6) kao drugi korijen iz varijance (disperzije).

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{j=1}^n (h_j - M)^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{j=1}^n \Delta h^2} \quad (6)$$

Oznaka SD koristi se za standardnu devijaciju vrijednosti antropomjera za n ispitanika iz slučajnoga uzorka, a oznaka σ koristi se za standardnu devijaciju vrijednosti antropomjera kod N ispitanika iz cijele konačne populacije. Druga je često korištena oznaka za standardnu devijaciju vrijednosti antropomjere iz uzorka oznaka s (oznake koje su grčka slova koriste se isključivo za cijelu populaciju).

Normalna ili *Gaussova* krivulja za standardnu funkciju gustoće vjerojatnosti osno je simetrična u odnosu na pravac ordinate za $\bar{x} = 0$ i kao takva nije iskoristiva u primjenjenoj antropometriji jer je, na primjer, prosječna (aritmetička) srednja vrijednost stajeće visine ljudskoga tijela uvijek neki pozitivan broj $\bar{h} > 0$ pa govorimo o nestandardnoj funkciji gustoće vjerojatnosti.

Zbog toga je uvedena standardizirana varijabla z koja je definirana prema formuli (7) na primjeru stojeće visine h za slučajni uzorak od n ispitanika.

$$z = \frac{h - \bar{h}}{SD} = \frac{h - M}{SD} \quad (7)$$

Prema formuli (7) očigledno je da je:

- za iznos stojeće visine $h > \bar{h}$ iznos standardizirane varijable $z > 0$
- za iznos stojeće visine $h < \bar{h}$ iznos standardizirane varijable $z < 0$
- za iznos stojeće visine $h = \bar{h}$ iznos standardizirane varijable $z = 0$.

Ukoliko nam je poznata prosječna (aritmetička) srednja vrijednost stojeće visine M i iznos standardne devijacije SD za n ispitanika iz uzorka, moguće je s pomoću formula (8) i (9) izračunati granične iznose visina za peti centil $5\ c$ i devedeset i peti centil $95\ c$ [10].

$$5,0 \cdot c = M - 1,65 \cdot SD \quad (8)$$

$$95,0 \cdot c = M + 1,65 \cdot SD \quad (9)$$

Prema *Kroemeru* i *Grandjeanu* [10] treba izuzeti 5 % najvećih i 5 % najmanjih osoba iz cijele populacije istraživanih sudionika u prometu (u pojedinačnoj tjelesnoj dimenziji na koju se analiza odnosi). Potrebno je obuhvatiti percentile koji se nalaze između 5 % i 95 %, tj. centralnih 90% od slučajno selektiranoga i dovoljnoga uzorka, što je tada gotovo jednako centralnim 90% od cijele populacije ispitanika (što je uzorak veći, odstupanje je manje).

Izraz (10) za $\Delta h_{90\%}$ pokazuje izračunani raspon, npr. stojeće visine kod centralnih 90 % ispitanika iz uzorka od n sudionika u prometu.

$$\Delta h_{90\%} = 5,0 \cdot c \div 95,0 \cdot c \quad (10)$$

Odstupanje s_M srednjega iznosa $M = \bar{h}$ stojeće visine h kod slučajnoga uzorka n ispitanika u odnosu na očekivanu srednju vrijednost stojeće visine μ kod osnovnoga skupa ukupne populacije od N ispitanika procjenjuje se prema izračunanim iznosu s pomoću formule (11) jer je osnovni skup ukupne populacije od N istraživanih muških i/ili ženskih sudionika u prometu uvijek konačan.

Iznos je odstupanja s_M mjera procjene je li slučajni uzorak i dovoljan.

$$s_M = \frac{SD}{\sqrt[2]{n}} \cdot \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \quad (11)$$

Teoretski minimalan dovoljan broj ispitanika iz slučajnoga uzorka $n = 30$, koji preporučaju matematičari bez obzira na veličinu populacije, nije dovoljan u primjenjenoj antropometriji iz više razloga (koji će biti detaljno objašnjeni u tekstu koji slijedi). Za vjerodostojne je rezultate potrebno tijekom mjerena obuhvatiti najveći mogući broj ispitanika n iz cjelokupne populacije od N ispitanika, a ako je istraživana populacija sudionika u prometu mješovita (muško-ženska) i različite navršene dobi, potrebno je, između ostalog, težiti spolno-dobnoj ujednačenosti uzorka.

2.2. Dokazivanje normalne razdiobe varijable stojeće visine h s pomoću χ^2 -testa

Hipoteza H_0 (*na primjeru za jednostruku klasifikaciju gdje se provjerava normalitet samo jedne varijable, tj. obilježja, stojeće visine h kod n ispitanika iz slučajnoga uzorka*): prikazana raspodjela stojeće visine h za n ispitanika iz slučajnoga uzorka ne odstupa statistički značajno od normalne.

Pojašnjenje H_0 : ne odstupa statistički značajno jer se opažene frekvencije f_o ne razlikuju bitno od teorijskih f_t za razrede r u koje su grupirani rezultati.

Pojašnjenje odabira visine h za istraživanu varijablu (*kod jednostrukke klasifikacije*): iz dostupne je znanstvene literature [10] poznato kako stojeća visina h kod bilo koje populacije muških ili ženskih ispitanika, bilo koje navršene dobi, ne odstupa statistički značajno od normalne razdiobe.

Obvezne pretpostavke [11] za općenitu primjenu χ^2 -testa (Hi-kvadrat testa) koje vrijede za jednostruku i višestruku klasifikaciju:

1. Računa se samo na frekvencijama (konstruiran je ponajprije za testiranje H_0 na kategorijalnim podatcima).
2. Suma svih opaženih frekvencija f_o i svih teorijskih frekvencija f_t mora biti $f_o = f_t = n$.
3. Teorijske frekvencije f_t moraju biti $f_t \geq 5$ za svaku kategoriju (za svaki razred r).
4. Rezultati moraju biti neovisni (svaki pripada drugom entitetu) jer je to pretpostavka u izvodu χ^2 -testa.
5. Kad god χ^2 -test primjenjujemo na situacije u kojima se neko obilježje javilo ili se nijejavilo, u račun χ^2 -testa moramo uključiti obje kategorije i pripadajuće frekvencije.

Prije dokazivanja potrebno je mjerenjima svakom entitetu (ispitaniku) od n ispitanika iz slučajnoga uzorka pridružiti brojčani iznos kojim se opisuje duljina istraživane antropomjere h_i (izraženost promatranoga obilježja) u cm kod ispitanika.

Sastavnice logično organiziranih rezultata za tablični prikaz:

- rangiranje vrijednosti varijable x
- grupiranje rezultata u razrede r
- određivanje sredine razreda m_r
- određivanje frekvencija (učestalosti) pojedinih rezultata po razredima f_o , f_c , f_r i f_{cr}

Smjernice za određivanje broja razreda r (tj. broja kategorija k):

- preporuka je neparan broj razreda r
- χ^2 statistika primjenjuje se za 2 ili više razreda ($r \geq 2$)
- preporuka za manji broj ispitanika $r < 10$, a prema Howelu [12] ovisno o broju ispitanika

$$r = \sqrt{n} \quad (12)$$

- za veći broj ispitanika preporuke su prema *Howelu* [12] $r \approx 10$, odnosno prema *Petzu* [13] $r = 10 \div 20$.

Važno je napomenuti kako je određivanje broja razreda r vještina koja se stječe vježbom i nema univerzalne preporuke koju je moguće uvijek primijeniti na konkretni slučaj.

Primjer 1.

Dokazivanje normalne razdiobe stojeće visine h za $n = 34$ studentice diplomskoga studija FPZ-a. Korištenjem digitalne vase s mehaničkim visinomjerom Tanita WB 3000 [7], koja je prikazana na Slici 2.3., izmjerene su 2013. godine stojeće visine h i mase m za $n = 34$ studentice diplomskoga studija FPZ-a. Izračunan je srednji iznos visine uzorka $M = \bar{h} = 170,35 \text{ cm}$ prema formuli (3) uz standardnu devijaciju uzorka $SD = 5,81 \text{ cm}$ prema formuli (6), a izmjerene se visine h od najmanjega do najvećega izmijerenoga iznosa rangiraju uz frekvenciju učestalosti pojedine izmjerene vrijednosti f kao u Tablici 2.2.



Slika 2.3. Digitalna vaga s mehaničkim visinomjerom Tanita WB 3000

Izvor: Katalog mjerne opreme Lab za PEuP, 2013. [7]

Tablica 2.2. Visine h za $n = 34$ studentice diplomske studije FPZ-a rangirane uz frekvenciju učestalosti f pojedine vrijednosti

x_{gr}	f										
160	2	163	1	168	5	172	3	175	2	178	1
161	2	165	1	170	1	173	3	176	2	180	1
162	1	166	2	171	2	174	3	177	1	182	1

Izvor: Mjerenja u Lab za PeuP. 2013. FPZ. Zagreb.

Broj razreda izračunan prema formuli (12.1) zaokružuje se na bliži cijeli neparan broj.

$$r = \sqrt{n} = \sqrt{34} = 5,8 \quad (12.1)$$

Odabran je manji neparan broj razreda $r = 5$.

Potrebno je dodati prvi i posljednji (sedmi) razred. Iako u njima neće biti (ne smije biti) opaženih ispitanika iz slučajnoga uzorka, postoji teoretska vjerojatnost da bi za veći uzorak bilo opaženih ispitanika i u tim dvama dodanim razredima, što dokazuje izračunana vjerojatnost pojavljivanja Δp u tim kategorijama, tj. u prvom i u sedmom dodanom razredu r , prema prikazanom u Tablici 2.3.

Grupirajući raspon GR , tj. raspon varijable cijelogra slučajnoga uzorka:

$$GR = (h_{\max} - h_{\min}) + 1 = (182 - 160) + 1 = 23 \text{ cm} \quad (13)$$

Raspon je varijable razreda i (zaokružen na prvu veću vrijednost cijelogra broja jer određuje granice razreda) izračunan prema formuli (14).

$$i = Roundup(GR/r) = Roundup(4,6) = 5 \text{ cm} \quad (14)$$

Kumulativna frekvencija f_c izračunava se kao zbroj frekvencije određenoga razreda i svih frekvencija svih prethodnih razreda, dok se relativna frekvencija f_r pojedinoga razreda izračunava prema formuli (15).

$$f_r = f_o/n \quad (15)$$

Kumulativna relativna frekvencija f_{cr} izračunava se kao zbroj relativne frekvencije određenoga razreda i svih relativnih frekvencija svih prethodnih razreda, stoga kumulativna relativna frekvencija posljednjega razreda mora biti $f_{cr} \approx 1$.

Ako se prema formuli (16) relativna frekvencija f_r množi sa 100, dobiva se postotni udio (%) u pojedinom razredu.

$$f_r \cdot 100 = \% \quad (16)$$

Gornja granica razreda gg određuje se prema formuli (17).

$$gg = dg + (i - 1) \quad (17)$$

Sredina pojedine kategorije, tj. pojedinoga razreda m_r izračunava se prema formulu (18) iz donje granice razreda dg i gornje granice razreda gg .

$$m_r = \frac{dg + gg}{2} \quad (18)$$

Kako iznose antropomjera (uključivši i stojeću visinu h) nakon mjerena zaokružujemo na cijeli broj u cm, prava se donja granica razreda P_{dgr} dobije tako da se donja granica razreda dg smanji za 0,5 nakon podjele varijable u razrede jer su vrijednosti varijabla cijeli brojevi.

Nakon toga potrebno je izračunati standardiziranu varijablu z za svaku pravu donju granicu razreda P_{dgr} prema formuli (7.1)

$$z = \frac{P_{dgr} - \bar{h}}{SD} = \frac{P_{dgr} - M}{SD} \quad (7.1)$$

Poznavajući iznose $z(P_{dgr})$ moguće je očitati vjerojatnosti pojavljivanja varijable p do iznosa varijable na prvoj donjoj granici razreda te je nakon toga konačno moguće i izračunati vjerojatnost pojavljivanja Δp u pojedinoj kategoriji, tj. pojedinom razredu r .

Teorijska frekvencija pojedinoga razreda f_t izračunava se s pomoću vjerojatnosti pojavljivanja u pojedinom razredu Δp prema formuli (19).

$$f_t = \Delta p \cdot n \quad (19)$$

Obvezna je sljedeća kontrola obvezne pretpostavke za općenitu primjenu χ^2 -testa (Hikvadrat testa); prema izrazu (20) suma opaženih frekvencija f_o i suma teorijskih frekvencija f_t

mora biti jednaka, a prema tabličnom izračunu iz Tablice 2.3. vidljivo je kako je taj uvjet zadovoljen.

$$\sum f_o = \sum f_t \quad (20)$$

Napomena: ako se razredi iz Tablice 2.3., koja je izrađena u Excelu, zbrajaju (uz uvjet primjene testa tako da teorijske frekvencije po pojedinom razredu moraju biti $f_t \geq 5$), smiju se zbrajati simetrično s gornje i donje strane distribucije.

Tablica 2.3. Tablični prikaz opaženih frekvencija f_o i teorijskih frekvencija f_t po razredima

Raspont visine razreda (dg ÷ gg)	f_o	f_c	f_r	f_{cr}	m_r	P_{dgr}	$z(P_{dgr})$	p	Δp	f_t
155 ÷ 159	0	0	0,00	0,00	157	154,5	-2,73	0,0032	0,03	0,94
160 ÷ 164	6	6	0,18	0,18	162	159,5	-1,87	0,0307	0,13	4,27
165 ÷ 169	8	14	0,24	0,41	167	164,5	-1,01	0,1562	0,28	9,66
170 ÷ 174	12	26	0,35	0,76	172	169,5	-0,15	0,4404	0,32	10,90
175 ÷ 179	6	32	0,18	0,94	177	174,5	0,71	0,7611	0,18	6,14
180 ÷ 184	2	34	0,06	1,00	182	179,5	1,57	0,9418	0,05	1,72
185 ÷ 189	0	34	0,00	1,00	187	184,5	2,43	0,9925	0,01	0,25
$\sum f_o =$	34							$\sum f_t =$	33,89	

Zbog uvjeta primjene χ^2 -testa tako da teorijske frekvencije moraju biti $f_t \geq 5$ za svaki pojedinačni razred r, a uz simetrično zbrajanje razreda s gornje i donje strane distribucije u Tablici 2.3., dolazimo do konačnoga broja od $r = 3$ razreda u Tablici 2.4. u kojoj su prikazani i elementi izračuna Hi-kvadrat statističkoga testa u programu Excel, a prema formuli (21).

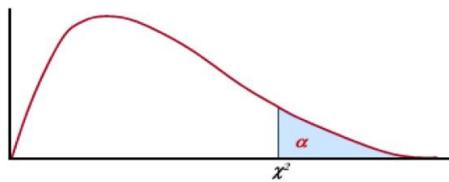
Tablica 2.4. Tablični izračun Hi-kvadrat testa χ^2

f_o	f_t	$(f_o - f_t)^2$	$(f_o - f_t)^2 / f_t$
14	14,86	0,7479	0,050
12	10,90	1,2017	0,110
8	8,12	0,0150	0,002
$\chi^2 =$		0,162	

Hi-kvadrat statistički test [12] izračunan je u Tablici 2.4 prema formuli (21).

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \frac{(f_o - f_t)^2}{f_t} = 0,162 \quad (21)$$

Tablica 2.5. Granične vrijednosti Hi-kvadrat statističkoga testa χ^2_{gr} ovisno o df i p
 χ^2 - distribucija



Granične vrijednosti varijable χ^2 za pripadne površine ispod krivulje i df stupnjeva slobode

df	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80	0,50	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	0,000	0,001	0,004	0,016	0,064	0,455	1,642	2,706	3,841	5,412	6,635	10,828
2	0,020	0,040	0,103	0,211	0,446	1,386	3,219	4,605	5,991	7,824	9,210	13,816
3	0,115	0,185	0,352	0,584	1,005	2,366	4,642	6,251	7,815	9,837	11,345	16,266
4	0,297	0,429	0,711	1,064	1,649	3,357	5,989	7,779	9,488	11,668	13,277	18,467
5	0,554	0,752	1,145	1,610	2,343	4,351	7,289	9,236	11,070	13,388	15,086	20,515
6	0,872	1,134	1,635	2,204	3,070	5,348	8,558	10,645	12,592	15,033	16,812	22,458
7	1,239	1,564	2,167	2,833	3,822	6,346	9,803	12,017	14,067	16,622	18,475	24,322
8	1,646	2,032	2,733	3,490	4,594	7,344	11,030	13,362	15,507	18,168	20,090	26,124
9	2,088	2,532	3,325	4,168	5,380	8,343	12,242	14,684	16,919	19,679	21,666	27,877
10	2,558	3,059	3,940	4,865	6,179	9,342	13,442	15,987	18,307	21,161	23,209	29,588
11	3,053	3,609	4,575	5,578	6,989	10,341	14,631	17,275	19,675	22,618	24,725	31,264
12	3,571	4,178	5,226	6,304	7,807	11,340	15,812	18,549	21,026	24,054	26,217	32,909
13	4,107	4,765	5,892	7,042	8,634	12,340	16,985	19,812	22,362	25,472	27,688	34,528
14	4,660	5,368	6,571	7,790	9,467	13,339	18,151	21,064	23,685	26,873	29,141	36,123
15	5,229	5,985	7,261	8,547	10,307	14,339	19,311	22,307	24,996	28,259	30,578	37,697
16	5,812	6,614	7,962	9,312	11,152	15,338	20,465	23,542	26,296	29,633	32,000	39,252
17	6,408	7,255	8,672	10,085	12,002	16,338	21,615	24,769	27,587	30,995	33,409	40,790
18	7,015	7,906	9,390	10,865	12,857	17,338	22,760	25,989	28,869	32,346	34,805	42,312
19	7,633	8,567	10,117	11,651	13,716	18,338	23,900	27,204	30,144	33,687	36,191	43,820
20	8,260	9,237	10,851	12,443	14,578	19,337	25,038	28,412	31,410	35,020	37,566	45,315
21	8,897	9,915	11,591	13,240	15,445	20,337	26,171	29,615	32,671	36,343	38,932	46,797
22	9,542	10,600	12,338	14,041	16,314	21,337	27,301	30,813	33,924	37,659	40,289	48,268
23	10,196	11,293	13,091	14,848	17,187	22,337	28,429	32,007	35,172	38,968	41,638	49,728
24	10,856	11,992	13,848	15,659	18,062	23,337	29,553	33,196	36,415	40,270	42,980	51,179
25	11,524	12,697	14,611	16,473	18,940	24,337	30,675	34,382	37,652	41,566	44,314	52,620
26	12,198	13,409	15,379	17,292	19,820	25,336	31,795	35,563	38,885	42,856	45,642	54,052
27	12,879	14,125	16,151	18,114	20,703	26,336	32,912	36,741	40,113	44,140	46,963	55,476
28	13,565	14,847	16,928	18,939	21,588	27,336	34,027	37,916	41,337	45,419	48,278	56,892
29	14,256	15,574	17,708	19,768	22,475	28,336	35,139	39,087	42,557	46,693	49,588	58,301
30	14,953	16,306	18,493	20,599	23,364	29,336	36,250	40,256	43,773	47,962	50,892	59,703
35	18,509	20,027	22,465	24,797	27,836	34,336	41,778	46,059	49,802	54,244	57,342	66,619
40	22,164	23,838	26,509	29,051	32,345	39,335	47,269	51,805	55,758	60,436	63,691	73,402
45	25,901	27,720	30,612	33,350	36,884	44,335	52,729	57,505	61,656	66,555	69,957	80,077
50	29,707	31,664	34,764	37,689	41,449	49,335	58,164	63,167	67,505	72,613	76,154	86,661
60	37,485	39,699	43,188	46,459	50,641	59,335	68,972	74,397	79,082	84,580	88,379	99,607
70	45,442	47,893	51,739	55,329	59,898	69,334	79,715	85,527	90,531	96,388	100,425	112,317
80	53,540	56,213	60,391	64,278	69,207	79,334	90,405	96,578	101,879	108,069	112,329	124,839
90	61,754	64,635	69,126	73,291	78,558	89,334	101,054	107,565	113,145	119,648	124,116	137,208
100	70,065	73,142	77,929	82,358	87,945	99,334	111,667	118,498	124,342	131,142	135,807	149,449
500	429,388	437,219	449,147	459,926	473,210	499,334	526,401	540,930	553,127	567,070	576,493	603,446

MV2008

Izvor: www.sumfak.unizg.hr/download.aspx?.../Tablica%20hi-kvadrat%20distr...

Broj stupnjeva slobode df izračunava se prema formuli (22) u odnosu na konačni broj $r = 3$ razreda iz Tablice 2.4.

$$df = r - 1 = 2 \quad (22)$$

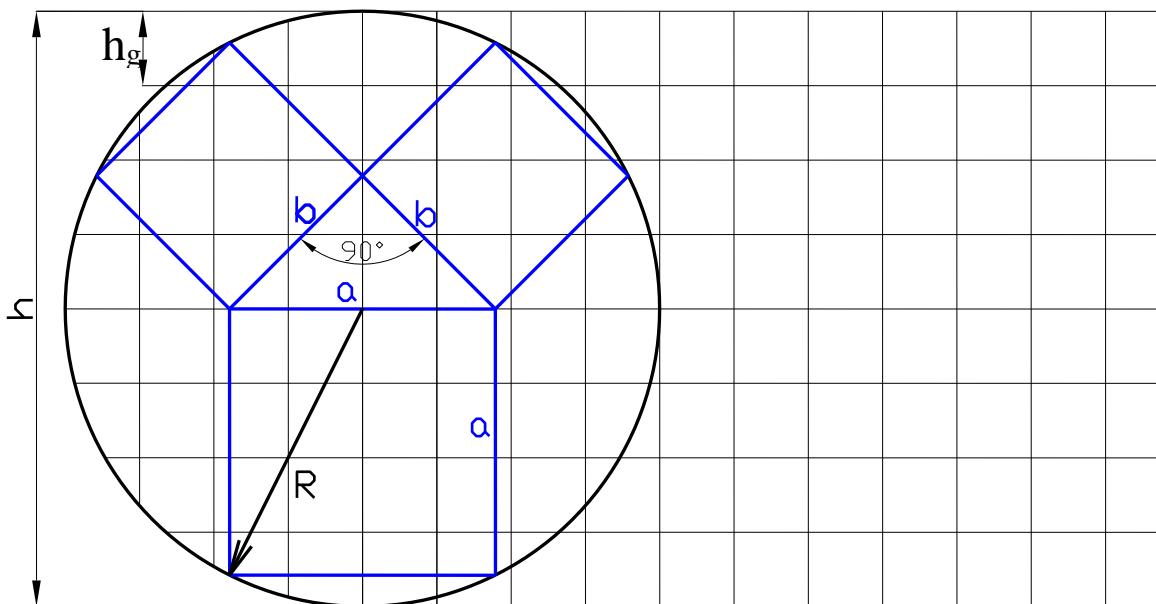
Iz Tablice 2.5. očitan je (za $df = 2$ i $p = 0,05$) granični iznos Hi-kvadrat statističkoga testa

$$\chi^2_{gr} = 5,9.$$

Kako je iznos izračunanoga Hi-kvadrat testa manji od iznosa očitanoga graničnoga, tj. $\chi^2 < \chi^2_{gr}$, hipoteza H_0 zadovoljena je, možemo tvrditi kako raspodjela stajeće visine h za $n = 34$ ženskih ispitanika iz slučajnoga uzorka statistički značajno ne odstupa od normalne.

3. HARMONIJSKA ANALIZA TJELESNIH DULJINA NA TEMELJU HARMONIJSKE KRUŽNICE ZEDERBAUERA I MUFTIĆA

Konstrukciju je harmonijske kružnice radijusa R dao *Zederbauer* početkom prošloga stoljeća tako da je harmonijska kružnica geometrijska konstrukcija istokračnoga trokuta kojem su na stranicama podignuti kvadrati. Odnosi su polumjera kružnice R i stranica jednakokračnoga trokuta a i b uvijek isti harmonijski brojevi bez obzira na promjenu veličine polumjera kružnice. Muftić je odabrao promjer harmonijske kružnice $2R$ za visinu tijela čovjeka h pa je mreža od kanona osam visina glave h_g pridružena promjeru harmonijske kružnice i visini tijela čovjeka te je tako utvrđena veza između harmonijskih brojeva i antropomjera čovjeka, izraz (23) i Slika 3.1. [15].



Slika 3.1. Harmonijska kružnica *Zederbauera* i Muftića s pridruženim kanonom osam visina glava kao mjerom za stojeću visinu čovjeka

Izvor: Muftić, O. i sur. 2001. Zagreb. (pilagođeno) [15]

$$2 \cdot R = h = 8 \cdot h_g \quad (23)$$

Kružnica na Slici 3.1. poznata je u literaturi [15] pod imenom harmonijska kružnica *Zederbauera* i Muftića. Iz njezine su konstrukcije dobivene veličine koje nazivamo harmonijskim brojevima, Tablica 3.1.

Tablica 3.1. Harmonijske veličine kao harmonijski brojevi

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

Izvor: Muftić, O. i sur. 2001. Zagreb. (prilagođeno) [14]

Harmonijska analiza čovjeka pokazuje kako su funkcije antropometrijskih veličina, tj. segmentalnih duljina ovisne o stojećoj visini čovjeka h na temelju odnosa vidljivih u Tablici 3.2. Sve funkcije $h_i=h_i(h)$ koje su prikazane u Tablici 3.2. univerzalno vrijede za mlade i zdrave pripadnike obaju spolova. U stvarnosti ipak postoje manja odstupanja funkcionalnih ovisnosti antropometrijskih veličina h_i o stojećoj visini h između muškaraca i žena.

