Utjecaj protokola testa hodanja s progresivnim opterećenjem na pokretnom sagu na pokazatelje energetskih kapaciteta

Kolić, Lucija

Doctoral thesis / Disertacija

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Kinesiology / Sveučilište u Zagrebu, Kineziološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:117:421478

Rights / Prava: Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-15**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Kinesiology, University of Zagreb - KIFoREP

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

University of Zagreb

FACULTY OF KINESIOLOGY

Lucija Kolić

INFLUENCE OF RACE WALKING GRADED TEST PROTOCOL ON PARAMETERS OF ENERGY CAPACITIES

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Kineziološki fakultet

Lucija Kolić

UTJECAJ PROTOKOLA TESTA HODANJA S PROGRESIVNIM OPTEREĆENJEM NA POKRETNOM SAGU NA POKAZATELJE ENERGETSKIH KAPACITETA

DOKTORSKI RAD

Mentori:
prof.dr.sc. Vesna Babić
izv.prof.dr.sc. Davor Šentija

Zagreb, 2020.

University of Zagreb

FACULTY OF KINESIOLOGY

Lucija Kolić

INFLUENCE OF RACE WALKING GRADED TEST PROTOCOL ON PARAMETERS OF ENERGY CAPACITIES

DOCTORAL THESIS

Supervisors:

Full professor tenure Vesna Babić, PhD

Associate professor Davor Šentija, PhD

Zagreb, 2020.

INFORMACIJE O MENTORIMA

Vesna Babić (Parlov) rođena je 19.11.1964., Hrvatica, državljanka Republike Hrvatske, udana, majka dvoje djece. Osnovnu i srednju školu završila je u Zagrebu. Fakultet za fizičku kulturu upisuje 1983., diplomirala je 1988. godine radom: Prilog poznavanju relacija između intelektualnih i motoričkih sposobnosti kod žena. Na istom je fakultetu upisala poslijediplomski studij za znanstveno usavršavanje iz kineziologije. Magistarski rad pod naslovom: Mogućnosti otkrivanja za sprint nadarenih djevojčica obranila je 10.04.2001. godine. Doktorsku disertaciju pod naslovom: Utjecaj motoričkih sposobnosti i morfoloških obilježja na sprintersko trčanje obranila je 08.12.2005. godine. Od 1988. godine je trener atletike, a od 2002. učitelj skijanja s međunarodnom licencom - ISIA.

Nakon završenog Fakulteta za fizičku kulturu bila je vrhunska sportašica od 1988. do 1989. potom, kao nastavnica TZK, od 1989. do 1991. radi u srednjoj školi u Matematičkom informatičkom centru – XV. Gimnaziji, a od 1991.-1994. godine u Osnovnoj školi "A.B.Šimić" i "A. Mihanović". Od 1994. do 1996. radi u Zagrebačkom športskom savezu kao mentorica sportskih škola atletike te kao vanjska suradnica na predmetu Atletika na Fakultetu za fizičku kulturu Sveučilišta u Zagrebu. Od 1996. radi na Fakultetu za fizičku kulturu, odnosno Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu na kojem je prošla izbore u sva znanstvena i znanstveno-nastavna zvanja, od 28.09.2018. je u znanstveno-nastavnom zvanju redovite profesorice u trajnom zvanju. Na Medicinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu sudjeluje u izvedbi nastave na izbornom predmetu, studija medicine na engleskom jeziku, "Measurement and analysis of human locomotion". Prva je na Kineziološkom fakultetu i među prvima na Sveučilištu u Zagrebu implementirala E-učenje u redovitu nastavu.

Aktivno se bavila atletikom. Godine 1988. postiže hrvatski rekord u disciplini 400 m prepone. Međunarodni je atletski sudac i povjerenik HAS-a za atletska natjecanja. Međunarodni je sudac i za sportsko hodanje i nalazi se u panelu evropskih atletskih sudaca za sportsko hodanje od 2013. do 2019. Aktivna je sportska i društvena djelatnica u raznim nacionalnim i međunarodnim udrugama (Savez hrvatskih atletskih sudaca; Udruge kineziologa Grada Zagreba; Hrvatskog kineziološkog saveza; Zagrebačkom računalnom savezu i dr.). Dobitnica je mnogih nagrada i priznanja kako nacionalnih tako i međunarodnih.

Sudjelovala je na mnogim domaćim i međunarodnim znanstvenim i stručnim skupovima. Objavila je više od 100 znanstvenih i stručnih radova, 1 sveučilišnog priručnika, pet poglavlja u knjigama, sudjelovala u radu četiri nacionalna projekta i bila voditelj za HR jednog međunarodnog.

Davor Šentija rođen je 25. studenog 1960. godine u Zagrebu. Osnovnu školu pohađao je u Rimu, Italija (I. – V. razred) i Zagrebu, gdje je završio i gimnaziju. Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu upisao je 1978., a diplomirao 1985. godine. Obavezni liječnički staž odradio je u KBC „Rebro“, a u lipnju 1987. godine položio je Državni ispit.

Iste godine upisao je poslijediplomski studij „Sportska medicina“ Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, te doktorirao 2002. godine. Zaposlen je kao izvanredni profesor na Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, gdje je nositelj predmeta Funkcionalna anatomija. Od 1991. godine sudjeluje u radu te vodi Laboratorij za funkcionalnu dijagnostiku pri Dijagnostičkom centru Kineziološkog fakulteta u Zagrebu. Razvija nove mjerne sustave i dijagnostičke postupke u području fiziologije tjelesne aktivnosti i kardiopulmonalnog fitnesa. Drži nastavu na dodiplomskoj, diplomskoj i poslijediplomskoj razini pri Kineziološkom fakultetu. Od 1993. godine predaje na Nogometnoj akademiji HNS predmete Anatomija, Fiziologija sporta i Sportska medicina. Od 2004. godine predaje na izbornom predmetu 'Measurement and analysis of human locomotion', na studiju na engleskom jeziku Medicinskog fakulteta u Zagrebu, a od 2009. godine nositelj je predmeta Funkcionalna anatomija pri Kineziološkom fakultetu. Nositelj je predmeta "Modeliranje energetskih kapaciteta čovjeka" na poslijediplomskom doktorskom studiju. Sudjelovao je kao suradnik na više projekata MZOŠ, a od 2007. do 2013. godine bio je nositelj projekta „Fiziološke determinante uspješnosti u sportovima izdržljivosti“. Trenutno surađuje u projektu HRZZ „Smartphone and Tablet Extraction of Anthropometric Measurements“, voditelja prof.dr. T. Pribanića. Bio je mentor u izradi 26 diplomskih radova i 5 disertacija na Kineziološkom i Medicinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, a recenzent je u više međunarodnih časopisa za područje funkcionalne dijagnostike i anatomije. Od 2013. do 2017. godine bio je predstojnik Zavoda za kineziološku antropologiju i metodologiju Kineziološkog fakulteta. Autor je 76 znanstvenih i stručnih radova, 1 knjige i 2 poglavlja u knjizi.

Zahvala

Ovaj doktorat dar je mojoj obitelji, posebno majci Mirjani i sestrama Mihaeli, Danijeli, Maji, Mariji i Zrinki. HVALA Vam što ste uvijek bile uz mene. U svim lijepim i manje lijepim trenutcima. HVALA Vam na ljubavi, strpljenju, razumijevanju i podršci koju ste mi pružale tijekom mog poslijediplomskog putovanja. Bez Vas ništa od ovoga ne bi bilo moguće!

Veliko HVALA svima koji su svojim sudjelovanjem omogućili provedbu ovog istraživanja i svima koji su svojim sugestijama doprinijeli oblikovanju ovog rada.

