

POLOŽAJ KIČMENOG STUBA U ODNOSU NA RADNI STO U FUNKCIJI KVALITETA I KVANTITETA PROIZVODNJE

POSITION OF THE SPINE IN REFERENCE TO DESKTOP IN FUNCTION OF PRODUCTION QUALITY AND QUANTITY

Doc. Dr. Veljović Fikret, Univerzitet u Sarajevu, Mašinski Fakultet, Bosna i
Hercegovina tel. 071/653 055

Van. Prof. Dr. Alija Cigić – Strojarški fakultet, Mostar

Van. Prof. Dr. Bogdan Šimun – Strojarški fakultet, Mostar

REZIME

Primjena ergonomije u industrijskim pogonima je sve češća pojava.

U radu su pokazani temeljni elementi sistema čovjek-stroj-okoliš u ljevačkoj industriji, na osnovu kojih su razmatrani parametri dijelova sistema.

Sistem je izučen i razrađen vrlo široko, od uslova u kojem čovjek radi, pa do položaja subjekata koji su vrlo važni kako sa mehaničkog tako i sa medicinskog gledišta.

Posebno su analizirani uvjeti ekstremnih naprezanja radnika "kalupara" koji ne samo da umanjuju radnu sposobnost, već utiču i na zdravlje radnika.

Opterećenost čovjeka pri različitim radnim položajem su vrlo široka i još uvijek dovoljno neispitana područja zbog nedovoljnog poznavanja djelovanja unutarnjih sila u čovjeku koja se javljaju pri njegovom radu. Navedeni primjer predstavlja doprinos daljem proučavanju sistema čovjek-stroj-okoliš.

Ključne riječi: kičmeni stub, biomehanika, kvalitet i kvantitet

SUMMARY

Application of ergonomics in industrial plants is becoming more and more common.

This paper shows principal elements of the system man-machine-environment in casting industry, according to which parameters of the parts of the system are observed.

The system is studied and evaluated widely, from working conditions to the position of subjects, which are very important from both mechanical and medical point of view.

Special attention is paid to analysis of conditions of extreme stresses of workers – "moulders" which diminish working performance and have influence to worker's health.

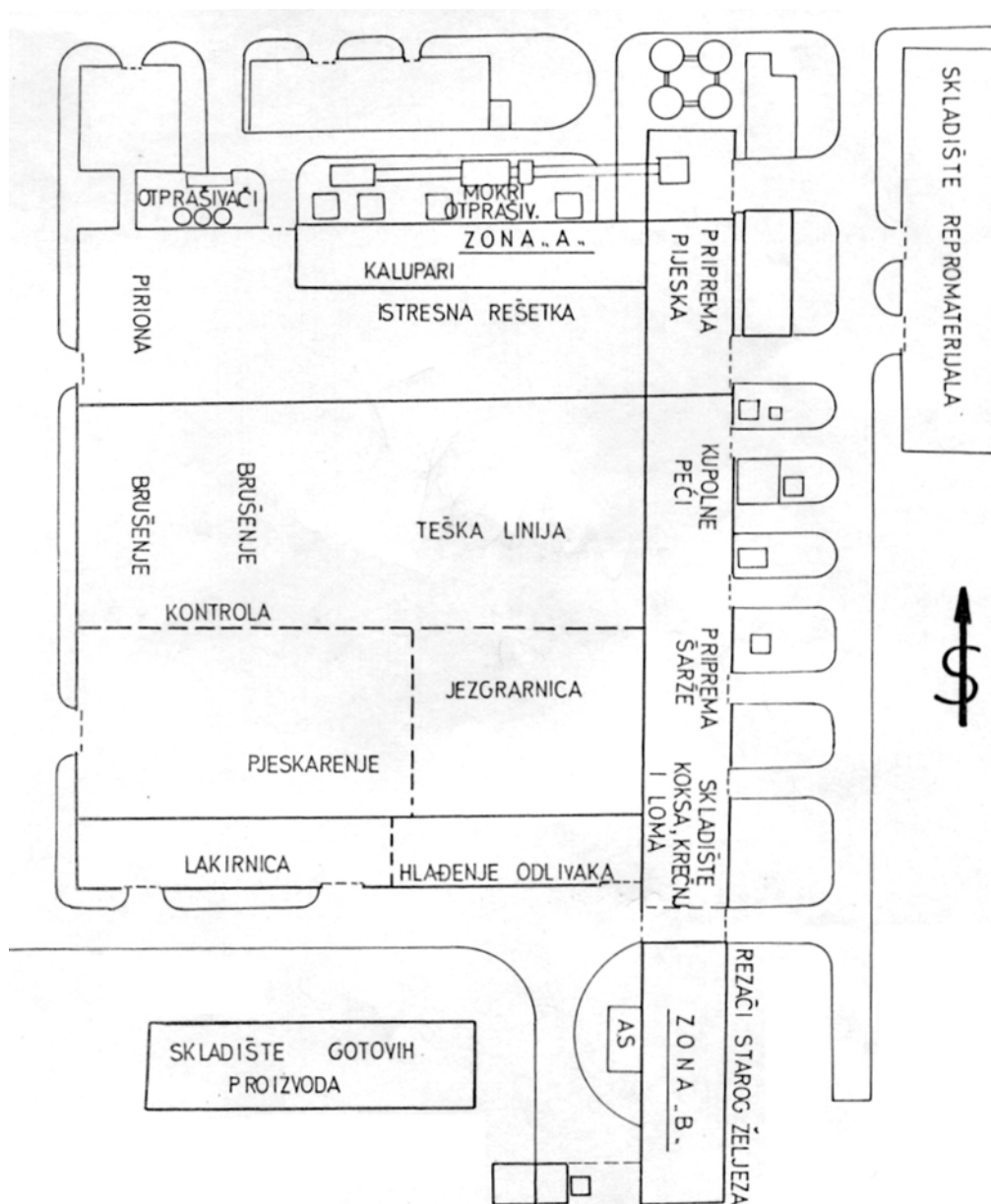
The load which man undergoes in different working position is very wide and still unexamined area because of insufficient knowledge on the action of internal forces in human body that occur during the work. The mentioned example represents contribution to further research of the system man-machine-environment.

