

Pavel Opavsky

Crnogorska sportska akademija

BIOMEHANIČKA ANALIZA SLOBODNOG ZAMAHA

Uvod. Pošto je čovečji aparat za kretanje sastavljen od više segmenata, povezanih u kinetičke lance, svaka promena kretanja bilo kojeg segmenta tog sistema neizbežno utiče na kretanje svih ostalih segmenata. Zbog toga je vrlo teško vizuelno otkriti uzrok, koji je poremetio celo složeno kretanje, pa se preporučuje istraživačka tehnologija, kojom bi se mogli otkriti detalji, koji se odvijaju u delićima sekunde, pa ih ljudsko oko i ljudski um ne mogu pratiti. Za analizu svakog pokreta, pa i sportskog, konstruisani su složeni računarski programi, pomoću kojih se može pratiti promena mesta u trodimenzionalnom prostoru svake figurativne, odnosno reprezentativne tačke.

Cilj ove studije je ukazivanje na odlučujuće tehničke detalje, koji se golim okom ne mogu primetiti.

Metode. Za prikaz elementarne biomehaničke tehnologije, u laboratoriji Crnogorske sportske akademije, za Kongres CSA u Bijeloj, izrađena je sledeća studija:

- Snimljen je slobodan zamah nogom iz oblasti sportske gimnastike. Ista osoba je isti zamah izvela u dva pokušaja. Iz oba kinograma izdvojeni su samo zamasi slobodnom nogom.
- Novi kinogrami prikazani su u devet, odnosno osam pozicija.
- Određeni su centri skočnih, kolenih i zglobova kuka (figurativne tačke).
- Određene su uzdužne ose istraživanih segmenata (Sl.1 i sl. 2).
- Određena su težišta svakog segmenta (reprezentativne tačke-1).
- Određena su zajednička težišta ekstremiteta (reprezentativne tačke-2).
- Zajednička težišta prikazana su posebnim kinogramima (Sl.3 i sl. 4).
- Pomoću Razmere kinogram je preveden u prirodnu veličinu.
- Vremenski intervali su prevedeni u sekunde.
- Uglovne veličine prevedene su u radijane.
- Za reprezentativne tačke-2 izračunati su:
 - a) Pređeni put, periferna brzina i periferno ubrzanje.
 - b) Zahvaćeni ugao, uglovna brzina i uglovno ubrzanje.
- Za aktuelne centre obrtanja izračunate su:

- a) Fleksiono-ekstenzione amplitude u zglobovima kukova.
 - b) Fleksiono-ekstenzione amplitude u zglobovima kolena.
- Sve krive linije izvršene su ekstrapolacijom.

Posebnim računarskim programom izračunate su pozicije 100 figurativnih tačaka, 100 reprezentativnih tačaka, 18 ekstenziono-fleksionih amplituda u zglobovima kukova, 18 ekstenziono-fleksionih amplituda u zglobovima kolena, 68 veličina puta, periferne brzine i perifernog ubrzanja, i 68 veličina ugla, uglovne brzine i uglovnog ubrzanja. Iako su navedeni podaci samo jedan mali deo kompletne studije, dovoljni su da otkriju mehaničke uzroke poremećaja pravilne tehnike kretanja.

Rezultati istraživanja sa diskusijom. Priroda biomehaničkih istraživanja je takva, da se najmanje prostora određuje za narativni deo a protežira se faktografski deo. Isti princip korišćen je i prilikom izrade ove studije. Svi izračunati podaci prikazani su digitalno u odgovarajućim tabelama, a njihov analogni izgled predstavljen je relevantnim dijagramima.

U tabeli br 1 prikazana je ekstenziono-fleksiona promena vrednosti prvog izvoda ugla (uglovna brzina) u zglobu kuka (co) i u zglobu kolena (ge). Prvi zamah.

U dijagramu br.1 podaci sa tabele br 1. prikazani su analogno. Za zglob kuka podebljana a za zglob kolena tanka linija.