SAŽETAK

Uvod: Za razliku od trčanja, za sportsko hodanje ne postoji standardni ergometrijski test za procjenu energetskih kapaciteta. Za pretpostaviti je da protokoli testova s progresivnim opterećenjem koji se koriste za trčanje nisu prikladni za hodanje budući da je, zbog eksponencijalnog porasta energetske potrošnje s porastom brzine hodanja, zona visokog intenziteta (uz istu akceleraciju saga kao i za trčanje) značajno kraćeg trajanja. Stoga, za sportsko hodanje, primjena finije gradiranog protokola opterećenja može povećati rezoluciju i pouzdanost testa, te omogućiti dostizanje viših vršnih vrijednosti parametara za procjenu funkcionalnih sposobnosti. Također, za sportsko hodanje nema dostupnih podataka o dinamici kinematičkih parametara tijekom fino gradiranog testa opterećenja na pokretnom sagu.

Cilj: Osnovni je cilj ovog istraživanja utvrditi utjecaj protokola progresivnog kontinuiranog testa sportskog hodanja na pokretnom sagu: 1. s finom gradacijom opterećenja (T03), 2. sa standardnim protokolom koji se koristi za trčanje kao modalitet opterećenja (T05), na parametre za procjenu energetskih kapaciteta, te utvrditi dinamiku kretanja kinematičkih parametara u sportskom hodanju pri primjenjenim testovima opterećenja. Također se željelo provjeriti da li određeni kinematički parametri pokazuju fenomen praga pri progresivnom porastu opterećenja (promjenu u trendu) te da li postoji funkcionalna veza između detektiranih kinematičkih pragova i ventilacijskih pragova. Dodatno se željelo analizirati spolne razlike te razlike u kinematičkim parametrima lijeve i desne noge u progresivnom kontinuiranom testu hodanja na pokretnom sagu s finom gradacijom opterećenja.

Metode: Uzorak ispitanika činila su 34 atletičara hodača i studenata kineziologije koji su prošli školu sportskog hodanja (19 muškaraca i 15 žena). Svi ispitanici podvrgnuti su dvama protokolima sportskog hodanja sa progresivnim opterećenjem na pokretnom sagu. Sustav *Quark b2* (Cosmed), korišten je za kontinuirano *breath-by-breath* prikupljanje, grafički prikaz, pohranjivanje i analizu ventilacijskih, metaboličkih i ergometrijskih parametara tokom testova. Optojump Next (Microgate) sustav korišten je za mjerenje kinematičkih parametara (dužina koraka, dužina jednog ciklusa koraka, trajanje oslonačne faze, trajanje jednopotporne faze, trajanje dvopotporne faze, trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom i frekvencija koraka). Aerobni i anaerobni ventilacijski pragovi (V_{ae} i V_{an}) određeni su modificiranom V-slope metodom, a kinematički prvi i drugi prag (KP1 i KP2) subjektivnim procjenama troje nezavisnih procjenjivača na osnovu modela krivulja i uputa definiranih za ovo istraživanje. Studentov t-test korišten je za utvrđivanje razlika između testova u funkcionalnim i kinematičkim parametrima, razlika u brzini hoda između ventilacijskih i kinematičkih pragova,

te razlika kinematičkih parametara između lijeve i desne noge. Stupanj međusobnog slaganja trojice procjenjivača u procjeni kinematičkih pragova testiran je Cronbachovim koeficijentom pouzdanosti-objektivnosti a povezanost između ventilacijskih i kinematičkih pragova određena je Pearsonovim koeficijentom korelacije (r).

Rezultati: U testu dužeg trajanja (T03) u odnosu na kraći test (T05), (13.7±1.5 : 8.7±1 min), postignuti su statistički značajno viši VO_{2max} (47.1±6.2 : 45.9 ±6.0 ml/kg/min, p=0.037), maksimalna frekvencija srca (186.5±13 : 183.5±13/min, p=0.004), maksimalna minutna ventilacija (117.1±32.1 : 111.2±29.5 L/min, p=0.013), i anaerobni kapacitet (662.8±157.7 : 416.1±148.4 m, p<0.001), dok se prosječne vrijednosti frekvencije srca pri anaerobnom pragu nisu razlikovale (157.8±19 : 157.2±17 o/min, p=0.786). Suprotno tome, veća brzina saga pri anaerobnom pragu (8.69±0.77 : 9.06±0.83 km/h, p=0.008) i maksimalna brzina sportskog hoda (10.94±0.88 : 11.21±0.98 km/h, p=0.005) postignuta je u testu T05. U progresivnom testu sportskog hodanja na pokretnom sagu dolazi do promjene trenda kinematičkih parametara (dužina koraka, dužina ciklusa koraka, trajanje jednopotporne faze, trajanje dvopotporne faze, trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom, frekvencija koraka) koji se mogu koristiti za određivanje kinematičkog praga. U većine ispitanika uočljive su dvije promjene trenda kinematičkih parametara (dva praga, KP1 i KP2) u cijelom rasponu opterećenja. Za većinu promatranih kinematičkih parametara postoji dva ili više karakterističnih modela dinamike kretanja tijekom progresivnog opterećenja. Za dio ispitanika (16-44%, ovisno o kinematičkom parametru) prvi kinematički prag nije bilo moguće pouzdano i objektivno procjeniti, dok je drugi kinematički prag prisutan i objektivno procjenjiv gotovo u svih ispitanika. Brzine hoda pri kojima se javljaju navedene promjene trenda za drugi kinematički prag značajno su povezane s brzinom hoda koja odgovara drugom ventilacijskom (anaerobnom) pragu (V_{an}). Do promjene trenda kinematičkih parametara (KP2) dolazi približno 1 stupanj (20-40 sekundi) nakon pojave drugog ventilacijskog praga, od kojeg se kinematički pragovi značajno i razlikuju. Od svih kinematičkih parametara, najmanju prosječnu razliku (0.19 km/h, odnosno 19 s, p<0.05), i najveću povezanost (r=0.804) s V_{an} ima KP2 za trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom. U progresivnom kontinuiranom testu sportskog hodanja na pokretnom sagu uočena je značajna asimetrija između desne i lijeve noge u trajanju faza oslonca za ispitanike, dok u ispitanica nisu utvrđene statistički značajne razlike u kinematičkim parametarima između desne i lijeve noge.

Zaključak:. U progresivnom kontinuiranom testu sportskog hodanja na pokretnom sagu s fino gradiranim porastom intenziteta (dužeg trajanja) postižu se veće vrijednosti aerobnog i anaerobnog kapaciteta, ventilacijskih parametara i maksimalne frekvencije srca u odnosu na

test kraćeg trajanja. Tijekom progresivnog testa opterećenja na pokretnom sagu, postoji visoka povezanost između kinematičkih i ventilacijskih parametara koji određuju dva metabolička praga (aerobni i anaerobni) između susjednih zona intenziteta tjelesne aktivnosti. Za isti kinematički parametar, mogu postojati dva ili više modela prilagodbe na porast brzine hoda, što se može pripisati razlikama u morfološkoj građi, funkcionalnim i motoričkim sposobnostima.

Praktična primjena rezultata istraživanja očituje se u optimizaciji ergometrijskog testa i u mogućnosti razvoja jednostavne, ekonomične i neinvazivne metode određivanja anaerobnog praga mjerenjem kinematičkih parametara u sportskom hodanju. Dodatni praktični doprinos istraživanja su kreirane upute, i utvrđena objektivnost u procjeni kinematičkih pragova za sportsko hodanje, u progresivnom testu opterećenja na pokretnom sagu.

Ključne riječi: ventilacijski prag, kinematički prag, anaerobni prag, aerobni prag, progresivni test opterećenja, sportsko hodanje

ABSTRACT

Introduction: Unlike for running, race walking has no standard treadmill tests to assess aerobic and anaerobic fitness components. It may be assumed that graded test protocols used for running are not suitable for walking, since the high intensity zone (at the equal treadmill acceleration rate as for running), due to exponential growth of energy consumption, is of significantly shorter duration. Therefore, for race walking to apply finely graded load protocol can increase test resolution and reliability, and enable achieving higher peak values of fitness parameters. Likewise, for race walking there are no available data on dynamics of kinematic parameters during a finely graded treadmill test.