Key words: spine, biomechanics, quality and quantity

1. UVOD

Pri kreiranju novih radnih stolova konstruktori ne uzimaju u dovoljnoj mjeri, zdravstvene zahtjeve; u pogledu saginjanja radnika prema radnom stolu, mase dijelova proizvoda koje u toku procesa radnik podiže – spusta i odnosi na depo. Svi navedeni elementi su u funkciji produktivnosti i kvaliteta proizvodnje.

Navedena problematika je proučavana u jednoj od naših ljevaonica ;Strolit; Odžak na grupi od 20 kalupara, koji su radili na jednoj tehnološkoj liniji u zoni A na deset radnih stolova u paru Slika 1.



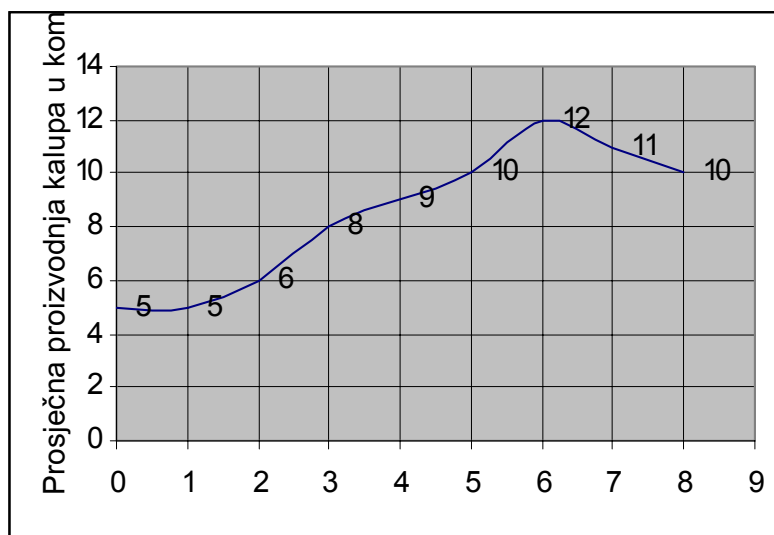
Slika 1. Tlocrtna shema analiziranog pogona ljevaonice. Zona A je radno područje kalupara.

2. ANALIZA UTICAJA USLOVA RADA U LIVNICI NA KVALITET I PROIZVODNOST

Prije analiziranja sistema, izvršeno je mjerenje prosječne proizvodnje kalupa po satu kod osmočasovnog radnog vremena.

Da bi se otklonili eventualni prigovori na odabrani broj ispitanika , potrebno je prvo protumačiti , koji su nam podaci potrebni za utvrđivanje reprezentativnih biomehaničkih modela. U nas je ovdje smisao ovih utvrđivanja vrijednosti, zapravo u pokušaju

pridruživanja podataka naših ispitanika antropometrijskim podacima, koje je za našu populaciju utvrdio RUDAN (1979, 1). Dalje je ove Rudanove podatke prilagodio za mehaničku upotrebu prof. Muftić sa saradnicima /2/, određivši segmentne mase za oba pola i za pet percentilskih skupina. Ovo je bilo i razlogom da su se utvrdile u naših ispitanika stojeće visine i ukupne mase.



Slika 2. Prosječna proizvodnja kalupa prije rekonstrukcije radnog stola u toku osmočasovnog radnog vremena

Tabela 1. Rezultati mjerenja visina i ukupnih masa ispitanika

Broj	Ispitanik	Stojeća visina u cm	Ukupna masa u kg	Broj	Ispitanik	Stojeća visina u cm	Ukupna masa u kg
KALUPARI				KALUPARI			
1.	B.S.	168	75	11.	A.Š.	175	80
2.	A.K.	170	80	12.	S.J.	169	71
3.	S.Š.	173	79	13.	R.G.	178	94
4.	H.B.	176	86	14.	K.M.	174	82
5.	A.I.	172	82	15.	Š.O.	170	70
6.	Š.T.	180	83	16.	E.M.	172	71
7.	A.A.	183	79	17.	P.P.	177	83
8.	S.M.	170	80	18.	K.H.	181	86
9.	I.A.	171	86	19.	A.I.	179	80
10.	S.J.	180	96	20.	Ž.K.	183	88

Na temelju ovih podataka koji su uspoređeni s Rudanovim podacima iz tablice 2. Takvi da u potpunosti zadovoljavaju tu statističku distribuciju podataka, jer se sve vrijednosti nalaze u granicama standardnih devijacija.

