

Dr. DAMIR BOŽIČEVIĆ
Fakultet za pomorstvo i saobraćaj
Rijeka

Tehnologija prometa
Izvorni znanstveni rad
UDK: 656.076.572
Primljeno: 23.11.1989.
Prihvaćeno: 12.12.1989.

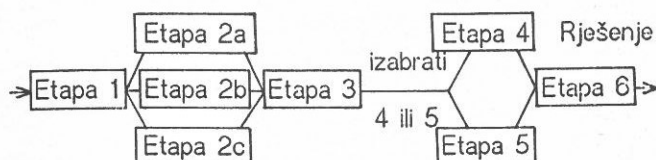
STATIČKE DIMENZIJE VOZAČA CESTOVNIH VOZILA KAO OSNOVA ZA OBLIKOVANJE DINAMIČKIH ANTROPOMJERA

SAŽETAK

Proučavanje kabine vozila sa stajališta ergonomijskih zahtjeva i kriterija još uvijek je nedovoljno riješen problem. Kabine vozila svojim nam oblikom nude mnoštvo različitih proračuna u smislu njihova antropometričkog i biomehaničkog sadržaja. U postojećoj se literaturi često pod pojmom antropomjera razumijevaju tzv. statičke antropomjere. Središnji je zadatak u ovom radu određivanje metode konstruiranja kabine vozila temeljenoj na dinamičkoj antropometriji kao novoj disciplini biološke antropometrije.

UVOD

Konstruiranje kao pojava preslikavanja misaonog procesa u izradu dokumentacije, a potom i u izradu zamišljenog predmeta ili uređaja, sadrži brojne vještine izvođenja ili strategije rada, temeljem kojih tražimo ona rješenja kojima ćemo postići najuspješniji oblik željene konstrukcije. Utvrđivanje je tih putova prema brojnim teoretičarima konstruiranja, kao što su Gregory (1966), Jones (1972), Hubka (1973), Nof (1984), Grandjean (1984), a u nas Taboršak i Muftić (1989), sadržani u mnoštvu različitih metoda, kojih se broj danas penje na više od pedeset, pa se logično postavlja pitanje - koju od tih metoda odabrati. Prateći različitosti u mogućnostima izbora strategija u konstrukterskom pristupu, lako se možemo odlučiti za tzv. razgranani tip strategije i to stoga što se u izboru etapa procesa rada pojavljuju i paralelne i konkurentne etape s mogućnošću povratnih veza, kako je prikazano na slici 1.



Slika 1. Shematizirani oblik razgrananog tipa strategije

Za određivanje kraja konstruiranja na raspolaganju su nam tri različita oblika:

- divergencija,
- transformacija i
- konvergencija.

Pristupajući problemu rješavanja kabin-

skog prostora vozila u funkciji ergonomske gledanja problema, izravno nam se nameće sistemsko gledanje problema, što drugim riječima znači da se opredjeljujemo za gotovu strategiju konvergencijskog tipa konstruiranja. Analizom ciljeva metode konstruiranja sustava čovjek - stroj - okoliš, odmah se uočava da ta metoda najefikasnije odgovara izabranoj strategiji. Naime, iz te metode odabiremo podsustav čovjek kao cilj istraživanja u smislu utvrđivanja mogućnosti primjene statičkih antropomjera, kao polazišta pri transformaciji statičkih zadataka u dinamičke zadatke. Drugim riječima, cilj je ovih istraživanja u valorizaciji statičkih vrijednosti antropomjera za izračunavanje potrebnih dinamičkih antropomjera kao što su na primjer mase, njihova raspodjela i modeliranje dinamičkih momenata inercije.