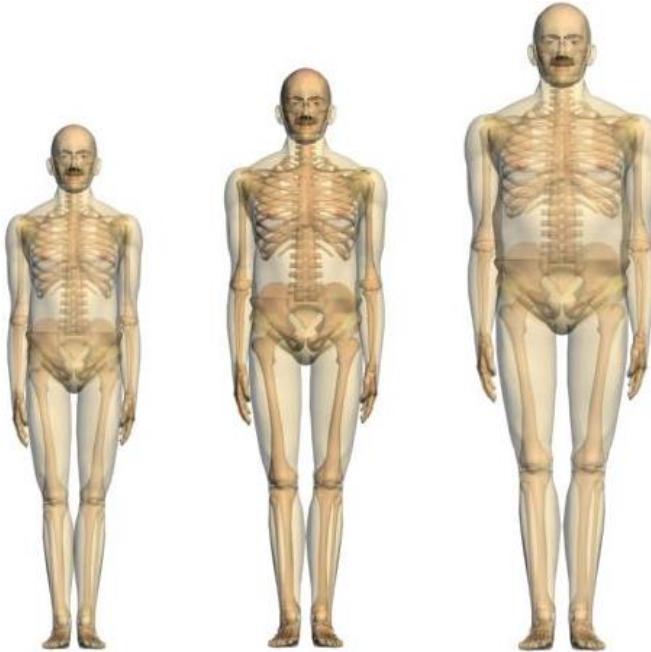
Tablica 3.2. Antropometrijske veličine čovjeka kao funkcija stojeće visine h

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

Izvor: Muftić, O. i sur. 2001. Zagreb. (prilagođeno) [14]

U mjerilu je moguće izraditi (na milimetarskom papiru ili u AutoCAD-u) dvodimenzionalni (2D) štapni biomehanički model ispitanika (u sagitalnoj ravnini) na sljedeći način: kostur čovjeka ili žičani model dobije se ucrtavanjem spojnih duljina, a spojne su duljine segmentalne duljine čovjeka h_i kao funkcije njegove visine h dobivene iz harmonijske kružnice Zederbauera i Muftića.

Antropometrijske su varijacije kod odraslih muškaraca i žena u odnosu na iznos kanona osam visina glave u rasponu od jednoga modula, odnosno smatra se kako ukupna visina čovjeka može varirati unutar intervala od 7,5 do 8,5 visina glave, međutim, to može biti čak i devet visina glave za takozvane herojski izgrađene ljude kao što je prikazano na Slici 3.2. [8]. Svaki je kanon oblikovan prema modulu koji određuje izabranu dimenziju dijela tijela, a prema kojoj se definiraju sve ostale veličine tjelesnih segmenata koje su za neki broj veće ili manje od dimenzija odabranoga modula.

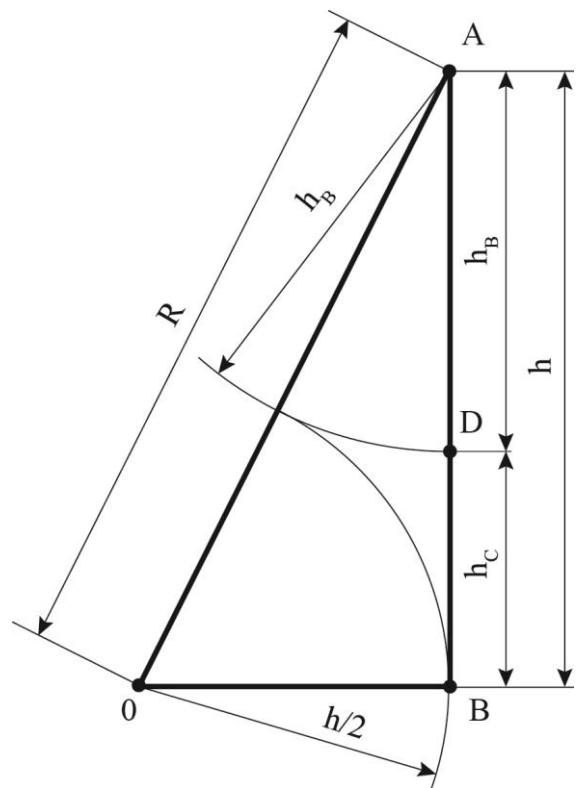


Slika 3.2. Varijacije ljudskog tijela u različitim kanonima visine glave

Izvor: Jurum-Kipke, J. et al. 2007. Zagreb. [8]

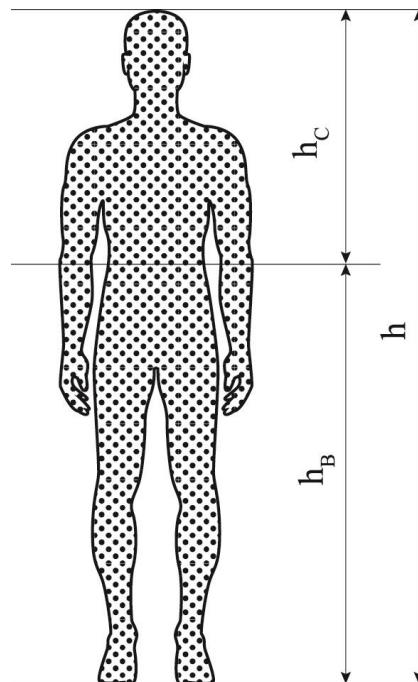
Tijekom budućih će istraživanja raspon odstupanja kanona osam visina glave biti izračunan na temelju mjerjenja karakterističnih antropomjera ovisno o spolu i dobi različitih muških i ženskih ispitanika iz Republike Hrvatske, poput muških i ženskih studenata Sveučilišta u Zagrebu, muških i ženskih vozača tramvaja ZET-a u Zagrebu itd.

Geometrijska je konstrukcija omjera zlatnoga reza za ljudsko tijelo (na temelju činjenice da je na ljudskom tijelu za centralnu točku određen pupak) prikazana na Slikama 3.3. i 3.4., a objašnjena je formulama (24), (25), (26) i (27).



Slika 3.3. Analiza ljudskoga tijela na temelju zlatnoga omjera

Izvor: Ujević, D. i sur. 2009. Zagreb (prilagođeno) [15]



Slika 3.4. Ljudsko tijelo i zlatni rez

Izvor: Ujević, D. i sur. 2009. Zagreb. (prilagođeno) [15]

$$R = h/2 + h_B \quad (24)$$

$$R^2 = h^2 + (h/2)^2 = 5/4h^2 \quad (24.1)$$

$$R = \sqrt{\frac{5h^2}{4}} = \frac{\sqrt{5}}{2}h = 1,1180 \cdot h \quad (24.2)$$

$$h_B = R - h/2 = \frac{\sqrt{5}}{2}h - h/2 = 0,618 \cdot h \quad (25)$$

$$h_B/h = 0,618 \quad (25.1)$$

$$h_C = h - h_B = h - 0,6180 \cdot h = 0,3819 \cdot h \quad (26)$$

$$h_C/h_B = h_B/h = 0,618 \quad (27)$$

4. FIZIOLOŠKA ANTROPOLOGIJA

Pojam *antropologija* ima korijene u starogrčkoj riječi (grč. *antropos* = čovjek + *logos* = znanost).

Jedna je od mogućih podjela antropologije sljedeća:

- *socijalna antropologija*

Istražuje čovjeka kao društveno, kulturno i duhovno biće u materijalnim i duhovnim sferama i može se podijeliti na sljedeće podskupine:

- *kulturološku antropologiju* (društvena ili sociokulturološka antropologija)
- *lingvističku antropologiju*: istražuje uporabu i varijacije jezika te odnos kulture i jezika
- *arheologiju*: istražuje materijalnu baštinu.

- *bioantropologija*, tj. *biološka antropologija*

Istražuje čovjeka kao živo biće, tj. kao biološku vrstu, a neke od glavnih podskupina koje su zanimljive i primjenjive u tehničkom području znanosti jesu:

- *biotipologija*: klasifikacija somatotipova, tj. vrsta fizičkih konstitucija
- *morfologija*: istražuje vanjski oblik i vanjsku strukturu organizama
- *fiziologija ili fiziološka antropologija*: istražuje funkcije organizama i njihovih dijelova, tj. organa.

Fiziologija ili *fiziološka antropologija* grana je bioantropologije koja istražuje funkcije i životne procese živih organizama ili njihovih dijelova, tj. organa ljudi, životinja, biljaka, stanica, mikroorganizama, bakterija i virusa.

Zadatci *fiziološke antropologije* čovjeka:

- istražiti različite karakteristike ljudi
- istražiti kako različiti dijelovi organizama rade zajedno kako bi ostvarili neke od njihovih funkcija.

Fiziološka antropologija ljudi

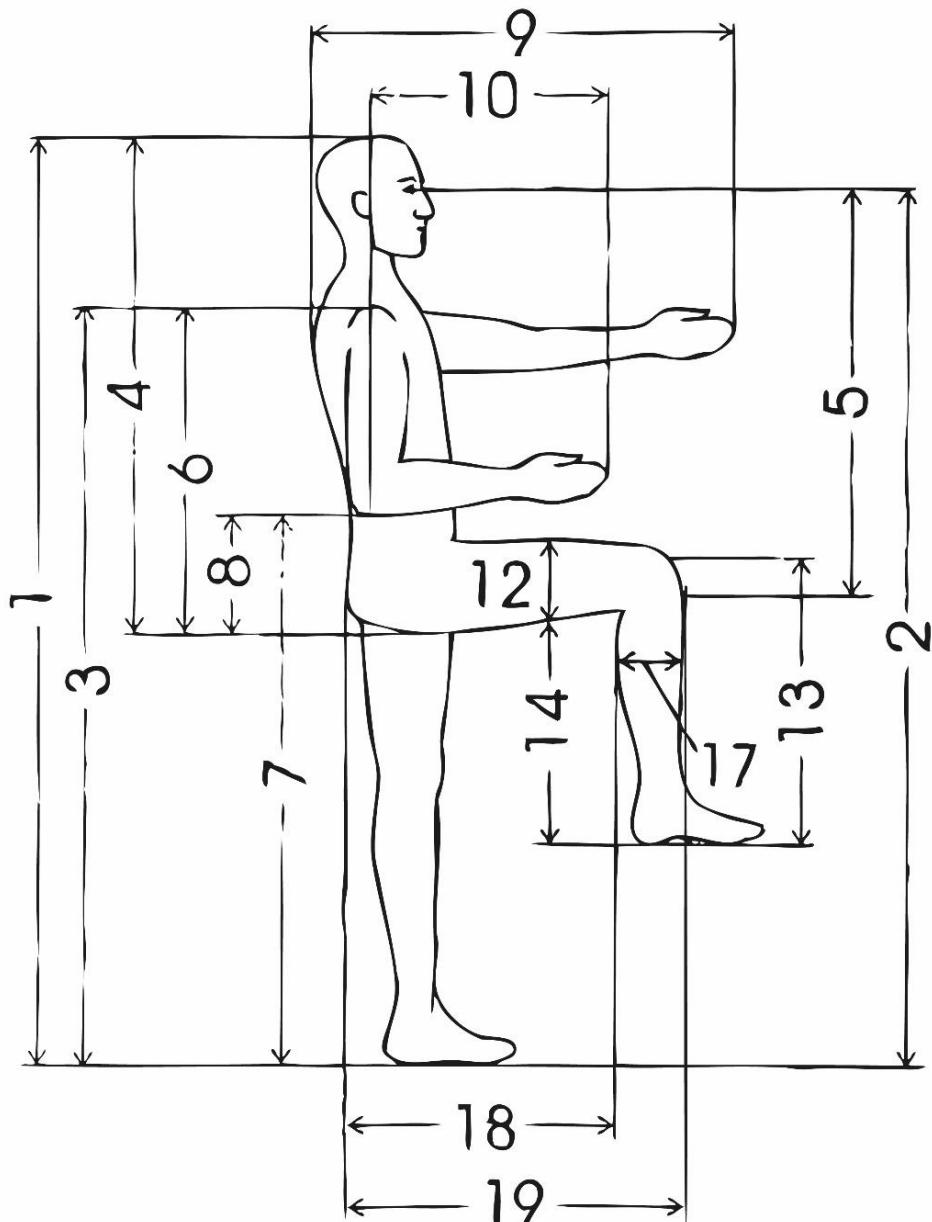
- Svi su oblici ljudskoga gibanja posljedica kontrakcija skeletnih mišića (sposobnost skraćivanja na pola normalne duljine u mirovanju) do kojih dolazi zbog biokemijskih reakcija u skeletnim mišićima koje su izazvane pojedinačnim električnim impulsima vrlo slabe struje koje mozak odašilje do skeletnih mišića kroz motorička živčana vlakna brzinom od 12 do 120 m/s[10].

- Gibanje, između ostalog, ovisi i o razdiobi segmentalnih masa za vrijeme gibanja (skeletni mišići čine prosječno 40 % tjelesne mase, a kod muškaraca je mišićna masa oko 15 % većega udjela u tjelesnoj masi nego kod žena).
- Cjelovito je gibanje upravljanje putem fiziologije mišljenja.

Pojam *antropometrija* ima korijene u starogrčkoj riječi (grč. *antropos* = čovjek + *metros* = mjera).

Antropometrija je bioantropoloska metoda proučavanja mjerljivih i brojivih, tj. kvantitativnih značajka čovjeka.

4.1. Primjenjena antropometrija s ciljem dizajna upravljačnice



Slika 4.1. Karakteristične antropomjere u Kroemerovom prikazu u sagitalnoj ravnini

Napomena: autor je dodao oznaku 19

Izvor: Muftić, O. i sur. 2001. Zagreb. (prilagođeno) [14]

Na Slici 4.1. (kao i u Tablicama 4.2. i 4.3.) prikazano je tipičnih 28 antropomjera koje su među najvažnijima za:

- *dizajniranje elemenata radnoga okoliša vozača* kao što su kabina, sjedalo vozača i upravljačka ploča, sve prilagođeno rasponima antropomjera za centralnih 90 % iz ciljane populacije vozača
- *pronalaženje pojednostavljenih izračuna* koji se temelje na mjerenu samo nekoliko najvažnijih antropomjera te korištenju spoznaja o relacijama između pojedinih dijelova

tijela ili o tjelesnim omjerima za najveći mogući uzorak ispitanika iz ciljane populacije ispitanika, jer nije dovoljan matematički minimum od $n = 30$ ispitanika u primjenjenoj antropometriji zbog više značajnih čimbenika koji utječu na iznose tjelesnih dimenzija.

Općenito razmatrajući, dimenzije ljudskoga tijela koje značajno utječu na dizajn radnoga okoliša sudionika u prometu (upravljačnice za vozače) mogu se podijeliti u tri skupine [15]:

- *statičke antropomjere*, sadrže dimenzije glave, torza i udova u standardnim statičkim pozicijama
- *kinematicke antropomjere*, sadrže mjerena u pojedinim radnim položajima ili tijekom kretanja koja su povezana s određenim zadatcima
- *dinamičke antropomjere*, sadrže dinamičke momente tromosti koji su potrebni pri utvrđivanju opterećenja kod gibanja.

Prema *Jurum-Kipkeu* i sur. [8] antropometrijske su varijable poligenetski čimbenici, a njihova je distribucija rezultat višestrukih utjecaja, čimbenika genetskoga i negenetskoga podrijetla. Fenotip (F_v) rezultat je interakcije genotipa (G_v) i mnogih čimbenika iz okoliša (E_v), što je prikazano izrazom (28).

$$F_v = E_v + G_v \quad (28)$$

Okolišni čimbenici, na primjer, mogu biti [8]:

- socioekonomске razlike
- razlike u navršenoj dobi ispitanika
- utjecaj prehrane
- tjelesna aktivnost itd.

Brojni čimbenici mogu prouzrokovati značajne varijacije u veličini ljudskoga tijela. Najvažniji su čimbenici varijacija veličine ljudskoga tijela [10] spol, navršena dob i etničke razlike.

Tijekom analize izmјerenih dimenzija tijela na najvećem mogućem slučajnom uzorku potrebno je istražiti utjecaj pet značajnih skupina čimbenika veličine ljudskoga tijela koji su sljedeći [8, 10, 15, 16]:

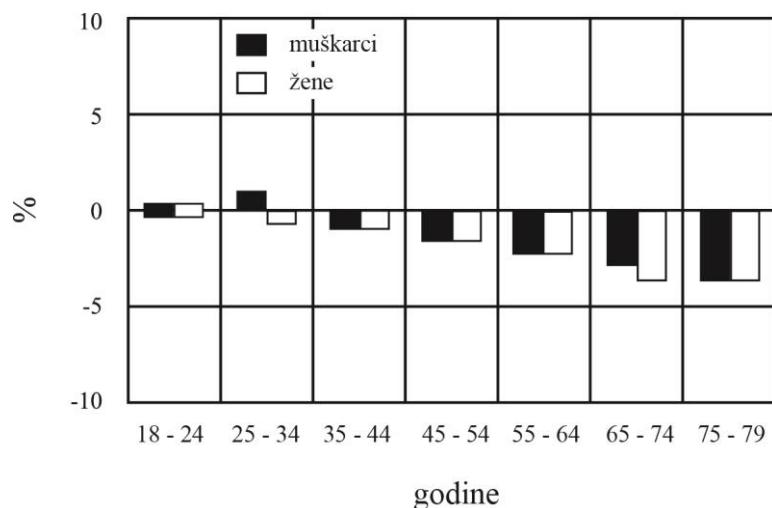
- *spol*: muškarci su viši u odnosu na žene iste navršene dobi
- *navršena dob*: relativne promjene u visini za oba spola s obzirom na navršene godine
- *etničke razlike*: pripadnost različitim rasama i različitim nacionalnim skupinama u različitim dijelovima svijeta

Rasne su razlike u osnovi genetske i one se mogu zanemariti u antropometriji, stoga se rasna pripadnost ne spominje kao zasebna skupina čimbenika. Potrebno je uzeti u obzir morfološke razlike prouzrokovane fenotipom (F_v). Tako su, na primjer, Afroamerikanci u SAD-u morfološki različiti u odnosu na Afrikance crne rase u Africi unatoč istom genotipu (G_v).

- *socioekonomski čimbenici*: između ljudi koji imaju različitu zanimanja i između ljudi koji imaju različitu razinu formalnoga obrazovanja
- *demografski čimbenici*: unutar iste etničke pripadnosti u različitim dijelovima zemlje (npr. morfološke razlike između ljudi u Dalmaciji i u Slavoniji).

Poznato je kako različiti ljudi iste navršene dobi i istoga spola iz različitih nacionalnih skupina imaju znatno različite stoeće visine tijela [9, 18] tako da se, na primjer, ne može ponuditi radni prostor u kabini lokomotive projektiran za azijsko tržište operaterima na srednjoeuropskom tržištu.

Prema autorima [15, 16, 17] navršena je dob značajan čimbenik vrijednosti tjelesnih dimenzija. Razvoj tjelesnih dimenzija tijela doseže vrhunac do kraja 20. godine kod muškaraca, dok žene taj maksimum postižu nekoliko godina ranije. Nakon dostizanja zrelosti dimenzije se tijela obaju spolova počinju smanjivati s dobi, što je prikazano na Slici 4.2.



Slika 4.2. Relativne promjene u tjelesnim dimenzijama ovisno o navšenoj dobi i spolu za žene i muškarce od 18 do 79 godina

Izvor: National Center for Health Statistic. 1965. [17]

Prema autorima [15, 16] socioekonomski su čimbenici također značajni čimbenici tjelesnih dimenzija uz dva primjera kako slijedi:

- između dvoje ljudi koji imaju *različitu razinu edukacije*: socioekonomski status utječe na dostupnost visoke edukacije, istraživanja gotovo uvijek ukazuju na veće vrijednosti

stojećih visina h studenata u odnosu na visine njihovih vršnjaka koji nisu stekli visoko obrazovanje;

- između dvoje ljudi koji imaju *različito zanimanje*: vojska kao skupina značajno se razlikuje od civilnoga stanovništva.

Provedeno je istraživanje za skupinu od pedeset i jednoga (51) strojovođu iz Republike Hrvatske u rasponu od 27 do 56 navršenih godina [18].

Navršena dob strojovođa značajno utječe na:

- visinu tijela, što potvrđuju rezultati prikazani u Tablici 4.1.
- ostale antropomjere koje manje ili više funkcionalno ovise o stojećoj visini tijela h .

Tablica 4.1. Tjelesna visina i masa muških strojovođa iz Republike Hrvatske ovisno o navršenoj dobi

Antropomjere	Simbol (mjerna jedinica)	Dobne skupine									
		cijeli uzorak (n = 51)		do 29 godina (n = 9)		od 30 do 39 godina (n = 13)		od 40 do 49 godina (n = 18)		od 50 do 59 godina (n = 11)	
		M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Visina tijela	h (cm)	178,9	5,7	177,2	6,0	180,6	6,2	178,6	6,1	178,5	4,0
Masa	m (kg)	91,9	14,1	81,4	13,9	96,5	12,9	91,2	11,3	95,6	16,5

Izvor: Mikulčić, M. et al. 2015. [18]

Ispitivana je hipoteza kako se vrijednosti tjelesnih omjera, koje su izračunane kao aritmetičke sredine $M_r = \bar{h_i} / h$ prema izrazu (3.1) ili harmonijske sredine H_r prema izrazu (4), značajno ne mijenjaju s navršenom dobi unatoč u literaturi dokazanoj promjeni stojeće visine tijela h i posljedično dokazanim promjenama drugih antropomjera ovisno o navršenoj dobi.

Ispitivanja autora na ispitanicima sudionicima u prometu iz RH [18, 19] pokazuju zanemarivo mala odstupanja iznosa harmonijske srednje vrijednosti H_r tjelesnih omjera h_i / h u odnosu na prosječnu (aritmetičku) vrijednost M_r , što je za strojovođe prikazano u Tablicama 4.2. i 4.3., stoga se u analizama omjera izmjerениh antropomjera h_i / h može koristiti prosječna (aritmetička) vrijednost M_r , a zbog mogućnosti opisivanja, tj. analize rasipanja svih vrijednosti oko prosječne (aritmetičke) vrijednosti tjelesnih omjera M_r .

Kada se izračuna aritmetička sredina $M = \bar{h}_i$ s pomoću izraza (3) i standardna devijacija SD s pomoću izraza (6) za sve pojedinačne antropomjere za n ispitanika iz uzorka, moguće je izračunati vrijednosti za peti percentil 5 c s pomoću izraza (8) i vrijednosti za devedeset i peti percentil 95 c s pomoću izraza (9) za sve pojedinačne istraživane antropomjere.

Izraz (10) za $\Delta h_{90\%}$ prikazuje izračunani raspon proučavanih antropomjera, tj. središnjih 90 % iz slučajno odabranoga i dovoljnoga uzorka koji tada vrijedi i za cijelu populaciju.

Rezultati do sada provedenih istraživanja [18, 19] potvrđuju hipotezu kako je moguće u budućnosti koristiti tjelesne omjere h_i / h za dizajn radnoga okoliša vozačeve kabine poznavajući samo raspon stojeće visine tijela h u središnjih 90 % iz slučajnoga i dovoljnoga uzorka (osim za antropomjere širina ramena i širina bokova).

Izračunana aritmetička sredina M_r i izračunana harmonijska sredina H_r tjelesnih omjera strojovođa h_i / h za pojedine antropomjere h_i u odnosu na stojeću visinu h jednake su za sve dobne skupine u uzorku, ali i za sve uzorke s manjim odstupanjima. Ista se situacija ponavlja za svih 25 istraživanih antropomjera.

Tablica 4.2. pokazuje tjelesne omjere i antropomjere za cijeli uzorak strojovođa, a Tablica 4.3. pokazuje tjelesne omjere h_i / h za pojedine antropomjere h_i u odnosu na stojeću visinu h ovisno o navršenoj dobi strojovođa.

Zbog nedovoljnoga i nejednakoga broja ispitanika u četirima dobnim skupinama i za samo jedan spol (svi su istraživani strojovođe muškarci), za konačne će se zaključke i konačnu potvrdu hipoteze s mogućnošću univerzalne primjene provesti dodatna istraživanja s većim uzorkom ispitanika različitih zanimanja i obaju spolova, uzimajući pritom u obzir nekoliko važnih čimbenika:

- Zbog mogućih utjecaja demografskih čimbenika nije istraženo porijeklo ispitanika iz različitih dijelova Republike Hrvatske, a gotovo svi muški ispitanici imaju istu razinu obrazovanja (srednja škola).
- Mogući su utjecaji nepreciznosti tijekom mjerjenja koja je izvršilo više različitih istraživača s različitim stupnjem iskustva u mjerenu antropomjera.
- Mogući su utjecaji različitoga postotnoga udjela pretilih i gojaznih osoba prema iznosu indeksa tjelesne mase, *ITM-u*, unutar određene dobne skupine.
- Potrebno je u mjerjenja uključiti i ispitanike ženskoga spola (npr. ženski vozači tramvaja ZET-a u Zagrebu različite navršene dobi) kako bi se provjerile moguće varijacije tjelesnih omjera između spolova.
- Potrebno je u mjerjenja kao muške i ženske ispitanike uključiti studente Sveučilišta u Zagrebu kako bi se istražio utjecaj socioekonomskih čimbenika (različito zanimanje) na tjelesne omjere u odnosu na muške i ženske vozače iste dobi.