U tabeli br 2 prikazana je ekstenziono-fleksiona promena vrednosti prvog izvoda ugla (uglovna brzina) u zglobu kuka (co) i u zglobu kolena (ge). Drugi zamah.

U dijagramu br.2 podaci sa tabele br 2. prikazani su analogno. Za zglob kuka podebljana a za zglob kolena tanka linija.

U tabeli br 3 prikazan je prvi izvod puta (periferna brzina) za dve aktuelne reprezentativne tačke: Za zajedničko težište stopala i potkolenice (p-c), i za zajedničko težište stopala, potkolenice i nadkolenice (p-c-f). Prvi zamah.

U dijagramu br.3 podaci sa tabele br 3. prikazani su analogno. Za zajedničko težište stopala, potkolenice i nadkolenice (p-c-f) podebljana a za zajedničko težište stopala i potkolenice (p-c) tanka linija.

U tabeli br 4 prikazan je prvi izvod puta (periferna brzina) za dve aktuelne reprezentativne tačke: Za zajedničko težište stopala i potkolenice (p-c), i za zajedničko težište stopala, potkolenice i nadkolenice (p-c-f). Drugi zamah.

U dijagramu br.4 podaci sa tabele br 4. prikazani su analogno. Za zajedničko

težište stopala, potkolenice i nadkolenice (p-c-f) podebljana a za zajedničko težište stopala i potkolenice (p-c) tanka linija.

U tabeli br 5 prikazana je ekstenziono-fleksiona promena vrednosti drugog izvoda ugla (uglovno ubrzanje) u zglobu kuka (co) i u zglobu kolena (ge). Prvi zamah.

U dijagramu br.5 podaci sa tabele br 5. prikazani su analogno. Za zglob kuka podebljana a za zglob kolena tanka linija.

U tabeli br 6 prikazana je ekstenziono-fleksiona promena vrednosti drugog izvoda ugla (uglovno ubrzanje) u zglobu kuka (co) i u zglobu kolena (ge). Drugi zamah.

U dijagramu br.6 podaci sa tabele br 6. prikazani su analogno. Za zglob kuka podebljana a za zglob kolena tanka linija.

U tabeli br 7 prikazan je drugi izvod puta (ubrzanje) za dve aktuelne reprezentativne tačke: Za zajedničko težište stopala i potkolenice (p-c), i za zajedničko težište stopala, potkolenice i nadkolenice (p-c-f). Prvi zamah.

U dijagramu br.7 podaci sa tabele br 7. prikazani su analogno. Za zajedničko težište stopala, potkolenice i nadkolenice (p-c-f) podebljana a za zajedničko težište stopala i potkolenice (p-c) tanka linija.

U tabeli br 8 prikazan je drugi izvod puta (ubrzanje) za dve aktuelne reprezentativne tačke: Za zajedničko težište stopala i potkolenice (p-c), i za zajedničko težište stopala, potkolenice i nadkolenice (p-c-f). Drugi zamah.

U dijagramu br.8 podaci sa tabele br 8. prikazani su analogno. Za zajedničko težište stopala, potkolenice i nadkolenice (p-c-f) podebljana a za zajedničko težište stopala i potkolenice (p-c) tanka linija.

U dijagramu br. 9. izvršena je komparacija uglovnih brzina reprezentativnih tačaka prvog sa drugim zamahom.

U dijagramu br. 10. izvršena je komparacija perifernih brzina reprezentativnih tačaka prvog sa drugim zamahom.

U dijagramu br. 11. izvršena je komparacija uglovnih ubrzanja reprezentativnih tačaka prvog sa drugim zamahom.

U dijagramu br. 12. izvršena je komparacija perifernih ubrzanja reprezentativnih tačaka prvog sa drugim zamahom.

