

ODRŽAVANJE ORGANIZMA U FUNKCIJI POTROŠNJE RADNE ENERGIJE

prof. Dr. Fikret Veljović, Mašinski fakultet Sarajevo veljovic@mef.unsa.ba
Spec. Nezira dr. Kovač Bolnica Zenica
Spec. Sanja dr. Drljević Bolnica Zenica
Spec. Fahira dr. Veljović Bolnica Zenica

ABSTRACT

This work describe human positions in house work activities. First, we find out biomechanical analysis of anthropometry of human body. Another task was to calculate human energy which is needed to do specified activities.

Key words: Biomechanics, Ergonomy ,Human energy, RULA analysis

1. OPIS AKTIVNOSTI

Posao u kući je “trajan” posao koji zahtijeva cjelodnevni angažman osobe. Sastoji se od peglanje odjeće, pranje posuda, raspoređivanje unutrašnjosti kuće, brisanje prašine. Svaka od ovih aktivnosti ne zahtijeva veliku količinu energije, ali zbog učestalosti aktivnosti, kao i trajanja pojedinih aktivnosti, te njihove isprepletanosti međusobno, nagnale su nas da potražimo odgovor na pitanja:

- Koliko se troši energije na dnevne aktivnosti?
- Šta od ishrane unositi u organizam i u kojim količinama da bi se nadoknadila potreba za energijom?

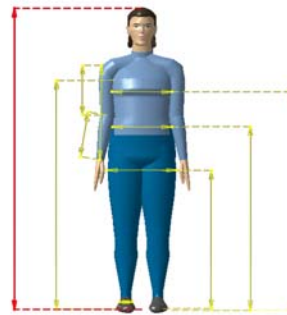
Radi obimnosti tematike te isprepletanosti različitih polja nauke iz oblasti statike, kinematike, opredjelili smo se za prikaz karakterističnog položaja prilikom obavljanja najvećeg broja dnevnih aktivnosti u kući. Kao primjer koristimo računarski generisani ženski subjekt standardnih dimenzija preuzetih iz knjige Osnovi Ergonomije prof. Dr. Fikret Veljović, visine 165 cm i težine od 70 kg, te računarski modul za ergonomiju softverskog paketa Dessault System CATIA V5R16 za preuzete antropomjere. Prema tjelesnom indexu u stojećem položaju (index: us100) evropske populacije za ženske subjekte, aritmetička sredina je 1621 mm, a standardna devijacija je 61.3 mm. Kako je naša visina stojećeg subjekta 165 cm, to znači da se nalazi između dvije standardne devijacije, odnosno da smo sa datim primjerom obuhvatili oko 68% populacije (u obzir se uzimaju subjekti sa standardnim antropomjerima).

2. ANTROPOMJERI TIJELA

Karakteristične veličine subjekta u stojećem položaju su:

Stojeća visina [cm]	165
Visina do pazuha [cm]	126
Dužina nadlaktice [cm]	31
Dužina podlaktice [cm]	25

Dužina ruke bez šake [cm]	56
Širina prsa [cm]	30
Širina stuka [cm]	30
Širina bedara [cm]	35
Visina do prepone [cm]	77
Visina do kukova [cm]	100
Visina do prsa [cm]	120
Težina [kg]	70



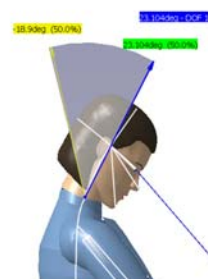
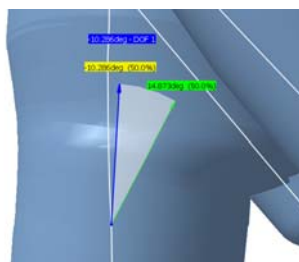
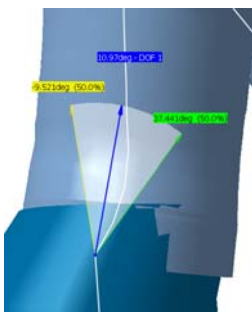
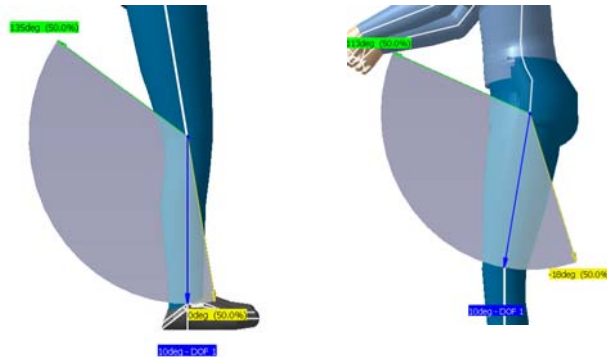
SI:

Model je generisan kompjuterski, na osnovu stojeće visine i težine ovog subjekta.

3. RADNI POLOŽAJ

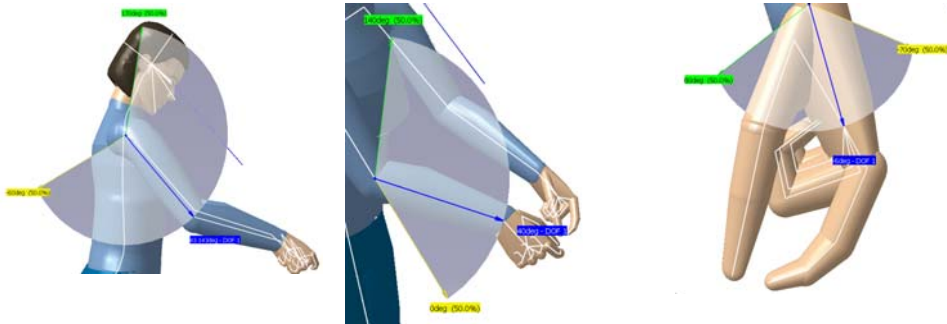
Tokom obavljanja dnevnih zadataka, tijelo zauzima karakteristični položaj koji se može opisati sa uglavima koje zauzimaju pojedini segmenti tijela. Prilikom pranja posuda početni položaj donjih ekstremiteta je prema slici:

Uočavamo da su stopala punom površinom na tlu, da je potkoljenica okomita u odnosu na podlogu. Centar rotacije potkoljenice je u koljenu. Nadkoljenica sa centrom u kuku je postavljena pod uglom od 10° u odnosu na osu koja prolazi kukom i koja je okomita na podlugu. Položaj kod trupa možemo posmatrati preko dva ugla. Lumbalnog ugla srtuka i torakalnog ugla prsa.