Navedeni su podaci poslužili Muftiću i suradnicima /2/ da izračunaju segmentne mase subjekata naše populacije primjenom regresijske jednadžbe Donskog i Zacijorskog /3/ koja glasi u preuređenom obliku:

$$m_i = B_0 + B_1M + B_2h, \text{ (kg)}$$

gdje su: m_i - masa proučavanog dijala tijela, (kg)

B_0, B_1, B_2 – regresijski koeficijenti

M – ukupna masa ispitanika

h – stojeća visina ispitanika u cm

Tabela 2. Antropomjere po Rudanu /1/, visine u mm, a mase u kg.

Varijabla Muškarci (n=157)	Percentili				
	5 %	25 %	50 %	70 %	95 %
visina tijela	1592	1620	1648	1724	1801
sjedeća visina	820	848	882	908	941
duljina nadlaktice	288	303	316	326	341
duljina podlaktice	241	260	270	278	298
duljina ruke	708	743	759	784	821
duljina natkoljenice	474	502	523	540	570
duljina podkoljenice	333	362	376	390	4143
duljina noge	881	935	965	996	1045
biokromijalni raspon	358	377	393	404	432
širina zdjelice	269	283	293	302	318
masa tijela	56,5	64,9	71,5	80,2	95

Gore spomenuti se regresijski koeficijenti koriste za izračunavanje deset različitih masa segmenata tijela. U tablici 3 su prikazani predmetni regresijski koeficijenti, koji također potiču od Donskog i Zacijorskog (3)

Tabela 3. Regresijski koeficijenti za izračunavanje segmentalnih masa u čovjeka.

Segment	B_0	B_1	B_2
Stopalo	- 0,829	0,0077	0,0073
Potkoljenica	- 1,512	0,03616	0,0121
Natkoljenica	- 2,649	0,1436	0,0137
Šaka	- 0,1165	0,0036	0,00175
Posdlaktica	0,3185	0,01445	- 0,00114
Nadlaktica	0,250	0,03012	- 0,0027
Glava s vratom	1,296	0,0171	0, 0143
Gornji trup	8,214	0,1862	- 0,0580
Srdnji trup	7,181	0,2234	- 0,0663
Donji trup	- 7,498	0,0976	0,04896

Navedenim jednačinama Donskog i Zacijorskog izračunali smo vrijednosti segmentalnih masa kod naših ispitanika.

Rezultati tog proračuna vrijednosti segmentalnih masa prikazani su u tablici 4.

Spomenuta tablica ima u svojem zadnjem redu izračunate srednje vrijednosti segmentalnih masa, koje su se koristile u izabranom reprezentativnom biomehaničkom modelu ergonomske analize rada. S obzirom da srednji ispitanik ima prosječnu stojeću visinu 176 cm. , i masu od $m=81,6$ kg, u daljnu proceduru analiziranja radit ćemo sa prosječnim ispitanikom kalupara. Mjerenja radnih pokreta iz jedne poze u drugu vršena su tako što smo iza radnika postavili pano u kojeg smo uperili reflektor , tako da smo na njegovoj sjeni koja se ocrtavala mjerili uglove saginjanja kao i položaj podizanja desne

ruke sa batom u odnosu na kalup. Radni ciklus poza 1 radnik je obavljao $t=32s$ dok poza 2 je trajala vremenski $t=18s$. što znači, ukupni radni ciklus nad jednim kalupom iznosi $T_{uk}=50s$.

Tablica 4. Mase dijelova tijela u nasih ispitanika (kalupari) u kg.

Ispitanik	stopalo	podko- ljenica	nadko- ljenica	šaka	podla- ktica	nadla- ktica	glava	trup		
								gornji	srednji	donji
B.S.	0,974	3,232	10,422	0,447	1,210	2,055	4,980	12,43	12,79	8,05
A.K.	1,028	3,437	11,168	0,469	1,280	2,200	5,095	13,25	13,78	8,63
S.Š.	1,042	3,437	11,065	0,470	1,262	2,162	5,120	12,89	13,36	8,68
H.B.	1,118	3,727	12,111	0,501	1,360	2,365	5,283	14,02	17,72	9,51
A.I.	1,058	3,534	11,482	0,479	1,307	2,255	5,157	13,51	14,10	8,93
Š.T.	1,124	3,667	11,735	0,497	1,312	2,264	5,289	13,23	13,79	9,41
A.A.	1,115	3,558	11,202	0,488	1,251	2,135	5,263	12,24	12,69	9,17
S.M.	1,028	3,437	11,168	0,469	1,280	2,200	5,095	13,25	13,78	8,63
I.A.	1,081	3,666	12,043	0,492	1,366	2,378	5,211	14,31	15,06	9,27
S.J.	1,224	4,137	13,602	0,544	1,500	2,655	5,511	14,65	16,69	10,68
A.Š.	1,064	3,498	11,236	0,477	1,275	2,187	5,166	12,96	13,45	8,88
J.Š.	0,951	3,100	9,861	0,434	1,151	1,932	4,926	11,63	11,84	7,70
R.G.	1,194	4,040	13,288	0,533	1,473	2,600	5,448	15,39	16,38	10,39
K.M.	1,072	3,560	11,510	0,483	1,305	2,250	5,186	13,39	13,96	9,02
Š.O.	0,951	3,076	9,732	0,433	1,136	1,899	4,924	11,39	11,55	7,66
E.M.	0,973	3,136	9,903	0,440	1,148	1,924	4,969	11,46	11,64	7,85
P.P.	1,102	3,631	11,694	0,492	1,316	2,522	5,246	13,40	13,99	9,27
K.H.	1,154	3,787	12,180	0,509	1,354	2,351	5,354	13,73	14,39	9,76
A.I.	1,093	3,546	11,291	0,484	1,270	2,176	5,223	12,73	13,18	9,07
Ž.K.	1,184	3,884	12,494	0,520	1,381	2,406	5,417	13,99	17,71	10,05
Srednja vrijedn.	1,076	3,555	11,459	0,483	1,297	2,246	5,193	13,24	13,79	9,03