Goal: The main goal of this research was to establish the influence of a graded race walking test protocol: 1. with finely graded load (T03), 2. with a standard test protocol used for running (T05), on aerobic and anaerobic fitness parameters, and to determine the dynamics of kinematic parameters in race walking while applying incremental tests. Moreover, it was intended to explore if certain kinematic parameters show a threshold phenomenon with increasing load (change in trend), and if there is a functional relationship between detected kinematic and ventilatory thresholds. In addition, it was intended to analyse gender differences, and differences in kinematics between left and right leg, during a finely graded race walking treadmill test.

Methods: The sample consisted of 34 race walkers and kinesiology students with a completed race walking school (19 men and 15 women). All subjects completed two incremental race walking treadmill tests. *Quark* b^2 (Cosmed) metabolic cart was used for continuous *breath-by-breath* collection, storage and analysis of ventilatory, metabolic and ergometric parameters during tests. *Optojump Next* (Microgate) system has been used to measure kinematic parameters (step length, stride length, single-support phase duration, double-support phase duration, front-heel contact duration and step frequency). Aerobic and anaerobic ventilatory thresholds (V_{ae} and V_{an}) were assessed by modified V-slope method, and kinematic first and second thresholds (KP1 and KP2) by subjective assessment of three independent evaluators based on curve models and instructions defined for this research. Student's t-test was used to determine differences in functional and kinematic parameters between the tests, differences in walking speed between ventilatory and kinematic thresholds, and differences of kinematic parameters between the left and right leg. Cronbach's alpha coefficient was used to estimate the internal consistency between the evaluators, and the

relationship between the ventilatory and kinematic thresholds was determined by the Pearson correlation coefficient (r).

Results: The longer duration test (T03) compared to the shorter one (T05), (13.7±1.5 min : 8.7±1 min), showed higher VO_{2max} (47.1±6.2 : 45.9±6.0 ml/kg/min, p=0.037), maximum heart rate (183.5±13 : 186.5±13 bpm, p<0.004), maximum minute ventilation (117.1±32.1 : 111.2±29.5 L/min, p=0.013), and anaerobic capacity (662.8±157.7 : 416.1±148.4, p<0.001), while average heart rate values at anaerobic threshold did not differ (157.8±19 : 157.2±17 bpm, p=0.786). On the contrary, higher speed at the anaerobic threshold (8.69±0.77 : 9.06±0.83, p=0.008) and maximum race walking speed (10.94±0.88 : 11.21±0.98, p=0.005) were obtained in the test T05. With increasing race walking speed a change in the trend of kinematic parameters occurs (step length, stride length, single- and double-support phase duration, front-heel contact duration and step frequency) which can be used to determine a kinematic threshold. Within the whole range of walking speeds, two changes in the trends of kinematic parameters have been noticed (two thresholds, KP1 and KP2) for most subjects. The dynamics of most kinematic parameters showed two or more characteristic models with increasing speed. In some subjects (16-44%, depending on kinematic parameter) the first kinematic threshold couldn't be assessed reliably and objectively, while KP2 was present and objectively assessed among almost all respondents. The walking speed at which the stated trend changes occurred for KP2 are significantly correlated to the walking speed at the second ventilatory (anaerobic) threshold (V_{an}). The trend change for KP2 occured about 1 stage (20-40 seconds) after the appearance of the V_{an}, and the speed difference was statistically significant for all parameters (p<0.05). Out of all kinematic parameters the least average difference (0.19 km/h, i.e. 19 s, $p < 0.05$) and the strongest relationship ($r = 0.804$) to V_{an} had KP2 for duration of front-heel contact. A significant right/left leg asymmetry was noticed for the support phases among male subjects, while in women no statistically significant leg asymmetries in kinematic parameters were present.

Conclusion: In a finely graded incremental race walking treadmill test (of longer duration) higher values of aerobic and anaerobic fitness parameters, ventilatory parameters and maximum heart rate are achieved compared to a shorter test. During incremental race walking changes in dynamics of kinematic parameters are observed, that are related to ventilatory thresholds which delineate aerobic and anaerobic intensity zones of physical activity. For each kinematic parameter there could be two or more trend models with increasing walking speed, which could be assigned to differences in technical skill, morphological or fitness attributes.

The practical implementation of the study findings is evident in ergometry test optimization and the development of a simple, economical and non-invasive method to

determine the anaerobic threshold by detection of kinematic parameters in race walking. An additional practical contribution of the study are the created instructions, and the detected objectivity to estimate the kinematic thresholds for race walking in a graded treadmill test.

Key words: ventilatory threshold, kinematic threshold, anaerobic threshold, aerobic threshold, graded exercise tests, race walking

SADRŽAJ

1. UVOD U PROBLEM 1
1.1. Sportsko hodanje u svijetu 1
1.1.1. Sportsko hodanje u Hrvatskoj 2
1.1.2. Definicija sportskog hodanja 2
1.2. Energetski sustavi 4
1.2.1. Aerobni sustav 5
1.2.2. Anaerobni sustav 6
1.3. Parametri za procjenu energetskih kapaciteta 8
1.4. Kinetika primitka kisika 9
1.5. Protokoli testova za procjenu energetskih kapaciteta 12
1.6. Tranzicijska brzina između hodanja i trčanja 13
1.7. Istraživanja primjene različitih protokola u trčanju i sportskom hodanju 15
2. CILJEVI I HIPOTEZE 20
3. METODE RADA 20
3.1. Uzorak ispitanika 22
3.2. Trenažni proces 23
3.3. Mjerna oprema 24
3.4. Opis mjerenja 25
3.4.1. Opis spiroergometrijskih protokola na pokretnom sagu 26
3.5. Određivanje parametara energetskih kapaciteta 27
3.5.1. Aerobni i anaerobni prag 27
3.5.2. Anaerobni kapacitet 28
3.6. Opis mjerenja kinematičkih parametara Optojump Next sustavom 29
3.7. Uzorak varijabli 30
3.8. Opis kinematičkih parametara korištenih u ovom istraživanju 31
3.9. Metode obrade podataka 33
4. REZULTATI 34
4.1. Deskriptivna analiza 34
4.1.1. Deskriptivna analiza kinematičkih i funkcionalnih parametara u testovima T03 i T05 34
4.2. Povezanst i razlike u funkcionalnim parametrima dobivenim u testovima T03 i T05 36
4.3. Razlike u kinematičkim parametrima dobivenim u testovima T03 i T05 39
4.4. Objektivnost procjene kinematičkih pragova 40
4.4.1. Objektivnost procjene prvog kinematičkog praga u testu T03 41
4.4.2. Objektivnost procjene drugog kinematičkog praga u testu T03 42
4.5. Modeli krivulja kretanja kinematičkih parametara u testu T03 43

4.5.1. Krivulje kretanja dužine koraka (DK) 43
4.5.2. Krivulje kretanja trajanja jednopotporne faze (JF) 46
4.5.3. Krivulja kretanja trajanja dvopotporne faze (DF) 50
4.5.4. Krivulje kretanja trajanja prednjeg kontakta pete s podlogom (PKP) 51
4.5.5. Krivulje kretanja frekvencije koraka (FK) 53
4.6. Analiza povezanosti između drugog ventilacijskog (V_{an}) i kinematičkog praga (KP2) u testu T03 56
4.7. Razlike između brzina hodanja pri drugom ventilacijskom (Van) i kinematičkom (KP2) pragu u testu T03 59
4.8. Razlike između desne i lijeve noge u kinematičkim parametrima dobivenim u testovima T03 i T05 odvojeno po spolu 59
5. RASPRAVA 62
5.1. Razlike u funkcionalnim parametrima između testova T03 i T05 62
5.2. Razlike u kinematičkim parametrima između testova T03 i T05 66
5.3. Objektivnosti procjene kinematičkih pragova u testu T03 67
5.4. Modeli krivulja kretanja kinematičkih parametara u testu T03 i analiza povezanosti i razlika između drugog ventilacijskog i kinematičkog praga u testu T03 69
5.5. Razlike između desne i lijeve noge u kinematičkim parametrima u testovima T03 i T05 odvojeno po spolu 71
6. ZAKLJUČAK 73
7. LITERATURA 75
8. POPIS OZNAKA I KRATICA 84
9. PRILOG 85

1. UVOD U PROBLEM

1.1. Sportsko hodanje u svijetu

Razvoj sportskog hodanja kao natjecateljske discipline započeo je krajem 18.-og stoljeća sa pješačkim utrkama 1775. godine u Velikoj Britaniji. Često su utrke toga vremena trajale više dana jer su bile ekstremno dugačke, i do 1000 milja te su se održavale radi neke vrste oklade. Takav oblik nadmetanja trajao je do 1800. godine. Istaknuti natjecatelji sportskog hodanja tog vremena bili su Charles Westhall i Robert Barclay (Schiffer, 2008).