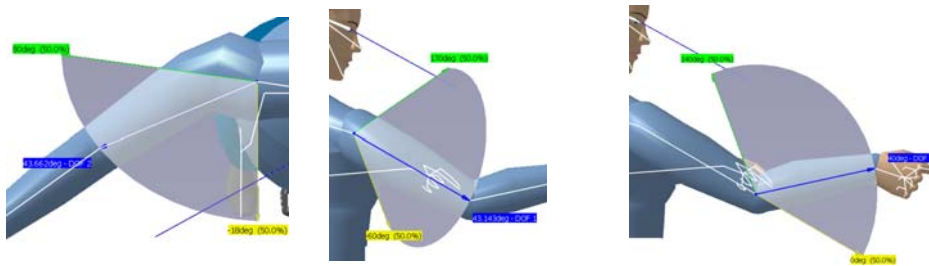


Uočavamo da je lumbalni dio je pod uglom od 11° u odnosu na osu koja je okomita na podlogu. Torkalni ugao iznosi -10° u odnosu na otkolon koji je nastao pomjeranje lumbarnog ugla. Položaj glave je određen uglom od 23° također u odnosu na osu koja prolazi kroz stopala i okomita je na podlogu. Prilikom obavljanja radnih aktivnosti pogled je usmjeren u pravcu radnog objekta.

Početni položaj ruku je određen sa uglom nadlaktice čiji je centar u ramenu i iznosi 43° , mjereno iz ramena u odnosu na osu koja je normalna na podlogu. Ugao podlaktice je 40° sa centrom u laktu te u odnosu na nadlakticu, te uglom šake sa centrom u zglobu koji je zakrenut prema unutrašnjosti ruke i iznosi $\pm 6^\circ$ u zavisnosti da li se posmatra desna ili lijeva ruka.



Navedeni položaji su početni radni položaji. Krajnji položaji segmentalnih dijelova tijela subjekta ostaju nepromjenjeni izuzev gornjih ekstremiteta koji zauzimaju sljedeće pozicije u prostoru.



Ugao ramena u krajnjem položaju je $43,6^\circ$, u odnosu na osu koja je paralelna sa podlogom i prolazi kroz rame. Nadlaktica zauzima ugao od $43,14^\circ$ u odnosu na osu koja je okomita na podlogu i prolazi kroz rame, dok podlaktica zauzima ugao od 40° u odnosu na nadlakticu.

4. RULA ANALIZA

S ovim smo jasno definisali oba radna položaja, početni i krajnji. Sada možemo pristupiti procjeni teškoće posla i određivanju potrebne energije za datu aktivnost. Jedan od načina analize opterećenja radnog mjesta je RULA analiza. RULA (Rapid Upper Limb Assessment) analiza ili brza analiza opterećenosti radnog mjesta, je razvijena na Notimgenskom Univerzitetu na institutu za Ergonomiju. Prema Lynn McAtamney i E. Nigel Corlett, RULA analiza je: *Metod za procjenu i istraživanje posljedica rada, povezanih sa poremećajima na gornjem dijelu tijela*. Prvi put je opisana 1993 u žurnalu *Primjenjena Ergonomija* 1, a upotpunjena je i objavljena kako metoda za procjenu i istraživanje u *Primjenjenoj Ergonomiji* 91-99.

Primjer radnog lista RULA analize je:

RULA Employee Assessment Worksheet

Complete this worksheet following the step-by-step procedure below. Keep a copy in the employee's personnel folder for future reference.

A. Arm & Wrist Analysis

Step 1: Locate Upper Arm Position
 Illustration A is used to determine the position of the upper arm. The upper arm is located by the shoulder and the elbow. The angle between the upper arm and the vertical is the upper arm score.
 Step 1a: Adjust...
 If the upper arm is raised above the horizontal, add +1.
 If the upper arm is raised below the horizontal, subtract -1.
 Final Upper Arm Score:

Step 2: Locate Lower Arm Position
 Illustration B is used to determine the position of the lower arm. The lower arm is located by the elbow and the wrist. The angle between the lower arm and the vertical is the lower arm score.
 Step 2a: Adjust...
 If the lower arm is raised above the horizontal, add +1.
 If the lower arm is raised below the horizontal, subtract -1.
 Final Lower Arm Score:

Step 3: Wrist Position
 Illustration C is used to determine the position of the wrist. The wrist is located by the hand and the forearm. The angle between the wrist and the vertical is the wrist score.
 Step 3a: Adjust...
 If the wrist is bent to the right, add +1.
 If the wrist is bent to the left, subtract -1.
 Final Wrist Score:

Step 4: Wrist Twist
 If the wrist is twisted to the right, add +1.
 If the wrist is twisted to the left, subtract -1.
 Final Twist Score:

Step 5: Look-up Posture Score in Table A
 Use the wrist scores (L2, L3, L4) to locate Posture Score in Table A.
 Final Posture Score:

Step 6: Add Muscle Use Score
 If posture is highly restricted (e.g., bent for longer than 1 minute), add +2.
 If posture is moderately restricted (e.g., bent for 10-15 minutes), add +1.
 If posture is not restricted, add 0.
 Final Muscle Use Score:

Step 7: Add Force/Load Score
 If the force/load is greater than 10 kg, add +1.
 If the force/load is between 5 kg and 10 kg, add 0.
 If the force/load is less than 5 kg, subtract -1.
 Final Force/Load Score:

Step 8: Find Row in Table C
 Transcribed scores from the preceding analysis used to find the row in Table C.
 Final Row Score:

SCORES

Table A

Wrist	Twist	Posture	Muscle Use	Force/Load
1	1	1	1	1
1	1	2	1	1
1	1	3	1	1
1	1	4	1	1
1	1	5	1	1
1	2	1	1	1
1	2	2	1	1
1	2	3	1	1
1	2	4	1	1
1	2	5	1	1
1	3	1	1	1
1	3	2	1	1
1	3	3	1	1
1	3	4	1	1
1	3	5	1	1
1	4	1	1	1
1	4	2	1	1
1	4	3	1	1
1	4	4	1	1
1	4	5	1	1
2	1	1	1	1
2	1	2	1	1
2	1	3	1	1
2	1	4	1	1
2	1	5	1	1
2	2	1	1	1
2	2	2	1	1
2	2	3	1	1
2	2	4	1	1
2	2	5	1	1
2	3	1	1	1
2	3	2	1	1
2	3	3	1	1
2	3	4	1	1
2	3	5	1	1
2	4	1	1	1
2	4	2	1	1
2	4	3	1	1
2	4	4	1	1
2	4	5	1	1
3	1	1	1	1
3	1	2	1	1
3	1	3	1	1
3	1	4	1	1
3	1	5	1	1
3	2	1	1	1
3	2	2	1	1
3	2	3	1	1
3	2	4	1	1
3	2	5	1	1
3	3	1	1	1
3	3	2	1	1
3	3	3	1	1
3	3	4	1	1
3	3	5	1	1
3	4	1	1	1
3	4	2	1	1
3	4	3	1	1
3	4	4	1	1
3	4	5	1	1
4	1	1	1	1
4	1	2	1	1
4	1	3	1	1
4	1	4	1	1
4	1	5	1	1
4	2	1	1	1
4	2	2	1	1
4	2	3	1	1
4	2	4	1	1
4	2	5	1	1
4	3	1	1	1
4	3	2	1	1
4	3	3	1	1
4	3	4	1	1
4	3	5	1	1
4	4	1	1	1
4	4	2	1	1
4	4	3	1	1
4	4	4	1	1
4	4	5	1	1

Table B

Neck	Trunk	Legs
1	1	1
1	1	2
1	1	3
1	1	4
1	1	5
1	2	1
1	2	2
1	2	3
1	2	4
1	2	5
1	3	1
1	3	2
1	3	3
1	3	4
1	3	5
1	4	1
1	4	2
1	4	3
1	4	4
1	4	5
2	1	1
2	1	2
2	1	3
2	1	4
2	1	5
2	2	1
2	2	2
2	2	3
2	2	4
2	2	5
2	3	1
2	3	2
2	3	3
2	3	4
2	3	5
2	4	1
2	4	2
2	4	3
2	4	4
2	4	5
3	1	1
3	1	2
3	1	3
3	1	4
3	1	5
3	2	1
3	2	2
3	2	3
3	2	4
3	2	5
3	3	1
3	3	2
3	3	3
3	3	4
3	3	5
3	4	1
3	4	2
3	4	3
3	4	4
3	4	5

Table C

Posture	Muscle Use	Force/Load	Row
1	1	1	1
1	1	2	2
1	1	3	3
1	1	4	4
1	1	5	5
1	2	1	6
1	2	2	7
1	2	3	8
1	2	4	9
1	2	5	10
1	3	1	11
1	3	2	12
1	3	3	13
1	3	4	14
1	3	5	15
1	4	1	16
1	4	2	17
1	4	3	18
1	4	4	19
1	4	5	20
2	1	1	21
2	1	2	22
2	1	3	23
2	1	4	24
2	1	5	25
2	2	1	26
2	2	2	27
2	2	3	28
2	2	4	29
2	2	5	30
2	3	1	31
2	3	2	32
2	3	3	33
2	3	4	34
2	3	5	35
2	4	1	36
2	4	2	37
2	4	3	38
2	4	4	39
2	4	5	40
3	1	1	41
3	1	2	42
3	1	3	43
3	1	4	44
3	1	5	45
3	2	1	46
3	2	2	47
3	2	3	48
3	2	4	49
3	2	5	50
3	3	1	51
3	3	2	52
3	3	3	53
3	3	4	54
3	3	5	55
3	4	1	56
3	4	2	57
3	4	3	58
3	4	4	59
3	4	5	60

B. Neck, Trunk & Leg Analysis

Step 9: Locate Neck Position
 Illustration D is used to determine the position of the neck. The neck is located by the head and the shoulder. The angle between the neck and the vertical is the neck score.
 Step 9a: Adjust...
 If the neck is bent to the right, add +1.
 If the neck is bent to the left, subtract -1.
 Final Neck Score:

Step 10: Locate Trunk Position
 Illustration E is used to determine the position of the trunk. The trunk is located by the torso and the hips. The angle between the trunk and the vertical is the trunk score.
 Step 10a: Adjust...
 If the trunk is bent to the right, add +1.
 If the trunk is bent to the left, subtract -1.
 Final Trunk Score:

Step 11: Legs
 Illustration F is used to determine the position of the legs. The legs are located by the knees and the feet. The angle between the legs and the vertical is the legs score.
 Step 11a: Adjust...
 If the legs are bent to the right, add +1.
 If the legs are bent to the left, subtract -1.
 Final Legs Score:

Step 12: Look-up Posture Score in Table B
 Use the neck scores (N2, N3, N4) to locate Posture Score in Table B.
 Final Posture Score:

Step 13: Add Muscle Use Score
 If posture is highly restricted (e.g., bent for longer than 1 minute), add +2.
 If posture is moderately restricted (e.g., bent for 10-15 minutes), add +1.
 If posture is not restricted, add 0.
 Final Muscle Use Score:

Step 14: Add Force/Load Score
 If the force/load is greater than 10 kg, add +1.
 If the force/load is between 5 kg and 10 kg, add 0.
 If the force/load is less than 5 kg, subtract -1.
 Final Force/Load Score:

Step 15: Find Column in Table C
 Transcribed scores from the preceding analysis used to find the column in Table C.
 Final Column Score:

Final Score

Subject: _____ Department: _____ Date: ____/____/____

Company: _____ Scorer: _____

FINAL SCORE: 1 or 2 = Acceptable; 3 or 4 investigate further; 5 or 6 investigate further and change soon; 7 investigate and change immediately

© Professor Alan Hedge, Cornell University, June, 2000

Konačan rezultat RULA analize na datom subjektu u zadanom položaju je 3, što znači da je poželjno istraživati i unaprijediti trenutni položaj tijela prilikom obavljanja naznačene aktivnosti. Položaj nadlaktice, podlaktice i šake je određen uglovima, prema RULA anlizi svakom uglu je pridružen određeni koeficijent, tako npr.

Položaj nadlaktice za ugao od +20 do +45 pridružuje se koeficijent 2.

Položaj podlaktice je određen uglom od 0-60 pa mu se pridružuje koeficijent 2, pošto se desna ruka kreće i horizontalno vrijdnost ovog koeficijenta (2) se uvećava za +1, tako da koeficijent za položaj podlaktice iznosi 3.

Položaj šake je određen sa uglovima u rasponu od 0-15, pa je koeficijent za šaku 3.

Na osnovu tabele A ukupni koeficijent za gornji ekstremitet je 4.

Položaj kičmenog stuba je oreden uglovima 10-20 tako da je koeficijent 2.

Položaj tijela zauzima ugao od 0-20 pa je koeficijent 2.