Daljnje je pitanje - na koji se način mogu primijeniti spomenute dinamičke antropomjere u sasvim praktičnom smislu. Odgovor su na to pitanje djelomice dali Božičević (1985) i Muftić s Labarom (1988) proučavanjem gibanja ljudske ruke, prvi na modelu prostornog mehanizma a druga dvojica u dinamičkom modeliranju ruke za izračunavanje tzv. vanjskih dinamičkih momenata inercije ispružene ruke. Daljnji je korak svakako utvrđivanje točnosti spomenutih postupaka u području mogućih statističkih varijacija antropomjera s jedne strane, i varijacija dinamičkih antropomjera u zavisnosti od vanjskih i unutarnjih dinamičkih momenata inercije.

METODE I MATERIJALI

Izbor ispitanika

Za provođenje istraživanja obavljana su antropomjerenja na 38 zdravih muških odraslih ispitanika, a kao usporedbena skupina bila je korištena skupina muških subjekata na kojima je mjerenja obavljao Rudan (1979). Treba napomenuti da su naši ispitanici u pogledu dobne distribucije bili između 19 i 31 godine života, dok za Rudanove ispitanike nemamo takve podatke. Svi su subjekti u razdoblju provedenih mjerenja bili odlična zdravlja i nijedan od njih nije imao nikakvih poteškoća u gibanju.

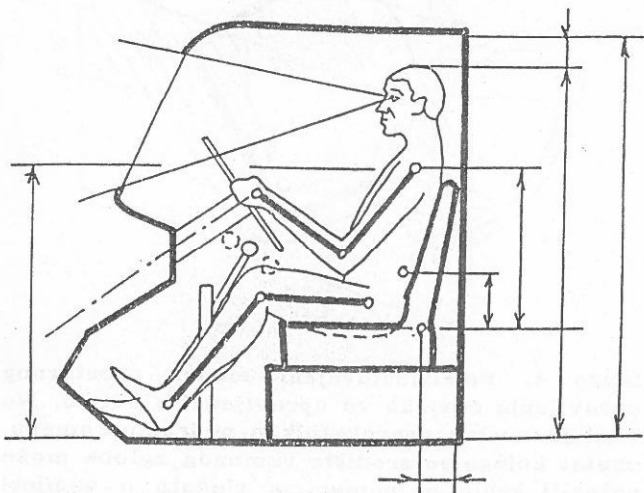
Metode mjerenja

Za mjerenje dinamičkih efekata koji se istražuju u ovom radu sačinjena je sljedeća strategija kombinacija poznatih rezultata s do-

sada nepoznatim rezultatima. Na taj su način prije svega Rudanovi (1979) podaci prilagođeni našim potrebama primjenom metode regresijske raspodjele masa prema Donskom i Zacijorskom (1979), čime su izračunane segmentalne mase u ljudi naše populacije.

Polom su provedena antropološka mjerenja naših ispitanika s tim da su mjerene slojčće visine tijela, ukupne mase, duljine ruku i širine u području ramenog zgloba i naposljetku je provedena dimenzijska analiza ključnih ko- stiju.

S takvim je podacima bilo moguće formirati pojednostavnjeni biomehanički model prostornog mehanizma ruku i ramenog obruča. Za tako definiran oblik modela utvrđene su i forme modela segmenata s pomoću kojih se mogu računati dinamički momenti inercije.



Slika 2. Presjek kroz jednu tipičnu kabinu vozila s uortanim likom subjekta. Na slici su naznačene tipične dimenzije u koje se osim statičkih antropomjera trebaju ugraditi i dinamičke antropomjere

Metoda biomehaničke analize radnih položaja

Izbor kabine vozila koja se analizira prikazan je na slici 2. gdje su dane osnovne mjere prostora u odnosu na vozača koji odgovara subjektu srednjih vrijednosti ispitanika.