Tablica 4.2. Tjelesni omjeri i antropomjere strojovođa za cijeli uzorak

Tjelesni segment / naziv statičke ili kinematicke antropomjere	Simbol	Onaka na Sl. 4.1.	Cijeli uzorak (n = 51)						
			M	SD	Percentili		Omjer		
			cm (kg*)	cm (kg*)	5 c	95 c	\bar{h}_i/h	H_r	
Stojeća visina subjekta	h	1	178,9	5,7	169,5	188,2	/	/	
Masa	m^*		91,9	14,1	68,7	115,1	/	/	
Raspon horizontalno ispruženih ruku	h_{11}		181,0	7,3	169,0	193,1	1,01	1,01	
Razina očiju stojeći	h_2	2	167,9	5,4	159,1	176,8	0,94	0,94	
Visina ramena stojeći	h_3	3	147,1	6,2	136,9	157,3	0,82	0,82	
Visina laktova stojeći	h_7	7	111,3	4,6	103,7	118,8	0,62	0,62	
Duljina noge	h_n		99,3	4,6	91,7	107,0	0,56	0,55	
Normalni doseg ruke (<i>od stražnje ploštine laka do sredine stisnute šake</i>)	h_{ndr}		35,5	2,0	32,2	38,8	0,20	0,20	
Maksimalni doseg ruke (<i>od stražnje strane akromiona do sredine stisnute šake</i>)	h_{mdr}		64,7	3,7	58,6	70,9	0,36	0,36	
Vrh glave iznad sjedala	h_4	4	90,6	3,4	85,0	96,3	0,51	0,51	
Razina očiju sjedeći	h_5	5	80,1	3,2	74,8	85,4	0,45	0,45	
Visina ramena iznad sjedala	h_6	6	61,2	2,8	56,5	65,8	0,34	0,34	
Visina laktova iznad sjedala	h_8	8	25,0	3,5	19,2	30,7	0,14	0,14	
Visina koljena iznad stopala sjedeći	h_{13}	13	54,5	2,2	50,9	58,0	0,30	0,30	
Duljina stopala	h_{sd}		26,4	1,2	24,3	28,4	0,15	0,15	
Visina stopala	h_{sv}		9,3	0,9	7,7	10,8	0,08	0,07	
Horizontalni dohvati ispružene ruke (<i>od površine leđa do središnjega dijela stisnute šake</i>)	h_{hdr}	9	77,1	4,8	69,1	85,1	0,43	0,43	
Duljina podlaktice i šake (<i>od stražnje površine laka do vrha srednjega prsta</i>)	h_{10}	10	48,2	1,9	45,1	51,3	0,27	0,27	
Duljina ruke (<i>od akromiona do vrha srednjega prsta u vertikalnom položaju</i>)	h_r		77,6	3,4	71,9	83,2	0,43	0,43	
Duljina šake (<i>od vrha srednjega prsta do prvoga nabora na zapešću ruke</i>)	h_s		20,0	1,1	18,2	21,8	0,11	0,11	
Visina ispod koljena od stopala sjedeći	h_{14}	14	44,5	1,8	41,5	47,4	0,25	0,25	
Širina ramena (<i>biakromialni raspon</i>)	h_{sr}		40,3	2,5	36,2	44,5	0,23	0,22	
Širina kukova (<i>bikristalni raspon</i>)	h_{sb}		30,2	3,2	24,9	35,6	0,17	0,17	
Duljina od stražnjice do ispod koljena	h_{18}	18	54,6	3,1	49,5	59,8	0,31	0,30	
Duljina od stražnjice do vrha koljena	h_{19}	19	64,5	3,4	58,9	70,1	0,36	0,36	
Vertikalni doseg u sjedećem položaju (<i>od površine sjedala do sredine stisnute šake</i>)	h_{vd}		nije izmjereno						
Udaljenost između pupka i poda	h_B		nije izmjereno						
Visina glave	h_g		nije izmjereno						

Izvor: Mikulčić, M. et al. 2015. [18]

Tablica 4.3. Tjelesni omjeri strojovođa ovisno o navršenoj dobi

Tjelesni segment / naziv antropomjere	Simbol	Oznaka na Slici 4.1	Cijeli uzorak		Do 29 godina (n = 9)		Od 30 do 39 godina (n = 13)		Od 40 do 49 godina (n = 18)		Od 50 do 59 godina (n = 11)		
			Omjer		Omjer		$R_{za}^{hi=hi/h}$	Omjer		$R_{za}^{hi=hi/h}$	Omjer		$R_{za}^{hi=hi/h}$
			\bar{h}_i/h	H_r	\bar{h}_i/h	H_r		\bar{h}_i/h	H_r		\bar{h}_i/h	H_r	
Raspon horizontalno ispruženih ruku	h_{11}		1,01	1,01	1,01	1,01	0,59	1,01	1,01	0,63	1,02	1,02	0,82
Razina očiju stojeći	h_2	2	0,94	0,94	0,94	0,94	0,98	0,93	0,93	0,97	0,94	0,94	0,92
Visina ramena stojeći	h_3	3	0,82	0,82	0,82	0,82	0,85	0,82	0,82	0,97	0,82	0,82	0,58
Visina laktova stojeći	h_7	7	0,62	0,62	0,63	0,63	0,92	0,62	0,62	0,88	0,62	0,62	0,79
Duljina noge	h_n		0,56	0,55	0,55	0,55	0,77	0,55	0,55	0,72	0,57	0,56	0,81
Normalni doseg ruke	h_{ndr}		0,20	0,20	0,20	0,20	0,72	0,20	0,20	0,56	0,20	0,20	0,80
Maksimalni doseg ruke	h_{mdr}		0,36	0,36	0,36	0,36	0,54	0,36	0,36	0,75	0,36	0,36	0,78
Vrh glave iznad sjedala	h_4	4	0,51	0,51	0,51	0,51	0,88	0,51	0,51	0,75	0,50	0,50	0,81
Razina očiju sjedeći	h_5	5	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,79	0,44	0,44	0,61	0,45	0,45
Visina ramena iznad sjedala	h_6	6	0,34	0,34	0,34	0,34	0,77	0,34	0,34	0,48	0,34	0,34	0,52
Visina laktova iznad sjedala	h_8	8	0,14	0,14	0,14	0,14	0,59	0,14	0,13	0,19	0,14	0,14	0,07
Visina koljena iznad stopala	h_{13}	13	0,30	0,30	0,30	0,30	0,82	0,31	0,31	0,80	0,30	0,30	0,85
Duljina stopala	h_{sd}		0,15	0,15	0,15	0,15	0,82	0,15	0,15	0,71	0,15	0,15	0,71
Visina stopala	h_{sv}		0,08	0,07	0,09	0,08	0,07	0,07	0,07	0,51	0,07	0,07	0,47
Horizontalni dohvati ispružene ruke	h_{hdr}	9	0,43	0,43	0,43	0,43	0,82	0,43	0,43	0,58	0,43	0,43	0,42
Duljina podlaktice i šake	h_{10}	10	0,27	0,27	0,27	0,27	0,92	0,27	0,27	0,63	0,27	0,27	0,65
Duljina ruke	h_r		0,43	0,43	0,43	0,43	0,75	0,44	0,44	0,86	0,43	0,43	0,77
Duljina šake	h_s		0,11	0,11	0,11	0,11	0,70	0,11	0,11	0,75	0,11	0,11	0,62
Visina ispod koljena od stopala sjedeći	h_{14}	14	0,25	0,25	0,25	0,25	0,69	0,25	0,25	0,78	0,25	0,25	0,71
Širina ramena	h_{sr}		0,23	0,22	0,22	0,22	0,25	0,22	0,22	0,10	0,23	0,23	0,45
Širina kukova	h_{sb}		0,17	0,17	0,16	0,16	0,07	0,17	0,17	0,24	0,17	0,17	0,12
Duljina od stražnjice do ispod koljena	h_{18}	18	0,31	0,30	0,31	0,31	0,54	0,30	0,30	0,78	0,30	0,30	0,17
Duljina od stražnjice do vrha koljena	h_{19}	19	0,36	0,36	0,36	0,36	0,61	0,36	0,36	0,85	0,36	0,36	0,36
Vertikalni doseg u sjedećem položaju	h_{vd}		nije izmjereno										
Udaljenost između pupka i poda	h_B		nije izmjereno										
Visina glave	h_g		nije izmjereno										

Izvor: Mikulčić, M. et al. 2015. [18]

5. UTVRĐIVAJE SEGMENTALNIH MASA I POLOŽAJA TEŽIŠTA

Uz poznavanje stoeće visine h i tjelesne mase m moguće je metodom *Donskij-Zacijorskij* [20] izračunati iznose pojedinih segmentalnih masa m_i za šake, podlaktice i nadlaktice kod ispitanika u radnom položaju prema Slici 8.1. korištenjem regresijske jednadžbe (29) i uz utvrđene regresijske faktore B_0 , B_1 i B_2 prema Tablici 5.1.

$$m_i = B_0 + B_1 \cdot m + B_2 \cdot h \text{ (kg)} \quad (29)$$

Tablica 5.1. Regresijski faktori za muškarce i žene prema *Donskom i Zacijorskom*

Segment tijela	Muškarci			Žene			R	
	Regresijski faktori			R	Regresijski faktori			
	B_0	B_1	B_2		B_0	B_1		
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: Donskij i Zacijorskij. 1979. [20]

Sve su funkcije tjelesnih duljina $h_i=h_i(h)$, koje su prikazane u Tablici 3.2. u 3. poglavljju, izračunane na pretpostavci da su antropometrijske veličine čovjeka funkcija stoeće visine h te univerzalno vrijede za mlade i zdrave pripadnike obaju spolova. Položaji središta segmentalnih masa m_i izračunavaju se prema Tablici 5.2. mjereno od gornje granice tjelesnih segmenata.

Tablica 5.2. Središta masa u postotku funkcije duljine tjelesnoga 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

Izvor: Milčić, D.; Muftić, O.; Ljubišić, M.. 1999. [21]

Težine su segmenata tijela F_{gz_i} izračunane prema izrazu (30).

$$F_{gz_i} = m_i \cdot 9,81 \quad (30)$$

6. AMBIJENTALNI ČIMBENICI TERMALNOGA KOMFORA VOZAČA I ČIMBENICI KVALITETE ZRAKA

6.1. Čimbenici subjektivnoga osjećaja termalne ugode

Subjektivni osjećaj termalne neugode pojavljuje se u rasponu od iritacije do боли. Tablica 6.1. prikazuje četiri osnovna klimatska čimbenika subjektivnoga osjećaja termalne ugode, a Tablice 6.2.i 6.3. preporučene vrijednosti ambijentalnih t_a i operativnih temperatura t_o .

Tablica 6.1. Četiri osnovna klimatska čimbenika subjektivnoga osjećaja termalne ugode koji dominantno definiraju izmjenu topline između sudionika u prometu i okoliša

Klimatski čimbenik	Oznaka (mjerna jedinica)	Tehničko rješenje
temperatura zraka u radnom ili putničkom okolišu ili ambijentalna temperatura	t_a (°C)	klimatizacija upravljačnice i putničkih prostora
relativna vlažnost zraka	% RH (-)	
brzina stujanja zraka	v (m/s)	
temperatura okolnih površina	t_s (°C)	<ul style="list-style-type: none"> • grijano sjedalo (barem za vozača) • grijana komandna ploča (često korištene komande za posluživanje rukama) • grijano vjetrobransko staklo • višeslojne termoizolacijske staklene površine na vratima ili na prozorima • toplinska izolacija podova

Izvor: 2000. [10] i 2004. [22]

Tablica 6.2. Preporučljive ambijentalne temperature zraka u okolišu t_a s obzirom na vrstu radnoga procesa i položaj tijela tijekom rada

Vrsta posla	t_a (°C)
umni sjedeći posao (može se primjeniti na vozače)	21 °C
lagani fizički rad sjedeći	19 °C
lagani fizički rad stojeći	18 °C
težak fizički rad stojeći	17 °C
težak rad	15 °C – 16 °C

Napomena: vrijedi pri relativnoj vlažnosti 50 % RH

Izvor: 2000. [10]

Srednja vrijednost temperature objekata i površina u radnom okolišu ili putničkim prostorijama t_s (°C) ne bi trebala biti različita od temperature zraka u okolišu t_a (°C) za više od 2 °C ili 3 °C u plusu ili u minusu. Nijedna velika površina (npr. vanjska stakla u upravljačnici)

ne bi smjela biti hladnija od zraka u prostoriji za više od 4 °C jer se pojavljuje subjektivni osjećaj neugode čak i uz optimalnu temperaturu zraka okoliša.

Tablica 6.3. Preporučljivi rasponi ambijentalnih t_a i operativnih temperatura t_o s obzirom na godišnje doba

Godišnje doba	Raspon ambijentalne temperature Δt_a (°C)	Raspon operativne temperature Δt_o (°C)
Zima	20 °C – 21 °C	20 °C – 24 °C
Ljeto	20 °C – 24 °C	23 °C – 26 °C
Izvor:	2000. [9]	2004. [20] DIN ISO EN 7730 sjedeći položaj 1,2 metra

Operativna temperatura t_o (°C) (ili, prema mnogim autorima, efektivna, sobna ili stvarno percipirana temperatura) približno je prema Kroemeru i Grandjeanu [10] prosječna temperatura prema izrazu (31).

$$t_o = \frac{t_a + t_s}{2} \quad (31)$$

Točniji izraz (32) za izračun operativne temperature t_o (°C), preuzet od Recknagela i sur. [22], uvažava i utjecaj brzine strujanja zraka u okolišu v (m/s).

$$t_o = a \cdot t_a + (1 - a) \cdot t_s \quad (32)$$

gdje je:

$$a = 0,5 \text{ za } v < 0,2 \text{ m/s}$$

$$a = 0,6 \text{ za } v = 0,2 - 0,6 \text{ m/s}$$

$$a = 0,7 \text{ za } v = 0,6 - 1,0 \text{ m/s}$$

Izraz (31) identičan je izrazu (32) za $a = 0,5$ i za $v < 0,2 \text{ m/s}$, što je prema Tablici 6.6. optimalna brzina strujanja zraka za upravljanje vozilom iz sjedećega položaja.

Tablica 6.4. prikazuje preporučeni raspon relativne vlažnosti zraka RH koji ne izaziva termalnu neugodu. Termalna ugoda jako malo ovisi o relativnoj vlažnosti zraka RH, a u rasponu od 30 % RH do 70 % RH relativna vlažnost jako malo djeluje na operativnu (efektivnu) temperaturu t_o (°C).

Tablica 6.4. Raspon relativne vlažnosti zraka RH u prostoriji koji vrlo malo utječe na pojavu subjektivnoga osjećaja termalne neugode

$\Delta \% \text{ RH}$	Δt_o (°C)	Učinak na čovjeka:
30 % RH – 70 % RH	18 °C – 24 °C	ne izaziva termalnu neugodu

Izvor: 2000. [10]

Tablica 6.5. prikazuje mogući učinak graničnih vrijednosti relativne vlažnosti zraka RH na čovjeka s obzirom na godišnja doba.

Tablica 6.5. Granične vrijednosti relativne vlažnosti zraka RH u prostoriji s obzirom na godišnja doba

$\Delta \% \text{RH}$	Godišnje doba	Učinak na čovjeka:
40 % RH – 60 % RH	ljeto	osjećaj termalne ugode
< 35 % RH	zima	neugodno, sušenje sluzokože gornjih dišnih puteva (sušenje odjeće, podnih obloga i namještaja stvara prašinu, izgaranjem prašine na ogrjevnim tijelima nastaje amonijak i ostali plinovi koji nadražuju dišne organe)

Izvori: 2000. [10] i 2004. [20]

Tablica 6.6. prikazuje mogući učinak vrijednosti brzine strujanja zraka v na čovjeka u različitim okolnostima.

Tablica 6.6. Granične vrijednosti brzine strujanja zraka v

v (m/s)	Okolnost	Učinak na čovjeka:
> 0,5 m/s	čak i kada je zrak topao	neugodno
> 0,2 m/s	obavljanje rada u sjedećem položaju	
> 0,1 m/s	obavljanje preciznoga rada u nepokretnom položaju duže vrijeme	
< 0,2 m/s	kretanje zraka u razini glave i koljena	ugodno

Izvor: 2000. [10]

Općenite smjernice za smjer strujanja zraka [10]:

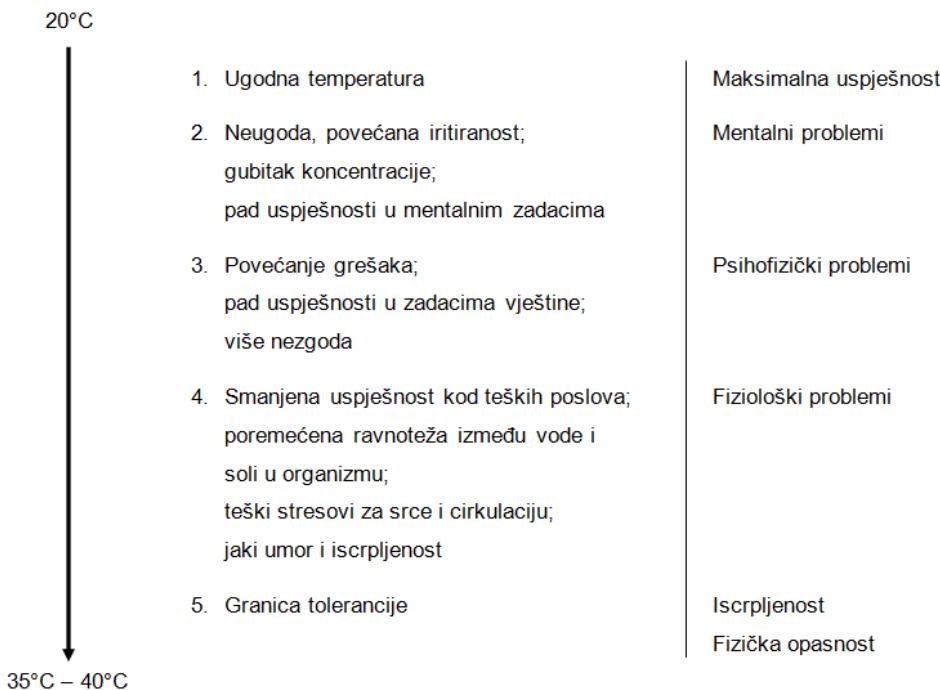
- zračno je strujanje s leđa neugodnije nego sprijeda
- vrat i stopala posebno su osjetljivi na propuh
- hladni je propuh neugodniji nego toplo strujanje.

Tablica 6.7. i Slika 6.1. prikazuju moguće opće posljedice na sigurnost i pouzdanost sudionika u prometu zbog odstupanja od ugodne radne temperature.

Tablica 6.7. Najopasnije posljedice odstupanja od ugodne radne temperature s posljedicama na sigurnost i pouzdanost sudionika u prometu

Posljedice u prometu	Sudionik
gubitak koncentracije	vozač
povećanje umora s popratnim gubitkom učinkovitosti pri mentalnom radu	
pad uspješnosti u zadatcima vještina, tj. degradacija izvedbe	
povećanje broja krivih reakcija (<i>prijevremena reakcija, propust, omaška, pogreška</i>)	
mogući uzroci izvanrednih događaja i/ili prometnih nesreća	vozač i/ili putnik
moguće nezgode	

Izvor: 2000. [10]



Slika 6.1. Općenite posljedice odstupanja od ugodne radne temperature

Izvor: 2000. [10]

Fiziološki efekti kojima se može izmjeriti učinak povećanja tjelesne temperature na ljudsko tijelo sljedeći su:

- povećanje srčane frekvencije
- povećanje krvnoga tlaka
- lagano povećanje unutarnje tjelesne temperature
- naglo povećanje temperature kože (s 32 °C na 36 °C do 37 °C)
- povećano lučenje znoja (za temperaturu kože > 34 °C).

6.2. Čimbenici kvalitete zraka

Uzroci su čimbenika pogoršanja kvalitete zraka prikazani u Tablici 6.8.

Tablica 6.8. Čimbenici pogoršanja kvalitete zraka

Segment pogoršanja kvalitete zraka	Uzrok:
otpuštanje vonja	ljudsko tijelo
formiranje vodene pare	
oslobađanje topline	
stvaranje ugljičnoga monoksida	
onečišćenje zraka	izvana i/ili kao posljedica aktivnosti u okolišu (npr. pušenje ili konzumiranje hrane)

Izvor: 2000. [10]

U Tablici 6.9 nalaze se preporučljivi volumski protoci svježega zraka po osobi V_z ovisno o raspoloživom volumenu po osobi u prostoriji V_o . Kada nije poznat podatak o raspoloživom volumenu po osobi u prostoriji V_o , općenito je pravilo za prostor s više osoba: volumski protok svježega zraka po osobi u satu $V_z = 30 \text{ (m}^3 \text{ / h / osobi)}$.

Tablica 6.9. Preporučljiv volumski protok svježega zraka po osobi V_z ovisno o raspoloživom volumenu po osobi u prostoriji V_o

Raspoloživ volumen po osobi $V_o (\text{m}^3)$	Svježi zrak po osobi $V_z (\text{m}^3 / \text{h / osobi})$	
	Minimalan	Poželjan
5	35	50
10	20	40
15	10	30

Izvor: 2000. [10]

Općenito pravilo:

Za manje raspoložive volumene po osobi u prostoriji V_o (m^3) potrebno je više svježega zraka po osobi V_z ($\text{m}^3 / \text{h / osobi}$).

7. OSVIJETLJENOST, SJAJNOST I KONTRAST U RADNOM OKOLIŠU

Općenito pravilo:

Preintezivno i izravno osvijetljen segment upravljačnice iz usmjerenoga izvora svjetla stvara visoku lokalnu luminancu (sjajnost) i stvara tamne sjene na pozadini iza sebe, a pretjerana luminanca izaziva (*neizravno*) blještavilo.

7.1. Osvijetljenost radnih površina ili iluminacija

Osvijetljenost (iluminacija) E količina je svjetla, tj. svjetlosnoga toka koja iz nekoga svjetlosnoga izvora pada na neku radnu površinu, a mjeri se luksmetrom u luksima (lx). Osvijetljenost opada s kvadratom udaljenosti, stoga će na udaljenosti dvostruko većoj od iste radne površine luksmetar izmjeriti četverostruko manju vrijednost.

U Tablici 7.1. prikazane su preporuke za osvijetljenost radnih površina u zatvorenim prostorijama, kao i mogući učinci različitih vrijednosti osvijetljenosti na čovjeka.

Tablica 7.1. Primjeri i preporuke za osvijetljenost radnih površina

Okoliš:	E (lx)	Učinak na čovjeka:
Vedar i sunčan dan ljeti poslijepodne	≤ 100.000 lx	za $E > 1\ 000$ lx povećanje problema s očima, povećani rizik od neugodnih refleksija, oštih sjena i prevelikih kontrasta
Dobro osvijetljeni laboratorij	1 000– 4 000 lx	
Uredi za precizne poslove	1 000– 2 000 lx	
Uredi	400 – 850 lx	zaposlenici preferiraju kao ugodno

Izvor: 2000. [10]

7.2. Sjajnost radnih površina ili luminacija

Sjajnost (luminacija) L_o količina je svjetla koju reflektira ili emitira neka promatrana (radna) površina ili objekt gledanja. Mjeri se mjeračem sjajnosti u kandelima po kvadratnom metru (cd/m^2). Sjajnost ne opada s udaljenošću, već je ista neovisno o tome s koje ju se udaljenosti mjeri.

7.3. Refleksija

Refleksija R_s u (%) izražava se kao postotak reflektiranoga svjetla u odnosu na svjetlo koje pada na površinu, prema izrazu (33). Tamne površine apsorbiraju više svjetla te ga posljedično manje reflektiraju.

$$R_s = \frac{L_s}{E} \cdot \pi \cdot 100 \quad (33)$$

Primjer 1.: Ako upravljačka ploča u tramvaju reflektira 70 % svjetla koje na nju pada pri osvijetljenosti od 400 lx, kolika će biti sjajnost (luminanca) upravljačke ploče?

$$R_s = 70 \%$$

$$E = 400 \text{ lx}$$

$$L_s = \frac{R_s \cdot E}{\pi \cdot 100} = \frac{70\% \cdot 400 \text{ lx}}{\pi \cdot 100} = 89 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \quad (33.1)$$

7.4. Kontrast luminanca između predmeta gledanja i pozadine

Relativni kontrast luminance C_l izračunava se prema izrazu (34), a potreban iznos multiplikatora za starije osobe određuje se prema navršenoj dobi. Ako je za dobnu skupinu od 20 do 25 godina starosti taj omjer 1, tada se s navršenom dobi znatno povećava, kao u Tablici 7.2.

$$C_l = \frac{(L_o - L_p)}{L_p} \quad (34)$$

gdje je:

L_o sjajnost (luminanca) objekta gledanja [cd/m^2]

L_p sjajnost (luminanca) podloge [cd/m^2]

Tablica 7.2. Multiplikatori kontrasta luminanca za starije osobe

Navršena dob:		Multiplikator kontrasta luminanca:
40 godina		1,2
50 godina		1,6
60 godina		2,7

Izvor: 2000. [10]

Opća pravila za izbjegavanje izravnoga blještavila (gleda se u izvor svjetla) i neizravnoga blještavila (svjetlo se od izvora reflektira s neke površine u oči):

- Svi objekti i veće površine u vidnom polju trebaju biti otprilike iste osvijetljenosti.
- Površine u sredini vidnoga polja ne smiju imati kontrast luminanca (sjajnosti) veći od 3 : 1.

- Relativni kontrast luminanca od $5 : 1$ ili $1 : 5$ u sredini vidnoga polja; ako je centralni dio vidnoga polja pet puta svjetlij ili tamniji od okolnoga prostora, znatno utječe na vidnu učinkovitost i vidnu udobnost.
- Kontrasti između sredine i periferije vidnoga polja ne smiju prijeći omjer $10 : 1$.
- Radna površina treba biti najsvjetlij u sredini, a tamnija prema periferiji.
- Pretjerani je kontrast neugodniji ako se javlja sa strane i u donjem dijelu vidnoga polja, nego u gornjem dijelu vidnoga polja.
- Izvori svjetla ne smiju imati prevelik kontrast sa svojom pozadinom, tj. kontrast ne smije biti veći od $20 : 1$.
- Maksimalni dopušteni raspon kontrasta luminanca u cijeloj radnoj prostoriji može iznositi $40 : 1$.

8. ODREĐIVANJE NAPORA VOZAČA TIJEKOM UPRAVLJANJA PROMETNIM SREDSTVOM

Prema većini suvremenih autora glavne su skupine čimbenika radnoga opterećenja sljedeće:

- vremenski pritisak, tj. kratki vremenski period za izvedbu pojedinoga zadatka
- više istovremenih zadataka
- složenost pojedinoga zadatka.

Najveće radno opterećenje prouzrokuje vremenski pritisak, tj. kratki vremenski period za izvedbu pojedinoga zadatka.

Radno se opterećenje može grubo podijeliti na fizičko, mentalno i senzorno radno opterećenje.