Noge i stopala su u ravnoteži pa je koeficijent 1, tako da je ukupni koeficijent za položaj tijela i nogu prema tabeli B iznosi 2.

Na osnovu rezultata dobijenih iz tabele A i B (4 i 2 respektivno) dobije se procjena opterećenosti radnog mjesta iz tabele C, i ona iznosi 3.

5. BIOMEHANIČKA ANALIZA

Prikaz radnog položaja tijela 1.

Za analizu položaja tijela 1 koristimo dva stanja, kada je tijelo neopterećeno i kada je opterećeno. Početni položaj u ne opterećenom stanju je:



Analiza	Value
L4-L5 Moment (Nxm)	23
L4-L5 Pritisak (N)	753
Ground Reaction (N)	
Total (X)	0
Total (Y)	0
Total (Z)	687
Lijevo Stopalo (X)	0
Lijevo Stopalo (Y)	0
Lijevo Stopalo (Z)	343
Desno Stopalo (X)	0
Desno Stopalo (Y)	0
Desno Stopalo (Z)	343

Pod opterećenim stanje smatramo kada subjekat vrši radnju držanja posuda te pranja istog. Težina tanjira od porcelana je 0.4 kg. Tabela prikaz opterećenja kičmenog stuba na mjestu L4/L5, sile i momenti pojedinih segmenata ljudskog tijela za početni položaj u opterećenom stanju su:

Deteljna analiza sila, momenata, reakcija podloge, kao i težišta pojedinih segmenata data je u tabelama koje slijede:

Kičmena ograničenja	
Sile	Vrijednost [N]
Pritisak	793
Napon na smicanje	12 Straznji

Analiza	
Analysis	Value
L4-L5 Moment (Nxm)	26
L4-L5 Pritisak (N)	793
Ground Reaction (N)	
Total (X)	0
Total (Y)	0
Total (Z)	691
Lijevo Stopalo (X)	0
Lijevo Stopalo (Y)	0
Lijevo Stopalo (Z)	345
Desno Stopalo (X)	0
Desno Stopalo (Y)	0
Desno Stopalo (Z)	345

Joint Moment Strength Data Tab						
Joint	DOF	Moment (Nxm)	% Pop.Not Capable	Mean (Nxm)	S.D (Nxm)	Reference
Desni Lakat	Flexion-Extension	2 Flexion	0	32	8	Askew, An, Morrey and Chao (1987)
	Supination-pronation	0	0	4	1	Askew, An, Morrey and Chao (1987)
Lijevo Lakat	Flexion-Extension	2 Flexion	0	32	8	Askew, An, Morrey and Chao (1987)
	Supination-pronation	0	0	4	1	Askew, An, Morrey and Chao (1987)
Desno Rame	Flexion-Extension	6 Flexion	0	32	6	Koski and McGill (1994)
	Abduction-Adduction	3 Abduction	0	31	11	Lannersten, Harms-Ringdahl, Schuldt and Ekholm (1993)
	Internal-external rotation	1 Ext. Rotation	DNA	DNA	DNA	DNA
	Flexion-Extension	6 Flexion	0	32	6	Koski and McGill (1994)
Lijevo Rame	Abduction-Adduction	3 Abduction	0	31	11	Lannersten, Harms-Ringdahl, Schuldt and Ekholm (1993)
	Internal-external rotation	1 Ext. Rotation	DNA	DNA	DNA	DNA
	Flexion-Extension	26 Flexion	0	299	65	Troup and Chapman (1969)
	Desno-Lijevo lateral bend	1 Lijevo Lateral Bend	0	75	25	Gomez, P.T., Beach, G., Cooke, C., Hrudey, W., and Goyert, P (1991)
Lumbar (L4-L5) twist	Desno-Lijevo lateral bend	0	1.7	34	16	Gomez, P.T., Beach, G., Cooke, C., Hrudey, W., and Goyert, P (1991)

Rezultantne Sile Data Tab				
Segment	Proximal Force (N)	Distal Force (N)	Proximal Moment (Nxm)	Distal Moment (Nxm)
Desno Stopalo				
X	0	0	0	0
Y	0	0	5	0
Z	-337	0	0	0
Desna Noga				
X	0	0	0	0
Y	0	0	5	-5
Z	-305	337	0	0
Desno Bedro				
X	0	0	0	0
Y	0	0	-15	-5
Z	-227	305	0	0
Lijevo Stopalo				
X	0	0	0	0
Y	0	0	5	0
Z	-337	0	0	0
Lijeva Noga				
X	0	0	0	0
Y	0	0	5	-5
Z	-305	337	0	0
Lijevo Bedro				
X	0	0	0	0
Y	0	0	-15	-5
Z	-227	305	0	0
Desna Saka				
X	0	0	0	0
Y	0	0	0	0
Z	5	0	0	0
Desno Podlaktica				
X	0	0	1	0
Y	0	0	3	0
Z	16	-5	0	0
Desna Ruka				
X	0	0	-1	-1
Y	0	0	7	-3
Z	37	-16	0	0
Lijeva Saka				
X	0	0	0	0
Y	0	0	0	0
Z	5	0	0	0
Lijevo Podlaktica				
X	0	0	-1	0
Y	0	0	3	0
Z	16	-5	0	0
Lijeva Ruka				
X	0	0	0	1
Y	0	0	7	-3
Z	37	-16	0	0
Glava-Vrat				
X	0	0	0	0
Y	0	0	3	0
Z	54	0	0	0
Karlica				
X	0	0	-1	1
Y	0	0	30	-26
Z	452	-351	0	0
Trup				
X	0	0	-1	1
Y	0	0	26	-18
Z	351	-127	0	0