Kao natjecateljska disciplina sportsko hodanje prvi put se pojavilo u programu Olimpijskih igara 1904. godine kao dio višebojskog atletskog natjecanja, dekatlona za muškarce kao jedna od deset disciplina, a dužina utrke bila je pola milje. Na Olimpijskim igrama 1906. godine sportsko hodanje pojavljuje se kao samostalna disciplina na 1500 i 3000 m još uvijek samo za muškarce. Kroz godine dužina utrka sportskog hodanja u programu Olimpijskih igara se mijenjala a zadnja izmjena učinjena je na Olimpijskim igrama u Melbourneu 1956. godine gdje je muškoj cestovnoj utrci na 20 km dodana utrka na 50 km te su obje utrke i danas u programu Olimpijskih igara i Svjetskih prvenstava za muškarce.

Prva natjecanja žena u sportskom hodanju zabilježena su u Čehoslovačkoj 1932. godine. U program Svjetskog prvenstva 1987. godine uključena je utrka na 10 km za žene a ista disciplina dodana je u program Olimpijskih igara u Barceloni 1992. godine. 1999. godine na Svjetskom prvenstavu u atletici žene se prvi put počinju natjecati u disciplini 20 km te je 2000. godine utrka na 20 km uključena u atletski program na Olimpijskim igrama u Sydney-u. Prvi put na Svjetskom prvenstvu u atletici 2017. godine žene su, osim u utrci na 20 km sportsko hodanje nastupile i u utrci na 50 km.

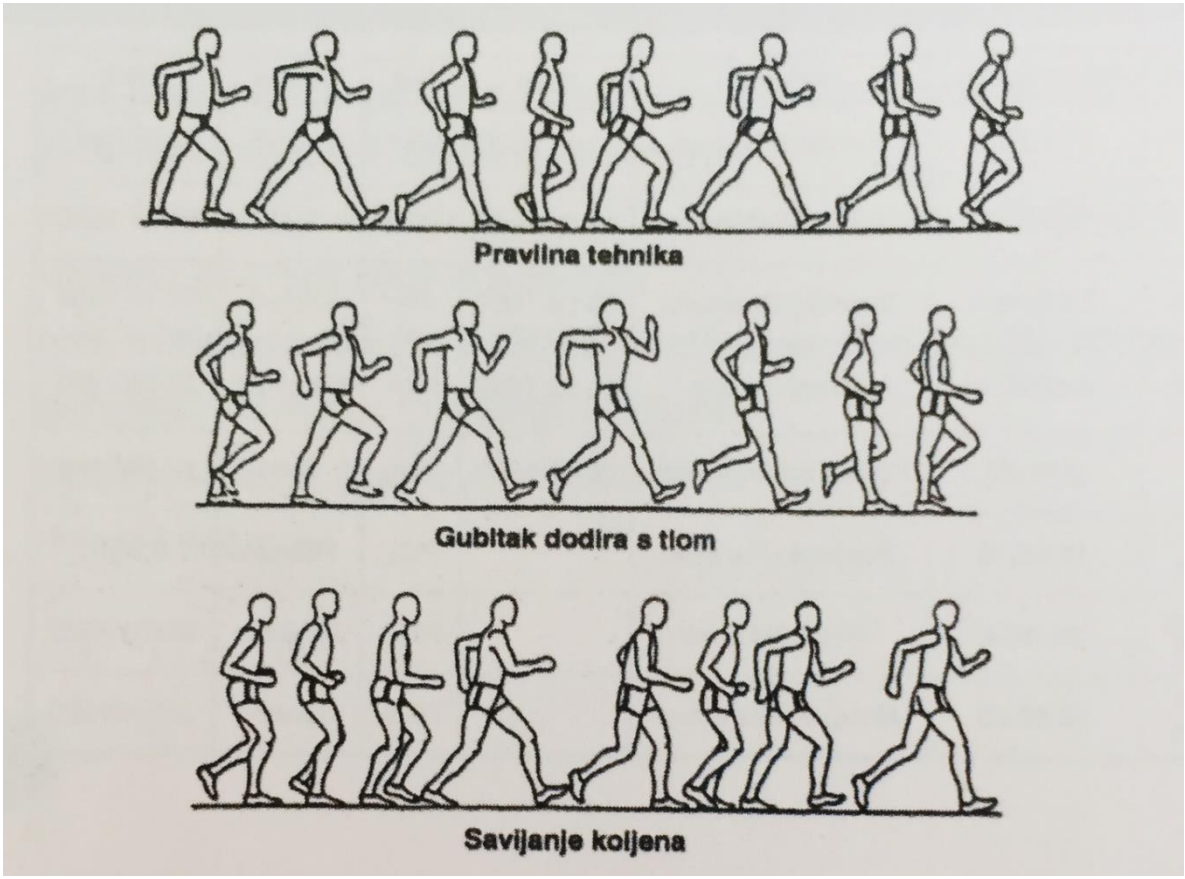
Natjecanja za mlađe dobne kategorije u disciplini sportsko hodanje održavaju se u okviru Olimpijskih igara mladih, Svjetskih juniorskih atletskih prvenstava mladih i Europskih juniorskih atletskih prvenstava. Na navedenim natjecanjima mlađe dobne kategorije natječu se u disciplini 10 km sportsko hodnje. Zemlje s najvećom hodačkom tradicijom su Rusija, Italija, Španjolska, Portugal, Ukrajina, Poljska, Češka, Slovačka, Australija, Kina, Meksiko, Kolumbija, Ekvador, Irska i Njemačka i u tim se zemljama sportsko hodanje trenira sustavno od najmlađe dobi.

1.1.1. Sportsko hodanje u Hrvatskoj

Kineziološki fakultet Sveušilišta u Zagrebu u sklopu predmeta Atletika hodanja i trčanja posvećuje znatnu pažnju razvoju i promociji ove atletske discipline u sklopu nastavne na Integriranom preddiplomskom i diplomskom sveučilišnom studiju kineziologije. Ova atletska disciplina koja je u našoj zemlji još uvijek zapostavljena i marginalizirana od strane samih atletskih trenera ali i od javnosti, javlja se 70-tih godina prošlog stoljeća. Neki od istaknutih pionira ove discipline u tada bivšoj državi bili su: Valerijan Pupovac, Milan Orešković, Radovan Ružić, Aleksandar Raković a u novije vrijeme Želimir Haubrih, Željko Konosić i Bruno Erent. U ženskoj kategoriji ova disciplina je uistinu mlada i vrijedi istaknuti Ivanu Renić i Antonelu Golobić.

1.1.2. Definicija sportskog hodanja

U engleskom jeziku naziv ove atletske sportske discipline je "race walking" što je u doslovnom prijevodu na hrvatski jezik "natjecateljsko hodanje".
U hrvatskim natjecateljskim krugovima za ovu atletsku disciplinu udomaćio se naziv “brzo hodanje” te ga većina ljudi ali i atletski treneri prihvaćaju kao službeni naziv. No brzo hodanje je zaprav normalno hodanje koje se izvodi većom brzinom kretanja. Dakle sama terminologija ove atletske discipline u hrvatskom jeziku nije jasno definirana te će se u ovom doktorskom radu koristiti termin **sportsko hodanje.** Prema tome za sportaša koji trenira ili se natječe u ovoj disciplini koristiti će se termin **atletičar hodač ili natjecatelj sportskog hodnja.**
Prema pravilu 230.1. IAAF-a definicija sportskog hodanja glasi: sportsko hodanje je napredovanje koracima kroz prostor na način da ne dođe do, oku vidljivog, gubitka kontakta stopala s podlogom. Noga koja se prva postavlja na podlogu ostvaruje prvi kontakt sa petom i od prvog kontakta mora biti potpuno opružena u koljenom zglobu sve do vertikalne pozicije u kojoj obje noge moraju biti opružene u koljenom zglobu (IAAF, 2017). Važno je naglasiti da se gubitak kontakta sa podlogom procjenjuje ljudskim okom koje nije u mogućnosti uočiti vrlo kratke gubitke kontakta s podlogom.