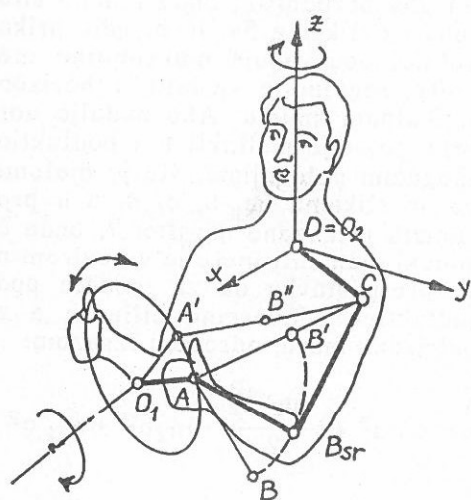
Započinjemo s činjenicom da su dosezi ruku i nogu zavisni, osim od statičkih, još i od kinematičkih i dinamičkih antropomjera. To pretpostavlja da se na statičke antropomjere uvedu linearni dodaci koji bi odgovarali tzv. kinetičkim uvjetima analize radnog položaja. U postojećoj literaturi nismo našli takve podatke, pa smo zaključili o potrebi njihova utvrđivanja. Kao prvi korak odredili smo prosječne vrijednosti varijacija statičkih antropomjera na taj način što smo razlike linearnih najvećih i najmanjih mjera podijelili s vrijednostima odgovarajućih vrijednosti tih mjera za skupinu od 50% percentila. Tom smo prigodom utvrdili da se za Rudanove vrijednosti antropomjera u muških osoba ti odnosi kreću od 12,7 do 21,4%. Drugim riječima, to znači da se relativne vrijednosti varijacija statičkih antropomjera kreću u vrlo širokom rasponu.

Ako pogledamo, s druge strane, da bi se analizom mogućih dosega mogao odrediti volumen radnog prostora i to na temelju triju razina:

- a) maksimalnog dosega ekstremiteta,
- b) normalnog ili funkcionalnog dohvata i
- c) optimalnog dosega ekstremiteta,

onda u odnosu na definirani koordinatni sustav xyz utvrđujemo i položaje nekolicine mogućih biomehaničkih modela odnosa vozača prema okolišu u kojemu se nalazi, tj. prema prostoru kabine vozila.

Na slici 3. prikazani su modeli prostornog mehanizma veza između upravljačkoga kola vozila i ruke vozača u koju se uključuje i pojednostavnjena veza s ramenim obručem. Osim toga prikazan je i isti mehanizam pojednostavnjen



Slika 3. Modeli prostornog mehanizma ruke vozača s odgovarajućim prikazom mogućeg gibanja za vrijeme upravljanja vozilom

tako što je sveden u ravninu yz. Iz prikazanih je oznaka moguće opisati gibanje ruke u procesu okretanja upravljača na sljedeći način:

Mehanizam ima čvrstu točku O_1 u središtu rotacije upravljačkoga kola vozila, zatim uvjetno čvrstu točku O_2 u sternalnom zglobu ključne kosti. Kako se vidi, nadalje se mehanizam sastoji od ručice O_1A , članova AB i BC , te njihalice CO_2 . Iz toga proistječe da se radi o zglobnom peterokutu, koji uz određene pretpostavke posjeduje dva stupnja slobode gibanja. Međutim, ako se sferni zglob O_2 shvati kao sferni zglob, što on u stvarnosti i jeste, a ostali zglobovi kao rotoidi, što opet u stvarnosti nisu, onda pretpostavljeni mehanizam posjeduje šest stupnjeva slobode gibanja. Zanimljivo li moguću rotaciju točke C u C_1 , mehanizam se transformira u četverozglobni mehanizam u kojega je sada zglob C sferni zglob. Tako je mehanizam postao sustav s četiri stupnja slobode gibanja. Ako na takav mehanizam narinemo još dva ukrućenja, onda se radi o prostornom sustavu s dva stupnja slobode gibanja, koji se već može relativno pouzdano riješiti, barem što se tiče brzina i ubrzanja u točkama A i B .