Tablica 5. Vrsta radnih pokreta.

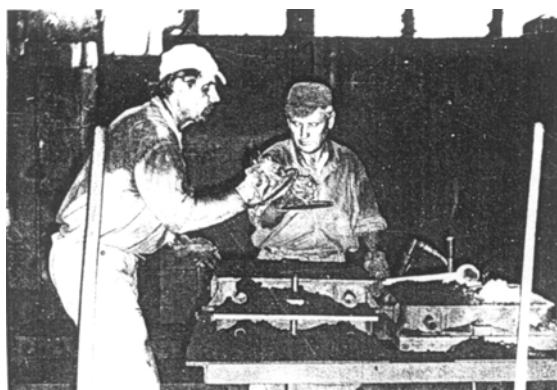
ispravljena leđa (radna poza 1)	
dohvat "bata" desnom rukom	
podizanje ispuštanje desne ruke s "batom" od kote 120 – 156	poza 1. $t=32$ sec.
lijeva ruka je oslonjena na radni sto	$t_{uk}=50$ sec
polusavijena leđa (radna poza 2)	
dohvat "bata" desnom rukom	poza 2. $t=18$ sec
podizanje i spuštanje desne ruke s "batom" od kote 120 – 155	
lijeva ruka je oslonjena na radni sto	



Slika 3. Prikaz rada dvojice kalupara, kada se obojica ispitanika 1 i 2 nalaze u radnom položaju označenom s brojem 1



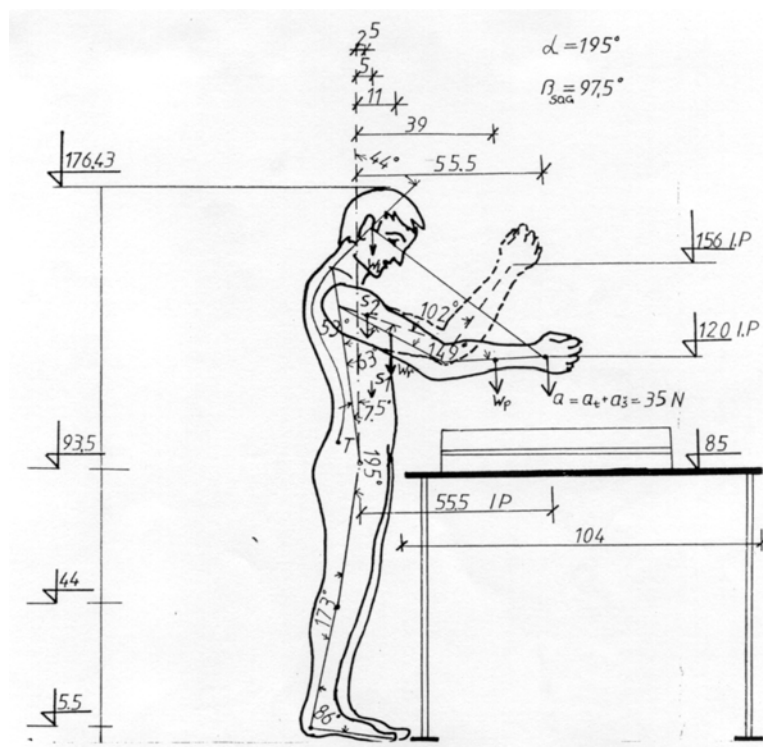
Slika 4. Rad dvojice kalupara, od kojih se ispitanik 1 nalazi u radnom položaju 1, a ispitanik 2 u radnom položaju 2.



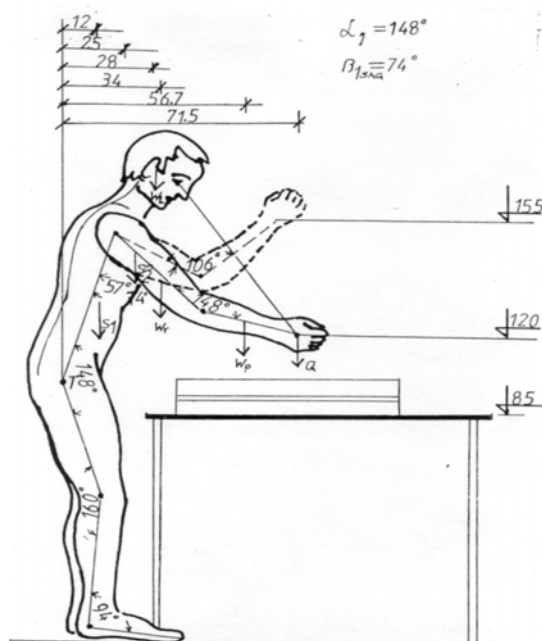
Slika 5. Rad obojice kalupara, kada se nalaze u radnom položaju 2, koji je okarakteriziran s povećanim nagibom ugla.