U dinamičkom delu mehanike promena mesta u prostoru se ne može definisati ni na koji drugi (naučni) način, sem određivanjem aktuelnih tačaka (masa), izračunavanjem za svaku tačku prvog i drugog izvoda puta, prvog i

drugog izvoda ugla, kao i promene uglova nagiba uzdužnih osa aktuelnih poluga u dinamičkom sistemu. Samo na osnovu navedenih podataka može da se prikaže realna dinamika sistema!

Zaključak. U biomehaničkim istraživanjima ne koriste se statističke metode, nego metode paradigme. Upoređenjem relevantnih podataka, prikazanih analognim dijagramima, između početnika i vrhunskog sportiste, može da se otkrije uzrok, odnosno greška, koja se u nastavku kretanja sve više eksponira, kretanje postaje neracionalno, što se odražava na sportskom rezultatu. Samo komparacijom navedenih dinamičkih vrednosti može se “otkriti” u kom trenutku je nastala početna greška, koja nastaje kao posledica ili nedovoljno intenzivnog, ili previše intenzivnog impulsa sile, ili zakasnelog ili preuranjenog impulsa sile, ili premalog ili prevelikog ugla nagiba aktuelne poluge-homogenog dela tela i sl. Uzroka narušavanja optimalne sportske tehnike može da bude vrlo mnogo, i oni se mogu utvrditi samo “preklapanjem” početničkih sa paradigmalnim dinamičkim veličinama.

Sažetak.

U svakoj sportskoj disciplini svako kretanje je složeno kretanje od niza pravovremeno izvršenih pokreta u toku kretanja, sa suptilno doziranim intenzitetom. Svako složeno kretanje je, makroskopski posmatrano, harmonično izvršeno, ali ako bi se ta harmonija narušila samo u jednom segmentu, odnosno ako bi se samo jedan pojedinačni pokret u složenom nizu izvršio malo ranije ili kasnije, ili slabijim, ili jačim intenzitetom, narušilo bi se i celo kretanja, i rezultat tog kretanja ne bi bio optimalan.

Analizovanje svakog složenog sportskog kretanja se vrši uglavnom u dve faze: Prvo se utvrdi individualni nivo tehničkog znanja, pa se u drugoj fazi to znanje uporedi sa tehnikom vrhunskog sportiste u toj disciplini.

Jedini suštinski pokazatelji tehnike složenog kretanja su prvi i drugi izvodi pređenog puta i zahvaćenog ugla za aktuelne figurativne i reprezentativne tačke, koji se prikazuju digitalno i analogno. Upoređenjem tih prikaza sa prikazima vrhunskog sportiste (metoda paradigme) utvrđuju se odstupanja od optimalnog slaganja niza pokreta u celokupno kretanja, čime se utvrđuje greške, pa se uklanjanjem tih grešaka uklanjaju i njihove posledice.

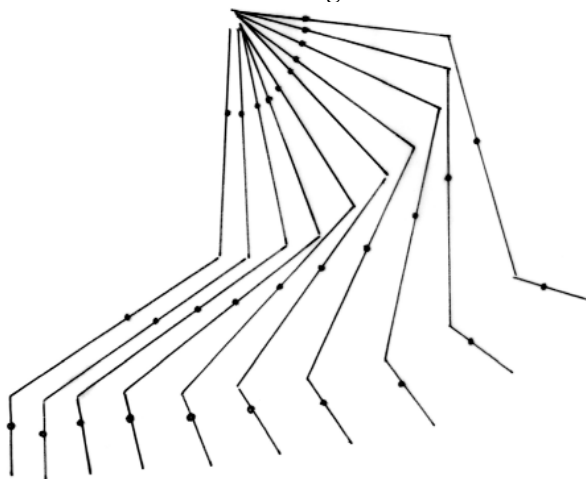
Literatura.