Radno opterećenje, stres i umor mogu prouzrokovati krive reakcije sudionika u prometu, što može prouzrokovati moguće opasne situacije u prometu. Najosnovnija je podjela krivih reakcija s obzirom na ishod ili na namjeru prikazana u Tablici 8.1.

Tablica 8.1. Osnovne vrste krivih reakcija (i odgovora) s obzirom na namjeru i/ili ishod koje su karakteristične za promet

Vrsta krive reakcije	Engleski naziv	S obzirom na:	Opis krive reakcije:
preuranjena reakcija	<i>premature reaction</i>	ISHOD	nema podražaja, ispitanik prijevremeno reagira
omaška	<i>slip</i>	NAMJERU	ima podražaja, ispravna namjera, kriva izvedba (ispitanik je krivo reagirao)
propust	<i>lapse</i>		ima podražaja, ispravna namjera, propust u izvedbi (ispitanik nije pravovremeno reagirao)
pogreška	<i>mistake</i>		ima podražaja, kriva namjera i izvedba (ispitanik je krivo reagirao)

8.1. Utjecaj iznosa indeksa tjelesne mase na fizičko radno opterećenje i na izvedbu sudionika u prometu

Prema Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji (WHO-u) indeks tjelesne mase ITM (engl. *body mass index – BMI*) okvirni je pokazatelj moguće pretjerane debljine zbog prevelike mase m u odnosu na stojeću tjelesnu visinu h , a izračunava se prema formuli (35).

Dakle, indeks tjelesne mase ITM sadrži dvije najvažnije i međusobno neovisne antropomjere kod čovjeka, stojeću visinu h i masu m .

$$ITM = \frac{m}{h^2} \quad (35)$$

Prema Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji (WHO-u) indeks tjelesne mase ITM podijeljen je u četiri kategorije prema uhranjenosti, kao što je prikazano u Tablici 8.2.

Tablica 8.2. Smjernice za ispitanike na osnovi iznosa ITM – a prema WHO-u

Opis	Iznos ITM
Pothranjenost	$ITM < 18,5$
Normalni raspon (idealna tjelesna masa)	$18,5 \leq ITM < 25$
Prekomjerna tjelesna masa (gojaznost)	$25 \leq ITM < 30$
Pretjerana tjelesna masa (pretilost)	Klasa I: umjerena pretilost Klasa II: ozbiljna pretilost Klasa III: vrlo ozbiljna pretilost
	$30 \leq ITM < 35$
	$35 \leq ITM < 40$
	$ITM \geq 40$

Indeks tjelesne mase ITM statističke je naravi i ništa ne govori o individualnoj distibuciji mase po ljudskom tijelu, tako npr. nije ista raspodjela mase za isti iznos indeksa tjelesne mase ITM kod vozača koji se ne bavi sportom i ima zapušteno tijelo i vozača koji je amaterski sportaš.

Postoje još tri metode kojima se preciznije može utvrditi višak masnih naslaga po tijelu.

To su:

- *mjerenje debljine kožnoga nabora s pomoću kalipera* (postotak masti veći od 25 % kod muškaraca te veći od 30 % kod žena upućuje na pretilost)
- *mjerenje opsega struka*
- *omjer opsega struka i bokova WHR* (engl. *waist-to-hip ratio*).

Kroemer i Grandjean [10] navode kako se rizik od toplinskoga udara povećava šest puta ako neka osoba ima 25 kg tjelesne mase više od normalne tjelesne mase, promatrano prema iznosu indeksa tjelesne mase ITM – u, Tablica 8.2.

Prema mjerjenjima koja su provedena 2012. godine čak 82 % od n = 50 istraživanih strojovođa iz slučajnoga uzorka strojovođa iz cijele RH pretilo je ili gojazno [23], promatrano prema brojčanom iznosu indeksa tjelesne mase *ITM-u* ($ITM \geq 25$).

Tablica 8.3. Vrijednosti dviju najvažnijih antropomjera za sudionike u prometu u RH i u BiH

Muški ispitanici		Vozači			Nevozači ručna naplata cestarina u RH
		strojovođe u RH	vozači tramvaja u BiH (Sarajevo)	vozači tramvaja u RH (Zagreb)	
Ukupan broj ispitanika iz slučajnoga uzorka n:		50	64	52	50
Navršena dob	Raspon (god.)	28÷53	26÷54	29÷64	23÷60
	Srednji iznos (god.)	44,9	35,3	47,2	39,9
Srednji iznos visine $M = \bar{h}$ (cm)		180,4	180,2	181,0	181,0
Standardna devijacija SD (cm)		6,2	6,6	6,1	6,5
Raspon visina uzorka Δh (cm)		165÷194	164÷195	168÷192	167÷197
Za centralnih 90 % izračunati raspon visina $\Delta h_{90\%}$ (cm)		170,2÷190,6	169,3÷191,0	170,9÷191,0	170,4÷191,7
Raspon tjelesnih masa Δm (kg)		64÷138	62÷127	75÷120	53÷125
Godina mjerena		2012.	2012.	2013.	2011.
<i>ITM</i>	Raspon (kg/m ²)	20,5÷41,7	19,6÷38,3	23,3÷38,1	19,0÷34,9
	Srednji iznos (kg/m ²)	29,0	28,6	28,0	27,7
<i>ITM</i>	Normalna tjelesna masa: $ITM = 18,5 - 24,9$	n %	9 18,0 %	9 14,0 %	11 21,2 %
	Prekomjerna tjelesna masa: $ITM = 25 - 29,9$	n %	23 46,0 %	38 59,4 %	28 53,8 %
	Pretjerana tjelesna masa: $ITM > 30$	n %	18 36,0 %	17 26,6 %	13 25,0 %
	Prekomjerna i pretjerana tjelesna masa: $ITM > 25$	n %	41 82,0 %	55 86,0 %	41 78,8 %
					8 16,0 %
					30 60,0 %
					12 24,0 %
					42 84,0 %

Izvor: Sumpor. 2012. [23]; Musabašić et al. 2013. [24]; Sumpor et al. 2013. [25]; Jurum-Kipke et al. 2011. [26]

Prema ponovljenim mjerjenjima koja su provedena 2015. godine čak 80,39 % od n = 51 istraživanih strojovođa iz drugoga slučajnoga uzorka strojovođa iz cijele RH pretilo je ili gojazno [18] prema brojčanom iznosu indeksa tjelesne mase *ITM-u* ($ITM \geq 25$).

U Tablici 8.4. prikazani su rezultati mjerena za uzorak od n = 51 muških strojovođa iz cijele RH koji rade u nejednakomjernim smjenama i turnusima, što uključuje i rad noću [18].

U Tablici 8.5. prikazani su rezultati mjerena za uzorak od n = 79 muških kontrolora zračnoga prometa iz HKZP-a Podružnice Zagreb koji rade u jednakomjernim smjenama s brzom rotacijom radnih dana na bazi od 1 do 4 radnih dana, u ciklusima koji sadrže maksimalno 4 radna dana i minimalno 2 dana odmora, što također uključuje rad noću, uz maksimalno i iznimno dvije noćne smjene za redom, a najčešće je to samo jedna noćna smjena [27].

Tablica 8.4. Broj i postotni udio muških strojovođa iz RH prema vrijednostima indeksa tjelesne mase ovisno o navršenoj dobi

Skupine po godinama		Svi	Do 29 godina	Od 30 do 39 godina	Od 40 do 49 godina	Od 50 do 59 godina
Broj ispitanika		n = 51	n = 9	n = 13	n = 18	n = 11
Normalni raspon: <i>ITM</i> = 18,5 – 24,9	n	10	4	1	2	3
	%	19,61	44,44	7,69	11,11	27,27
Prekomjerena tjelesna masa (gojaznost): <i>ITM</i> = 25 – 29,9	n	24	4	7	10	3
	%	47,06	44,44	53,85	55,56	27,27
Pretjerana tjelesna masa (pretilost): <i>ITM</i> ≥ 30	n	17	1	5	6	5
	%	33,33	11,11	38,46	33,33	45,45
Gojaznost i pretilost: <i>ITM</i> ≥ 25	n	41	5	12	16	8
	%	80,39	55,55	92,31	88,89	72,73

Izvor: Mikulčić, M. i sur. 2015. [18]

Tablica 8.5. Broj i postotni udio muških kontrolora zračnoga prometa HKZP-a Podružnice Zagreb prema vrijednostima indeksa tjelesne mase ovisno o navršenoj dobi

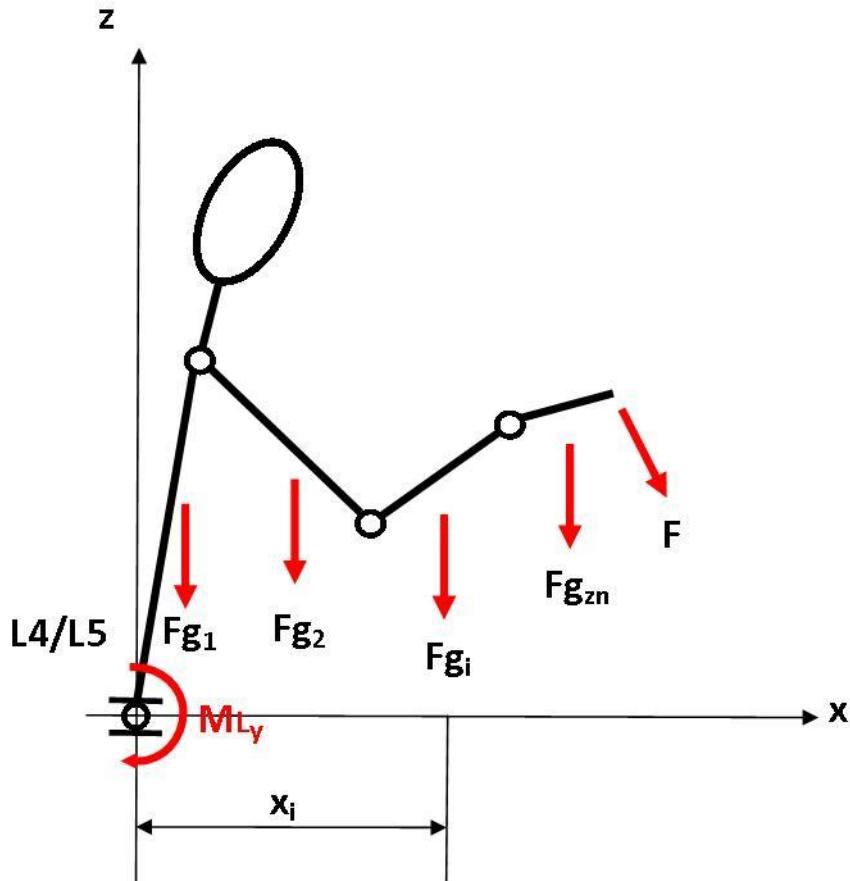
Skupine po godinama		Svi	Do 29 godina	Od 30 do 39 godina	Od 40 do 49 godina	Od 50 do 59 godina
Broj ispitanika		n = 79	n = 6	n = 32	n = 28	n = 13
Normalni raspon: <i>ITM</i> = 18,5 – 24,9	n	15	1	8	5	1
	%	18,99	16,66	25,00	17,86	7,69
Prekomjerena tjelesna masa (gojaznost): <i>ITM</i> = 25 – 29,9	n	51	4	21	19	6
	%	64,56	66,66	65,63	67,86	46,15
Pretjerana tjelesna masa (pretilost): <i>ITM</i> ≥ 30	n	14	1	3	4	6
	%	17,72	16,66	9,38	14,29	46,15
Gojaznost i pretilost: <i>ITM</i> ≥ 25	n	65	5	24	23	12
	%	82,28	83,33	75,00	82,14	92,3

Izvor: Sumpor, D. et.al. 2018. [27]

Usporedba postotnoga udjela pretilih i gojaznih osoba za cijeli istraživani uzorak muških strojovođa iz RH (80,39 %), iz Tablice 8.4., i muških kontrolora zračnoga prometa HKZP-a Podružnice Zagreb (82,28 %), iz Tablice 8.5., ukazuje kako je rad noću za obje skupine ispitanika mogući uzrok za povećani i gotovo jednaki postotni udio pretilih i gojaznih osoba, mjereno iznosom indeksa tjelesne mase *ITM-a*, a ne jednakomjernosti ili nejednakomjernosti smjena. Istu je hipotezu potrebno dodatno istražiti na većem uzorku.

Vrijednosti lumbalnih momenata M_{ly} prema izrazu (36) dobivene su redukcijom svih težina F_{gzi} od segmentalnih masa m_i i vanjskih sila F_i koje djeluju na trup u ishodište koordinatnoga sustava xy na Slici 8.1.

$$M_{ly} = \sum_{i=1}^n F_{gzi} \cdot x_i + \sum_{i=1}^m F_i \cdot x_i \quad (36)$$



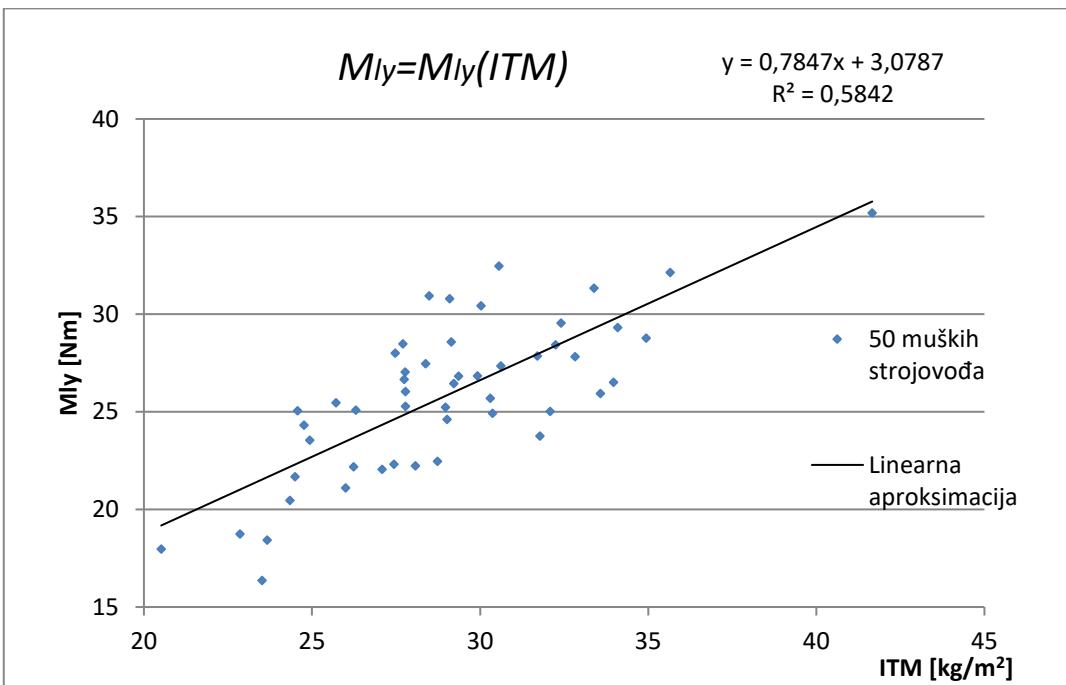
Slika 8.1. Dvodimenzionalni štapni model ispitanika u sagitalnoj ravnini

Izvor: Jurum-Kipke et al. 2007. [28]

U skladu s razmatranjima *Mairiauxa* i suradnika [29] ili Muftića i suradnika [14], ishodište koordinatnoga sustava xy predstavlja i točku redukcije L4/L5 lumbalnoga momenta M_{ly} na razinu između četvrtoga (preposljednjega) i petoga (posljednjega) slabinskoga (lumbalnoga) kralješka u pokretnom dijelu kralježnice gledano odozgo prema dolje.

Lumbalni moment M_{ly} [Nm] prema regresijskoj funkciji (37) iz dijagrama na Slici 8.2. ima prihvatljivu koreacijsku ovisnost $M_{ly}=M_{ly}(ITM)$ srednje jačine uz koeficijent korelacije $R = 0,764$.

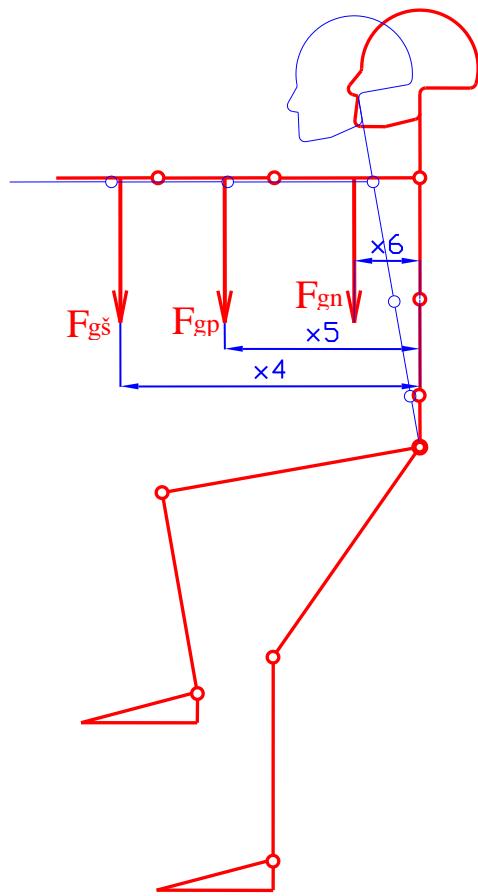
$$M_{ly} = 0,7847 \cdot ITM + 3,0787 \quad (37)$$



Slika 8.2. Regresijska funkcija $M_{ly}=M_{ly}(ITM)$ na temelju stvarno izmjerениh antropomjera iz slučajnoga i dovoljnoga uzorka $n = 51$

Izvor: Sumpor et al. 2015. [30]

Regresijska funkcija (37), koja je prikazana na Slici 8.2., odnosi se na štapni biomehanički 2D model vozača u sagitalnoj ravnini prema Slici 8.3., u hipotetskom ravnotežnom statičkom radnom položaju, samo s obje ruke horizontalno ispružene u zoni maksimalnoga dosega ruku (simulira se okolnost često korištenih i rukama posluživanih komanda raspoređenih na komandnoj ploči u maksimalnom dosegu ruku). Važno je napomenuti da je izračun napravljen na temelju stvarno izmjerениh statičkih i kinematičkih antropomjera, ali uz okolnost da je maksimalni doseg ruke strojovođe izmjeren od stražnje strane akromiona do vrha srednjega prsta, a ne od stražnje strane akromiona do sredine stisnute šake, što je prouzrokovalo manje odstupanje regresijske funkcije (37). Vozači tramvaja ili strojovođe poslužuju višenamjensku palicu ili prekidač stisnutom šakom, a ne vrhovima prstiju, stoga je mjerjenje maksimalnoga dosega ruku ispravljeno u svim istraživanjima poslije navedenoga [30].



Slika 8.3. Štapni biomehanički 2D model strojovođe u sagitalnoj ravnini, u hipotetskom ravnotežnom statičkom radnom položaju, samo s rukama horizontalno ispruženim u zoni maksimalnoga dosega

Izvor: Sumpor, D. 2009. [31]

Često korištene komande na upravljačkoj ploči za posluživanje rukama razmještene u zoni maksimalnoga dosega ruku doprinose:

- subjektivnom osjećaju fizičkoga opterećenja i umora
- boli u lumbalnom dijelu kralježnice kod vozača.

Zaključno, povećana vrijednost indeksa tjelesne mase ITM dodatno pojačava fizičko opterećenje strojovođa u radnom položaju, što je vidljivo na Slici 8.3.

Ako se usporedi ispitanik s najmanjom vrijednosti $ITM_{min} = 20,5 \text{ kg/m}^2$ normalne tjelesne mase ($M_{ly}=17,97 \text{ Nm}$) i ispitanik s najvećom vrijednosti $ITM_{max} = 41,7 \text{ kg/m}^2$ pretjerane tjelesne mase – klasa III, vrlo ozbiljna pretilost ($M_{ly}=35,19 \text{ Nm}$), povećanje vrijednosti indeksa ITM -a za 203,32 % dovodi do povećanja lumbalnoga momenta M_{ly} kod ispitanika za 195,83 %.

9. UTJECAJ BUKE NA IZVEDBU SUDIONIKA U PROMETU

Zvuk je pojava promjene okolišnoga tlaka amplitudom i brzinom dovoljno velika da ju ljudski organ sluha (uh) može registrirati. Najčešće je posljedica mehaničkih titraja koji se prenose na okolne čestice zraka i prouzrokuju njihovu naizmjeničnu kompresiju i relaksaciju (zgušnjavanje i razrjeđivanje) formirajući valnu frontu koja se rasprostire uzduž osi titranja – tzv. longitudinalni val. Osim u plinovima zvuk se, i to posebno učinkovito, rasprostire i u tekućinama te krutinama.

Buka je po definiciji neželjeni zvuk, odnosno svaka zvučna pojava koja ometa rad ili odmor čovjeka. Da bi neki zvuk bio proglašen bukom, mora biti dovoljnoga intenziteta, dovoljno čujan i izdvojen od ostalih zvukova. Buka je važan ekološki, ergonomski i medicinski čimbenik i u većini je područja ljudske aktivnosti legislativno uređena.

9.1. Audiogrami sudionika u prometu ovisno o radnom stažu

Čujna prometna buka može biti snažan čimbenik distrakcije iz radnoga i/ili prometnoga okoliša. Buka ima kumulativni karakter, stoga osim trenutačnoga utjecaja buke na sudionike u prometu treba uzeti u obzir i akumuliranu izloženost buci u nekom prijašnjem vremenskom periodu izloženosti.

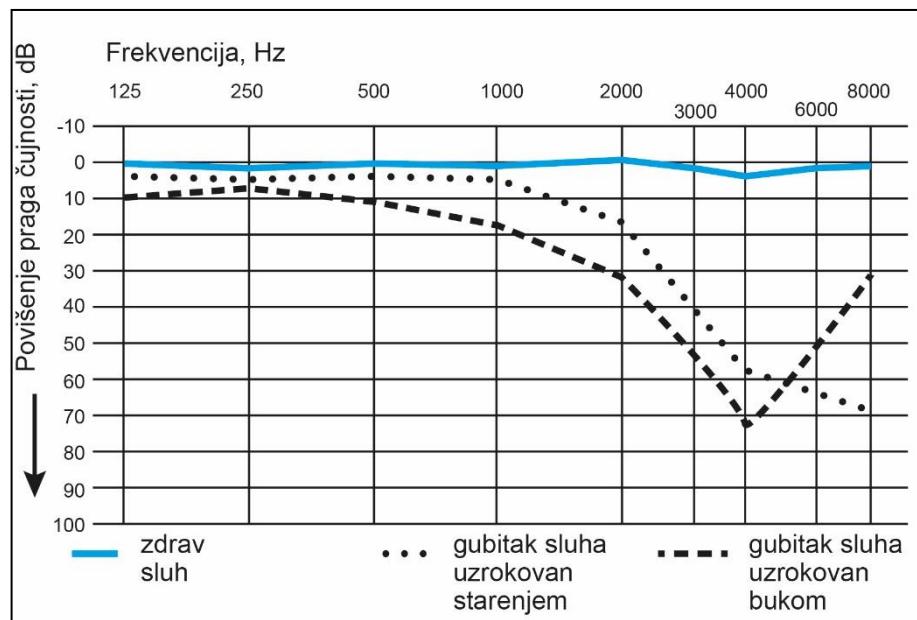
Provedena istraživanja potvrđuju kako prometna buka može značajno utjecati na radnu sposobnost stojovođa u RH u segmentu gubitka sluha prouzrokovana bukom NIHL-a (engl. *noise-induced hearing loss*).

Godine 2014. provedena je analiza trajnoga pomaka praga čujnosti PTS-a (engl. *permanent threshold shift*) za 44 slučajno odabralih strojovođa dizel vuče u RH muškoga spola [32].

Gubitak sluha prouzrokan bukom može se prepoznati po tipičnom „uleknuću” na krivulji čujnosti kod frekvencije f od 4 kHz [33] koje je prikazano na audiogramu, na Slici 9.1.

Važno je, prema prikazanom na Slici 9.1., razlikovati audiograme za parcijalne slučajeve, a to su:

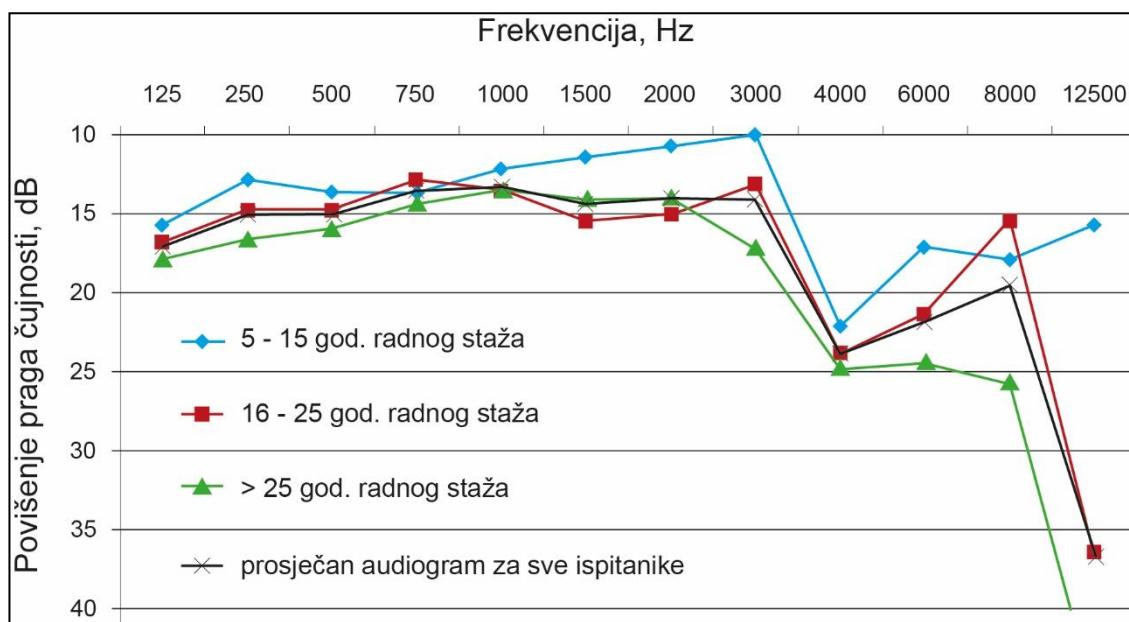
- audiogram za zdrave mlade ispitanike
- gubitak sluha prouzrokan navršenim godinama
- gubitak sluha prouzrokan bukom NIHL.