Slika 6. Prenošnje završnog kalupa na odlagalište gdje se vrši ljevanje.



Slika 7. Biomehantički model kalupara u radnom položaju 1. Na crtežu su označeni uglovi između segmentalnih dijelova tijela ispitanika, zatim položaj ispitanika u odnosu na radni stol, kao i potrebni krakovi sila, te odgovarajuće razine antropomjera mjerenih od poda.

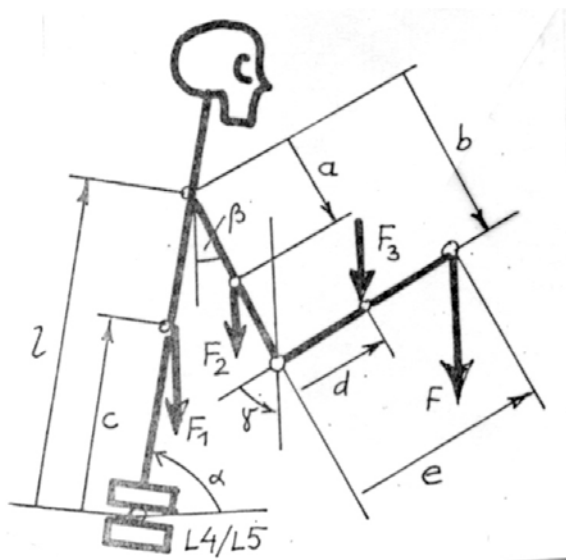


Slika 8. Biomehantički model kalupara u radnom položaju 2, koji je okarakteriziran povećanim nagibom trupa. I na ovom su crtežu označeni odgovarajući uglovi između segmenata tijela ispitanika, zatim krakovi sila i odgovarajuće razine položaja od poda prostorije.

Da bi odredili uticaj sila u predjelu intraabdominalnog presjeka na našem ispitaniku koristićemo sliku 9 i Schultz-ov model slika 10.

Za crtež prikazan na slici 9 vanjski lumbalni moment na razini L4/L5 je određen izrazom:

$$M_{L4/L5} = F_1 \cdot c \cdot \cos \alpha + F_2(l \cdot \cos \alpha + a \cdot \sin \beta) \cdot F_3(l \cdot \cos \alpha + b \cdot \sin \beta + d \cdot \sin \gamma) + F(l \cdot \cos \alpha + b \cdot \sin \beta + e \cdot \sin \gamma)$$



gdje su:

- F1 – težina trupa i glave, (N)
- F2 – težina nadlaktice (2x), (N)
- F3 – težina podlaktice (2x), (N)
- F – težina tereta zajedno sa

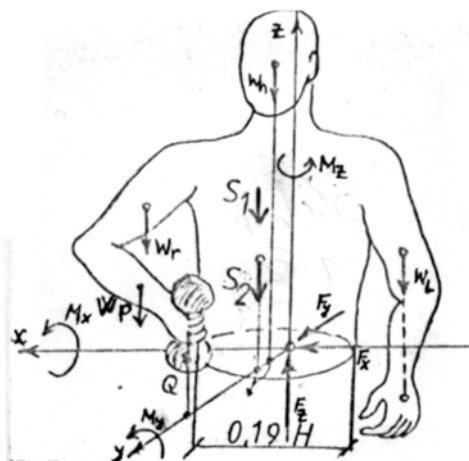
Slika 9. Opći biomehanički model za izračunavanje intraabdominalne sile.

Model se sastoji od vanjskih sila i segmentalnih težina uz što se javlja i utjecaj abdominalnog tlaka.

S obzirom na nekoherentnost jednačine potrebno je tlak pretvoriti u silu, pa u tom smislu treba tlak pomnožiti s površinom projekcije.

U tom smislu smo odabrali jedan presjek kroz abdomen covjeka koji za našeg ispitanika stoji u prikazanom geometrijskom odnosu na slici 10.

Na temelju toga s harmonijskom analizom smo formirali model intraabdominalnog presjeka kako je prikazano na slici 11. , odakle smo ustanovili harmonijske odnose u odnosu na ukupnu visinu ispitanika.



Širina kukova
0,19 H = 33,52 cm
Poza 1.

Slika 10. Schulz-ov model

$Q = 35 \text{ N}$	$X_q = 0$	$Y_q = 55,5 \text{ cm (IP)}$
$W_h = 52 \text{ N}$	$X_h = 0$	$Y_h = 5 \text{ cm}$
$W_l = 13 \text{ N}$	$X_l = 24 \text{ cm (IP)}$	$Y_l = 6 \text{ cm (IP)}$
$S_1 + S_2 = W_t = 269 \text{ N}$	$X_t = 0$	$Y_t = 2,5 \text{ cm}$
$W_p = 13 \text{ N}$	$X_p = 20 \text{ cm (IP)}$	$Y_p = 32,5 \text{ cm (IP)}$
$\Sigma F_x = 0$	$\Sigma F_y = 0$	$\Sigma F_z = 0$

$$F_z = Q + W_h + W_l + W_r + W_t + W_p = 394 \text{ N}$$

$$\Sigma M_x = 0$$

$$M_x = Q Y_a + W_h Y_h + W_l Y_l + W_r Y_r + W_t Y_t + W_p Y_p = 36,2 \text{ Nm}$$

$$\Sigma M_y = 0$$

$$M_y = W_r X_r + W_p X_p - W_l X_l = 3,44 \text{ Nm}$$

$$\Sigma M_z = 0$$

$$M_z = \beta \text{ sag.} - \beta_1 \text{ sag} = 97,5^\circ - 74^\circ = 23,5^\circ = \alpha$$