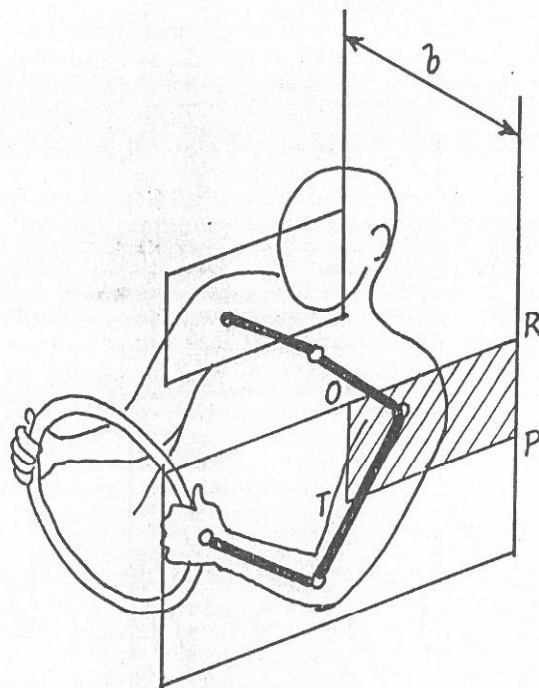
Ako u središtima masa dodamo veličine masa segmenata, te ako ih pomnožimo s izračunanim ubrzanjima tih točaka, odredili smo inercijske sile u tim točkama. Nadalje, ako u tim istim točkama odredimo dinamičke momente inercije, kojima pridružimo kutna ubrzanja, odredili smo i inercijske spregove koji djeluju u tom trenutku. Spomenute sile i spregovi djeluju u suprotnom smislu od ubrzanja, čime su definirane sile i spregovi što uz ostale sile reakcijskih veza i aktivne sile čine skup dinamičkih sila, koje za taj trenutak pretvaramo u statički zadatak, što zapravo odgovara tzv. D'Alembertovom principu.

Kako se vidi, zadatak je sistemski rješiv, samo što se pojavljuje velik broj jednadžbi za čitav niz sukcesivnih položaja, koji se redoslijedno dovode jedan na drugi poput fotografija snimljenih filmskom kamerom, čime postupak rješavanja postaje često predugačak pa prema tome i skup, a izlazni rezultati nisu općeniti već se odnose na promatrani specijalni slučaj koji može ali ne mora davati baš ono potrebno rješenje.

Somatografska metoda dinamičke ocjene pokreta

Na temelju prethodnih razmatranja uočavamo da su od odlučujućeg značenja za dinamičku ocjenu radnih pokreta - raspodjela masa dijelova tijela vozača. Osim toga, iz prethodno opisane metode jasno je do koje je mjere složen postupak biomehaničke ocjene i usporedbe rada različitih, po antropomjerama, vozača, pa nas to navodi na druge postupke. U tom ćemo smislu pojednostaviti model prostornog mehanizma čovjeka i upravljačkoga kola prema slici 4. na jednu ravninu koja prolazi ramenim zglobovima i koja je označena crtkanom ploštinom. Udaljenost b između zglobova istodobno je i udaljenost između dvije naznačene ravnine u kojima

leže točke središta ramenih zglobova. Spojnica između te dvije točke je osovina oko koje može rotirati i podlaktica i nadlaktica vozača. Pri navedenoj rotaciji smatramo da su zglobovi ramena i šaka fiksni.



Slika 4. Pojednostavnjeni model prostornog upravljanja čovjeka za upravljačkim kolom. Na slici je crtan pravokutnik u području ramena, unutar kojega se središte ramenog zgloba može nalaziti krajnjim pomacima sjedala u namjeri prilagođavanja vozača kabini