Slika 1.1.2.1. Prikaz pravilne tehnike sportskog hodanja i nepravilnih tehnika Sportskog hodanja (Babić, 2010).

Dvije su moguće povrede pravila natjecateljskog hodanja:

1. pojava faze leta u tehnici sportskog hodanja – jedno stopalo atletičara hodača mora uvijek biti u kontaktu sa podlogom.
2. pogrčena koljena u vertikalnoj poziciji – noga kojom se započinje korak mora biti opružena u koljenom zglobu, tj. nesavijena, od prvog kontakta pete s podlogom, do trenutka povratka noge u okomiti položaj.

Kako bi se osiguralo da se sportaši za vrijeme utrke pridržavaju navedenih pravila oko staze, na kojoj se odvija utrka, postavljeni su suci (suci na stazi) koji su obučeni za suđenje pravilne tehničke izvedbe sportskog hodanja. Pored sudaca na stazi prisutan je i glavni sudac sportskog hodanja.

Sudci na stazi opremljeni su žutim palicama na kojim je oznaka za svaku od navedenih povreda pravila. Kada sudac pokaže palicu natjecatelju to je znak da ga opominje te da treba pripazit na ukazanu grešku. Ako još jedamput učini grešku sudac na stazi će glavnom sucu poslati prijedlog

za diskvalifikciju. Prijedloge za diskvalifikaciju atletičar hodač može vidjeti i pratiti na ploči postavljenoj uz stazu, na ulasku u novi krug. Da bi bio diskvalificiran sa natjecanja pojedini atletičar hodač treba dobiti tri prijedloga za diskvalifikaciju od tri različita suca, ako se radi o državnom natjecanju. Što znači da isti sudac ne može dva puta poslati za istog natjecatelja prijedlog za diskvalifikaciju. Ako se radi o natjecanjima višeg ranga kao što su Europska prvenstva, Svjetska prvenstva i Olimpijske igre natjecatelj treba dobiti tri prijedloga za diskvalifikaciju od tri suca iz tri različite zemlje. Od 2017. godine uvedeno je još jedno dodatno pravilo natjecanja koje kaže da će glavni sudac za sportsko hodanje nakon što zaprimi tri prijedloga za diskvalifikaciju za jednog natjecatelja izdvojiti tog natjecatelja u "zona mirovanja" ili engleski "pit lane", kako bi odradio kaznu od 30 sekundi pauze za disciplinu 3 km, 60 sekundi za disciplinu 10 km itd. Nakon što njegova kazna istekne atletičar hodač može nastaviti sa utrkom. Ako tijekom daljnjeg natjecanja ponovno prekršiti pravila biti će diskvalificiran i isključen iz utrke. Glavni suca za sportsko hodanje mora isključiti iz utrke atletičar hodača koji imaja tri prijedloga za diskvalifikaciju pokazujući mu crvenu palicu. Također glavni sudac za sportsko hodanje ima pravo, ako je primjetio da se pojedini atletičar hodač namjerno krši pravila sportskog hodanja da bi stekao nedozvoljenu prednost nad direktnim suparnikom za plasman ili medalju, tog atletičara hodača automatski diskvalificirati i isključiti iz natjecanja bez obzira ima li taj atletičar hodač iti jedan prijedlog za diskvalifikaciju.

1.2. Energetski sustavi

Vrhunska izvedba i vrhunski sportski rezultati, u disciplini sportskog hodanja uvjetovani su visokom razinom tehničke izvedbe i visokom razinom motoričkih i funkcionalnih sposobnosti, jer je sportsko hodanje disciplina aerobne izdržljivosti. Aerobni metabolizam je taj koji je odgovoran za stvaranje energije pri srednjetrajnim i dugotrajnim aktivnostima niskog ili srednjeg intenziteta. Sportsko hodanje se svrstava u grupaciju sa trčanjima na duge pruge kao što su 10 km, polumaraton (21 097,5 m), maraton (42 195 m) i ultra duge pruge 50 km, 100 km itd.

Uloga energetskih sustava je pretvorba kemijske energije u, za organizam, iskoristiv oblik (adenozintrifosfat, ATP) za sve stanične funkcije. ATP je u malim količinama prisutan u stanicama. Samo 5 μmola ATP–a po gramu mišića uskladišteno je u mišićima dok je kreatinfosfat (CP), drugi fosfatni spoj bogat energijom, u stanicama prisutan sa 20-30 μmola po gramu mišića. Proces razgradnje i stvaranja ATP–a u mišićima i ostalim stanicama tijela

jako je dinamičan i brz. Odvija se konstantno u organizmu, kako u mirovanju, tako i za vrijeme određene tjelesne aktivnosti. Da bi se obnavljao ATP i na taj način održavala konstantnom njegova koncentracija u mišićnoj stanici, iskorištava se energija iz kemijskih izvora koji oslobađaju energiju bez prisustva kisika i to su tzv. anoksidacijski ili anaerobni energetski procesi, te iz kemijskih izvora koji zahtijevaju prisustvo kisika i to su tzv. oksidacijski ili aerobni energetski procesi (Guyton i Hall, 2003).

U sportsko-medicinskoj praksi značajna su dva osnovna energetska mehanizma koji osiguravaju energije za mišićni rad:

1) Aerobni sustav kod kojeg se energija za rad osigurava oksidacijskim procesima (uz prisutnost kisika).
2) Anaerobni sustav kod kojeg se korištena energija dobiva anoksidativnim procesima (bez prisutnosti kisika).

Udio i odnos pojedinih sustava kojima se oslobađa energije ovisi prvenstveno o intenzitetu i trajanju opterećenja, kao i vrsti sporta odnosno sportske discipline kojom se pojedinac bavi. Aerobni i anaerobni sustav djeluju istovremeno, no ovisno o intenzitetu aktivnosti koja se provodi, u različitim omjerima.

1.2.1. Aerobni sustav

Aerobni sustav podrazumijeva potpunu razgradnju ugljikohidrata i masti u mitohondrijima, koji se zbog potrebe za kisikom nazivaju sustav aerobne glikolize i sustav aerobne lipolize te je odgovoran za stvaranje energije pri srednjetrajnim i dugotrajnim tjelesnim aktivnostima niskog ili srednjeg intenziteta. Aerobni metabolizam sastoji od dva procesa: 1. metabolizam lipida koji podrazumijeva razgradnju masti i koji osigurava velike količine energije te je samim time iznimno bitan kod dugotrajnih tjelesnih aktivnosti kao što su trčanje dugih pruga (maraton, ultramaraton) ali i disciplina sportskog hodanja (20 km, 50 km); 2. aerobna glikoliza, koja podrazumijeva potpunu razgradnju glikogena/glukoze te se smatra najvažnijim načinom dobivanja energije u disciplinama dugih pruga. Vremenski period od 60 do 90 sekundi je potreban kako bi se dišni i srčano žilni sustavi, u uvjetima utrke, aktivirali i adaptirali do mjere da mogu osigurati dovoljno kisika da se energetski zahtjevi tijekom čitave aktivnosti pokriju najvećim dijelom iz aerobnih izvora.