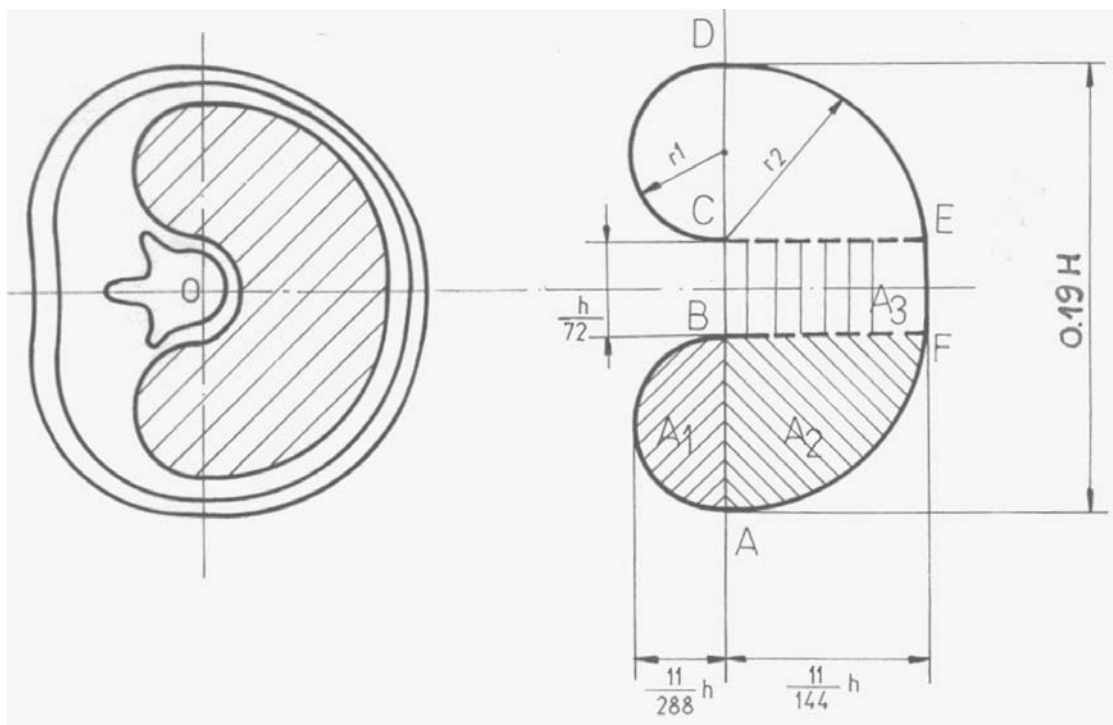
za pozu 2.

$$\Sigma M_x = 0$$

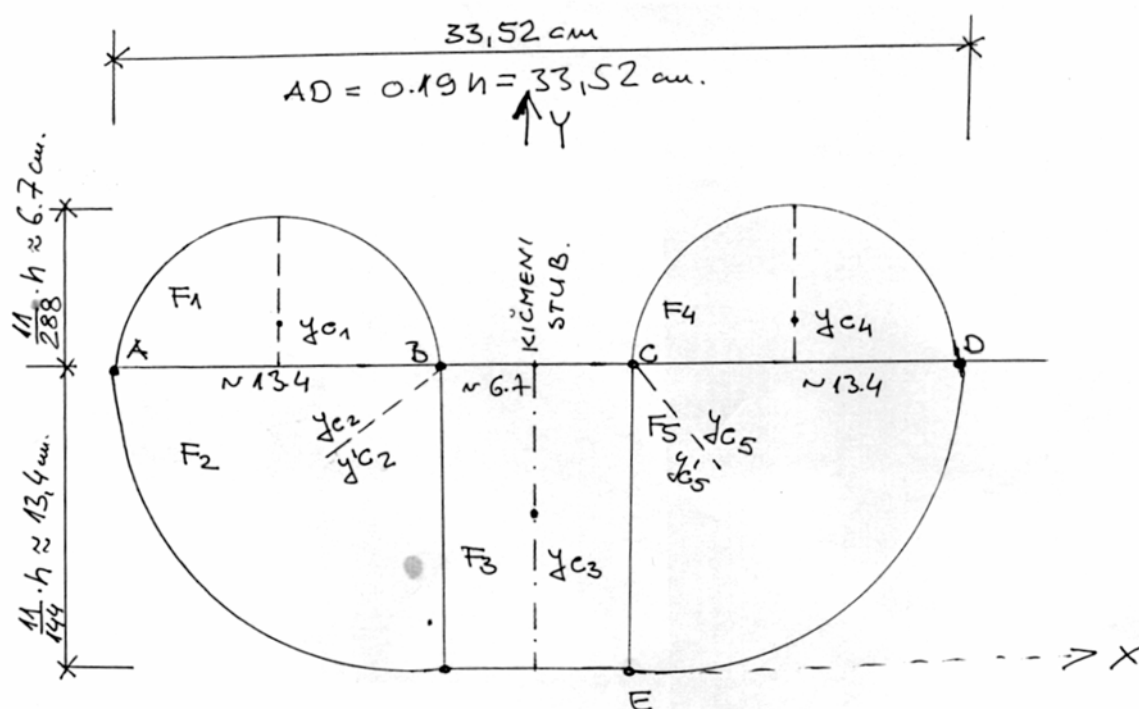
$$S_1 0,12 + S_2 0,25 + W_h 0,28 + W_r 0,34 + W_p 0,567 + Q 0,715 + W_l 0,06 = 104,66 \text{ Nm}$$