Pozicije SegmenataTab							
Segment	Proximal Coordinates (mm)	Distal Coordinates (mm)	XY plane angle (deg)	YZ plane angle (deg)	Center of gravity coordinates (mm)	Length (mm)	
Desno Stopalo	(71.046 , -81.190 , -795.990)	(185.769 , -81.190 , -830.065)	-16.5	-90	(128.407 , -81.190 , -813.027)	119.677	
Desna Noga	(71.046 , -81.190 , -402.921)	(71.046 , -81.190 , -795.990)	-90	-90	(71.046 , -81.190 , -573.120)	393.069	
Desno Bedro	(0.000 , -81.190 , 0.000)	(71.046 , -81.190 , -402.921)	-80	-90	(30.763 , -81.190 , -174.465)	409.137	
Lijevo Stopalo	(71.046 , 81.190 , -795.990)	(185.769 , 81.190 , -830.065)	-16.5	-90	(128.407 , 81.190 , -813.027)	119.677	
Lijeva Noga	(71.046 , 81.190 , -402.921)	(71.046 , 81.190 , -795.990)	-90	-90	(71.046 , 81.190 , -573.120)	393.069	
Lijevo Bedro	(0.000 , 81.190 , 0.000)	(71.046 , 81.190 , -402.921)	-80	-90	(30.763 , 81.190 , -174.465)	409.137	
Desna Saka	(450.160 , -130.335 , 213.230)	(522.265 , -130.092 , 163.220)	-34.7	-90.3	(486.645 , -130.212 , 187.925)	87.752	
Desno Podlaktica	(214.787 , -182.239 , 277.389)	(450.160 , -130.335 , 213.230)	-15.2	-129	(315.997 , -159.920 , 249.801)	249.421	
Desna Ruka	(36.224 , -130.298 , 477.184)	(214.787 , -182.239 , 277.389)	-48.2	-75.4	(114.077 , -152.944 , 390.073)	272.947	
Lijeva Saka	(460.360 , 71.095 , 212.248)	(531.421 , 59.316 , 162.129)	-35.2	-76.8	(496.317 , 65.135 , 186.888)	87.752	
Lijevo Podlaktica	(235.013 , 156.416 , 276.668)	(460.360 , 71.095 , 212.248)	-16	-37.1	(331.912 , 119.728 , 248.967)	249.421	
Lijeva Ruka	(51.372 , 131.343 , 477.036)	(235.013 , 156.416 , 276.668)	-47.5	-97.1	(131.440 , 142.275 , 389.676)	272.947	
Glava-Vrat	(42.070 , 0.000 , 565.830)	(103.701 , 0.000 , 679.887)	61.6	90	(103.701 , 0.000 , 679.887)	129.643	
Karlica	(0.000 , 0.000 , 10.341)	(10.341 , 0.000 , 129.268)	85.4	90	(3.723 , 0.000 , 46.536)	129.681	
Trup	(10.341 , 0.000 , 129.268)	(42.070 , 0.000 , 565.830)	85.8	90	(27.593 , 0.329 , 300.579)	437.714	

6. KRAJNJI POLOŽAJ

U opterećenom stanju prema zadanim graničnim uslovima je:

Sile i momenti koji djeluju na kompjuterski generisani subjekt su:

Analiza	Value
Analysis	
L4-L5 Moment (Nxm)	20
L4-L5 Pritisak (N)	912
Ground Reaction (N)	
Total (X)	0
Total (Y)	0
Total (Z)	691
Lijevo Stopalo (X)	0
Lijevo Stopalo (Y)	0
Lijevo Stopalo (Z)	345
Desno Stopalo (X)	0
Desno Stopalo (Y)	0
Desno Stopalo (Z)	345

Kicmena ogranicenja	Vrijednost
Sile	[N]
Pritisak	912
Napon na smicanje	4 Straznji



Joint Moment Strength Data Tab						
Joint	DOF	Moment (Nxm)	% Pop.Not Capable	Mean (Nxm)	S.D (Nxm)	Reference
Desni Lakat	Flexion-Extension	3 Flexion	0	32	8	Askew, An, Morrey and Chao (1987)
	Supination-pronation	0	0	4	1	Askew, An, Morrey and Chao (1987)
Lijevo Lakat	Flexion-Extension	2 Flexion	0	32	8	Askew, An, Morrey and Chao (1987)
	Supination-pronation	0	0	4	1	Askew, An, Morrey and Chao (1987)
Desno Rame	Flexion-Extension	9 Flexion	0	32	6	Koski and McGill (1994)
	Abduction-Adduction	5 Abduction	DNA	DNA	DNA	DNA
Lijevo Rame	Internal-external rotation	1 Ext. Rotation	0	15	4	Lannersten, Harms-Ringdahl, Schuldt and Ekholm (1993)
	Flexion-Extension	5 Flexion	0	32	6	Koski and McGill (1994)
Lumbar (L4-L5)	Abduction-Adduction	4 Abduction	0.6	31	11	Lannersten, Harms-Ringdahl, Schuldt and Ekholm (1993)
	Internal-external rotation	1 Ext. Rotation	DNA	DNA	DNA	DNA
Lumbar (L4-L5)	Flexion-Extension	20 Extension	0	299	65	Troup and Chapman (1969)
	Desno-Lijevo lateral bend	11 Lijevo Lateral Bend	0	75	25	Gomez, P.T., Beach, G., Cooke, C., Hrudey, W., and Goyert, P (1991)
	Desno-Lijevo twist	1 Desno Twist	1.9	34	16	Gomez, P.T., Beach, G., Cooke, C., Hrudey, W., and Goyert, P (1991)

Rezultantne Sile Data Tab						
Segment		Proximal Force (N)	Distal Force (N)	Proximal Moment (Nxm)	Distal Moment (Nxm)	
Desno Stopalo	X	0	0	0	0	
	Y	0	0	7	0	
	Z	-337	0	0	0	
Desna Noga	X	0	0	0	0	
	Y	0	0	7	-7	
	Z	-305	337	0	0	
Desno Bedro	X	0	0	0	0	
	Y	0	0	-12	-7	
	Z	-227	305	0	0	
Lijevo Stopalo	X	0	0	0	0	
	Y	0	0	7	0	
	Z	-337	0	0	0	
Lijevo Noga	X	0	0	0	0	
	Y	0	0	7	-7	
	Z	-305	337	0	0	
Lijevo Bedro	X	0	0	0	0	
	Y	0	0	-12	-7	
	Z	-227	305	0	0	
Desna Saka	X	0	0	0	0	
	Y	0	0	0	0	

Z	7	0	0	0
Desno Podlaktica				
X	0	0	-3	0
Y	0	0	2	0
Z	18	-7	0	0
Desna Ruka				
X	0	0	-9	3
Y	0	0	4	-2
Z	39	-18	0	0
Lijeva Saka				
X	0	0	0	0
Y	0	0	0	0
Z	3	0	0	0
Lijevo Podlaktica				
X	0	0	-1	0
Y	0	0	2	0
Z	14	-3	0	0
Lijeva Ruka				
X	0	0	-1	1
Y	0	0	6	-2
Z	35	-14	0	0
Glava-Vrat				
X	0	0	0	0
Y	0	0	3	0
Z	54	0	0	0
Karlica				
X	0	0	-11	11
Y	0	0	24	-20
Z	452	-351	0	0
Trup				
X	0	0	-11	11
Y	0	0	20	-13
Z	351	-127	0	0