Slika 9.1. Tipični audiogrami za sluh zdravoga ispitanika, za gubitak sluha prouzrokovani navršenim godinama te za gubitak sluha prouzrokovani bukom

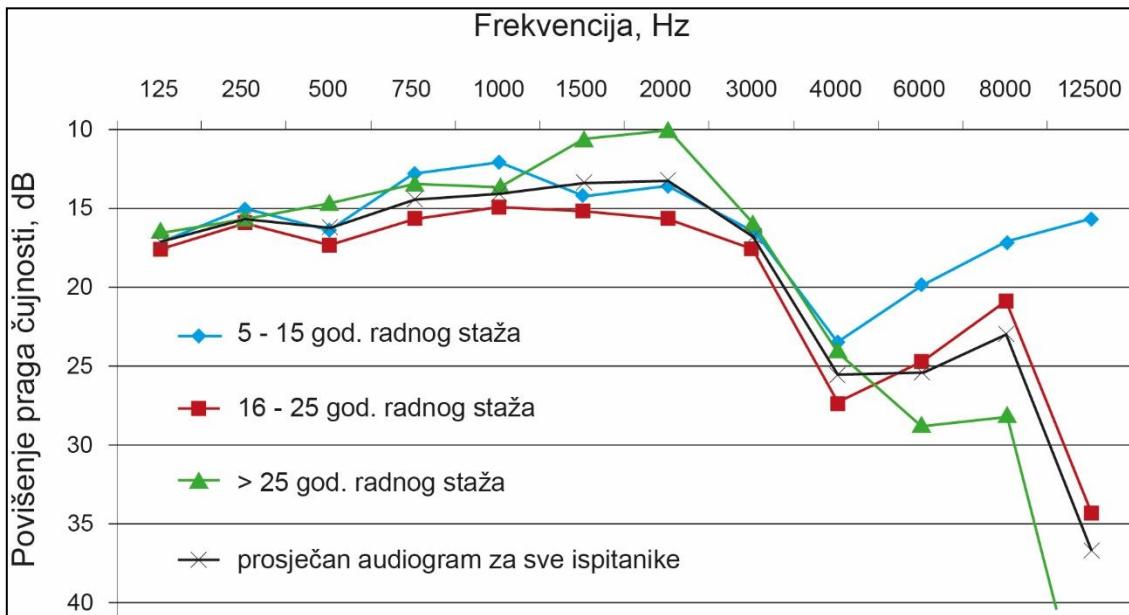
Izvor: Coles, R .R. A et al. 2000. [33]

Srednji je audiogram desnoga uha za strojovođe iz RH prikazan na Slici 9.2., a srednji je audiogram lijevoga uha za strojovođe iz RH prikazan na Slici 9.3. Oba su audiograma za strojovođe iz RH koji rade na dizel vuči ili pretežno na dizel vuči, pri čemu je linija crne boje za cijeli uzorak, a tri linije u boji za ispitanike koji su podijeljeni u tri skupine po radnom stažu (podjela po radnom stažu u potpunosti uvažava akumulacijski učinak prometne buke zbog prethodne izloženosti i u većoj mjeri uvažava navršenu dob).



Slika 9.2. Srednji audiogram za tri skupine strojovođa na dizel vuči za desno uho

Izvor: Ivošević, J. i sur. 2014. [32]



Slika 9.3. Srednji audiogram za tri skupine strojovođa na dizel vuči za lijevo uho

Izvor: Ivošević, J. i sur. 2014. [32]

Tipično sedlo ili „uleknuće” (engl. *notch*) kod frekvencije $f = 4 \text{ kHz}$ može se vrlo lako uočiti na Slikama 9.2. i 9.3., kako za cijeli uzorak za oba uha (crne linije), tako i za sve tri skupine strojovođa podijeljenih prema radnom stažu, a trajni je pad granice čujnosti najintenzivnije izražen za skupinu strojovođa s najvećim radnim stažom s više od 25 godina (zelene linije), što je posebno izraženo za lijevo uho prema Slici 9.3., gdje je očigledan najveći akumulacijski učinak kod viših frekvencija zbog izloženosti prometnoj buci uz interakciju veće navršene dobi i većega radnoga staža.

U praktičnim je terenskim istraživanjima mogućega utjecaja čujne prometne buke na radno opterećenje i na izvedbu različitih sudionika u prometu uspostavljena bliska suradnja dvaju laboratorijskih podjedinica FPZ-a na područjima zajedničkoga istraživanja i razmjene mjernih uređaja. To su:

- Laboratorij za primijenjenu ergonomiju u prometu [7]
- Laboratorij za zrakoplovne emisije [34].

Audiometar koji je prikazan na Slici 9.4. dijagnostički je instrument Laboratorijske za zrakoplovne emisije koji je korišten u snimanju audiograma za 44 strojovođa iz RH na dizel vuči, prikazanih na Slikama 9.2. i 9.3. [32], a mjeri prag čujnosti ljudskoga sluha unutar raspona zvučnih frekvencija koje čovjek čuje.

Teoretski, mladi i zdravi ispitanici trebali bi čuti sve zvukove između 20 Hz i 20 kHz, što je u praksi individualno i dosta rijetko za najniže i najviše frekvencije. Osim visokoga stupnja točnosti, osnovni su zahtjevi za audiometar maksimalna promjena u stupnju intenziteta zvuka od 5 dB i minimalni skup osnovnih testnih tonova kako slijedi: 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz i

8 kHz. Za detaljniju su analizu potrebni dodatni testni tonovi u donjem i višem frekvencijskom području čujne buke, tipično za 250 Hz i 12,5 kHz.

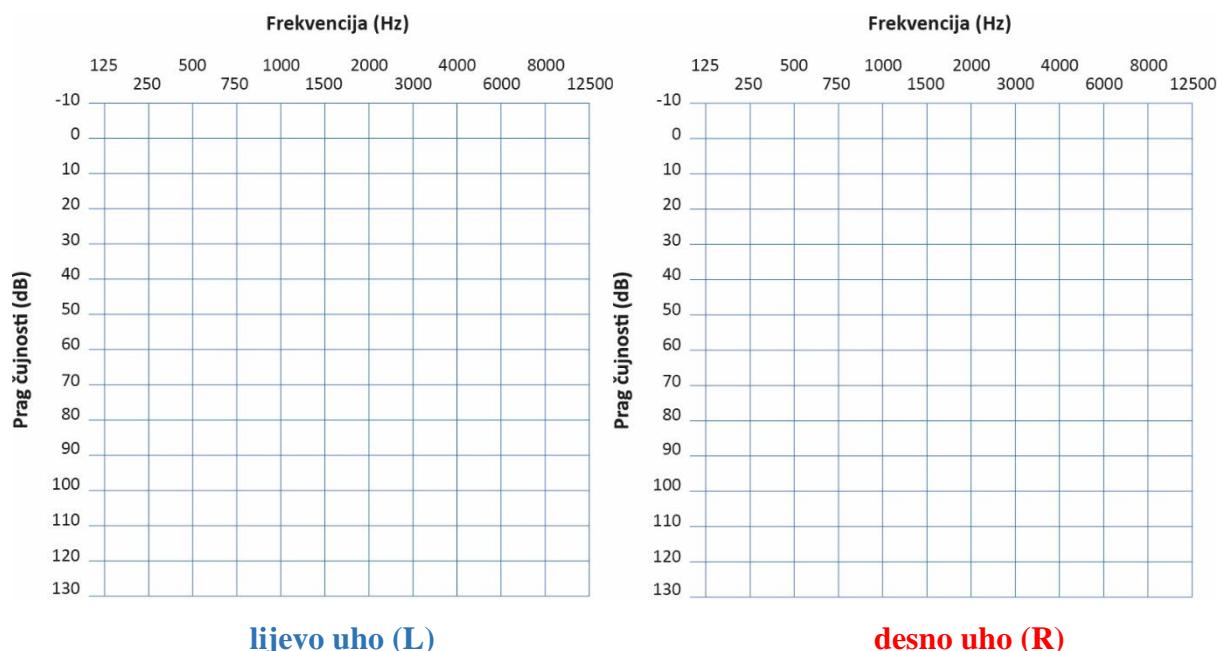


Slika 9.4. Audiometar Bell Plus HDA280

Izvor: Ivošević, J. 2013. [34]

Nadalje, kako bi se analizirala razina gubitka sluha prouzrokovana bukom koja je karakterizirana tipičnim „uleknućem“ unutar audiograma kod frekvencije $f = 4 \text{ kHz}$, potrebno je imati mogućnost detaljnijega uvida u karakteristike sluha ispitanika baš oko te frekvencije. Zaključno, audiometar Bell Plus HDA280 raspolaže s 12 ispitnih frekvencija, što je prikazano na Slici 9.5.

Kod snimanja audiograma, kako bi se izbjegle pogreške, na lijevo se uho stavlja plava slušalica (engl. $L = \text{Left ear}$), a na desno uho crvena slušalica (engl. $R = \text{Right ear}$), a nazivi su audiograma u bojama, prema Slici 9.5., podudarni bojama konektora na slušalicama.



Slika 9.5. Mjerna lista za snimanje audiograma s pomoću audiometra Bell Plus HDA280

Snimanje audiograma započinje inicijalno na frekvenciji $f = 1 \text{ kHz}$, a pri razini zvuka $L = 40 \text{ dB}$. U mjernoj se listi za audiogram označava najmanji iznos razine u dB pri kojoj ispitanik čuje testni zvučni signal (prag čujnosti), i to za svaku od 12 ispitnih frekvencija. Prag je čujnosti minimum razine zvuka koji će izazvati odgovor ispitanika.

9.2. Preporučena dnevna doza buke za sudionike u prometu

Dozimetar buke instrument je koji se općenito koristi za mjerjenje postotka akumulirane dnevne doze buke D sudionika u prometu u odnosu na preporučenu dnevnu dozu buke sudionika u prometu prema različitim kriterijima (npr. prema NIOSH ili OSHA kriteriju). Stoga se dozimetar može koristiti za određivanje utjecaja čujne buke interijera upravljačnice na izvedbu vozača ili drugih sudionika u prometu, zajedno s drugim mernim instrumentima.



Slika 9.6. Osobni dozimetar buke PCE – 355

Izvor: Ivošević, J. 2013. [34]

Tehničke su karakteristike osobnoga dozimetra buke PCE – 355 sljedeće:

- mjerni raspon instrumenta: 0,01 – 99,99 % doze
- kritična razina L_c : 80, 84, 84, ili 90 dB(A)
- razina promjene: 3, 4, 5 ili 6 dB(A)
- mjerno područje razine zvuka: 70 – 140 dB(A)
- točnost: +/- 1.5 dB (A).

Razina buke L ili *SPL* (engl. *sound pressure level*) općenito je definirana kao logaritamski omjer zvučnoga tlaka p i referentnoga zvučnoga tlaka $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$.

Akumulirana je doza buke inicijalno uvedena kako bi se, prema različitim standardima koji ovise o zakonodavstvu pojedine države ili službe, definirala najveća preporučena dnevna izloženost buci na radnom mjestu, a s ciljem sprječavanja trajnoga pomicanja praga sluha PRT-a (engl. *permanent threshold shift*) i gubitka sluha prouzrokovana bukom NIHL-a.

Akumulirana je doza buke D definirana prema izrazu [35].

$$D = \frac{100}{T_n} \sum_{i=1}^{N_i} (T_i) 10^{[(L_{ekv} - L_c)/q]} \quad (38)$$

gdje je:

D – doza izražena kao postotak preporučene dnevne doze

T_n – normalizirani vremenski period izloženosti (obično 8h)

T_i – trajanje i-toga vremenskoga perioda izloženosti

L_{ekv} – ekvivalentna razina buke u i- tom vremenskom periodu izloženosti

L_c – kritična razina buke 85 dB(A) sukladno kriteriju po NIOSH-u koji je važeći i za EU

q – bezdimenzionalna karakteristika koja određuje promjenu u vremenu; $q = n/\log 2$, za n dB razine promjene

N_i – broj intervala.

Maksimalna preporučena dnevna doza buke koju sudionici u prometu smiju akumulirati određuje se u skladu sa smjernicama NIOSH-a iz USA-a, gdje kritična razina buke iznosi $L_c = 85 \text{ dB (A)}$, uz razinu promjene od 3 dB (A), što je prikazano u Tablici 9.1. [36].

Tablica 9.1. Kombinacija razine izloženosti L i preporučene dnevne izloženosti T u skladu sa smjernicama NIOSH-a

Razina izloženosti L	Preporučena dnevna izloženost T			Razina izloženosti L	Preporučena dnevna izloženost T		
	sati	minuta	sekunda		sati	minuta	sekunda
80	25	24	-	106	-	3	45
81	20	10	-	107	-	2	59
82	16	-	-	108	-	2	22
83	12	42	-	109	-	1	53
84	10	5	-	110	-	1	29
85	8	-	-	111	-	1	11
86	6	21	-	112	-	-	56
87	5	2	-	113	-	-	45
88	4	-	-	114	-	-	35
89	3	10	-	115	-	-	28
90	2	31	-	116	-	-	22
91	2	-	-	117	-	-	18
92	1	35	-	118	-	-	14
93	1	16	-	119	-	-	11
94	1	-	-	120	-	-	9
95	-	47	37	121	-	-	7
96	-	37	48	122	-	-	6
97	-	30	-	123	-	-	4
98	-	23	49	124	-	-	3
99	-	18	59	125	-	-	3
100	-	15	-	126	-	-	2
101	-	11	54	127	-	-	1
102	-	9	27	128	-	-	1
103	-	7	30	129	-	-	1
104	-	5	57	130-140	-	-	< 1
105	-	4	43	-	-	-	-

Izvor: NIOSH. 1998. USA. [36]

Smjernice su NIOSH-a jednake zakonskim zahtjevima u EU. To znači da vozač tijekom 8 sati rada smije biti podvrgnut ekvivalentnoj razini buke u upravljačnici od $L_{ekv} = 85 \text{ dB (A)}$, što je 100 % preporučene dnevne doze D. Svako daljnje povećanje ekvivalentne buke za 3 dB dovodi do prepolovljavanja preporučenoga vremena izloženosti T .

Izlaganje jakim razinama buke trajno oštećeće osjetljive organe u unutarnjem uhu. Rizik je od traumatskoga učinka buke na čovjeka (gubitka sluha, odnosno trajnoga pomaka praga čujnosti) dominantan te ovisi o razini buke i vremenu izlaganja.

U Tablici 9.1. (kriterij NIOSH) i Tablici 9.2. (kriterij OSHA) prikazano je koliko dugo vremenski čovjek smije biti izložen određenoj ekvivalentnoj razini buke na radnom mjestu, tj. kolika je preporučena dnevna doza buke na bazi trajanja jedne smjene od 8h.

Međutim, preporučene dnevne doze na bazi 8h po kriterijima NIOSH-a [36], koji je mjerodavan i za EU i OSHA-u [37], govore o maksimalnoj dnevnoj dozi koja će prouzrokovati traumatski učinak kod čovjeka, ali ne daju informaciju o negativnom učinku prometne buke na izvedbu sudionika u prometu, do čega dolazi i kod manjih vrijednosti postotaka od 100 % preporučene dnevne doze D, a što se može utvrditi testovima izvedbe na reakciometru CRD4 u Lab za PEuP u laboratorijskim uvjetima, što podrazumijeva:

- analizu točnosti (vrste i broja krivih reakcija)
- mjerjenje vremena reakcije PRT-a na kognitivno-motoričke zadatke.

Međutim, u realnim je situacijama u prometu moguća i povezanost s navršenom dobi sudionika u prometu zbog akumulacijskoga učinka buke na čovjeka, što ovdje nije uzeto u obzir.

Tablica 9.2. Usporedba dozvoljenih razina zvučnoga tlaka *SPL-a* i preporučenih dnevnih trajanja izloženosti prema OSHA-i

Razina zvučnoga tlaka <i>SPL</i> – spori odgovor (dBA):	90	92	95		97	100	102	105	110	115
Preporučeno dnevno trajanje izloženosti <i>T</i> (h):	8	6	4		3	2	1,5	1	0,5	0,25 ili manje

Izvor: OSHA. 2016. [37]

10. ČIMBENICI UTJECAJA NA IZVEDBU VOZAČA CESTOVNIH VOZILA

Važno je napomenuti da u potpoglavlju 10.2. objašnjeni dinamički i otvoreni TCI model ne uvažava moguće djelovanje raznih čimbenika na vozača prije početka izvedbe, jer vozač u izvedbu zadatka najčešće ne ulazi s maksimalnom sposobnošću s kojom teoretski raspolaže.

Sposobnost se ispitanika (engl. *capability ili ability*) većinom temelji na urođenim značajkama (genotipu), a može se unaprijediti stjecanjem znanja i vještina kroz odgoj, formalno obrazovanje, radno iskustvo, dodatne edukacije, utjecaj okoline itd., što TCI model predstavljen na Slici 10. 2. i uvažava.

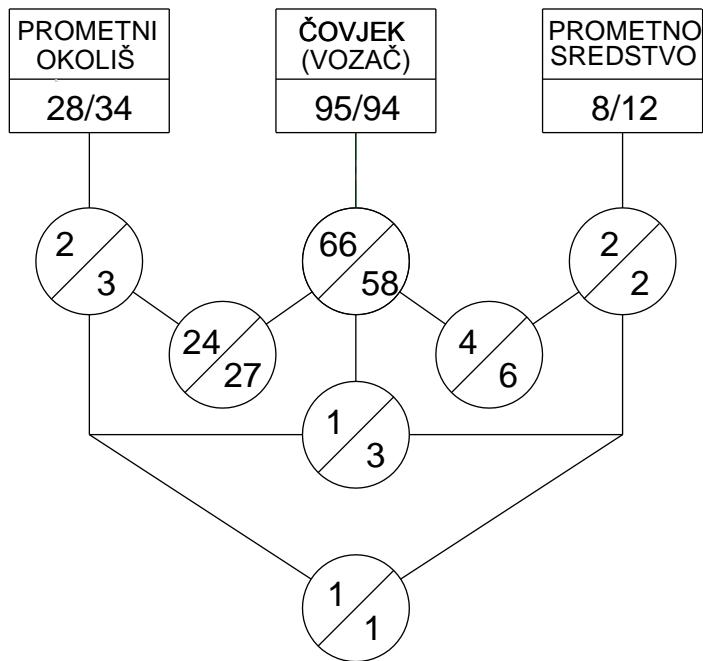
Trenutačna je psihofizička spremnost TPR ispitanika (engl. *temporary psychophysical readiness*) odraz trenutačnoga stanja organizma ispitanika zbog više čimbenika koji su mogli utjecati na organizam ispitanika sve do trenutka početka izvedbe, a time i na izvedbu zadatka (sve vrste prethodnoga radnoga opterećenja, prethodni utjecaj distraktora i/ili nepovoljnih okolnosti tijekom odmora, prethodni utjecaj ambijentalnih čimbenika, alkohol, opijati, lijekovi, stres, kronični umor, cirkadijurni ritmovi, motiviranost za izvedbu, emocionalno stanje itd.).

Zaključno razmatrajući, u okolnostima smanjene trenutačne psihofizičke spremnosti TPR-a vozač u stvarnosti ne pristupa izvedbi (engl. *performance*) s maksimalnom sposobnošću s kojom teoretski raspolaže u idealnim uvjetima zbog izloženosti organizma vozača mogućem djelovanju navedenih ili nekih drugih čimbenika prije početka izvedbe.

10.1. Statistički objektivni rizik u cestovnom prometu

Metodologija istraživanja statističkoga objektivnoga rizika mora biti kompatibilna i komparativna sa suvremenim uobičajenim i međunarodno verificiranim postojećim metodologijama, tako da se u izlaznim rezultatima čimbenici razvrstavaju po postotnoj pripadnosti u tri uobičajene i standardne grupe čimbenika, neovisno o tome o kojoj je prometnoj grani riječ i neovisno o tome odvija li se promet radi transporta robe ili putnika.

Rumar je 1982. godine sumirao dvije dugogodišnje i nezavisne studije Cestovnih istraživačkih laboratorija u V. Britaniji i u SAD-u [6] s visoko podudarnim rezultatima koji su prikazani na Slici 10.1. na temelju rezultata koje su do bile skupine eksperata nakon dubinskih studija oštećenih cestovnih vozila, mjesta nesreća i sudionika poslije prometnih nesreća. Gornja (lijeva) postotna učešća rezultati su britanske studije, a donja (desna) američke studije za pojedinačno, dvostruko, i trostruko sudjelovanje svih triju skupina čimbenika u prometnim nesrećama cestovnih vozila. U poljima s nazivom skupine čimbenika upisan je ukupni skupni postotak za svaku skupinu čimbenika sa svim preklapanjima.



Slika 10.1. Udio „ljudskoga faktora“ kod vozača cestovnih vozila na temelju ekspertiza prometnih nesreća
Izvor: Rumar, K. 1982. [6]

Prema Slici 10.1. očito je da skupina čimbenika „ljudskoga faktora“, bilo pojedinačno, bilo skupno s ostalim čimbenicima, ima dominantan utjecaj, tj. sudjeluje s 95 % i 94 %. Pojedinačno sudjelovanje skupine „ljudskoga faktora“ dostiže oko dvije trećine ukupnih slučajeva (66 % u britanskoj i 58 % u američkoj studiji). Utjecaj skupine „ljudskoga faktora“ dominira nad ostalim skupinama čimbenika („prometno sredstvo“ i „prometni okoliš“) pa su oni manje vidljivi. Međutim, potrebno je voditi računa i o tome da u slučajevima u kojima skupine eksperata ne mogu pronaći nikakve čimbenike koji su racionalno povezivi s „prometnim okolišem“ i „prometnim sredstvom“, za uzrok prometne nezgode redovito proglašavaju odgovornim „ljudski faktor“. To ne mora uvijek biti točno jer je iz rezultata klasične biheviorističke analize, koji su prikazani na Slici 10.1., jasno kako postoji dvostruko i trostruko preklapanje pripadnosti pojedinoga čimbenika prometne nesreće između triju standardnih skupina čimbenika. Takva je istovremena pripadnost jednoga čimbenika prometne nesreće dvjema ili trima skupinama čimbenika dokazom relacija ili veza među trima skupinama čimbenika, a može se interpretirati i kao utjecaj pojedinih čimbenika iz skupina „prometni okoliš“ i „prometno sredstvo“ na skupinu čimbenika „ljudski faktor“.

Kognitivni pristup istraživanju objektivnoga statističkoga rizika u cestovnom prometu podrazumijeva istraživanje mogućega utjecaja svih relevantnih čimbenika iz svi triju standardnih skupina čimbenika koji mogu utjecati na povećanje radnoga opterećenja, smanjenje razine izvedbe vozača, a time i na povećanje objektivnoga rizika za nastanak prometnih nesreća

Takvi su čimbenici sljedeći:

- dob vozača
- spol vozača
- zanimanje vozača (vozač profesionalac, vozač za osobne potrebe – drugo zanimanje)
- vozačko iskustvo (mjereno od datuma stjecanja vozačke dozvole)
- razina edukacije vozača
- marka i tip cestovnoga vozila
- snaga cestovnoga vozila u kW
- utjecaj brzine prometovanja
- utjecaj gustoće i strukture prometnoga toka
- utjecaj distraktora iz prometnoga i/ili radnoga okoliša
- ambijentalni čimbenici u upravljačnici
- čimbenici nepovoljnih okolnosti
- vremenski uvjeti u prometnom okolišu
- kategorija prometnice
- doba dana i noći (cirkadijurni ritmovi)
- dan u tjednu
- doba godine
- relevantni čimbenik umora.

10.2. Otvoreni i dinamički TCI model sučelja sposobnost vozača – zahtjev zadaće

Prema *Näätänenu* i *Summali* [5] emocionalni odgovori vozača cestovnih vozila poput nesigurnosti, iznenađenja i razdražljivosti povezani su s različitim prometnim situacijama, što je moguće uočiti s pomoću mjerjenja psihogalvanskih reakcija vozača. Isti autori upotrebljavaju pojam indeksa subjektivnoga rizika i uspoređuju subjektivni i objektivni statistički rizik, a promjenu frekvencije pulsa sudionika u prometu u nekim prometnim situacijama navode kao jednu od mogućih psihofizioloških mjera za određivanje indeksa subjektivnoga rizika.

Fuller je 2005. godine [4] komparacijom i kompilacijom parcijalnih znanstvenih spoznaja iz kognitivne ergonomije više vodećih svjetskih autoriteta s područja ergonomije, prometa i psihologije dodatno raščlanio pojmove statističkoga objektivnoga rizika, subjektivne procjene rizika, osjećaja rizika, težine zadaće vožnje, zahtjeva zadaće (engl. *task demands*) i sposobnosti vozača (engl. *driver's capability*).

Objektivni statistički rizik (engl. *objective risk*) određuje se nakon prometnih nesreća na temelju dubinskih (engl. *in-depth*) studija nesreća kada grupa eksperata detaljno analizira oštećeno vozilo, mjesto i sudionike s ciljem otkrivanja mogućih čimbenika koji su doveli do nesreće, poput rezultata prikazanih na Slici 10.1. u poglavlju 10.1. Pritom se nastoji približno procijeniti postotni udio čimbenika iz skupina „ljudskoga faktora“ (čovjek koji upravlja prometnim sredstvom), „prometnoga sredstva“ i „prometnoga okoliša“, s manjim ili s većim uspjehom.