Prosječna visina ispitanika $H_{sr} = 176,143 \text{ cm}$

Prosječna težina ispitanika $T_{sr} = 81,619 \text{ kg}$.



Slika 11. Prikaz abdominalnog poprečnog presjeka i shematizirane konture tog presjeka
(preuzeto od Kuprešak i Šarić, /4/)



Slika 12. Model intraabdominalnog presjeka.

Ukupna površina odjela intraabdominalnog presjeka, za slučaj prosječnog ispitanika je:
 $F_u = 512,68 \text{ cm}^2$

Veličina intraabdominalnog pritiska se računa po obrascu:

$$\text{IAT} = 2,342 + 0,045 \cdot M$$

$$\text{IAT (kPa)}_{\text{poza1}} = 2,342 + 0,045 \cdot 36,175 = 3,969 \text{ (kPa)}$$

$$\text{IAT (kPa)}_{\text{poza2}} = 2,342 + 0,045 \cdot 104,66 = 7,052 \text{ (kPa)}$$

Ukupna sila u intraabdominalnog presjeka iznosi:

$$S_u = F_u \cdot \text{IAT}$$

$$S_1 = 0,0513 \cdot 3,969 = 0,204 \cdot 103 \text{ N} = 204 \text{ (N)}$$

$$S_2 = 0,0513 \cdot 7,052 = 0,3617 \cdot 103 \text{ N} = 361,7 \text{ (N)}$$

Proračun težišta djelovanja ukupne intraabdominalne sile u presjeku

$$y_{c1} = y_{c5} = \frac{2 \cdot 6,7 \cdot 2 \cdot 6,7}{3 \cdot 6,7 \cdot 3,14} \approx 2,84 \text{ cm}$$

$$y_{c1} = y_{c5} = 0,6366 \cdot V = 0,6366 \cdot 13,4 = 8,53 \text{ cm}$$

$$y_{c3} = 6,7 \text{ cm} \quad y_{c2} = y_{c5} = \frac{8,53}{1,11} = 6,049 \text{ cm}$$

$$T_y = 9,68 \text{ cm}$$

$$\Delta = 13,4 - 9,68 = 3,72 \text{ cm}$$

Veličina intraabdominalnog momenta:

- za pozu 1

$$M_1 = 204 \cdot 0,0372 = 7,58 \text{ Nm}$$

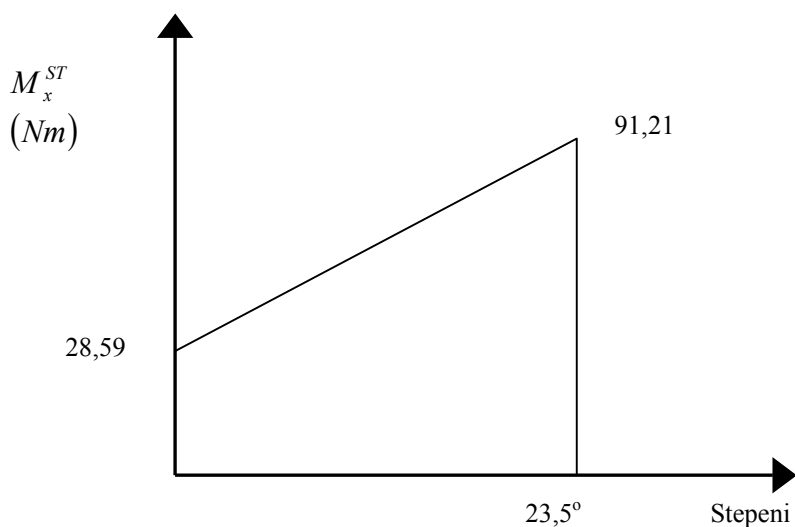
- za pozu 2

$$M_2 = 361,7 \cdot 0,0372 = 13,45 \text{ Nm}$$

Stvarna veličina djelovanja momenta u predjelu slabinskog kralješka u funkciji ugla:

$$M_{s1}^{ST} = 36,175 - 7,58 = 28,59 \text{ Nm}$$

$$M_{s2}^{ST} = 104,66 - 13,45 = 91,21 \text{ Nm}$$



Slika 13.

Za 1° (stepen) naginjanja prema radnom stolu opterećenost slabinskog kralješka iznosi $\cong 2,66$ Nm. Ovako izražen porast veličina momenta savijanja, može još izraženije uticati ako se u ovo uključi i dinamika rada (sagibanje i ispravljanje).