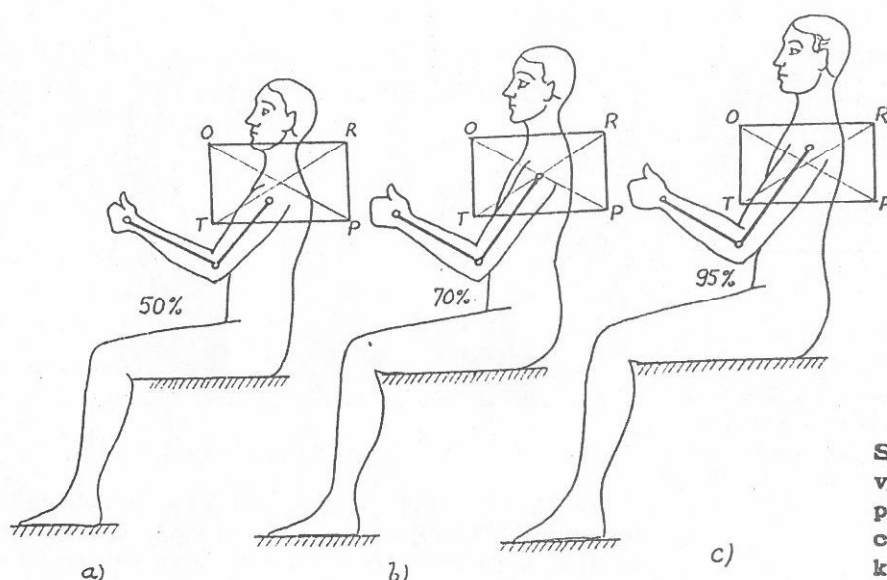
Ako nadalje razmotrimo mogućnosti regulacije sjedala u kabini, onda će se točka ramena moći gibati u prije definiranoj osjenčanoj ravnini.

Pridružimo li tome somatograme za tri skupine percentilske distribucije muških osoba, i to za 50, 70 i 95% percentila, onda imamo situaciju prikazanu na slikama 5a, b, c, gdje prikazani pravokutnici obuhvaćaju maksimalne moguće vrijednosti regulacije sjedala u horizontalnom i vertikalnom smislu. Ako nadalje ucrtao ravninske pozicije nadlaktice i podlaktice u krajnjim mogućim položajima, što je djelomično prikazano na slikama 6a, b, c, d, a u prostornom je smislu prikazano na slici 7, onda će vanjski dinamički momenti inercije s obzirom na os x biti, uz pretpostavku da za modele podlaktice i nadlaktice odaberemo cilindre a za šaku skoncentriranu masu, određeni izrazom:

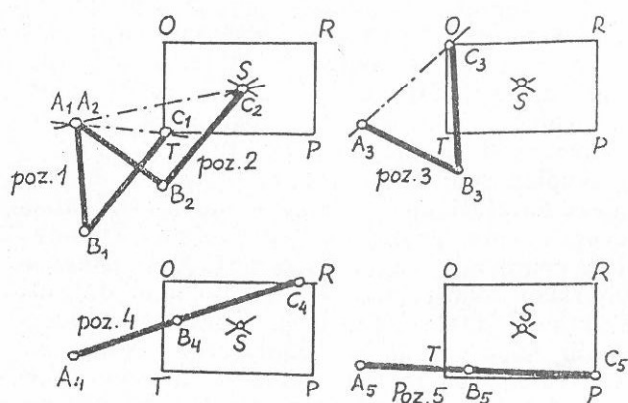
$$J_x = \frac{m_1 l_1^2}{12} m_1 a^2 + \frac{m_2 l_2^2}{12} + m_2 b^2 + m_3 c^2$$

gdje su m_1 segmentalne mase, a l_1 duljine cilindara i napokon veličine a , b i c udaljenosti masišta prema slici 7.