Subjektivna procjena rizika (engl. *subjective risk*) vlastita je procjena vozača kao rezultat kognitivnih procesa vozača (engl. *output*), tj. to je vozačeva vlastita procjena (objektivne) mogućnosti sudara.

Osjećaj rizika (engl. *feeling of risk*) može promijeniti vozačovo donošenje odluka i predstavlja, prema *Tayloru* [38], emocionalni odgovor vozača na prijetnju zbog opasnosti od sudara. Prema *Fullerovim* razmišljanjima [4] subjektivni se osjećaj rizika umjesto na opasnost od sudara odnosi na težinu zadaće. Pritom treba napomenuti kako težinu zadaće vožnje više autora u znanstvenoj literaturi poistovjećuje s mentalnim radnim opterećenjem (engl. *mental workload*).

Fullerov TCI model sučelja *zahtjev zadaće – sposobnost vozača* (engl. *the task-capability interface model*) iz 2005. godine [4] nudi teoretski odgovor na pitanje što određuje težinu zadaće vozača. Težina je zadaće rezultat dinamičnoga sučeljavanja zahtjeva zadaće i sposobnosti vozača i obrnuto je proporcionalna trenutačnoj razlici između zahtjeva zadaće i sposobnosti vozača (Slika 10.2.). Od svih u literaturi dostupnih modela ponašanja vozača taj

model najjednostavnije i najbliže povezuje mentalno radno opterećenje (težinu zadaće vožnje) s vozačkom motivacijom i izvedbom.

Prema *Fulleru*, kada je sposobnost veća od zahtjeva ($C>D$), zadaća je laka, kada su sposobnost i zahtjev jednaki ($C=D$), vozač postupa na granicama svoje sposobnosti i zadaća je vrlo teška. Kada je zahtjev veći od sposobnosti ($C<D$), tada je zadaća po definiciji jednostavno preteška i vozač ju ne može svladati, pojavljuje se okolnost mogućega gubitka nadzora nad vozilom, a to može dovesti do sudara ili slijetanja vozila s kolnika. Važno je napomenuti da se *Fullerov* model odnosi na cestovna vozila, gdje postoji istovremena mogućnost promjene smjera i promjene brzine, za razliku od željezničkih vozila i tramvaja, gdje je smjer definiran tračnicama, a zahtjev se zadaće vozača svodi uglavnom na promjenu brzine. Međutim, kako se model zasniva na dinamičkoj komparaciji zahtjeva zadaće i sposobnosti vozača, a težina je zadaće prema *Fulleru* neovisna o njezinoj složenosti te je u bliskoj vezi s brzinom, tako je model primjenjiv i na strojovođe, ali i na vozače tramvaja.

Ovaj je teoretski dinamički model primjenjiv za inženjersku struku, tako da se sretno izbjegnuti sudar ili kompenzacijsko djelovanje drugih sudionika u prometu može nadopuniti primjenom različitih sustava za pomoć vozaču, paralelno s primjenom sustava za održavanje potrebne razine budnosti strojovođa ili vozača tijekom rada poput budnika (engl. *dead man function*).

Kod pilota sustavi za pomoć poput autopilota kratkoročno djeluju na segment sposobnosti tako da je sposobnost pilota zajedno s autopilotom trenutačno značajno veća od sposobnosti pilota bez korištenja autopilota.

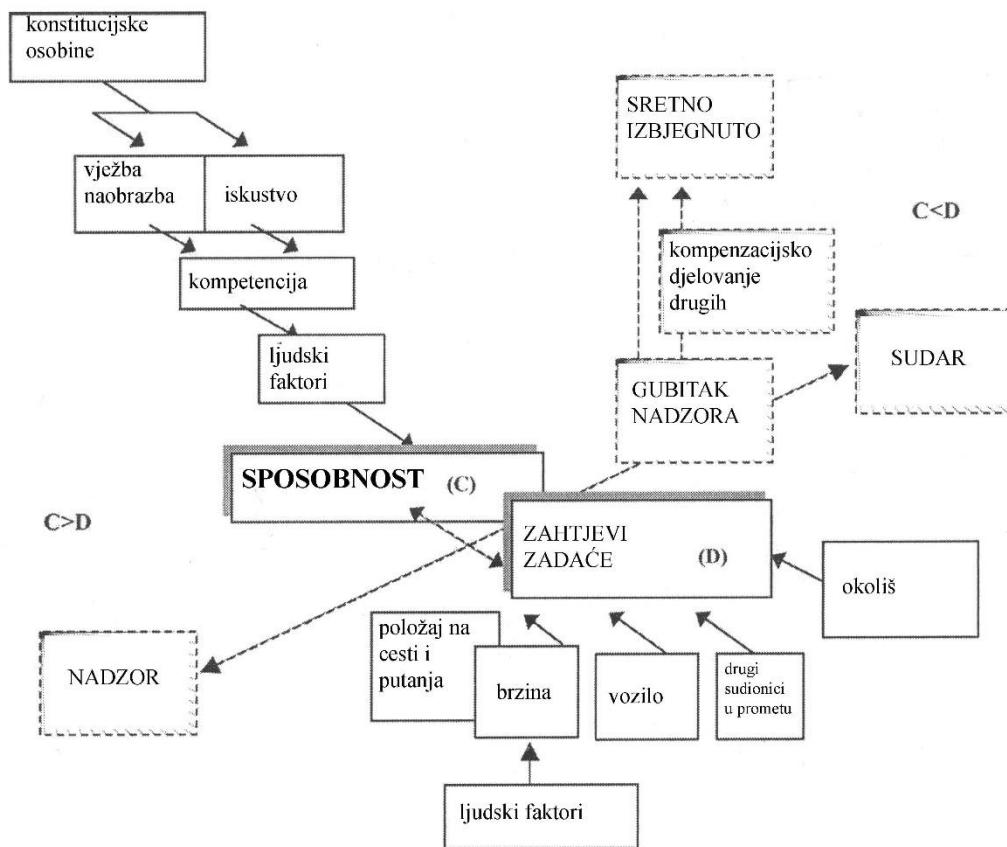
Međutim, dugoročno razmatrajući, ovisnost pilota o automatizaciji dovodi do suptilne degradacije vještine pilotiranja (psihomotornih vještina i kognitivnih sposobnosti) u kombinaciji s povećanjem povjerenja u automatizaciju.

Prema *Landryju* [39], degradaciji osnovnih letačkih vještina, među ostalim relevantnim čimbenicima, značajno pridonosi stalno repetitivno korištenje automatizacije. Uređaji zamijene pilotove kognitivne misaone procese koji nastaju tijekom ručnoga letenja. Tijekom automatiziranoga leta pilot „više ne leti ispred zrakoplova“ nego troši vrijeme provjeravajući izvodi li automatizacija zadani zadatak.

Prema *Garlandu* i suradnicima [40], u većini je slučajeva tijekom letenja sa staklenim zaslonom radno opterećenje smanjeno, složenost je izvedbe sakrivena automatiziranim sustavima, krive su ljudske reakcije mnogo složenije i teže za otkriti (odgođena povratna informacija, kriva reakcija na strateškoj razini, a ne na razini izvođenja), a rezultat je da se pilot predugo osjeća ugodno nakon krive reakcije. Kada se dođe do granice gubljenja kontrole,

kognitivni se signali slabo aktiviraju sve do trenutka u kojem svi signali dođu odjednom i preoptereće kogniciju pilota (povećanje radnoga opterećenja, nesporazuma i krivih reakcija).

Zbog erozije osnovnih letačkih vještina koja je prouzrokovana prečestim oslanjanjem pilota na pomoć autopilota i pretjerane upotrebe istoga, više je kompanija propisalo minimalni postotak sati tijekom svakoga leta tijekom kojih je pilot obvezan letjeti ručno, bez upotrebe autopilota.



Slika 10.2. Prošireni TCI model sučelja zahtjev zadaće – sposobnost vozača

Izvor: Fuller, R. 2005. [4]

Iz preuzetoga je TCI modela vidljivo kako sposobnost vozača dominantno ovisi o čimbenicima iz skupine „ljudski faktor”, dok na zahtjev zadaće „ljudski faktor” izravno utječe preko vozačeva odabira brzine. Prema *Fullerovom* modelu „prometno sredstvo” (vozilo) i „prometni okoliš” izravno utječu na zahtjev zadaće kao ulazni parametri.

Prema *Fullerovom* modelu tek u okolnostima maksimalne težine zadaće, kada se raspoloživa sposobnost vozača i zahtjev zadaće izjednače (što može značiti početak gubitka kontrole nad vozilom ako ne postoji sustav za pomoć vozaču), subjektivna procjena rizika vozača postaje jednaka objektivnom riziku.

11. ČIMBENICI ORGANIZACIJE SMJENSKOGA RADA SUDIONIKA U PROMETU

U znanstvenoj i stručnoj literaturi izraz smjenski rad (engl. *shift work*) koristi se za bilo koji raspored dnevnoga radnoga vremena, osim standardnih dnevnih sati (od 7h ili 8h pa do 17h ili 18h).

11.1. Općenito o smjenskom radu

Direktivom Europskoga vijeća 93/104/EC iz 1993. godine [41] definirano je da smjenski rad (engl. *shift work*) podrazumijeva bilo koju metodu organizacije rada u smjenama gdje radnici zamjenjuju jedni druge na istim radnim mjestima prema određenom uzorku. Smjenski je radnik (engl. *shift worker*) bilo koji radnik čije je radno vrijeme dio smjenskoga rada.

Direktivom je Europskoga vijeća 93/104/EC (što je potvrđeno i Direktivom Europskoga vijeća 2003/88/EC) definirano noćno vrijeme kao bilo koje razdoblje ne manje od sedam sati, kako je definiralo nacionalno zakonodavstvo, i koje mora uključivati u bilo kojem slučaju razdoblje između ponoći i pet sati ujutro. Noćni je radnik (engl. *night worker*) definiran kao bilo koji radnik koji tijekom noći radi najmanje tri sata svoga dnevnoga radnog vremena kao normalan slijed ili radnik koji će vjerojatno tijekom noći raditi određeni dio svoga godišnjega radnog vremena, kako je definirano po izboru države članice EU-a ili nacionalnim zakonodavstvom, ili kolektivnim ugovorom.

Noćni je radnik, prema članku 69. Zakona o radu RH [42], radnik koji prema svom dnevnom rasporedu radnoga vremena redovito radi najmanje tri sata u vremenu noćnoga rada ili koji tijekom uzastopnih dvanaest mjeseci radi najmanje trećinu svoga radnoga vremena u vremenu noćnoga rada.

Puno radno vrijeme, kako stoji u članku 60. Zakona o radu RH, ne može biti dulje od četrdeset sati tjedno. Ako zakonom, kolektivnim ugovorom, sporazumom sklopljenim između radničkoga vijeća i poslodavca ili ugovorom o radu nije određeno radno vrijeme, smatra se da je puno radno vrijeme četrdeset sati tjedno. Radnik koji radi u punom radnom vremenu može sklopiti ugovor o radu s drugim poslodavcem u najdužem trajanju od osam sati tjedno, odnosno od sto osamdeset sati godišnje, samo ako je poslodavac, odnosno ako su poslodavci s kojima radnik već prethodno ima sklopljen ugovor o radu za takav rad radniku dali pisani suglasnost. Gotovo se svi eksperti za organizaciju smjenskoga rada slažu da su od svih relevantnih čimbenika organizacije smjenskoga rada, koji sadrži i rad noću, tri najvažnija čimbenika kako slijedi:

- tjedni raspored smjena
- rotacija smjena

- odmori u smjeni nakon određenoga broja sati stalnoga rada.

Prema vremenu početka i završetka smjene tijekom dana i noći u kombinaciji s vremenom trajanja smjena radno vrijeme može biti [43]:

- *nejednakomjerno smjensko radno vrijeme*; radno je vrijeme u kojem izvršni radnik u prometu stalno započinje ili završava svoje poslove u različito doba dana ili noći uz različito trajanje dviju uzastopnih smjena.
- *jednakomjerno smjensko radno vrijeme*; radno je vrijeme u kojem izvršni radnik u prometu stalno započinje ili završava svoje poslove u isto doba dana ili noći uz podjednako trajanje dviju uzastopnih smjena.

Navedene definicije nejednakomjernoga i jednakomjernoga smjenskoga radnog vremena, karakteristične za izvršne radnike u željezničkom prometu [43], u ovoj će se knjizi koristiti općenito za sve sudionike u prometu.

Uobičajeni su modeli promjene smjenskoga rada (engl. *shift pattern*) sljedeći:

- *stalni* (engl. *regular shifts*) – stalni rad samo u jednoj smjeni, npr. ujutro, poslijepodne ili tijekom noći
- *rotacijski* (engl. *rotating shifts*) – izmjenjuju se različite smjene više ili manje redovito, u određenom ciklusu rotacije
- *s noćnim radom ili bez njega* – radno se vrijeme može proširiti na cijelu noć ili na dio noći te broj radnih noći po tjednu, mjesecu ili godini može znatno varirati, stoga definicija razdoblja noćnoga rada varira od zemlje do zemlje.

Prema trajanju smjena sustavi mogu biti [44]:

- *neprekidni* (radi se puna 24 sata svaki dan u tjednu pa radni tjedan traje 168 sati, što je gotovo obvezno u prometu i u pojedinim segmentima proizvodnje)
- *prekidni* (rad se prekida najmanje jednom tjedno pa traje manje od 168 sati u tjednu).

Prema načinu izmjene smjena sustavi mogu biti [44]:

- *rotirane smjene* (djelatnici rade u trima smjenama, a izmjena se rotira u određenim vremenskim razmacima, npr. svakih 7 dana ili u kraćim vremenskim intervalima)
- *alternativne smjene* (djelatnici rade naizmjenično u svakoj od dviju dnevnih smjena, jutarnjoj i poslijepodnevnoj)
- *stalne dnevne i noćne smjene* (ista skupina radnika radi stalno danju ili stalno noću).

11.2. Relevantni čimbenici organizacije smjenskoga rada

Relevantni su čimbenici organizacije smjenskoga rada (engl. *shift schedules*) sljedeći:

- *redovitost ili neredovitost smjenskoga rasporeda*: jednakomjerne smjene ili nejednakomjerne smjene;
- *dužina smjenskoga ciklusa*: ciklus uključuje sve smjene i dane odmora koji traju sve dok se ciklus ne počne ponavljati, ciklusi mogu biti kratki dnevni (idealni su od 2 do 3 dana), srednji tjedni (od 1 tjedna do preporučenih 3 tjedana) ili dugi (do 6 mjeseci ili više);
- *trajanje smjene* (engl. *shift duration*): klasična smjena traje najčešće 8 sati (engl. *8-hour shifts*), no može biti u rasponu od 6 do 12 sati (engl. *12-hour shifts*), postoje nejednakomjerne smjene (engl. *variable shifts lengths*) ili dvokratne smjene (engl. *split shifts*);
- *vrsta jednakomjerne smjene prema početku i kraju* (engl. *shift timing*): noćna smjena (engl. *night shifts*), rana jutarnja smjena (engl. *early morning starts*), poslijepodnevna smjena (engl. *afternoon starts*) ili dnevna smjena (engl. *daytime shifts*);
- *brzina rotacije smjene* (engl. *speed of rotation*) – ovisi o broju uzastopnih radnih dana prije promjene smjene, može biti brzo (svakih 1, 2 ili 3 dana), srednje (svaki tjedan) ili sporo (svakih 15, 20, 30 dana ili čak do godine dana);
- *smjer rotacije smjene* (engl. *direction of rotation*) – može biti u smjeru kazaljke na satu (ujutro / poslijepodne / noć) ili suprotno od kazaljke na satu (poslijepodne / ujutro / noć) s posljedično različitim trajanjima razmaka između uzastopnih smjena; rotacija u smjeru kazaljke također se naziva „faza kašnjenja” ili „rotacija prema naprijed”, a rotacija u suprotnom smjeru „faza uranjenja” ili „rotacija unatrag”; imaju različite utjecaje na prilagodbu cirkadijurnoga bioritma;
- *maksimalni broj uzastopnih noćnih smjena* (engl. *set a limit of the night consecutive shift*)
- *broj i raspored dana za odmor nakon više uzastopnih radnih dana* (engl. *rest days*)
- *broj slobodnih vikenda s uzastopnim danima odmora* (engl. *regular weekend breaks*)
- *broj sati za odmor između uzastopnih smjena* (engl. *rest breaks between consecutive shifts*)
- *maksimalni broj radnih sati na tjednoj bazi* (bez prekovremenoga ili s prekovremenim)
- *trajanje odmora unutar smjene nakon perioda neprekidnoga rada* (engl. *rest breaks within shifts*).

U prometu u RH rasporedi smjenskoga rada variraju od:

- dnevne rotacije jednakomjernih smjena na bazi od 2 do 3 dana (djelatnici na naplatnim kućicama autoceste Rijeka – Zagreb);
- dnevne rotacije jednakomjernih smjena na bazi od 1 do 4 dana, s minimalno 2 danima odmora nakon maksimalno 4 radnih dana u jednom ciklusu (kontrolori leta u aerodromskoj, prilaznoj i oblasnoj kontroli leta HKZP-a Podružnice Zagreb);
- tjedne rotacije jednakomjernih smjena na bazi 1 tjedna (vozači tramvaja ZET-a u gradu Zagrebu), osim ako sami vozači izjavom ne pristanu na drugačiji (nepovoljniji) oblik smjenskoga rada zbog osobnih potreba, poput višemjesečnoga rada u noćnoj smjeni;
- nejednakomjerne smjene s nepravilnom rotacijom (strojovode u RH, kompanije HŽ Cargo d.o.o. i HŽ Putnički prijevoz d.o.o.).

11.3. Najvažnije znanstvene smjernice organizacije smjenskoga rada koji uključuje i rad noću

Općenite smjernice za optimalnu organizaciju smjenskoga rada koji uključuje i rad noću, na temelju suvremene znanstvene i stručne literature kao i mjerodavnih krovnih stručnih asocijacija poput HSE-a (*engl. Health and Safety Executive*), jesu sljedeće [10, 45]:

- Treba davati prednost organizaciji rada u jednakomjernim smjenama u odnosu na rad u nejednakomjernim smjenama i/ili turnusima.
- Smjenski je rad poželjno organizirati u trima jednakomjernim 8-satnim smjenama umjesto u smjenama od 10 do maksimalno preporučenih 12 sati (dokazan je pad razine izvedbe s prodlujenjem trajanja smjene).
- Općenito, preporučuje se ograničenje na 5 do 7 uzastopnih radnih dana unutar ciklusa, a za standardne jednakomjerne smjene trajanje od 7 do 8 sati.
- Ako je moguće, treba izbjegavati rani početak ranojutarnje jednakomjerne smjene već od 6h (kada je i ako je moguće, treba davati prednost dnevnoj jednakomjernoj smjeni s početkom u 7h ili u 8h).
- Potrebno je osigurati najmanje 11 sati odmora između dviju uzastopnih smjena (*engl. rest breaks between consecutive shifts*).
- Preporučuje se u smjenskom rasporedu osigurati što više slobodnih vikenda s najmanje dvama uzastopnim danima odmora (*engl. regular weekend breaks*).
- Trajanje smjene dulje od 8 sati treba ograničiti na najviše 12 sati (uključujući prekovremeni rad) i razmotriti potrebe osjetljivih radnika.
- Potrebno je osigurati dva uzastopna slobodna dana nakon svake 12-satne smjene.

- Gdje je moguće, treba organizirati vrijeme početka/završetka smjene tako da je usklađeno s javnim prijevozom ili razmotriti mogućnost prijevoza radnika koji rade u određenim smjenama.
- Treba izbjegavati dvokratne smjene (engl. *split shifts*), osim ako je to nužno za ispunjavanje poslovnih potreba (npr. u ZET-u Zagreb za organizaciju smjenskoga rada vozača tramvaja).
- Potrebno je razmotriti može li se za smjene s promjenjivim duljinama (engl. *variable shifts lengths*) za vrijeme početka i završetka radnoga vremena ponuditi odgovarajući kompromis.
- Opseg rada treba planirati tako da odgovara duljini i vremenskom okviru radne smjene, ukoliko je to moguće.
- Ukoliko je moguće, treba rasporediti različite zadatke koji će se dovršiti za vrijeme smjene i omogućiti radnicima izbor redoslijeda po kojem zadatci trebaju biti izvršeni.
- Potrebno je poticati i promicati korist redovitih stanka unutar smjena.
- Tamo gdje je moguće, treba dopustiti radnicima diskreciju tijekom odmora te sprječavati poticanje radnika na uštedu vremena stanke kako bi ranije napustili posao.
- Potrebno je osigurati sadržaje i mogućnosti za smjenske radnike slične sadržajima i mogućnostima koje imaju radnici koji rade dnevne radne rasporede.
- Treba osigurati da su voditelji smjena i članovi tima koji su odgovorni za planiranje rada smjenskih radnika svjesni rizika povezanih s radom u smjenama i da mogu prepoznati probleme prouzročene smjenskim radom.
- Potrebno je osigurati redoviti raspored smjena te pravovremeno informiranje radnika.
- Treba kontrolirati prekovremeni rad i zamjene smjena praćenjem i bilježenjem sati rada i razdoblja odmora. Također, treba odgovarati radnike od preuzimanja drugih poslova.
- U rasporedu je rada potrebno osigurati mogućnost odgovarajućega odmora za one radnike koji su u statusu pripravnosti (čekanja) / obavljanja poslova na poziv ili imaju prekovremeni rad.
- Potrebno je poticati interakciju između radnika i osigurati način komunikacije za radnike koji su tijekom rada izdvojeni od drugih radnika.
- Treba osigurati obuku i informacije za radnike, njihove obitelji i menadžment o rizicima koji su povezani s radom u smjenama i o odgovarajućim strategijama kako se suočiti sa smjenskim radom. Takav pristup može pomoći radnicima pri boljem suočavanju s radom u smjenama.
- Radnom osoblju s radom u smjenama treba omogućiti pohađanje planom predviđenih obuka i edukacija.

- Potrebno je osigurati da radno mjesto i okoliš budu dobro osvijetljeni, sigurni i zaštićeni te da su radnici oslobođeni (zaštićeni) od prijetnji nasiljem.
- Kada je i ukoliko je moguće, potrebno je izbjegavati noćni rad u prometnim procesima.
- Za rad noću potrebno je angažirati radnike između 25 i 50 godina.
- Ukoliko je noćni rad prijeko potreban, potrebno je izbjegavati stalni noćni rad bez rotacija.
- Nakon duže stalne izloženosti smjenskom i noćnom radu radnike treba prebaciti na dnevni rad.
- Potrebno je izbjegavati izvedbu zahtjevnih, opasnih, monotonih i/ili sigurnosno kritičnih zadataka tijekom noći, rano ujutro, pri kraju dugih smjena i tijekom drugih razdoblja niske razine budnosti (nemoguće primijeniti na aerodromske, prilazne i oblasne kontrolore zračnoga prometa u Zagrebu).
- Noćne smjene i ranojutarnje smjene preporučuje se ograničiti na 2 do 3 uzastopne smjene, nakon čega je potrebno osigurati 2 do 3 dana odmora kako bi se radnicima omogućio oporavak.
- Potrebno je ograničiti noćnu smjenu ili smjene u kojima se odvija zahtjevan, monoton, opasan i/ili sigurnosno kritičan rad na 8 sati.
- Treba osigurati odmor od najmanje 24 sata nakon jedne odradjene noćne smjene.
- Potrebno je izbjegavati produžene radne sate ili 12-satne smjene, osobito noću, zbog povećanja radnoga opterećenja te opadanja učinkovitosti u zadatcima detekcije signala. Iako je noćni rad u pojedinim segmentima sigurniji u 12-satnim smjenama s čestim brojem kraćih stanka u odnosu na 8-satne noćne smjene sa samo jednom stankom, navedeno je potrebno izbjegavati jer pri kraju 12-satne noćne smjene dolazi do opadanja učinkovitosti u zadatcima detekcije signala, a posljedično i do pada sigurnosti.
- Pri prelasku iz dnevne u noćnu smjenu, ili obrnuto, potrebno je radnicima dopustiti minimalno 2 noći punoga sna.
- Treba razmotriti mogućnost povećanja nadzora izvedbe tijekom ključnih razdoblja niske razine budnosti, npr. u razdobljima pretkraj dugih smjena, tijekom noći i u ranim jutarnjim satima (s naglaskom na vremenski period od ponoći do 5h ujutro).
- Potrebno je davati prednost rotaciji u smjeru kazaljke na satu (ujutro / poslijepodne / noć), poznatoj pod imenima „faza kašnjenja” ili „rotacija prema naprijed” (engl. *forward-rotating schedules*) u odnosu na rotaciju u suprotnom smjeru od kazaljke na satu (poslijepodne / ujutro / noć), koja je poznata pod imenima „faza uranjenja” ili „rotacija unatrag” (engl. *backward-rotating schedules*);
- Brza dnevna rotacija (engl. *fast rotation*) na bazi dvaju do triju dana preporučuje se zbog kraćega perioda u kojem djelatnik treba podnijeti nemogućnost brze prilagodbe

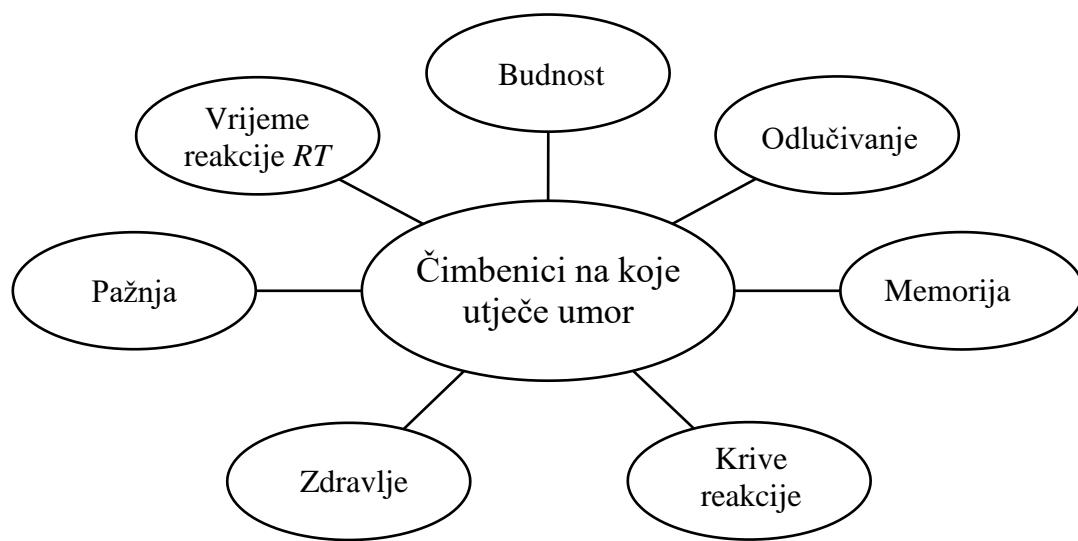
circadijurnih ritmova. Najbolja je sljedeća solucija rotacija na bazi najviše triju tjedana (engl. *slowly rotating shifts*) jer je upravo toliko potrebno za prilagodbu circadijurnih ritmova. Treba izbjegavati rotacije na bazi jednoga do dvaju tjedana.