1. Bjelica, D. (2006.): SPORTSKI TRENING, Filozofski fakultet, Crnogorska sportska akademija, Podgorica.
2. Govaerts, A. (1962.): LA BIOMECHANIQUE-NOUVELLE METHODE D' ANALYSE DU MOUVEMENT, Presses universitaires, Bruxelles.
3. Jovović, V. (2005.): BIOMEHANIKA SPORTA, Filozofski fakultet UCG, Studentski program fizička kultura, Nikšić.

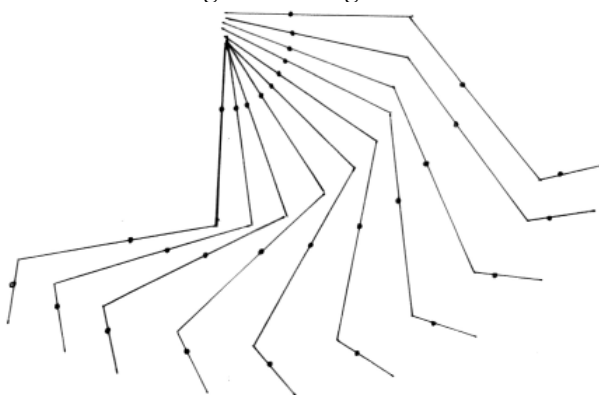
4. Opavsky, P. (1962): OSNOVI BIOMEHANIKE, Zavod za izdavanje udžbenika, Beograd.
5. Opavsky, P. (2004.): UVOD U BIOMEHANIKU SPORTA, “Naučna Knjiga”, Beograd.
6. Opavsky, P. (2000.): BIOMEHANIČKA ANALIZA TEHNIČKIHELEMENATA U FUDBALSKOM SPORTU, Beograd.
7. Tousaint, H. M., Beek, J. P. (1992.): “THE BIOMECHANICS OF COMPETITIVE FRONT CRAWL SWIMMING”, Sport medicine 13(1):8-24.
8. Zaciorski, V. M. (1981.): BIOMEHANIKA DVI GATELJNOGA APARATA ČELOVJEKA, Fiskultura i sport, Moskva.

Prilog.

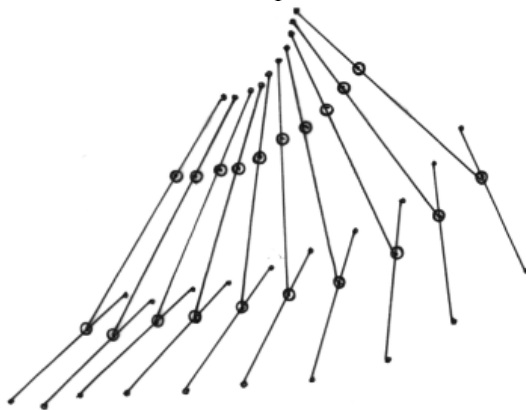
Sl. 1. Prvi zamah. Figurativne tačke.



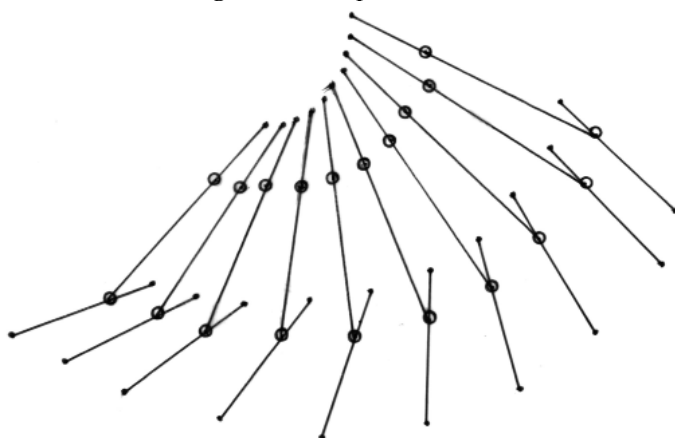
Sl. 2. Drugi zamah. Figurativne tačke.



Sl. 3. Prvi zamah. Reprezentativne tačke.



Sl. 4. Drugi zamah. Reprezentativne tačke.