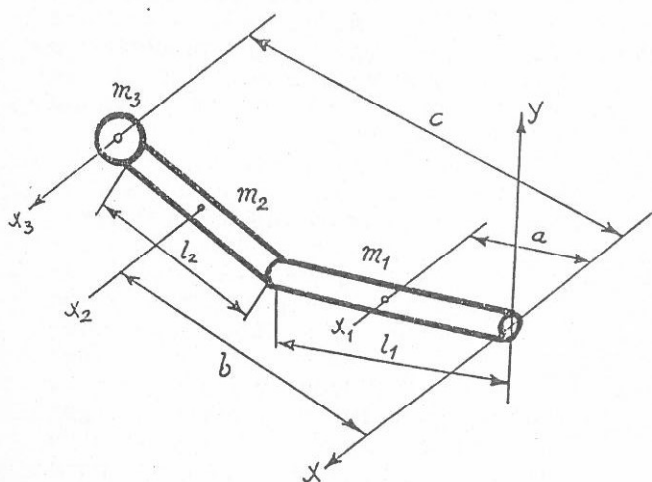
Na taj se način utvrđuju vrijednosti dinamičkih momenata inercije za različite pozicije



Slika 5. Odnos dimenzija čovjeka za skupine 50, 70 i 95% i položaja ramena unutar regulacijskog pravokutnika sjedala u kabini



Slika 6. Karakteristični pokreti vozača u odnosu na veze između čovjeka i okoliša, u zavisnosti od položaja ramenog zgloba u odnosu na regulacijski pravokutnik



Slika 7. Prikaz značenja karakterističnih geometrijskih veličina na prostornom modelu ruke, s pomoću kojega se računa dinamički moment inercije s obzirom na os što prolazi središtem ramenog zgloba

ruku vozača (to su pozicije 1, 2, 3, 4 i 5) i to za tri skupine faktorskih vrijednosti od 50, 70 i 95% percentila. Rezultati su tog računa prikazani u tablici 2.

Gledano dalje, sa stajališta dinamike, u stanju smo da za određene položaje segmenata ruku postavljamo dinamičke jednačbe ravnoteže, te da za neka izmjerena ubrzanja u promatranim trenucima određujemo i sile u pojedinim zglobovima. Međutim, mi ćemo od toga iskoristiti samo to da u nekom promatranom trenutku, kojemu odgovara neka od prikazanih pozicija, za komponentu sprega imamo da je ona jednaka umnošku kutnog ubrzanja i dinamičkog momenta inercije. Drugim riječima, to znači da se za zadovoljavanje neke vrijednosti sprega mora mijenjati veličina kutnog ubrzanja ako se mijenja i vrijednost dinamičkog momenta inercije, tj. ako on zavisno od antropomjera ispitanika raste, potrebno će kutno ubrzanje opadati.

Postavljanjem jednačbi ravnoteže za cijeli sustav, tj. za zatvoreni kinetički lanac kakav je odabran u našem primjeru, imat ćemo za svaku sukcesivnu prostornu kombinaciju tih triju članova ukupno 18 jednačbi ravnoteže, a ukupno je s obzirom na prostornost zadatka 24 nepoznanice, iz čega proistječe da je zadatak šest puta neodređen.

Spomenuta činjenica - da je postojanje dinamičkih momenata inercije vezano za izračunavanje inercijskog momenta - pokazuje istodobno i to da je izračunavanje pokreta jedne ruke vrlo opsežan postupak, pa je daljnje proširenje zadatka na drugu ruku, noge i trup vozača, uz još nekoliko drugih dopunskih poteškoća, doveo ovu mogućnost do razine neupotrebljivog.