- Psihologiskim testovima papir – olovka potrebno je utvrditi je li sudionik u prometu „jutarnji tip“ ili „večernji tip“. Potrebno je pokušati primijeniti istu spoznaju tijekom organizacije smjenskoga rada najviše moguće, uz napomenu da se isto mijenja s navršenom dobi.
- Preporučuje se radnika premjestiti na dnevni rad na period od najmanje jedne godine nakon otkrivanja desinkronizacije circadijurnih ritmova.
- Treba omogućiti isključivo dnevni rad radnicima koji imaju želučanih te emocionalnih problema.
- Potrebno je osigurati topli obrok radniku neovisno o smjeni u kojoj radi.
- Potrebno je educirati smjenske radnike o važnosti primjene zdrave prehrane te fiksnoga vremena obroka u svrhu bolje tolerancije smjenskoga rada.
- Treba poticati radnike da obavijeste svoga liječnika o svojim radnim rasporedima.
- Potrebno je osigurati provedbu besplatnih zdravstvenih pregleda za radnike noćnih smjena.
- Treba promicati razvijanje zdravih životnih navika poput vježbanja i dijetalne ishrane.

12. VRIJEME REAKCIJE SUDIONIKA U PROMETU U KOGNITIVNIO-MOTORIČKIM ZADATCIMA

12.1. Čimbenici vremena reakcije sudionika u prometu

Pojava subjektivnoga osjećaja umora iz kognitivne percepcije vozača može biti jedna od glavnih posljedica radnoga opterećenja (mentalnoga, fizičkoga i/ili senzornoga) tijekom upravljanja prometnim sredstvom. Na Slici 12.1. prikazane su glavne posljedice umora.



Slika 12.1. Neke od važnih posljedica umora

Izvor: Ashton and Fowler. 2005. [46]

Vrijeme reakcije *PRT* na kognitivno-motoričke zadatke (engl. *perception-response time*) ukupno je vrijeme odziva vozača na podražaj iz prometnoga i/ili radnoga okoliša (najčešće na svjetlo ili na zvuk), a sastoji se od triju segmenata [47]:

- vremena percepције (engl. *perception time*) =
detekcija signala u radnom i/ili prometnom okolišu (engl. *detection time*) +
razlikovanje podražaja, tj. identifikacija svjetlosnoga i/ili zvučnoga signala iz okoliša
(engl. *identification time*)
- vremena potrebnoga za donošenje odluke (engl. *decision time*)
- vremena reakcije *RT-a* (engl. *reaction time*) nakon što je odluka donesena; to je vrijeme fizičke reakcije koje je potrebno za izvršavanje ili izvedbu neke funkcije (posluživanjem

nožne pedale ili posluživanjem komanda za ruke kao što su tipke, poluge, višenamjenski kontrolери i/ili prekidači.

Ukoliko se kočnica poslužuje nogom ili rukom, tada je *RT* vrijeme kočenja *BT* (engl. *brake time*).

Važno je napomenuti da su, prema Tablici 12.1., i vrijeme percepcije (koje se sastoји od vremena uočavanja signala iz okoliša i vremena razlikovanja podražaja) i vrijeme potrebno za donošenje odluke segmenti kognitivne faze (u dijelu stručne i znanstvene literature često se zbog doslovnoga prijevoda s engleskoga terminološki poistovjećuju vrijeme percepcije i cijela kognitivna faza *PRT*-a, što je pogrešno). Također, važno je napomenuti kako se u realnim kognitivno-motoričkim zadatcima u prometu kognitivna i motorička faza *PRT*-a često djelomično preklapaju.

Tablica 12.1. Struktura vremena reakcije na kognitivno-motoričke zadatke *PRT*

Vrijeme (jednostavne ili složene) reakcije na kognitivno-motoričke zadatke <i>PRT</i>		
	Kognitivna faza	Motorička faza
Vrijeme percepcije	Vrijeme uočavanja signala iz okoliša	Vrijeme reakcije <i>RT</i> (vrijeme potrebno za fizičko posluživanje komande nogom i/ili rukom jednom kada je oduka donesena)
	Vrijeme razlikovanja podražaja (identifikacije, tj. prepoznavanja signala iz okoliša)	
Vrijeme donošenja odluke (izbor mesta aplikacije odgovora produžuje ovaj segment vremena)		

Izvor: prilagođeno preuzeto iz više izvora [47, 48, 49]

Prema *Woodsonu, W. E.* i sur. [48] i *Drenovcu, M.* [49] vrijeme reakcije na kognitivno-motoričke zadatke *PRT*:

- dobiva se mjeranjem;
- reakcija je dominantnom stranom tijela brža;
- vrijeme reakcije može se smanjiti vježbom (za očekivati je da profesionalni vozači reagiraju brže od vozača amatera iste dobi i istoga spola, ali i da ispitanici koji se bave zanimanjima ili hobijima koji zahtijevaju utreniranu psihomotoriku reagiraju brže u odnosu na prosjek za svoj spol i za svoju dob);
- ovisi o spolu (odrasli muškarci reagiraju prosječno brže u odnosu na prosjek za odrasle žene iste dobi i za istu vrstu podražaja);

- ovisi o dobi (stariji ispitanici istoga spola imaju duže vrijeme reakcije, tj. sporiji su za istu vrstu podražaja);
- vrijeme reakcije otpuštanjem komande kraće je u odnosu na vrijeme reakcije za pritiskanje komande u istim okolnostima (za oba spola i za sve navršene dobne skupine, za zvučni i za svjetlosni podražaj);
- međusobno se razlikuju udjeli kognitivne i motoričke faze kod jednostavnoga vremena reakcije, vremena složene reakcije i vremena reakcije na kognitivno-motoričke zadatke u okolnostima podijeljene pozornosti.

Tablica 12.2. prikazuje vremena jednostavne reakcije *PRT* ovisno o navršenoj dobi, spolu i vrsti podražaja (svjetlosni ili zvučni).

Tablica 12.2. Vrijeme (jednostavne) reakcije *PRT* kao funkcija navršene dobi, spola i vrste podražaja (svjetlosni ili zvučni)

navršena dob	muškarci		žene	
	svjetlo [s]	zvuk [s]	svjetlo [s]	zvuk [s]
20	0,24	0,23	0,32	0,31
30	0,22	0,19	0,26	0,20
40	0,26	0,24	0,34	0,30
50	0,27	0,25	0,36	0,30
60	0,38	0,37	0,44	0,42

Izvor: Woodson, W. E. et al. 1992. [48]

Prema Woodsonu, W. E. i sur. [48] i prema Drenovcu, M. [49] za vrijeme složene reakcije na kognitivno-motoričke zadatke *PRT* u laboratoriju, koje je po strukturi vrlo slično vremenu reakcije *PRT* na kognitivno-motoričke zadatke u realnim prometnim situacijama, vrijedi:

- kraće je vrijeme složenih reakcije za očekivane signale
- kraće je vrijeme složenih reakcija za signale većega intenziteta, tj. kvaliteta signala pozitivno utječe na brzinu reakcije (visoki tonovi, sjajnije svjetlo, signali koji duže traju)
- u istim je okolnostima (za oba spola i za sve navršene dobne skupine) vrijeme složene reakcije na zvuk uvijek kraće u odnosu na vrijeme složene reakcije na svjetlo
- prema Tablici 12.3. vrijeme se složenih reakcija produžuje kako se povećava broj mogućih odgovora na podražaj (broj mesta aplikacije odgovora).

Tablica 12.3. prikazuje kako vrijeme složene reakcije *PRT* ovisi o broju mogućih odgovora.

Tablica 12.3. Vrijeme složene reakcije *PRT* kao funkcija broja mogućih odgovora

Broj mogućih odgovora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Srednje vrijeme reakcije [s]	0,2	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,6	0,65	0,65

Izvor: Woodson, W. E. et al. 1992. [48]

Važno je napomenuti da i kod vremena jednostavne reakcije (čak i u laboratoriju kada je, npr. stopalo već na nožnoj pedali, a samo je jedno zeleno svjetlo očekivano na točno određenom mjestu/lampici) kao i kod vremena složene reakcije uvijek postoji kognitivni dio *PRT*-a, iako je kognitivni dio kod vremena jednostavne reakcije znatno manji u ukupnom *PRT*-u u odnosu na vrijeme složene reakcije.

Prema *Dewaru* i *Olsonu* [47] šest je glavnih skupina čimbenika koji dominantno utječe na perceptivno vrijeme odziva vozača *PRT*. To su:

- navršena dob
- spol
- dnevni i noćni uvjeti vožnje (dnevno-noćni uvjeti u prometnom okolišu i cirkadijurni ritmovi kod vozača)
- kognitivno opterećenje
- kemijski prouzročen umor vozača (npr. alkohol ili droge)
- umor vozača (umorom se može u znatnom omjeru upravljati organizacijom smjenskoga rada)

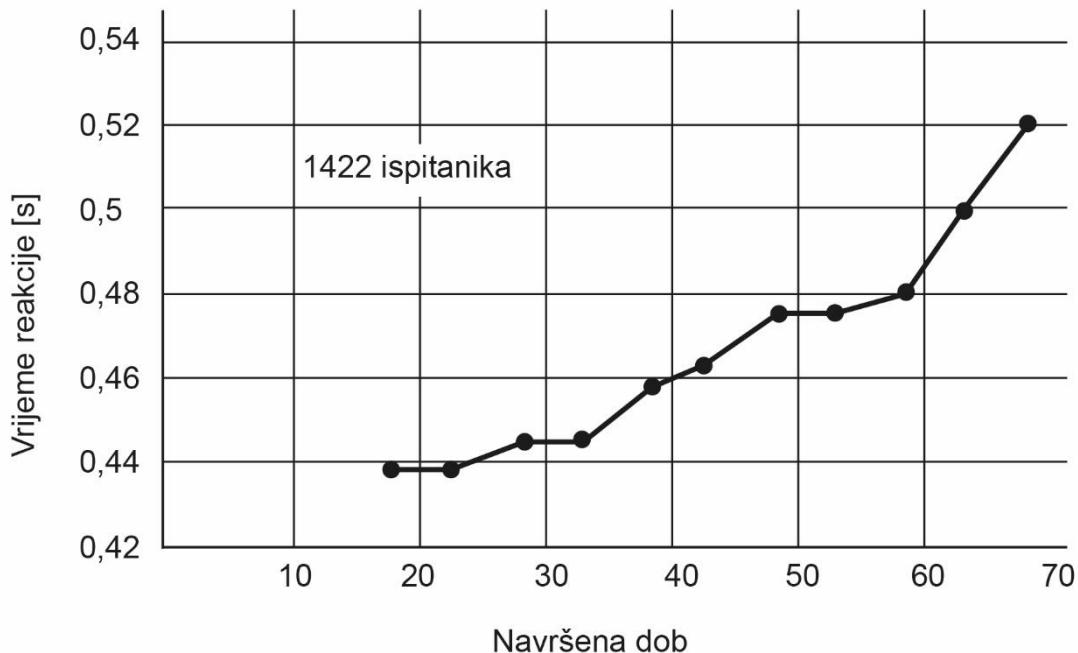
Green [50] je izdvojio pet skupina čimbenika koje smatra dominantno utjecajnim na vrijeme reakcije na kognitivno-motoričke zadatke *PRT*. To su:

- navršena dob
- spol
- kognitivno opterećenje (iz radnoga i/ili prometnoga okoliša)
- očekivanja ispitanika (vozača)
- hitnost situacije.

Objašnjenje rezultata za *PRT* [47] prikazano je na Slici 12.2.:

- istraživanje je provedeno na uzorku većem od 1 400 osoba različitih dobnih skupina;
- ispitanici su pritiskom posluživali nožnu pedalu kao odgovor na svjetlosni signal jedne te iste (očekivane) boje generiran uvijek na istome mjestu;
- rezultati su važeći za laboratorijske uvjete;
- pokus se može svrstati u kategoriju jednostavne reakcije na kognitivno-motoričke zadatke;

- postoji vrlo kratka kognitivna faza zbog pojave signala jedne te iste očekivane boje na očekivanom mjestu (nema razlikovanja podražaja, tj. boje i kvalitete svjetla te nema izbora reakcije, tj. mjesta aplikacije odgovora);
- ukupno je vrijeme reakcije na kognitivno-motoričke zadatke *PRT* na Slici 12.2. gotovo jednako vremenu reakcije *RT-u*.



Slika 12.2. *PRT* kao funkcija navršene dobi

Izvor: Dewar, R. E; Olson, P. L. 2007. SAE Publications 890731. [47]

Prema Drenovcu, M. [47] vrijeme jednostavne senzorimotorne reakcije *PRT* koristi se kao etalon za standardne kronometrijske manipulacije. Vrijeme različitih složenih reakcija *PRT* prema *Dondersovim* istraživanjima prikazano je u Tablici 12. 4. (za posluživanje dominantnom rukom i uz podražaj svjetlosnim signalom).

Tablica 12. 4. Vrijeme različitih složenih reakcija *PRT* prema *Dondersovim* istraživanjima

Tip reakcije	Struktura	Vrijeme [ms]
A	jednostavna reakcija	201
B	reakcija razlikovanja (podražaja) i izbora (mjesta aplikacije odgovora)	284
C	reakcija razlikovanja podražaja (boje ili kvalitete svjetla)	237

Izvor: Drenovac, M. 2009. [49]

12.2. Mjerenje izvedbe ispitanika sudionika u prometu

Izvedba čovjeka (engl. *performance*) može se bazično izmjeriti na više načina, između ostalog i na sljedeće načine:

- testovima papir – olovka
- testovima na reakciometrima
- testovima (simuliranim scenarijima) na simulatorima.

Kod mjerenja izvedbe u laboratorijskim uvjetima (na reakciometru) provode se:

- mjerenja točnosti (analiza broja i vrste krivih reakcija),
- mjerenja ukupnoga vremena reakcije *PRT* na kognitivno-motoričke zadatke (obično se mjeri više karakterističnih vremena na testovima različite složenosti koji su koncipirani kao skupine pojedinih zadataka).

Reakciometar CRD4 [7] stacioniran u Laboratoriju za primijenjenu ergonomiju u prometu ne omogućuje odvojeno mjerenje kognitivnoga i motoričkoga segmenta vremena reakcije, već se mjeri isključivo ukupno vrijeme reakcije *PRT* na kognitivno-motoričke zadatke različite složenosti. Mjerenja *PRT* vremena ne mogu se provoditi bez suradnje s psihologozima u segmentima koji su sljedeći:

- postavljanje istraživačkih nacrta
- uzorkovanje ispitanika (potrebna spolno-dobna zastupljenost ispitanika u uzorku iz neke konačne populacije ispitanika)
- metodologija provedbe mjerenja i/ili obrade rezultata.

Odabrana statistička metoda obrade rezultata mjerenja jako ovisi i o:

- potreboj spolno-dobnoj zastupljenosti ispitanika iz uzorka u pojedinačnom eksperimentalnom uvjetu (skupini)
- odabiru ulaznih varijabla i broju njihovih razina (ulazne varijable mogu biti nezavisne varijable NV ili prediktori).

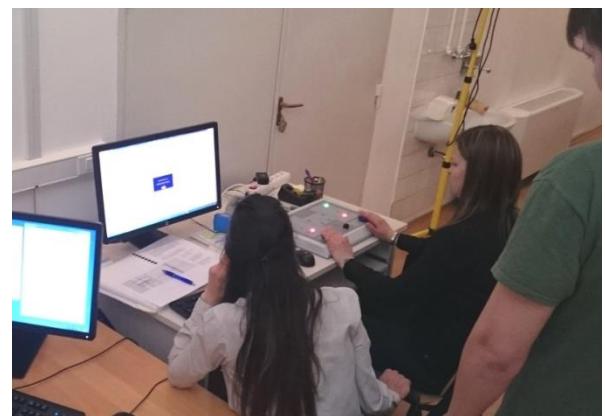
Reakciometar CRD4, prikazan na Slici 12.3., zajedno s ostalom znanstveno-istraživačkom opremom omogućuje implementaciju principa učenja na temelju vlastitih istraživanja, a koristi se za:

- potrebe praktične laboratorijske nastave studenata diplomske studije FPZ-a na kolegiju *Ergonomija u prometu*;

- potrebe uključivanja u znanstveno-istraživački rad studenata doktorskoga studija FPZ-a na kolegiju *Čimbenici izvedbe vozača*, ali i na istraživačkom seminaru *Mjerenje izvedbe vozača i povezanih relevantnih čimbenika*;
- istraživački rad s ispitanicima sudionicima u prometu u Laboratoriju za primijenjenu ergonomiju u prometu na istraživačkim nacrtima i/ili znanstvenim projektima
- znanstvene evaluacije na komercijalnim i razvojnim projektima.

Omogućuje mjerenje različitih kognitivnih funkcija i sadrži sljedeće testove za mjerenje:

- testove operativnoga mišljenja
- testove za mjerenje vremena klasičnih tipova psihomotornih reakcija koje su karakteristične za izvedbu vozača (svjetlo / zvuk / otpuštanje / pritiskanje); mogu biti:
 - testovi jednostavnoga vremena reakcije
 - testovi vremena disjunktivne reakcije
 - testovi vremena izborne reakcije.



Slika 12. 3. Reakciometar CRD4 za mjerenje kognitivnih funkcija

Izvor: Sumpor, D. 2013. [7]

LITERATURA:

- [1] Taboršak, D. 1994. *Studij rada*. Orgadata. Zagreb.
- [2] Schmidtke, H. 1993. *Lehrbuch der Ergonomie*. Carl Hanser Verlag. München.
- [3] Michon, J. A. 1985. *A critical review of driver behavior models: What do we now, what should we do?* In L. Evans and R. C. Schwing (Eds.). Human Behavior and Traffic Safety (pp. 485–520). New York: Plenum Press. ISBN: 0306422255.
- [4] Fuller, R. 2005. *Towards a general theory of driver behaviour, Accident Analysis and prevention* 37. Issue 3. Elsevier. pp. 461–472. ISSN: 0001-4575.
- [5] Näätänen, R.; Summala, H. 1976. *Road-user behavior and traffic accidents*. North-Holland Publishing Company / Elsevier. Amsterdam. New York.
- [6] Rumar, K. 1982. *The human factors in road safety*. XI ARRB Conference. Australian Road Research Board Proceedings. Vol.11. Part 1. Melbourne. pp. 65–78.
- [7] Sumpor, D. 2013. *Laboratory Equipment Catalogue of Laboratory for Applied Ergonomics in Traffic and Transport*. University of Zagreb. Faculty of Transport and Traffic Sciences. Zagreb. (available on <http://static.fpz.hr/FPZWeb/files/katalog-laboratorijske-opreme/Laboratorij-za-primjenjenu-ergonomiju-u-prometu.pdf>)
- [8] Jurum-Kipke, J.; Baksa, S.; Kavran, Z. 2007. *Anthropometric Relations of Human Body in the Function of Traffic Environment Analysis*. Proceedings of 3rd International Ergonomics Conference “Ergonomics 2007“. Mijović, Budimir et al. (ed.). Croatian Ergonomics Society. June 13th – 16th. Stubičke toplice. pp. 239–247. ISBN: 978-953-98741-4-6.
- [9] Kovač-Striko, E.; Fratrović, T.; Ivanković, B. 2008. *Vjerovatnost i statistika s primjerima iz tehnologije prometa*. Sveučilište u Zagrebu. Fakultet prometnih znanosti. Zagreb.
- [10] Kroemer, K. H. E.; Grandjean, E. 2000. *Prilagođavanje rada čovjeku*. Naklada Slap. Jastrebarsko. (Original: Kroemer, K.H.E.; Grandjean, E. 1997. *Fitting the Task to the Human*. A Textbook of Occupational Ergonomics. Fifth Edition. Taylor & Francis. London.)
- [11] Žebec, M. S. 2014. *Autorizirana predavanja iz Deskriptivne statistike*. Odjel za psihologiju Hrvatskih studija Sveučilišta u Zagrebu. Zagreb.
- [12] Howell, D. C. 1997. *Statistical methods for psychology*. Duxbury Press. Belmont. CA.
- [13] Petz, B. 1997. *Osnovne statističke metode za nematematičare*. Naklada Slap. Jastrebarsko.
- [14] Muftić, O.; Milčić, D. 2001. *Ergonomija u sigurnosti*. Visoka škola za sigurnost na radu. Iproz. Zagreb.

- [15] Ujević, D. et al. 2009. *Theoretical Aspects and Application of Croatian Anthropometric System*. Faculty of Textile Technology. University of Zagreb.
- [16] Panero, J.; Zelnik, M. 1979. *Human dimension & Interior space*. New York. Watson Guptill Publications. ISBN: 0-8230-7271-1.
- [17] U.S. Department of Health, Education and Welfare, National Center for Health Statistic. 1965. *Weight, Height, and Selected Body Dimensions of Adults*. Series 11. Number 8. Rockville. Maryland. USA, available on https://www.cdc.gov/nchs/data/series/sr_11/sr11_008.pdf (preuzeto 23. listopada 2016.)
- [18] Mikulčić, M.; Modrić, M.; Sumpor, D. 2015. *Application Possibility of Engine Drivers' Body Segments Ratios in Designing the Cab' Working Environment in Croatia*. Annals od DAAAM International for 2015. Volumne 26. No 1 & Collection of Working papers for 26th International DAAAM Symposium. Zadar. 21st – 24th October 2015. Published by DAAAM International. Katalinić, B. (ed.). Vienna. ISSN: 2304-1382.
- [19] Sumpor, D.; Mikulčić, M.; Modrić, M. 2016. *Female Students' Body Segments Ratios*. Book of Proceedings of the 6th International Ergonomics Conference „Ergonomics 2016 – Focus on synergy”. Sušić, Aleksandar et al. (ed.). Croatian Ergonomics Society. June 15 – June 18. Zadar. pp. 323–330. ISSN: 1848-9699.
- [20] Donskij, D.; Zacijskij, V. M. 1979. *Biomehanika*. Izdateljstvo Fizkultura i sport. Moskva.
- [21] Milčić, D.; Muftić, O.; Ljubišić, M. 1999. *Metoda utvrđivanja promjene trbušnog tlaka za čučanj i povratak u početni položaj*. Sigurnost – časopis za sigurnost u radnoj i životnoj okolini. Zavod za istraživanje i razvoj sigurnosti. Zagreb. 41. 1. pp. 1–12.
- [22] Recknagel i sur. 2004. *Grejanje i klimatizacija 05/06*. Šesto izdanje. (Original: Recknagel, Prenger, Schramek: Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, Oldenbourg Industrieverlag GmbH, München, 2004.). Interklima. Vrnjačka Banja.
- [23] Sumpor, D. 2012. *Metodologija ergonomiske prosudbe tehnološkoga procesa prijevoza željeznicom*. Doktorska disertacija. Sveučilište u Zagrebu. Fakultet prometnih znanosti. Zagreb.
- [24] Musabašić, N.; Toš, Z.; Sumpor, D. 2013. *Static Anthropometry Measures of Tram Drivers in Bosnia & Herzegovina Important for Tram Control Panel Design*. Fourth International Rail Human Factors Conference. Rail Human Factors "Supporting reliability, safety and cost reduction". Dadashi, N. et al. (ur.). CRC Press/Balkema. Taylor & Francis Group. Leiden. pp. 118–125.
- [25] Sumpor, D.; Musabašić, N. 2013. *Static Anthropological Measures of Male Tram Drivers in Zagreb Important for Tram Control Panel Design*. Proceedings of 5th

International Ergonomics Conference „Ergonomics 2013”. Mijović, B. et al. (ur.).

Croatian Ergonomics Society. Zadar. pp. 27–36.