Pri aerobnom stvaranju energije transportni sustav za kisik osigurava dovoljnu količinu kisika. U jednom lancu oksidativnih procesa koji čine tzv. krebsov ciklus i oksidativna fosforilacija unutar mitihondrija, od jednog mola glukoze nastaje 38 molova ATP–a (Guyton i Hall, 2003):

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 6CO_2 + 6\ H_2O + \text{Energija}$$
$$\text{Energija} + 38ADP + 38P_a \rightarrow 38ATP$$

Zalihe glikogena u mišićima i jetri dovoljne su za maksimalno 90 minuta intenzivne aerobne aktivnosti, što je dovoljno za pokrivanje prosječnog treninga sportskog hodanja. No ako se želi zadržati visoki aerobni intenzitet treninga neophodno je obnavljanje rezervi ugljikohidrata. Aerobno oslobađanje energije za rad mišića sporiji je od anaerobnog, ali je on znatno ekonomičniji. Konačni produkti aerobne razgradnje hranjivih tvari, (voda i ugljični dioksid) ne remete značajno pH vrijednost i homoestazu organizma. Bitno je napomenuti da je određena, neznatna, razina mliječne kiseline prisutna uvijek u organizmu čak i za vrijeme mirovanja, te iznosi oko 1 mmol/L a javlja se kao posljedica glikolize u eritrocitima i bubrezima koji stvaraju mliječnu kiselinu i pri prisutstvu kisika. Pri aktivnostima nižeg i srednjeg intenziteta u organizmu je prisutno maksimalno 3-5 mmol/L mliječne kiseline. Razlog tome je što manji dio mišičnih vlakana za vrijeme aerobne aktivnosti radi i u anaerobnom režimu te u tim uvjetima stvara mliječnu kiselinu koja se razgrađuje i oksidira u drugim mišićnim vlaknima. Kako se radi o maloj količini mliječne kiseline koja se stvara pri aerobnom režimu rada prisutna je ravnoteža između stvaranja i razgradnje mliječne kiseline.

1.2.2. Anaerobni sustav

Anaerobni sustav dijeli se u dvije komponente: anaerobni alaktalni (fosfogeni) sustav i anaerobno laktatni (glikolitički) sustav.

- Anaerobni alaktalni (fosfogeni) sustav

CP je drugi, uz ATP, fosfageni spoj, koji dijeljenjem na kreatin (C) i anorganski fosfat (P_a) oslobađa velike količine energije kojom omogućuje vrlo brzo obnavlja ATP bez utroška kisika. On podrazumijevaju razgradnju kreatinfosfata (CP) u mišićnim stanicama. Anaerobni – alaktalni energetski sustav naziva se još i fosfageni sustav. Alaktatni znači „bez stvaranja laktata“. Ovaj energetski sustav ima mali kapacitet, ima malu ukupnu količinu dostupne energije, ali zato ima najveći energetski tempo odnosno najveću brzinu oslobađanja energije.

$$CP \text{ -- kreatinkinaza} \rightarrow C + P_a + \text{energija (10 kcal/mol CP)}$$
$$\text{Energija} + ADP + P_a \rightarrow ATP$$

Iako su zalihe CP u mišićima nekoliko puta veće od koncentracije ATP–a, one su dostatne samo za 5–10 sekundi maksimalne mišićne aktivnosti. Nakon potpunog iscrpljenja fosfagenog kapaciteta u mišićima, potrebno je oko 2-4 minute za resintezu CP. Važnost fosfagenog sustava očituje se u sportu kod izvedbe starteva, skokova te pri svim eksplozivnim aktivnostima koje traju svega nekoliko sekundi. Fosfageni sustav najbrže je dostupni izvor ATP–a za mišićni rad. ATP i CP pohranjeni su direktno u kontraktilnom aparatu mišića. Osim toga, kreatin koji nastaje razgradnjom CP lužnatiji je od samog CP, te djeluje kao pufer i odgađa pad pH ali također odgađa porast kiselosti koja nastaje pri anaerobnoj glikolizi kod produžene aktivnosti (Guyton i Hall, 2003).
Velika prednost anaerobno-alaktatnog sustava je brzo osiguravanje velike količine energije bez stvaranja nusprodukata (laktata) koji remete homeostazu organizma. S druge strane najveći nedostatak ovog sustava su relativno male spremljene zalihe energijom bogatih fosfata zbog čega dolazi do brzog iscrpljenja ovakvog načina dobivanja energije.

- Anaerobno laktatni (glikolitički) sustav

Anaerobno laktatni sustav podrazumijeva razgradnju glikogena ili glukoze anaerobnom glikolizom do pirogrožđane kiseline uz stvaranje laktata. Sastoje se od 12 vezanih reakcija a energija za obnavljanje ATP–a oslobađa se sporije. Ovaj sustav ima manji energetski tempo, odnosno manju brzinu oslobađanja energije u usporedbi sa fosfagenim sustavom:

$$(C_6H_{12}O_6)_n \rightarrow 2C_3H_6O_3 + \text{Energija}$$
$$\text{Energija} + 3ADP + 3P_a \rightarrow 3ATP$$

Iz jednog mola glukoze, anaerobnom glikolizom resintetizira se svega 3 mola ATP–a. Anaerobna glikoliza dovodi do akumulacije mliječne kiseline i H^+ iona u mišiću, a zatim i u krvi. PH vrijednost opada, dakle dolazi do povećanja kiselosti tkiva. Razgradnja glukoze dovodi do stvaranja pirogrožđane kiseline, a nakupljanje pirogrožđane kiseline dovodi do usporavanja kemijskih reakcija. Prelazak dijela pirogrožđane kiseline u mliječnu kiselinu predstavlja jedini način da se razgradnja glikogena u tim uvjetima nastavlja još neko vrijeme. Laktati se stvaraju u mišićnim stanicama, eritrocitima i moždanim stanicama, a njihova

razgradnja odvija se u jetri (Guyton i Hall, 2003). Potrebno je svega nekoliko sekundi kako bi kemijski procesi anaerobne glikolize postigli maksimalnu brzinu, a da bi se potrošio ukupni aerobni glikolitički kapacitet potrebna je maksimalna tjelesna aktivnost u trajanju od 40 do 60 sekundi. Značaj anaerobnog glikolitičkog sustava očituje se kod aktivnosti koje traju od nekoliko sekundi do 1 do 2 minute, ali i pri intervalnim aktivnostima dužeg trajanja. Kada se potpuno iscrpe glikolitički kapaciteti potrebno je više sati za potpuni oporavak sustava i resintezu glikogena.

1.3. Parametri za procjenu energetskih kapaciteta

Mjerenje općih funkcionalnih sposobnosti sastavni je dio svih mjerenja u sportsko-medicinskim laboratorijima. Parametri koji se najčešće koriste za procjenu aerobnog kapaciteta su: maksimalni primitak kisika (VO_{2max}) te aerobni i anaerobni prag.

- Maksimalni primitak kisika

Maksimalni primitak kisika (VO_{2max}) označava količinu kisika koju organizam potroši u jednoj minuti. Izražava se u relativnim (ml/kg/min) i apsolutnim (ml/min) vrijednostima.
On ovisi o sposobnosti srčano-žilnog i dišnog sustava da dopremi atmosferski kisik do mišića i stanica te također ovisi o sposobnosti radne muskulature da iskoristi kisik u procesu oksidativne razgradnje hranjivih tvari. Vrijednost maksimalnog primitka kisika može se izraziti formulom koja glasi:

$$VO_{2max} = MVD \times \Delta O_2\ (I–E)_{max}$$

Pri čemu je MVD minutni volumen disanja korigiran faktorom, STPD (engl. Standard, Temperature, Pressure, Dry) $\Delta O_2\ (I–E)_{max}$ inspiracijsko-ekspiracijska razlika u koncentraciji kisika u krvi.

- Aerobni prag i anaerobni prag

Osim VO_{2max} kao osnovni parametri za procjenu aerobnog kapaciteta koriste se još i aerobni te anaerobni prag. Oni su tranzicijske točke koji označavaju dva metabolička praga te se pomoću njih odjeljuju tri zone intenziteta tjelesne aktivnosti (Skinner i McLellan, 1980): laganu, srednju i tešku, a njihovo određivanje ima veliki značaj u kliničkoj i sportsko-medicinskoj funkcionalnoj dijagnostici.