3. ZAKLJUČAK

Na temelju provedene analize, opažamo da se opterećenje kralježnice (gdje je smještena tačka redukcije) pri zauzimanju različitih poza gornjeg dijela tijela u ispitanih radnika mijenja tako da je rezultujuća sila invarijantna, dok se spregovi mijenjaju u rasponu od 28,59 Nm pa do 92,21 Nm (sa srednjom vrijednosti od 59,9 Nm).

Dodamo li tehnološkoj sili, mase dijelova tijela koje prema našim mjerenjima ne prelaze vrijednost od 137 N (u uslovima rada u kojim smo vršili mjerenja), tada se mogu desiti sljedeće promjene:

- Ako je tehnološka sila (tj. Sila od "bata") koja djeluje vertikalno (poz.1) je udaljena od centre kralješka za 55,5 cm (izmjereno) onda veličina sprega sila, uključujući mase pojedinih dijelova tijela i tehnološku silu iznosi $M_x = 36,175$ Nm.
- U ovisnosti ugla naginjanja radnika prema radnom stolu, tada se povećava moment savijanja u području lumbalne kralježnice za ugao $\alpha = 23,5$ stepeni, moment $M_x = 91,21$ Nm

Govoreći o referentnim silama i spregovima što djeluju u tački redukcije, važno je upozoriti na činjenicu, da su naši ispitanici praktički iz jednog graničnog područja (95%

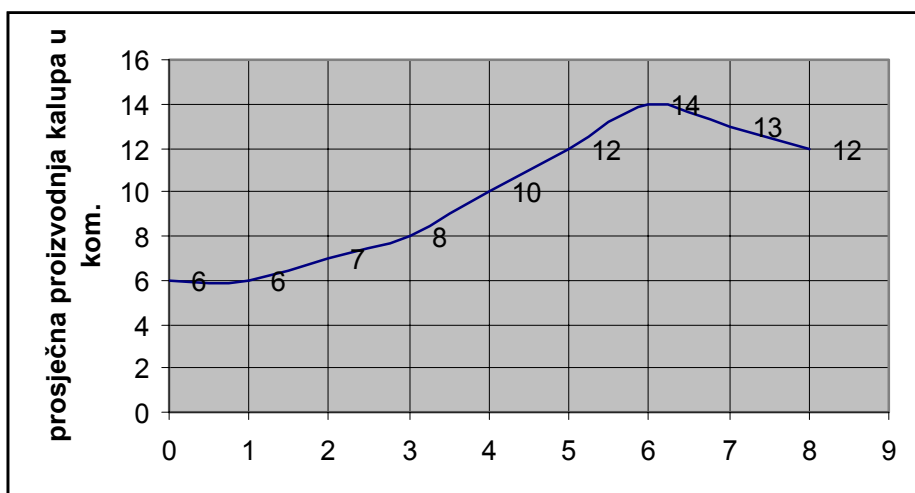
percentila) čime su definisani tzv. gornji kriterij opterećenja. Odatle slijedi da treba istaći, da su ove maksimalne vrijednosti naspram minimalnih (5% percentila) vrijednosti oko 100% maximuma vrijednosti veće, dok srednje vrijednosti odgovaraju skupini od 50% percentila.

Poznavanjem ovih činjenica naši rezultati se na taj način uvrštavaju u tzv. relativnom smislu. To znači da i oni radnici koji nisu obuhvaćeni našim mjerenjima mogu da ih prema percentilnoj grupi označimo, vertikalnom odakle direktno očitavamo vrijednosti refentnih i nereferentnih spregova za tu percentilsku skupinu.

Koristeći veličine odgovarajućih sila kao i spregova i nacrtanog diagrama, možemo odrediti veličine sila i spregova kod sličnih radnih poza.

Iz navedenih opterećenja se da primjetiti da se radi o veoma teškom naprežanju radnika pri radu i da je potrebno izvršiti rekonstrukciju radnog stola u odnosu na radnu pozu tijela, tako da ugao saginjanja radnika prema radnom stolu iznosi $\alpha=10$ stepeni.

Nakon ove rekonstrukcije gdje su mehanička opterećenja radnika u odnosu na radni sto puno manja izvršena su ponovna prosječna mjerenja proizvodnje kalupa u toku osmočasovnog radnog vremena.



Slika 14. Proizvodnja kalupa u toku osmočasovnog radnog vremena nakon rekonstrukcije radnog stola.

Iz navedenog diagrama se vidi da je rekonstrukcija radnog stola uspjela, jer radnik daje veću proizvodnju kalupa sa puno manje opterećenosti na svoj organizam. Kvalitet je povećan za čitavih 52%.

LITERATURA:

- /1/ Rudan, P.: Dimenzije tijela i tjelesni položaji pri radu u Medicini rada, Udruženje za Medicinu rada, pp 87-89, Sarajevo, 1978.
- /2/ Muftić, O., Labar, J. Kuprešak, Z.,: Zavisnost statičke radne sposobnosti o životnoj dobi, Zaštita, vol.30.,br.2,pp 7-14, 1978
- /3/ Donski, D.D., Zacijorski, V.M.,: Biomehanika, Izdateljstvo "fiskultura i sport", Moskva 1979
- /4/ Kuprešak, Z., Šarić, Adelina., Harmonical model of the Human Abdominal Press, 12th International Congres of Anthropological and Ethnological Sciences, Zagreb, 1988.