Tabela 1. Uglovna brzina. Zamah prvi. $w = \text{rad/sec}$

Pozicije	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10
Zglob kuka	0.59	9.49	4.75	5.43	7.15	5.34	7.12	5.94	5.34
Zglob kolena	7.12	1.78	1.81	2.38	8.91	10.69	0.59	-2.37	-1.19

Tabela 2. Uglovna brzina. Zamah drugi. $w = \text{rad/sec}$

Pozicije	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10
Zglob kuka	5.34	5.37	6.53	5.93	6.53	5.34	5.15	5.34	9.50
Zglob kolena	0.59	1.19	-1.19	-2.96	-4.16	-6.53	-5.93	-4.15	3.56

Tabela 3. Periferna brzina. Zamah prvi. $v = m/sec$

Pozicije	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10
Zajedničko Težište noge (p-s-f)	1.16	1.39	1.62	1.86	2.09	1.86	1.62	1.39	1.16
Zajedničko Težište (p-s)	1.62	2.78	2.55	2.78	3.02	3.25	3.71	3.48	3.25

Tabela 4. Periferna brzina. Zamah drugi. $v = m/sec$

Pozicije	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10
Zajedničko Težište noge (p-s-f)	1.62	1.39	1.86	2.09	2.55	2.32	2.09	1.86	1.62
Zajedničko Težište (p-s)	2.78	3.02	4.18	4.41	4.46	4.18	3.94	4.41	3.25

Tabela 5. Uglovno ubrzanje. Zamah prvi. $fi = rad/sec^2$

Pozicije	1-3	2-4	3-5	4-6	5-7	6-8	7-9	8-10
Zglob kuka	8.90	-4.74	0.68	1.72	-1.81	1.78	-1.18	-0.6
Zglob kolena	-5.36	0	0.6	-6.53	1.78	-10.1	-1.78	-1.18

Tabela 6. Uglovno ubrzanje. Zamah drugi. $fi = rad/sec^2$

Pozicije	1-3	2-4	3-5	4-6	5-7	6-8	7-9	8-10
Zglob kuka	0	1.19	-0.6	0.6	-1.19	-0.8	0.8	4.19
Zglob kolena	0.6	0	-1.77	-1.2	-2.37	-0.6	-1.78	-0.59

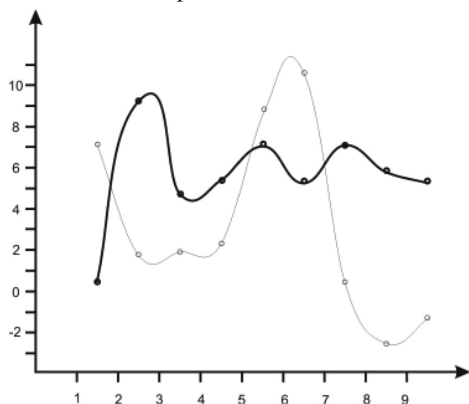
Tabela 7. Periferno ubrzanje. Zamah prvi. $a = m/sec^2$

Pozicije	1-3	2-4	3-5	4-6	5-7	6-8	7-9	8-10
Zajedničko Težište noge (p-s-f)	0.21	0.22	0.24	0.21	-0.20	-0.25	0.23	-0.22
Zajedničko Težište (p-s)	1.16	-0.23	0.23	0.25	0.23	0.46	-0.22	-0.25

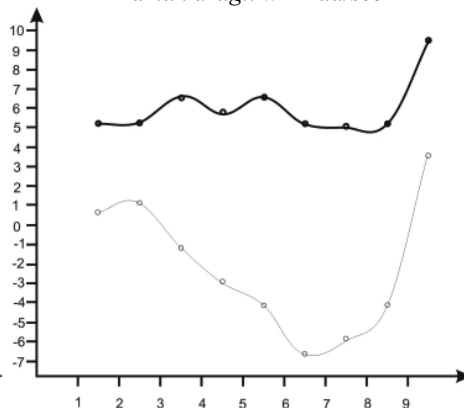
Tabela 8. Periferno ubrzanje. Zamah drugi. $a = m/sec^2$