Prvi, aerobni prag (V_{ae}) odvaja laganu tjelesnu aktivnost, u kojoj u vremenu od 3 minute primitak kisika dostiže stabilnu vrijednost koja odgovara intenzitetu rada, od umjerene tjelesne aktivnosti, kod koje dolazi do povećanja koncentracije mliječne kiseline u radnom mišićju i krvi iznad razine mirovanja. Kod umjerenih aktivnosti intenzitet je iznad aerobnog praga, no još uvijek je prisutna ravnoteža između nakupljanja i razgradnje mliječne kiseline.

Za razliku od lagane i umjerene tjelesne aktivnosti teška tjelesna aktivnost odvija se iznad drugog anaerobnog (V_{an}) metaboličkog praga, iznad kojeg prevladava anaerobna glikoliza kao izvor energije za mišićni rad budući da primitak kisika ne može podmiriti ukupne energetske zahtjeve. Nema više ravnoteže između nakupljanja i razgradnje mliječne kiseline (Heck i sur, 1985), te nije moguće postizanje stabilnog stanja VO_2 i stabilne koncentracije mliječne kiseline u krvi.

Porastom intenziteta tjelesne aktivnosti dostiže se prag na kojem dolazi do znatnije aktivacije anaerobne glikolize u radnom mišićju kao i do porasta mliječne kiseline u krvi; prvi prag se javlja pri intenzitetu od oko 40-60% VO_{2max} i pri koncentraciji mliječne kiseline u krvi od oko 1.5-2 mmol/L, i nazivamo ga aerobni prag ili laktatni prag ili prvi ventilacijski prag. Pri većem intenzitetu rada moguće je još uvijek postići stabilno stanje VO_2 i mliječne kiseline, odnosno može se uspostaviti ravnoteža između procesa nakupljanja i razgradnje mliječne kiseline, ali samo do intenziteta koji odgovara tzv. maksimalnom laktatnom stabilnom stanju (MLSS) ili anaerobnom pragu ili drugom ventilacijskom pragu (Barstow, Casaburi i Wasserman, 1993). Anaerobni prag se dostiže pri intenzitetu oko 80–90% VO_{2max} (u sportaša aerobnih disciplina i do 95% VO_{2max}, ovisno o trenažnom ciklusu – pripremnom, prednatjecateljskom ili natjecateljskom), uz koncentraciju mliječne kiseline u krvi od oko 3–6 mmol/L (Viru, 1995).

Kod tjelesnih aktivnosti s opterećenjem iznad anaerobnog praga, nedovoljna doprema kisika u aktivno, radno mišićje uzrokuje nagli porast anaerobne glikolize i koncentracije mliječne kiseline u mišićima a potom i u krvi, što dovodi do pada pH i metaboličke acidoze koja dovodi do hiperventilacije, a ako bi se aktivnost i dalje nastavila došlo bi do inhibicije glikolize i mišićne kontrakcije te, posljedično, brzog iscrpljenja.

1.4. Kinetika primitka kisika

Kinetika primitka kisika nam ukazuje na dinamiku porasta potrošnje O_2 iz stanja mirovanja ili s nižeg na viši intenzitet aktivnosti te se označava kao indeks sveukupne integrirane sposobnosti dišnog, srčanožilnog i mišićnog sustava, i proizlazi iz složenog međudjelovanja različitih mehanizama koji reguliraju dopremu i utilizaciju O_2 u radnom mišićju. Osnovni

parametar koji se koristi za procjenu kinetike primitka kisika jest ' τ '('tau'), tj. vremenska konstanta koja odgovara vremenu potrebnom za dostizanje 63% ukupne promjene VO_2, pri tranziciji iz mirovanja (s nižeg intenziteta) na viši intenzitet tjelesne aktivnosti. Ako se usporedi stanje mirovanju i bilo koja tjelesna aktivnosti jasno je da se pri tjelesnoj aktivnosti javlja povećana potreba za kisikom u odnosu na stanje mirovanja. Logično je da prilagodba s nižeg na viši intenzitet tjelesne aktivnosti zahtijeva porast VO_2 zbog povećane potrebe za ATP-om. Doprema kisika ne limitira VO_2 kinetiku, osim pri aktivnostima maksimalnog intenziteta, s obzirom da je kinetika dopreme O_2 do radnog mišićja brža od mišićne ali i plućne VO_2 kinetike (Grassi i sur, 1998; Grassi, Hogan i Kelley., 2000; De Corta i sur., 1991). Inercija mišićnog oksidativnog metabolizma uvjetovana je brzinom aktivacije mitohondrijskih enzima i/ili intracelularnom akumulacijom kontrolnih metabolita (Timmons i sur., 1998). Te je stoga porast potrošnje O_2 (VO_2 kinetika) sporiji od trenutnog porasta energetskih zahtjeva za aktivnost koja se provodi.

Poznato je da se intenzitet aktivnosti dijeli u tri kategorije: umjereni, teški i vrlo teški. Umjereni intenzitet je pri bilo kojem opterećenju nižem od laktatnog (aerobnog, prvog ventilacijskog praga) praga. Teško opterećenje je pri aktivnosti iznad laktatnog praga, pri čemu dolazi do povećanja koncentracije mliječne kiseline u radnom mišićju i krvi. Pri teškom opterećenju akumulacija i razgradnja laktata još uvijek su u ravnoteži, te je moguće postizanje stabilnog stanja VO_2 i stabilne koncentracije mliječne kiseline u krvi (Antonutto i Di Prampero, 1995). Vrlo teška tjelesna aktivnost odvija se iznad anaerobnog praga (maksimalnog laktatnog stabilnog stanja, drugog ventilacijskog praga), u kojem prevladava anaerobna glikoliza kao izvor energije za mišićni rad i ovdje više nije moguće postizanje stabilnog stanja VO_2 i koncentracije mliječne kiseline u krvi.

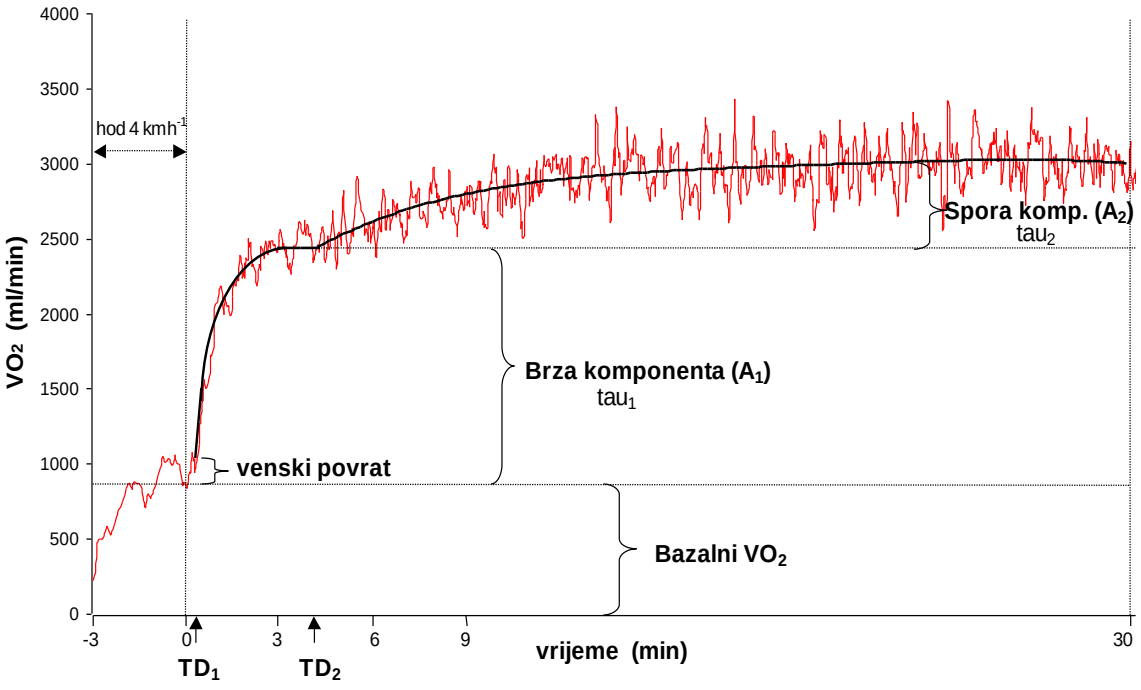
Kinetika VO_2 kod porasta iz mirovanja, ili sa nižeg na više umjereno opterećenje može se opisati pomoću tri faze:

faza I, kardiodinamska faza ili faza venskog povrata, traje oko 10-30 sekundi od početka tranzicije (Krogh i Lindhard, 1913; Gilbert, Auchincloss i Baule, 1967), a predstavlja trenutni porast plućne cirkulacije i VO_2 (unutar par otkucaja srca) zbog porasta udarnog volumena i frekvencije srca, te brzog dolaska venske krvi iz donjih ekstremiteta s nižom koncentracijom kisika (Casaburi i sur., 1987; Whipp i sur., 1982). To je period prije nego što krv iz radnog mišićja dospije do pluća.