Segment	Proximal Coordinates (mm)	Distal Coordinates (mm)	XY plane angle (deg)	YZ plane angle (deg)	Center of gravity coordinates (mm)	Length (mm)
Desno Stopalo	(71.046 , -81.190 , -795.990)	(185.769 , -81.190 , -830.065)	-16.5	-90	(128.407 , -81.190 , -813.027)	119.677
Desna Noga	(71.046 , -81.190 , -402.921)	(71.046 , -81.190 , -795.990)	-90	-90	(71.046 , -81.190 , -573.120)	393.069
Desno Bedro	(0.000 , -81.190 , 0.000)	(71.046 , -81.190 , -402.921)	-80	-90	(30.763 , -81.190 , -174.465)	409.137
Lijevo Stopalo	(71.046 , 81.190 , -795.990)	(185.769 , 81.190 , -830.065)	-16.5	-90	(128.407 , 81.190 , -813.027)	119.677
Lijeva Noga	(71.046 , 81.190 , -402.921)	(71.046 , 81.190 , -795.990)	-90	-90	(71.046 , 81.190 , -573.120)	393.069
Lijevo Bedro	(0.000 , 81.190 , 0.000)	(71.046 , 81.190 , -402.921)	-80	-90	(30.763 , 81.190 , -174.465)	409.137
Desna Saka	(257.597 , -562.037 , 361.519 , 356.406)	(297.815 , -638.244 , 385.697)	-22.4	-12.3	(277.947 , -600.598 , 393.894)	87.752
Desno Podlaktica	(116.537 , -477.184)	(257.597 , -562.037 , 402.289)	18	12.9	(177.193 , -447.742 , 376.136)	249.421
Desna Ruka	(36.224 , -130.298 , 477.184)	(116.537 , -361.519 , 356.406)	-56.4	-27.6	(71.240 , -231.110 , 424.525)	272.947
Lijeva Saka	(423.650 , -35.298 , 248.689)	(492.965 , -76.960 , 214.631)	-26.2	-39.3	(458.724 , -56.379 , 231.456)	87.752
Lijevo Podlaktica	(234.813 , 127.254 , 260.006)	(423.650 , -35.298 , 248.689)	-3.4	-4	(316.013 , 57.357 , 255.140)	249.421
Lijeva Ruka	(51.237 , 130.298 , 461.974)	(234.813 , 127.254 , 260.006)	-47.7	-89.1	(131.276 , 128.971 , 373.916)	272.947
Glava-Vrat	(42.070 , 0.000 , 565.830)	(89.546 , -3.847 , 686.994)	68.6	88.2	(89.546 , -3.847 , 686.994)	130.19
Karlica	(0.000 , 0.000 , 0.000)	(10.341 , 0.000 , 129.268)	85.4	90	(3.723 , 0.000 , 46.536)	129.681
Trup	(10.341 , 0.000 , 129.268)	(42.070 , 0.000 , 565.830)	85.8	90	(27.550 , 0.000 , 295.835)	437.714

Za krajnji položaj u neopterećenom stanju je prikazat ćemo samo osnovnu analizu sila što uključuje opterećenje pršljenova L4/L5, te reakcije podloge:

Analiza	
Analysis	Value
L4-L5 Moment (Nxm)	19
L4-L5 Pritisak (N)	840
Ground Reaction (N)	
Total (X)	0
Total (Y)	0
Total (Z)	687
Lijevo Stopalo (X)	0
Lijevo Stopalo (Y)	0
Lijevo Stopalo (Z)	343
Desno Stopalo (X)	0
Desno Stopalo (Y)	0
Desno Stopalo (Z)	343

7. ENERGIJA POTREBNA ZA OBAVLJANJE RADNOG ZADATAKA

Proračun energije subjekta, koja je potrebna za obavljanje naznačenih radnih aktivnosti je složena i zahtijeva da se posmatra iz više aspekta. Rad koji subjekat izvršava je oblik utrošene energije, pored ljudskog rada kao oblika utrošene energije tu je svakako i energija u potencijalnom i kinetičkom obliku.

Potencijalna ili gravitacijska energija je ona, koju tijelo ima kada zauzme određeni položaj. Ova energija je u funkciji mase, i visine na kojem se dato tijelo nalazi. Može se prikazati pomoću obrasca:

$$E_p = mgh$$

gdje je:

m-masa

g-gravitaciona zemljina konstanta

h-visina

Mjerna jedinica za energiju je J-Joul.

$$E \quad [Nm] = [J]$$

Smatrat ćemo da gravitacija kod potencijalne energije djeluje u težištu.

Kinetička energija je energija koju tijelo dobiva kretanjem. U funkciji je mase tijela, kao i brzine kojom se to tijelo kreće. Što je veća brzina kretanja i/ili masa, to je veća i kinetička energija tog tijela. Računa se kao u umnožak polovine mase i kvadrata brzine. Kinetička energija se može predstaviti pomoću izraza:

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Gdje je:

m- masa

v- brzina kretanja

Rad predstavlja mogućnost obavljanja posla i možemo reći, u fizikalnom značenju da je:

RAD=ENERGIJA=SILA · PUT

Mjerna jedinica je [Nm]=[J]

Navedeni oblici energije predstavljaju potrebnu energiju za obavljanje radnih aktivnosti, ali pored ovoga i samo ljudsko tijelo je potrošač energije.

Tako, količina energije koja je potrebna organizmu isključivo za njegovo funkcionisanje (disanje, razmjena materija, varenje, rad organa i drugo) naziva se BMR ("Basal Metabolic Rate"- osnovna metabolička stopa). BMR se može shvatiti tako da je to količina energije koja je potrebna čovjeku ako bi cio dan samo ležao, bez fizičke aktivnosti. Ta količina energije je strogo individualna, i zavisi od mnogih faktora. Međutim, ona se može približno izračunati pomoću formula. Postoji više načina određivanja BMR, ali mi ćemo koristiti slijedeću, Harris-Benedictovu formulu kojom se može izračunati približan BMR. Formula glasi:

za muške subjekte:

$$\text{BMR} = 66 + (13,7 \times \text{težina}) + (5 \times \text{visina}) - (6,8 \times \text{godine})$$

za ženske subjekte:

$$\text{BMR} = 65.51 + (9,563 \times \text{težina}) + (1,85 \times \text{visina}) - (4,676 \times \text{godine})$$

gdje je težina izražena u (kg), a visina u (cm).

dimenzija za na ovaj način dobijeni BMR je u [CAL/dan]

U zavisnosti od angažovanosti tokom dana ovaj BMR se povećava za 1.1,1.3 do 1.5. Da bi mogli daljnje razmatrati utrošak energije, potrebno je da se definisu osnovni pojmovi koje smo već ranije koristili, a to su kalorija i joule.