Pozicije	1-3	2-4	3-5	4-6	5-7	6-8	7-9	8-10
Zajedničko Težište noge (p-s-f)	-0.23	0.47	0.22	0.48	-0.21	-0.24	-0.26	-0.28
Zajedničko Težište (p-s)	0.24	1.16	0.26	0.22	-0.46	-0.24	0.42	-1.16

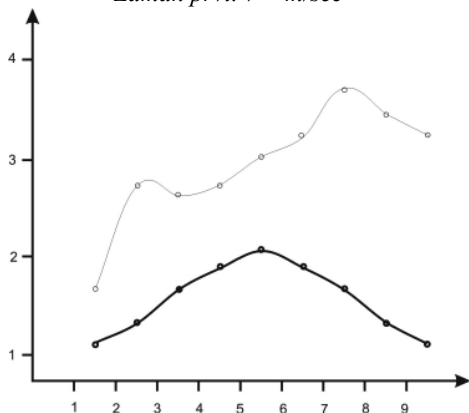
Dijagram 1. Uglovna brzina.
Zamah prvi. $w = \text{rad/sec}$



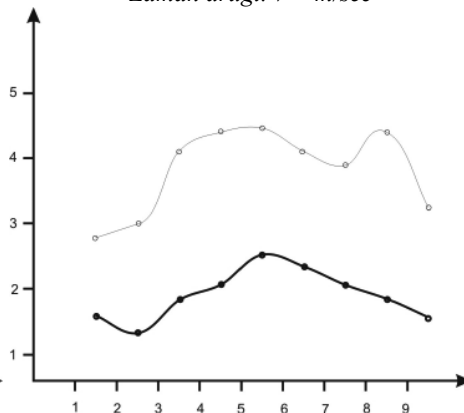
Dijagram 2. Uglovna brzina.
Zamah drugi. $w = \text{rad/sec}$



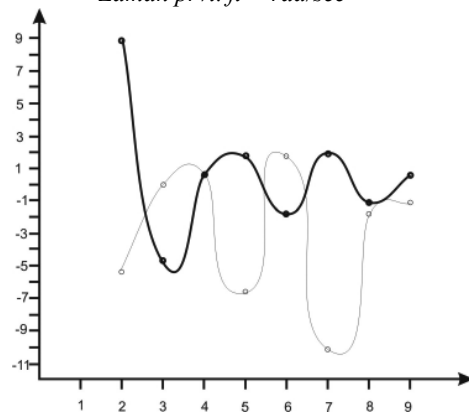
Dijagram 3. Periferna brzina.
Zamah prvi. $v = \text{m/sec}$



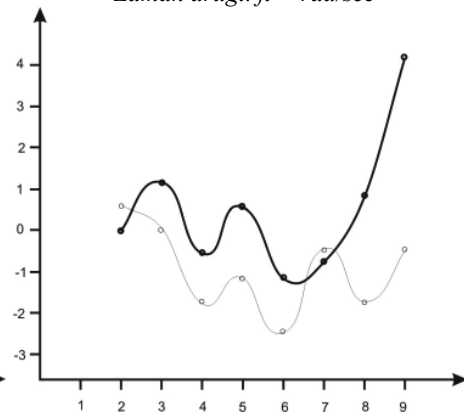
Dijagram 4. Periferna brzina.
Zamah drugi. $v = \text{m/sec}$