REZULTATI

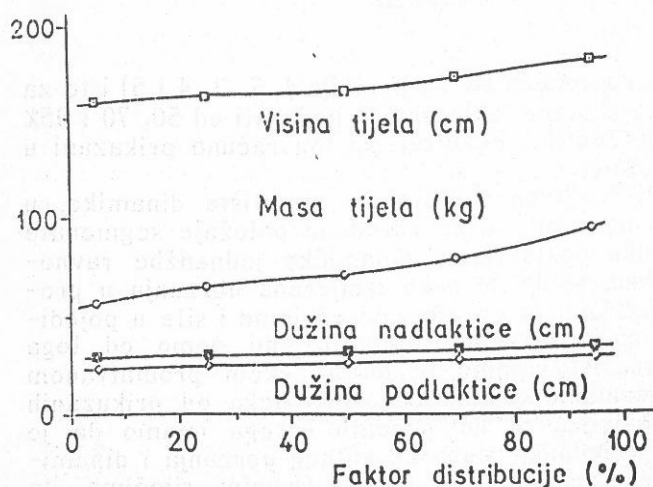
Na temelju spomenutih metoda provedena su mjerenja antropomjera u naših ispitanika koja su prikazana u tablici 1.

Tablica 1.

Izmjerene antropomjere naših ispitanika

Stojeća visina tijela (u cm)	163	174,9	186,9
Masa (u kg)	71,8	82,1	92,4
Duljina ruke (u cm)	70	76	82
Širina u području ramenog zgloba (u cm)	43	45	47

Navedene se mjere uspoređivanjem s rezultatima glavnih antropomjera ruku koje su prema Rudanovim rezultatima prilagođene za naše potrebe, s tim da su ove prikazane u grafičkom obliku na slici 8. slažu na taj način što se nalaze u području vrijednosti standardnih devijacija za faktorske vrijednosti od 70 i 95 percentila.



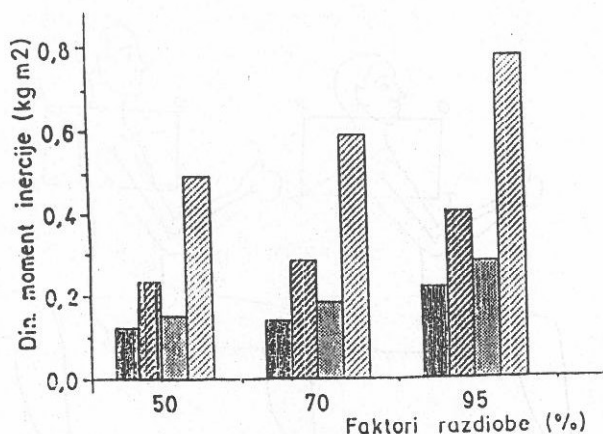
Slika 8. Grafički prikaz tipičnih antropomjera muških subjekata naše populacije u zavisnosti od faktora statističke distribucije (prilagođeno prema Rudanovim podacima)

Na temelju tako dokazanih pridruženja naših vrijednosti vrijednostima statičkih antropomjera koje vrijede za subjekte naše populacije izračunane su vrijednosti dinamičkih momenata inercije, koje su prikazane u tablici 2.

Tablica 2. Vrijednosti vanjskih dinamičkih momenata inercije ruku ispitanika za pozicije prikazane na slici 5 (vrijednosti su iskazane u kg/m^2)

Percentili	Pozicija 1	Pozicija 2	Pozicija 3	Pozicije 4 i 5
50%	0.1243	0.2353	0.1533	0.502
70%	0.1429	0.2882	0.1582	0.592
95%	0.2200	0.4080	0.2810	0.778

Radi bolje preglednosti rezultati iz tablice 2. prikazani su i histogramom na slici 9, gdje se očito vidi porast vrijednosti dinamičkih momenata inercije u zavisnosti od pridruženosti faktorskoj grupi distribucije.



Slika 9. Grafički prikaz veličina dinamičkih momenata inercije ruku za položaje prikazane na slici 6 za tri percentilne skupine ispitanika