KALORIJA – predstavlja energiju koja je potrebna da se temperatura 1 kg vode povisi za 1°Celzijusa

JOUL – predstavlja energiju rada koju načini sila od 1 Njutna na putu od 1 metra

Veza između kalorije i jula je data obrascem:

$$1[\text{cal}] = 4.19[\text{J}]$$

Na osnovu gornjih tabela za radni položaj subjekta, može se uočiti da u tom položaju (radni položaj 1) zbirne sile u rukama iznose 84 N. Za ispitivani slučaj površina tanjira je 0.174 m² dok je površina sundera pomoću kojeg se obavlja proces pranja dimenzija 6x9x4 (SxDxV), tada je put koji pređe sunder prilikom pranja jednog uzeto s obje strane u prosjeku 1 metar. Prosječno vrijeme pranja jednog tanjira iznosi 66 sekundi. Kao tačku djelovanja mase tijela uzimamo težište tijela koje se nalazi na 0.956 metara mjereno od podloge, što nam koristi prilikom izračunavanja potencijalne energije. Visina položaja ruku u naznačenoj aktivnosti mjereno od poda pa do tačke djelovanja sile je 1,05 m.

Za radni položaj 1 energiju, rad tijela i ruku moramo odvojeno posmatrati.

Prema već datim relacijama za izračunavanje rada i energije, za radni položaj 1 dobijene rezultate možemo radi preglednosti prikazati tabelarno:

Dobijene vrijednosti utroška energije za pranje jednog komada posudja je 897 [J] ili 214 [cal]

Za radni položaj 2 (položaj odlaganja opranog posuđa).

Kako je u ovom položaju samo desna ruka dodatno opterećena težinom opranog komada posuđa, tada moramo odvojeno posmatrati sile, rad i energiju koje tada nastaju. Ukupna sila u desnoj ruci tada iznosi 46N, i ona prelazi put od 0.7 m. Uočeno je da se prilikom pomjeranja desne ruke i lijeva ruka pomjeri u posjeku za 0.05. izmjereno vrijeme trajanja ove aktivnosti je 10 sekundi. Tijelo pravi pokret zakretanja u desnu stranu i pri tome čini put od oko 0.2 m. Visina lijeve šake mjereno od tla je 1 metar, dok razdaljina od tla do desne ruke u krajnjem radnom položaju je 1.26m. Dobijene vrijednosti su prikazane tabelarno:

Radni položaj 1 (položaj pranja)				
	mj		ruke	tijelo
sila	[N]	F=	84	686.7
put	[m]	s=	1	0.1
vrijeme	[s]	t=	66	66
				66
brzina	[[m/s]	v=	0.0152	0.0015
masa	[kg]	m=	8.5627	70
visina	[m]	h=	1.0500	0.9560
snaga	[W]=[J/s]	P=	1.272727	1.040455
rad	[Nm]=[J]	A=	84	68.67
kin. Energija	[J]	Ek=	0.0010	0.0001
pot. Energija	[J]	Ep=	88.2	656.4852
energija J	[J]	W=	172.2010	725.1553
		W jule=	897.3563	
energija CAL	[CAL]	W cal=	214.1662	

Dobijene vrijednosti utroška energije za odlaganje opranog komada posuđa je 923 [J] ili 220 [cal]

Ukupan ciklus pranja te odlaganja jednog komada traje 76 sekundi, ako se pretpostavi da za četveročlanu porodicu, dnevno za jedan obrok u prosjeku treba 6 tanjira, 4 čase i 8 komada različitog pribora za jelo (kašika, viljuška, nož). Tada možemo aproksimirati površine i reći kako u prosjeku za jedan obrok treba oko 14 jednakih komada posuđa. To znači da pranje poslije jednog obroka traje oko 18 min.

Radni položaj 2 (položaj odlaganja posudja)					
	mj		lijeva	desna	tijelo
sila	[N]	F=	38	46	686.7
put	[m]	s=	0.05	0.7	0.2
vrijeme	[s]	t=	10	10	10
					10
brzina	[[m/s]	v=	0.0050	0.0700	0.0200
masa	[kg]	m=	3.8736	4.6891	70
visina	[m]	h=	1	1.2600	0.9560
snaga	[W]=[J/s]	P=	0.19	3.22	13.734
rad	[Nm]=[J]	A=	1.9	32.2	137.34
kin. Energija	[J]	Ek=	0.0000	0.0115	0.0140
pot. Energija	[J]	Ep=	38	57.96	656.4852
energija J	[J]	W=	39.9000	90.1715	793.8392
		W jule=	923.9107		
energija CAL	[CAL]	W cal=	220.5038		

Rad potreban za ovu aktivnost se dobije kada gornji rad (za položaj 1 i položaj 2) saberemo:

$$A_{p1} = 84 + 68.67$$

$$A_{p2} = 1.9 + 32.2 + 137.34$$

$$A = A_{p1} + A_{p2} = 324.11$$

Ovako dobijeni rad multipliciramo za broj komada posuđa koje je potrebno oprati:

$$A = 324.11 \cdot 14$$

$$A = 4537.54[J]$$

Potencijalna energija se također dobije sabiranjem potencijalnih energija za položaj 1 i 2.

$$E_{pp1} = 88.2 + 656.48$$

$$E_{pp2} = 38 + 57.96 + 656.48$$

$$E_p = E_{pp1} + E_{pp2} = 1497.13[J]$$

Ako je uvećamo za 14 (broj komada posuđa), dobijamo

$$E_p = 1497.13 \cdot 14$$

$$E_p = 20959.83[J]$$

Kinetička energija za položaj 1 i 2.

$$E_{kp1} = 0.001 + 0.0001$$

$$E_{kp2} = 0 + 0.0115 + 0.014$$

$$E_K = E_{kp1} + E_{kp2} = 0.0266[J]$$

Ako je uvećamo za 14, dobijamo

$$E_p = 0.0266 \cdot 14$$

$$E_p = 0.382[J]$$

Zahtjevi za cjelodnevnom energijom za obavljanje naznačene aktivnosti uz pretpostavku da se ona ponavlja tri puta dnevno (doručak, ručak, večera) se dobije kada ukupni rad, kinetičku i potencijalnu energiju pomnožimo sa 3 te saberemo:

$$W = 3 \cdot (A + E_p + E_K)$$

$$W = 76493.21[J] \quad \text{Ili} \quad W = 18256.14[cal]$$

Dobijena energija predstavlja dodatni trošak energije, ako se želi razmotriti mogućnost nadoknade energije, moramo uzeti u razmatranje i BMR, koji je individualan za svakog čovjeka. U našem slučaju subjekt je težak 70 kg, stojeća visina je 170 cm, tako da BMR prema već datom izrazu za ženski subjekt iznosi:

$$BMR = 885.76[kcal / dan]$$

U prilogu su date tabele za energetske vrijednosti pojedinih prehrambenih namirnica, tako da se prema utrošenoj energiji za aktivnost, koja je sabrana sa BMR-om može odrediti dnevna količina potrebne energije da bi funkcionalnost organizma bila zadovoljena.