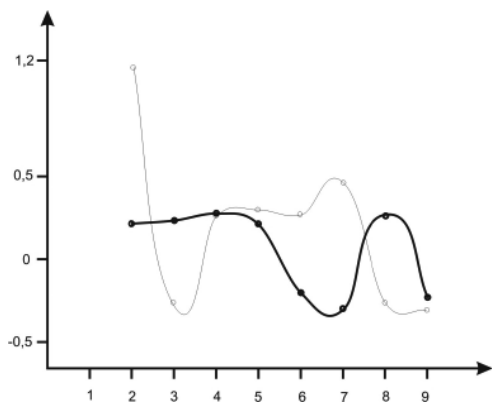
Dijagram 5. Uglovno ubrzanje.
Zamah prvi. $\dot{w} = \text{rad/sec}^2$



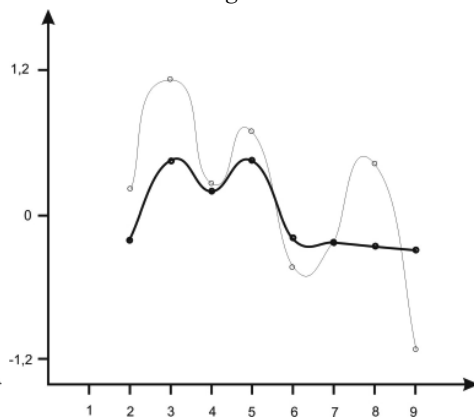
Dijagram 6. Uglovno ubrzanje.
Zamah drugi. $\dot{w} = \text{rad/sec}^2$



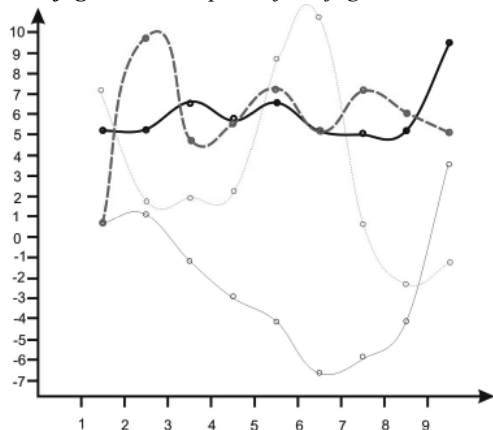
Dijagram 7. Periferno ubrzanje.
Zamah prvi. $a = m/sec^2$



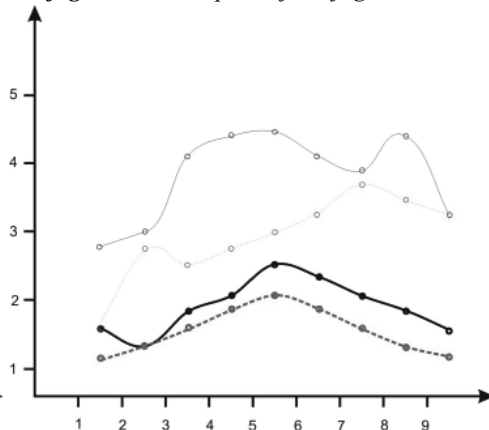
Dijagram 8. Periferno ubrzanje.
Zamah drugi. $a = m/sec^2$



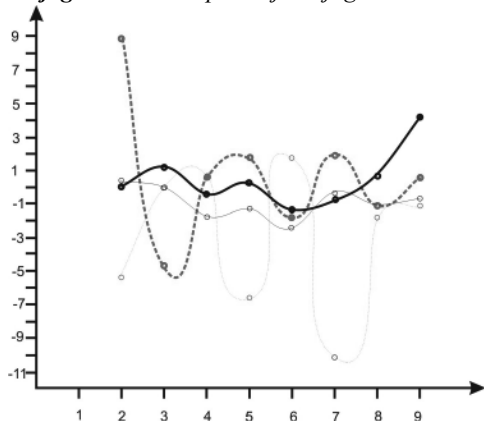
Dijagram 9. Komparacija Dijagrama 1 i 2.



Dijagram 10. Komparacija Dijagrama 3 i 4.



Dijagram 11. Komparacija Dijagrama 5 i 6.



Dijagram 12. Komparacija Dijagrama 7 i 8.