RASPRAVA I ZAKLJUČCI

Na temelju uvedenih pojednostavnjenja, koja su kako je vidljivo samo povećala preglednost ne promijenivši pritom karakter proučavanih gibanja pokreta ruku vozača, proveli smo odgovarajući račun kojim se ostvarila mogućnost usporedbe analognih pokreta za tri različite skupine subjekata. Naime, rezultate antropomjerenja statičkih veličina u naših ispitanika pridružili smo postojećim podacima Rudana, koji su primjenom regresijske metode Donskog i Zacijorskog omogućile, iz poznavanja duljina podlaktice i nadlaktice, te iz poznavanja segmentnih masa podlaktice, nadlaktice i šake, da se izračunaju dinamički momenti inercije, čije se vrijednosti kreću od najmanje 0.1234 kg/m^2 do najveće od 0.778 kg/m^2 . Osim toga zanimljive su promjene dinamičkih momenata inercije za istu vrstu položaja segmenata, tj. za odabranu poziciju, gdje su promjene od skupine od 50% do skupine od 95% za nekih 80 do 90%. Drugim riječima, to znači da je dinamički "potencijal" za izvršenje nekog pokreta vozača značajno zavisao od njegovih antropomjera, te da se pritom dinamičke značajke, kao što su npr. dinamički momenti inercije, ne mijenjaju linearno već po nekoj krivulji.

Iz toga zaključujemo da se za izračunavanje dinamičkih značajki iz vrijednosti statičkih antropomjera treba provoditi postupak izračunavanja vanjskih dinamičkih momenata inercije za neku odabranu os, za svaki slučaj zasebno, jer u primjeru računanja s nekim "srednjim subjektom" može biti odstupanja dinamičkih antropomjera i do 40%, što je dakako neprihvatljivo. To nas istodobno upućuje i na još jedan zaključak koji suštinski opovrgava ergonomske prilagodbe između antropometrijski proizvoljnog vozača i kabine putem pomaka sjedala, jer se određenim kombinacijama mogu pojaviti vrlo velika odstupanja između antropomjera i mogućnosti dohвата. Taj zaključak nam pokazuje da konstruktorski zadatak prilagodbe užega radnog okoliša - kabine čovjeku vozaču nije poprimio svoj konačni oblik.

SUMMARY

STATIC DIMENSIONS OF THE VEHICLE DRIVERS AS A BASE OF THE DYNAMIC ANTHROPOMEASURES

Examination of a driver's cab from the aspect of ergonomic measurement requirements and standards still refers to an unresolved designer's task. Drivers' cabs pose by way of their design a variety of different calculations in terms of their anthropometric and biomechanic aspects. The available literature quite often understands under the term of anthropomeasures the so called static anthropomeasures. The basic objective of this paper lies in the definition of a method for designing a driver's cab based upon dynamic anthropometry being a new discipline of biological anthropometry.

LITERATURA

- [1] S. GREGORY: The Design Method. Butterworths, London, 1966.
- [2] J.C. JONES: Design Methods. John Wiley & Sons, New York, 1972.
- [3] V. HUBKA: Theorie der Maschinensysteme. Springer, Heidelberg, 1973.
- [4] S.Y. NOF: An expert system for planning/replanning programmable production facilities. Int. Journ. of Production Research, 22, 1984, 5, 895-903.
- [5] E. GRANDJEAN: Fitting the Task to the Man. Taylor & Francis, London, 1984.
- [6] O. MUFTIĆ, D. TABORŠAK: Ergonomski pristup konstruiranju. Zbornik radova s Proslave 70. obljetnice FSB, Zagreb, 1989.
- [7] D. BOŽIČEVIĆ: Sigurnost prometa kao funkcija antropometrijskih značajki vozača. Doktorska disertacija na Fakultetu za pomorstvo i saobraćaj u Rijeci 1985.
- [8] O. MUFTIĆ, J. LABAR: Modelling of the human arm in dynamic anthropometry. Coll. Antropol., 11, 1987, 1, 153-164.
- [9] P. RUDAN: Dimenzije tijela i tjelesni položaji u medicini rada. Udruženje za medicinu rada SFRJ, Sarajevo, 1979, 92-97.
- [10] D. D. DONSKIJ, V. ZACIJORSKIJ: Biomehanika. Fizkultura i sport, Moskva, 1979.