- [26] Jurum-Kipke, J.; Sumpor, D.; Musabašić, N. 2011. *Čimbenici opterećenja djelatnika na poslovima ručne naplate cestarine*. Autorska znanstvena studija. Sveučilište u Zagrebu. Fakultet prometnih znanosti. Zagreb.
- [27] Sumpor, D.; Tokić, S.; Čižmešija, K.; Lovrić, N. 2018. *May the occurrence of traffic participants' workload be programmed by the engineers?* Proceedings of the Third International Conference Ergo 2018: Human Factors in Complex Technical Systems and Environments. Anokhin, A. et al. (ed.). Interregional Russian Ergonomics Association (IREA). Saint Petersburg. pp. 250–257. ISBN: 978-1-5386-5612-9.
- [28] Jurum-Kipke, J.; Baksa, S.; Sumpor, D. 2007. *Implementation of Ergonomic Judgement of the Passenger Workload in Virtual Aircraft Cabin Space*. Proceedings of International Scientific Conference „Science and Traffic Development – ZIRP 07”. Ivaković, Č. (ur.). University of Zagreb. Faculty of Transport and Traffic Sciences. 28 and 29 March 2007. Zagreb.
- [29] Mairiaux, Ph.; Davis, D. R.; Stubbs, D. A.; Baty, D. 1984. *Relation between intra-abdominal pressure and lumbar moments when lifting weights in erect posture*. Ergonomics. Taylor & Francis. Vol.27. Issue 8. pp. 883–894.
- [30] Sumpor, D.; Taboršak, D.; Jurum-Kipke, J. 2015. *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. pp. 1–10.
- [31] Sumpor, D. 2009. *Multipliciranje čimbenika ergoprosudbe sustava čovjek – okoliš u vodnom prometu*. Znanstveni magistarski rad. Sveučilište u Zagrebu. Fakultet prometnih znanosti. Zagreb.
- [32] Ivošević, J.; Sumpor, D.; Ugrina, I. 2014. *Permanent threshold shift analysis of diesel traction engine drivers*. Proceedings of the 7th Forum Acusticum 2014 Krakow. Borkowski. Bartłomiej (ed.). Polish Acoustical Society. Krakow. ISSN: 2221-3767.
- [33] Coles, R. R. A.; Lutman, M. E.; Buffin, J. T. 2000. *Guidelines on the diagnosis of noise-induced hearing loss for medicolegal purposes*. Clinical Otolaryngology. 25. Blackwell Science. pp. 264–273.
- [34] Ivošević, J. 2013. *Laboratory Equipment Catalogue of Laboratory for Aircraft Emissions*. University of Zagreb. Faculty of Transport and Traffic Sciences. Zagreb. dostupno na <http://static.fpz.hr/FPZWeb/files/katalog-laboratorijske-opreme/Laboratorij-za-zrakoplovne-emisije.pdf>

- [35] Ivošević, J.; Bucak, T.; Sumpor, D. 2016. *Assessment Methodology of Interior Aircraft Noise Influence on Pilot Performance and Temporary Threshold Shift*. PROMET – Traffic&Transportation. Scientific Journal on Transportation Research. Vol.28. No.5. pp. 487–496. ISSN: 0353-5320.
- [36] U.S. Department of health and human services. National Institute for Occupational Safety and Health: Criteria for Recommended Standard. Occupational Noise Exposure. Revised Criteria 1998. Cincinnati. Ohio. June 1998. dostupno na: https://www.cdc.gov/nchs/data/series/sr_11/sr11_008.pdf (preuzeto 17. siječnja 2016.)
- [37] United Stated Department of Labor. Occupational Safety and Health Administration: Standard no. 1910 Occupational Safety and Health Standards. Occupation Health and Environmental Control. 1910.95(b)(1) Occupational Noise Exposure. Table G-16 - Permissible Noise Exposures. dostupno na: https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=standards&p_id=9735 (preuzeto 10. rujna 2016.)
- [38] Taylor, D. H. 1964. *Drivers' galvanic skin response and the risk of accident*. Ergonomics. Taylor & Francis. Vol.7. Issue 4. pp. 439–451. ISSN: 0014-0139.
- [39] Landry, D. J. 2006. *Automation Addiction*. 59th annual IASS (FSF, IFA, IATA). „Enhancing Safety Worldwide”. Paris.
- [40] Garland, D. J.; Wise, J.; Hopkin, D. 1998. *Automation in Aviation: A Human Factors Perspective, Aviation Human Factors*. Poglavlje 7. Lawrence Erlbaum Associates Inc. Publishers. Hillsdale-New Jersey. pp. 173–192.
- [41] European Council Directive No 93/104/EC concerning Certain Aspects of the Organization of Working Time. The Official Journal of the European Union. L307. 1993. pp. 18–24. dostupno na http://eur-lex.europa.eu/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexapi!prod!CELEXnumdoc&lg=EN&n umdoc=31993L0104&model=guichett (preuzeto 6. siječnja 2014.)
- [42] Republika Hrvatska, Ministarstvo rada i mirovinskoga sustava. *Zakon o radu*. NN 93/2014. 127/2017. Zagreb.
- [43] Sindikat strojovođa Hrvatske i Uprava HŽ Vuče vlakova d.o.o. 1. rujna 2011. *Kolektivni ugovor*. Zagreb.
- [44] Pejnović, M. 1972. *Pregled nekih podataka iz literature o radu u smjenama*. Zbornik simpozija „Psihologički aspekti rada u smjenama”. Društvo psihologa SRH & Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada JAZU. Zagreb. pp. 75–94.

- [45] *Health and Safety Executive: Managing shift work, Health and safety guidance.* Richmond. 2006. ISBN: 9780717661978. dostupno na:
<http://www.hse.gov/pUbs/priced/hsg256.pdf>, (preuzeto 10. srpnja 2018.)
- [46] Ashton, R.; Fowler, A. 2005. *Human Friendly Rosters: Reducing the Risk of Fatigue*. In J. Wilson at all (Ed.). Rail Human Factors: Supporting the Integrated Railway. Chapter 19. Ashgate Publishing Limited. pp. 203–214.
- [47] Dewar, R. E; Olson, P. L. 2007. *Human Factors in Traffic Safety*. Lawyers & Judges Publishing Company Co. Tuscon.
- [48] Woodson, W. E.; Tillman, B.; Tillman, P. 1992. *Human Factors Design Handbook*. Second Edition. McGraw-Hill. Inc.
- [49] Drenovac, M. 2009. *Kronometrija dinamike mentalnog procesiranja*. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera. Filozofski fakultet. Osijek.
- [50] Green, M. 2000. „*How long Does it Take to Stop? – Methodological Analysis of Driver Perception-Brake Times*“. Transportation Human Factors. 2. pp. 195–216.

POPIS SLIKA

	Str.
Slika 1.1. Čovjek, radno djelovanje, radni okoliš	1
Slika 1.2. Lijeva ruka strojovođe na ergonomski oblikovanoj ručici kontrolera s rezervnom opcijom tastera za posluživanje budnika palcem lijeve ruke	10
Slika 1.3. Pozicioniranje ručice kontrolera s tasterom za budnik i manje ručice za promjenu smjera kretanja u normalnom dosegu lijeve ruke ravno naprijed ispred lijevoga ramena vozača	10
Slika 2.1. Devijacije statističke raspodjele antropoloških podataka	12
Slika 2.2. Normalna simetrična razdioba za nestandardnu funkciju gustoće vjerojatnosti	12
Slika 2.3. Digitalna vaga s mehaničkim visinomjerom Tanita WB 3000	18
Slika 3.1. Harmonijska kružnica Zederbauera i Muftića s pridruženim kanonom osam visina glava kao mjerom za stojeću visinu čovjeka	24
Slika 3.2. Varijacije ljudskoga tijela u različitim kanonima visine glave	26
Slika 3.3. Analiza ljudskoga tijela na temelju zlatnoga reza	27
Slika 3.4. Ljudsko tijelo i zlatni rez	27
Slika 4.1. Karakteristične antropomjere u Kroemerovom prikazu u sagitalnoj ravnini	31
Slika 4.2. Relativne promjene u tjelesnim dimenzijama ovisno o navršenoj dobi i spolu, za žene i muškarce od 18 do 79 godina	33
Slika 6.1. Općenite posljedice odstupanja od ugodne radne temperature	42
Slika 8.1. Dvodimenzionalni štapni model ispitanika u sagitalnoj ravnini	51
Slika 8.2. Regresijska funkcija $M_{ly}=M_{ly}(ITM)$ na temelju stvarno izmјerenih antropomjera iz slučajnoga i dovoljnoga uzorka $n = 51$	52
Slika 8.3. Štapni biomehanički 2D model strojovođe u sagitalnoj ravnini, u hipotetskom ravnotežnom statičkom radnom položaju, samo s rukama horizontalno ispruženima u zoni maksimalnoga dosegta	53
Slika 9.1. Tipični audiogrami za sluh zdravoga ispitanika, za gubitak sluha prouzrokovani navršenim godinama te za gubitak sluha prouzrokovani bukom	55
Slika 9.2. Srednji audiogram za tri skupine strojovođa na dizel vuči za desno uho	55
Slika 9.3. Srednji audiogram za tri skupine strojovođa na dizel vuči za lijevo uho	56
Slika 9.4. Audiometar Bell Plus HDA280	57
Slika 9.5. Mjerna lista za snimanje audiograma s pomoću audiometra Bell Plus HDA280	57
Slika 9.6. Osobni dozimetar buke PCE – 355	58

Slika 10.1.	Udio „ljudskoga faktora” kod vozača cestovnih vozila na temelju ekspertiza prometnih nesreća	63
Slika 10.2.	Prošireni TCI model sučelja <i>zahtjev zadaće – sposobnost vozača</i>	67
Slika 12.1.	Neke od važnih posljedica umora	75
Slika 12.2.	<i>PRT</i> kao funkcija navršene dobi	79
Slika 12.3.	Reakciometar CRD4 za mjerjenje kognitivnih funkcija	81

POPIS TABLICA

	Str.
Tablica 1.1. Zadaće koncepcijske ergonomije u područjima humaniteta i ekonomičnosti	6
Tablica 1.2. Područja djelovanja hardverske ergonomije	8
Tablica 2.1. Vjerojatnost p (%) pojavljivanja rezultata u dotičnom intervalu ovisno o intervalu normalne slučajne varijable X	13
Tablica 2.2. Visine h za $n = 34$ studentice diplomske studije FPZ-a rangirane uz frekvenciju učestalosti f pojedine vrijednosti	19
Tablica 2.3. Tablični prikaz opaženih frekvencija f_o i teorijskih frekvencija f_t po razredima	21
Tablica 2.4. Tablični izračun Hi-kvadrat statistika χ^2	21
Tablica 2.5. Granične vrijednosti Hi-kvadrat statistika χ^2_{gr} ovisno o df i p	22
Tablica 3.1. Harmonijske veličine kao harmonijski brojevi	25
Tablica 3.2. Antropometrijske veličine čovjeka kao funkcija stojeće visine h	25
Tablica 4.1. Tjelesna visina i masa muških strojovođa iz Republike Hrvatske ovisno o navršenoj dobi	34
Tablica 4.2. Tjelesni omjeri i antropomjere strojovođa za cijeli uzorak	36
Tablica 4.3. Tjelesni omjeri strojovođa ovisno o navršenoj dobi	37
Tablica 5.1. Regresijski faktori za muškarce i žene prema Donskom i Zacijskom	38
Tablica 5.2. Središta masa u postotku funkcije duljine tjelesnoga segmenta	38
Tablica 6.1. Četiri osnovna klimatska čimbenika subjektivnoga osjećaja termalne ugode koji dominantno definiraju izmjenu topline između sudionika u prometu i okoliša	39
Tablica 6.2. Preporučljive ambijentalne temperature zraka u okolišu t_a s obzirom na vrstu radnoga procesa i položaj tijela tijekom rada	39
Tablica 6.3. Preporučljivi rasponi ambijentalnih t_a i operativnih temperatura t_o s obzirom na godišnje doba	40
Tablica 6.4. Raspon relativne vlažnosti zraka RH u prostoriji koji vrlo malo utječe na pojavu subjektivnoga osjećaja termalne neugode	40
Tablica 6.5. Granične vrijednosti relativne vlažnosti zraka RH u prostoriji s obzirom na godišnja doba	41
Tablica 6.6. Granične vrijednosti brzine strujanja zraka v	41
Tablica 6.7. Najopasnije posljedice odstupanja od ugodne radne temperature s posljedicama na sigurnost i pouzdanost sudionika u prometu	41
Tablica 6.8. Čimbenici pogoršanja kvalitete zraka	42
Tablica 6.9. Preporučljiv volumski protok svježega zraka po osobi V_z ovisno o raspoloživom volumenu po osobi u prostoriji V_o	43
Tablica 7.1. Primjeri i preporuke za osvijetljenost radnih površina	44
Tablica 7.2. Multiplikatori kontrasta luminanca za starije osobe	45

Tablica 8.1.	Osnovne vrste krivih reakcija (i odgovora) s obzirom na namjeru i/ili ishod karakteristične za promet	47
Tablica 8.2.	Smjernice za ispitanike na temelju iznosa <i>ITM</i> –a prema WHO-u	48
Tablica 8.3.	Vrijednosti dviju najvažnijih antropomjera za sudionike u prometu u RH i u BiH	49
Tablica 8.4.	Broj i postotni udio muških strojovođa iz RH prema vrijednostima indeksa tjelesne mase ovisno o navršenoj dobi	50
Tablica 8.5.	Broj i postotni udio muških kontrolora zračnoga prometa HKZP-a Podružnice Zagreb prema vrijednostima indeksa tjelesne mase ovisno o navršenoj dobi	50
Tablica 9.1.	Kombinacija razine izloženosti <i>L</i> i preporuče dnevne izloženosti <i>T</i> u skladu sa smjernicama NIOSH-a	60
Tablica 9.2.	Usporedba dozvoljenih razina zvučnoga tlaka <i>SPL-a</i> i preporučenih dnevnih trajanja izloženosti prema OSHA-i	61
Tablica 12.1.	Struktura vremena reakcije na kognitivno-motoričke zadatke PRT	76
Tablica 12.2.	Vrijeme (jednostavne) reakcije <i>PRT</i> kao funkcija navršene dobi, spola i vrste podražaja (svjetlosni ili zvučni)	77
Tablica 12.3.	Vrijeme složene reakcije <i>PRT</i> kao funkcija broja mogućih odgovora	78
Tablica 12.4.	Vrijeme različitih složenih reakcija <i>PRT</i> prema Dondersovim istraživanjima	79

POPIS KRATICA

<i>BiH</i>	Bosna i Hercegovina	Bosnia and Herzegovina
<i>BMI</i>	Indeks tjelesne mase	Body Mass Index
<i>BT</i>	Vrijeme kočenja	Brake time
<i>C</i>	Medijan (centralni iznos varijable)	Median
<i>C</i>	Sposobnost	Capability or Ability
<i>D</i>	Mod (dominantna vrijednost varijable)	Mode
<i>D</i>	Zahtjev zadaće	Task demands
<i>Ds</i>	Dnevna smjena	Day shift
<i>DMV</i>	Dizel motorni vlak (garnitura)	Diesel Motor Composition
<i>Ev</i>	Čimbenici okoliša	Environmental factors
<i>EC</i>	Europska komisija	European Commission
<i>EEZ</i>	Europska ekonomска zajednica	European Economic Community
<i>EU</i>	Europska unija	European Union
<i>F_v</i>	Fenotip	Phenotype
<i>FPZ</i>	Fakultet prometnih znanosti	Faculty of Transport and Traffic Sciences
<i>G_v</i>	Genotip	Genotype
<i>H₀</i>	Temeljna hipoteza	Basic hypothesis
<i>HKZP</i>	Hrvatska kontrola zračne plovidbe	Croatia Control
<i>HSE</i>	Odbor za zdravlje i sigurnost	Health and Safety Executice
<i>HŽ</i>	Hrvatske željeznice	Croatian Railways
<i>ITM</i>	Indeks tjelesne mase	Body mass index
Lab za PEuP	Laboratorij za primjenjenu ergonomiju u prometu	Laboratory for Applied Ergonomics in Traffic and Transport
<i>M</i>	Aritmetička srednja vrijednost varijable	Arithmetic mean value of variable
<i>Ns</i>	Noćna smjena	Night shift
<i>NIHL</i>	Gubitak sluha prouzrokovani bukom	Noise-induced hearing loss

NIOSH	Nacionalni institut medicine rada i zaštite na radu	National Institute for Occupational Safety and Health
NV	Nezavisna varijabla	Independent variable
OSHA	Agencija za zdravlje i sigurnost na radu	Occupational Safety and Health Administration
PRT	Vrijeme reakcije na kognitivno-motoričke zadatke	Perception response time
PTS	Trajni pomak praga čujnosti	Permanent threshold shift
RH	Republika Hrvatska	Republic of Croatia
RT	Vrijeme reakcije (motorička faza)	Reaction time
SPSS	Statistički program za društvene znanosti	Statistical package for the social sciences
TCI model	Model sučelja <i>zadaća – sposobnost vozača</i>	The task-capability interface model
TPR	Trenutačna psihofizička spremnost	Temporary psychophysical readiness
USA	Sjedinjene Američke Države	United States of America
V_s	Večernja smjena	Evening shift
WHO	Svjetska zdravstvena organizacija	World Health Organization
WHR	Omjer opsega struka i bokova	Waist-to-hip ratio
ZET	Zagrebački električni tramvaj	Zagreb Electric Tram

POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA

<i>Oznaka</i>	<i>Mjerna jedinica</i>	<i>Opis ili definicija</i>
a		Osnovna harmonijska veličina iz harmonijske kružnice Zederbauera i Muftića; $a = 1$
A		Površina između Gaussove krivulje i x-osi kao rješenje jednostrukoga integrala; $A_{\max} = 1$
b		Osnovna harmonijska veličina iz harmonijske kružnice Zederbauera i Muftića; $b = 0,707$
(b+r) _h		Izvedena harmonijska veličina iz harmonijske kružnice Zederbauera i Muftića; $(b+r)_h = 0,914$
B ₀ , B ₁ , B ₂		Regresijski faktori prema Donskom i Zacijskom
BT	ms	Vrijeme kočenja kao motorička faza (vrijeme potrebno za fizičko posluživanje kočnice)
5 c	cm	Vrijednost varijable h_i za peti percentil za n ispitanika iz slučajnoga uzorka
95 c	cm	Vrijednost varijable h_i za devedeset i peti percentil za n ispitanika iz slučajnoga uzorka
c	%	Percentil, vrijednosti izražene u postotcima u nekoj distribuciji
C	cm	Medijan, centralna vrijednost varijable (antropomjere) na 50 % ispitanika
C _l		Relativni kontrast luminance
d _h		Izvedena harmonijska veličina iz harmonijske kružnice Zederbauera i Muftića; $d_h = 0,618$
df		Broj stupnjeva slobode
dg	cm	Donja granica pojedinoga razreda (za antropomjere)
D	cm	Mod, najčešća, tj. dominantna vrijednost varijable (antropomjere)
D	%	Doza buke kao postotak preporučene dnevne doze ekvivalentne razine buke u normaliziranom vremenskom periodu izloženosti prema nekom kriteriju
E	lx	Osvijetljenost radnih površina ili iluminacija
f	Hz	Frekvencija zvučnoga vala
f		Frekvencija, učestalost pojedine vrijednosti mjerena
f _o		Pripadajuća opažena (eksperimentalna) frekvencija pojedinoga razreda (stvarni broj ispitanika u pojedinom razredu r)
f _c		Kumulativna frekvencija, izračunava se kao zbroj frekvencije određenoga razreda i svih frekvencija svih prethodnih razreda
f _r		Relativna frekvencija pojedinoga razreda
f _{cr}		Kumulativna relativna frekvencija, izračunava se kao zbroj relativne frekvencije određenoga razreda i svih relativnih frekvencija svih prethodnih razreda
f _t		Teorijska frekvencija pojedinoga razreda
F _i	N	Vanjska sila koja djeluje na trup čovjeka
F _{gzi}	N	Izračunana težina pojedinoga segmenta tijela
gg	cm	Gornja granica pojedinoga razreda (za antropomjere)
GR	cm	„Grupirajući raspon”, raspon varijable (antropomjere) iz cijelog slučajnoga uzorka (za n ispitanika)
i	cm	Raspon varijable razreda (za antropomjere)
ITM	kg / m ²	Indeks tjelesne mase
h	cm	Izmjerena visina u stojećem ravnotežnom položaju

h_1	cm	Izračunana duljina stopala kao funkcija tjelesne visine
h_2	cm	Izračunana duljina potkoljenice kao funkcija tjelesne visine
h_3	cm	Izračunana duljina natkoljenice kao funkcija tjelesne visine
h_4	cm	Izračunana duljina šake kao funkcija tjelesne visine
h_5	cm	Izračunana duljina podlaktice kao funkcija tjelesne visine
h_6	cm	Izračunana duljina nadlaktice kao funkcija tjelesne visine
h_{11}	cm	Izračunana visina stopala kao funkcija tjelesne visine; raspon horizontalno ispruženih ruku
h_B	cm	Izmjerena udaljenost između pupka i poda
h_g	cm	Izmjerena visina glave čovjeka
h_{hdr}	cm	Horizontalni dohvati ispružene ruke
h_i	cm	Duljina pojedinoga tjelesnoga segmenta čovjeka
h_k	cm	Izračunana duljina pokretnoga dijela kralježnice kao funkcija tjelesne visine
h_n	cm	Duljina noge (izmjerena ili izračunana kao funkcija tjelesne visine)
h_{ndr}	cm	Normalni doseg ruke
h_{max}	cm	Maksimalna izmjerena vrijednost varijable (antropomjere)
h_{min}	cm	Minimalna izmjerena vrijednost varijable (antropomjere)
h_{mdr}	cm	Maksimalni doseg ruke
h_r	cm	Duljina ruke (izmjerena ili izračunana kao funkcija tjelesne visine)
$h_{\check{s}}$	cm	Izmjerena duljina šake
$h_{\check{s}r}$	cm	Izmjerena širina ramena
$h_{\check{s}b}$	cm	Izmjerena širina kukova
h_{vd}	cm	Vertikalni doseg ruke u sjedećem položaju
H_r	cm	Harmonijska srednja vrijednost tjelesnih omjera h_i / h
i	cm	Raspon varijable razreda
ITM	kg / m^2	Indeks tjelesne mase
L	dB(A)	Trenutačna razina buke, preporučena dnevna razina izloženosti
L_c	dB(A)	Kritična razina buke po nekom kriteriju (OSHA ili NIOSH)
L_{ekv}	dB(A)	Ekvivalentna razina buke u nekom vremenskom periodu izloženosti
L_o	cd / m^2	Sjajnost (luminanca) objekta gledanja
L_p	cd / m^2	Sjajnost (luminanca) podloge
L_s	cd / m^2	Sjajnost radnih površina ili luminacija (luminanca)
m	kg	Izmjerena masa čovjeka
m_i	kg	Izračunana segmentalna masa pojedinoga dijela tijela
m_r	cm	Sredina razreda (kategorije)
M	cm	Srednji iznos varijable (pojedine antropomjere h_i) za n ispitanika iz cijelog slučajnog uzorka, aritmetička sredina
M_{ly}	Nm	Lumbalni moment reducirani u L4/L5
M_r	cm	Srednji iznos tjelesnoga omjera h_i / h za n ispitanika iz cijelog slučajnog uzorka, aritmetička sredina
n		Broj ispitanika iz slučajnoga uzorka
N		Broj ispitanika iz cijele populacije
N_i		Broj intervala izloženosti čujnoj buci
p	%	Vjerojatnost pojavljivanja slučajne varijable u nekom intervalu
p	μPa	Zvučni tlak
p_o	μPa	Referentni zvučni tlak; $p_o = 20 \mu\text{Pa}$
P_{dgr}	cm	Prava donja granica realnih razreda (za antropomjere)
P_{ggr}	cm	Prava gornja granica realnih razreda (za antropomjere)
PRT	ms	Vrijeme reakcije na kognitivno-motoričke zadatke
r		Broj razreda (broj kategorija k)

r_h		Izvedena harmonijska veličina iz harmonijske kružnice Zederbauera i Muftića; $r_h = 0,207$
R		Osnovna harmonijska veličina iz harmonijske kružnice Zederbauera i Muftića; $R = 1,118$
R		Koeficijent korelacijske jednosmjerne regresije
R_s	%	Refleksija ili postotak reflektiranoga svjetla u odnosu na svjetlo koje pada na površinu
RH	%	Relativna vlažnost zraka u radnom okolišu
RT	ms	Vrijeme reakcije kao motorička faza (vrijeme potrebno za fizičko posluživanje komande)
s_M	cm	Procjena odstupanja srednjega iznosa M neke varijable kod slučajnoga uzorka n ispitanika u odnosu na očekivanu srednju vrijednost te iste varijable μ kod osnovnoga skupa cijelokupne populacije od N ispitanika
SD	cm	Standardna devijacija varijable (stoeće visine) za n ispitanika iz slučajnoga uzorka
SD_r	cm	Standardna devijacija varijable (stoeće visine) za n ispitanika iz slučajnoga uzorka izračunana za grupirane rezultate u r razreda
SPL	dB(A)	Razina zvučnoga pritiska ili trenutačna razina buke
t_a	°C	Ambijentalna temperatura zraka u radnom okolišu
t_o	°C	Operativna (efektivna, sobna) stvarno percepisana temperatura u radnom okolišu
t_s	°C	Srednja vrijednost temperature okolinskih objekata i površina u radnom okolišu
T	h	Preporučena dnevna izloženost buci prema nekom kriteriju
T_i	h	Trajanje i-toga vremenskoga perioda izloženosti
T_n	h	Normalizirani vremenski period izloženosti (obično 8 h)
v	m / s	Brzina strujanja zraka
V_o	m^3	Raspoloživi volumen radnoga okoliša po osobi
V_z	$m^3 / h / \text{osobi}$	Preporučljivi volumski protok svježega zraka po osobi
x		Vrijednost varijable ili brojčani iznos kojim se opisuje izraženost promatranoga obilježja (npr. iznos antropomjere)
\bar{x}		Aritmetička sredina vrijednosti varijable
X		Varijabla, niz različitih vrijednosti mjerena
Z		Standardizirana varijabla
$Z (P_{dgr})$		Standardizirana varijabla za donju pravu granicu realnih razreda r
Δh	cm	Raspon izmjerene vrijednosti pojedine antropomjere
$\Delta h_{90\%}$	cm	Raspon visina h za centralnih 90 % u ispitanika iz slučajnoga uzorka
Δp		Vjerojatnost pojavljivanja u pojedinoj kategoriji, tj. razredu r
Δt_a	°C	Preporučeni raspon ambijentalne temperature
Δt_o	°C	Preporučeni raspon operativne temperature
μ	cm	Prosječna (aritmetička) srednja vrijednost slučajne varijable (antropomjere) za N ispitanika iz cijele populacije
σ	cm	Standardna devijacija slučajne varijable (antropomjere) za N ispitanika iz cijele istraživane populacije
χ^2		Izračunani Hi-kvadrat test, primjenjuje se za $r \geq 2$
χ^2_{gr}		Granični iznos Hi-kvadrat testa za neku vjerojatnost p; $\chi^2_{\text{gr}} = f(df, p)$