8. ENERGETSKA VRIJEDNOST E (KALORIJE)

Donje tabele sadrže energetske podatke za voće i povrće. Nismo pristupili vlastitom odabiru namirnica za nadoknadu energije iz razloga subjektivnosti, te mogućeg preferiranje jednog vida namirnice nad drugim.

Tablica 1 - Svojstva povrća				Tablica 2 - GE glikemično-energetski pokazatelj			Tablica 3 - OGE nutritivno-energetski pokazatelj			
No	Povrće	E kcal/100g	GI (glukoza=100)	ORAC jed./100g	No	Povrće	GE GI+E	No	Povrće	OGE 100•ORAC/EG
1	Blitva kuhana	20	10	450	1	Krastavci svježi	120	1	Kelj kuhani	630
2	Brokula kuhana	28	10	830-900	2	Salata zelena	130-160	2	Špinat kuhani	520
3	Celer kuhani	18	10	60-70	3	Špinat kuhani	120-230	3	Brokula kuhana	300-320
4	Cikla kuhana	30-45	60-70	840	4	Celer kuhani	180	4	Paprika svježa	310
5	Cvjetača kuhana	23	10	380	5	Blitva kuhana	200	5	Blitva kuhana	225
6	Češnjak svježi	149	10	1940	6	Kupus kuhani	220	6	Cvjetača kuhana	165
7	Grah kuhani	33	20-42	20-460	7	Paprika svježa	200-260	7	Kupus kuhani	140
8	Grašak kuhani	48-84	48-50	370	8	Cvjetača kuhana	230	8	Češnjak svježi	130
9	Kelj kuhani	28	10	1770	9	Kelj kuhani	280	9	Luk crveni, svježi	110
10	Krastavci svježi	12	10	55-60	10	Brokula kuhana	280	10	Salata zelena	69-150
11	Krumpir kuhani	87	50-101	300	11	Luk crveni, svježi	420	11	Krastavci svježi	50
12	Kupus kuhani	22	10	300	12	Rajčica svježa	680-800	12	Cikla kuhana	40
13	Luk crveni, svježi	42	10	450	13	Mahunе kuhane	850	13	Celer kuhani	30-40
14	Mahunе kuhane	34	25	200	14	Grah kuhani	660-1390	14	Grah kuhani	20-45
15	Mrkva kuhana	35	41-60	200	15	Tikvice kuhane	1120-1500	15	Rajčica svježa	25
16	Paprika svježa	20-26	10	720	16	Češnjak svježi	1490	16	Mahunе kuhane	24
17	Rajčica svježa	18-21	38	190	17	Mrkva kuhana	1440-2100	17	Tikvice kuhane	17
18	Salata zelena	13-16	10	100-220	18	Cikla kuhana	1800-3150	18	Grašak kuhani	11
19	Špinat kuhani	12-23	10	910	19	Grašak kuhani	2300-4200	19	Mrkva kuhana	11
20	Tikvice kuhane	16-20	70-75	220	20	Krumpir kuhani	4350-8790	20	Krumpir kuhani	5

Tablica 1 - Svojstva voća				Tablica 2 - GE - glikemično-energetski pokazatelj			Tablica 3 - OGE - nutritivno-energetski pokazatelj			
No	Voće	E kcal/100g	GI (glukoza=100)	ORAC jed./100g	No	Voće	GE GI+E	No	Voće	OGE 100•ORAC/EG
1	Ananas	48	51-56	690	1	Višnje	1100	1	Kupine	147
2	Banane	89	43-74	210-220	2	Jagode	1020-1280	2	Jagode	146
3	Borovnice	57	35-55	2240-2400	3	Trešnje	1390	3	Borovnice	87-93
4	Breskve	39	28-56	170-180	4	Kupine	1380	4	Maline	74
5	Grožđe, crno	69	40-56	740	5	Breskve	1090-2180	5	Višnje	62
6	Jabuke	52	28-44	200-210	6	Maline	1660	6	Trešnje	49
7	Jagode	32	32-49	1540	7	Naranče	1460-2400	7	Šljive	45
8	Kivi	61	47-58	600-610	8	Jabuke	1460-2290	8	Naranče	39
9	Kruške	58	33-42	110	9	Nektarine	1980	9	Mandarine	33
10	Kupine	43	32	2035-2040	10	Šljive	1320-2920	10	Grožđe-crno	25
11	Maline	52	32	1220-1230	11	Kruške	1910-2440	11	Ananas	25
12	Mandarine	53	43	760	12	Borovnice	200-3140	12	Kivi	19
13	Mango	65	42-60	220	13	Mandarine	2280	13	Nektarine	9-12
14	Marelice	48	56-60	175-180	14	Marelice	2670-2880	14	Breskve	11
15	Naranče	47	31-51	750-760	15	Ananas	2450-3170	15	Jabuke	11
16	Nektarine	44	45	180-230	16	Grožđe-crno	2760-3860	16	Smokve	11
17	Smokve	74	60	490	17	Kivi	2870-3540	17	Marelice	7
18	Šljive	55	24-53	940-950	18	Mango	2730-3900	18	Mango	6
19	Trešnje	63	22	670-680	19	Smokve	4440	19	Kruške	5
20	Višnje	50	22	680				20	Banane	4

9. LITERATURA

- [1] Osnovi Ergonomije prof. dr. Fikret VELJOVIC i grupa autora.
- [2] The Encyclopedia Britanica – Eleventh Edition
- [3] <http://en.wikipedia.org/>
- [4] <http://www.oktal-pharma.hr/hr/content/display/64/>