faza II, tzv: "brza komponenta", započinje nakon 15-tak sekundi, odnosno nakon što krv iz radnog mišićja dospije do pluća. U ovoj fazi dolazi do većeg porasta staničnog disanja, a matematički je opisana kao mono-eksponencijalni porast plućnog VO_2 koji dostiže *plateau* (stabilno stanje) ukoliko se radi o umjerenom opterećenju s vremenskom konstantom (τ_1) od približno 25-35 s. Faza II započinje nakon prve faze, s 10-30 s odgode od početka tranzicije (TD_1) (Slika 1.6.1.). Amplituda faze II linearna je funkcija intenziteta rada, dok se vremenska konstanta opisuje bilo kao nepromijenjena neovisno o intenzitetu (Barstow i Mole', 1991; Barstow, Casaburi i Wasserman, 1993; Barstow, 1994), odnosno viša pri radu s teškim opterećenjem (Paterson i Whipp, 1991).

faza III započinje oko 3 minute od tranzicije na više opterećenje i predstavlja stabilno stanje u kojem su primitak kisika i energetska potrošnja izjednačeni.

Pri prijelazu iz umjerene aktivnosti ili mirovanja na teško opterećenje kinetika VO_2 u osnovi je ista kao i za umjerenu tjelesnu aktivnost, uz dodatnu komponentu (koja se javlja uz vremensku odgodu, TD_2: ~ 90-180 s) koja usporava pojavu faze III i stabilnog stanja, ukoliko do njega i dođe (Barstow i Mole', 1991; Casaburi i sur., 1987; Barstow, Casaburi i Wasserman, 1993; Barstow, 1994; Paterson i Whipp, 1991).



Slika 1.4.1. Kinetika VO_2 , A1 i A2 su brza i spora komponenta, TD1 i TD2 su odgovarajuća vremena odgode, τ1 i τ2 su odgovarajuće vremenske konstante (Šentija, 2002).

1.5. Protokoli testova za procjenu energetskih kapaciteta

Sportska znanost se u novije doba sve više razvija te je u svojim istraživanjima počela primjenjivati različite metode i protokole za dijagnostiku funkcionalnih sposobnosti. Najčešće se koriste progresivni testovi opterećenja, u kontroliranim uvjetima, uz praćenje spiroergometrijskih parametara pomoću kojih se vrlo precizno mogu vrednovati sposobnosti srčano-žilnog i dišnog sustava a koji se već dugi niz godina primjenuju i u medicinskoj praksi. U aktivnostima, u kojima je uspjeh determiniran, više ili manje, aerobnim kapacitetom uglavnom se koriste maksimalni progresivni testovi opterećenja. Pojedini se laboratoriji razlikuju po tome što koriste različite protokole testova. Izbor određenog protokola uvelike ovisi o tradiciji, tehničkoj opremljenosti laboratorija, edukaciji i stručnosti kadra, specifičnostima i potrebama ispitanika i slično. Još uvijek ne postoji standardni test za mjerenje aerobnog kapaciteta. Različiti autori preporučuju različite dužine trajanja i porast intenziteta po pojedinom stupnju opterećenja (Pollock, 1977; Froelicher i sur., 1974; Whipp i Wasserman, 1972; Balke i Ware, 1959), i zbog toga su rezultati izmjereni u različitim laboratorijima ograničeni ili nemogući za uspoređivanje.

U pogledu optimalnih karakteristika protokola, različiti autori navode kao optimalno ukupno trajanje testa od 8 do 12 minuta. Pritom su bolji tzv. 'ramp' protokoli, koji koriste manji i jednoliki porast intenziteta između pojedinih stupnjeva opterećenja kraćeg trajanja (Wasserman i sur., 1999). Test po Bruce-u (Bruce, 1956) najčešće je korišteni protokol opterećenja koji se provdi na pokretnom sagu. Standardizirala ga je i Svjetska zdravstvena organizacija (WHO) (Viacqua i Hwspranha, 1992). Svaki primijenjeni protokol opterećenja ima svoje specifičnosti, prednosti, nedostatke kao i količinu korisnih informacija koje nosi za ispitanika i trenera. Protokoli kraćeg trajanja u pogledu ukupnog trajanja testa opterećenja, štede vrijeme ali ne omogućuju postizanje stabilnog stanja i utvrđivanje stvarnih spiroergometrijskih pokazatelja na pojedinom stupnju opterećenja. Testovi sa znatno bržim porastom opterećenja i kraćim ukupnim trajanjem od preporučenog ne daju maksimalne vrijednosti VO_2, najvjerojatnije uslijed inercije kardiopulmonalnog i mišićnog sustava u dopremi i utilizaciji kisika u aerobnom metabolizmu. Protokoli dužeg trajanja omogućuju praćenje adaptacije organizma na produženi rad u aerobnim i miješanim aerobno-anaerobnim uvjetima. Međutim, s porastom brzine lokomocije, pri trčanju energetska potrošnja raste proporcionalno s porastom brzine, dok pri hodanju energetska potrošnja raste eksponencijalno s porastom brzine. U testovima dužeg trajanja, dobivene manje vrijednosti VO_{2max} objašnjene su povećanom temperaturom tijela, većom dehidracijom, bolovima ili nelagodom u mišićima,

gubitkom motivacije te različitim energetskim zahtjevima (Barros Neto, Cesar i Tambeiro, 1999).

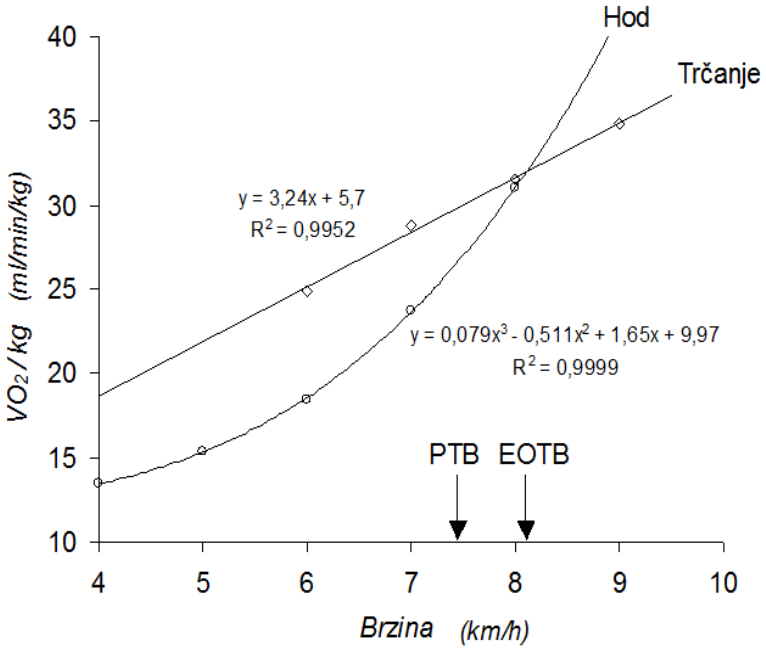
Problem koji se javlja prilikom laboratorijskog mjerenja i primjene rezultata u trenažnom programu je taj da pri kretanju na pokretnom sagu nema otpora zraka, koji na otvorenome raste približno kao kvadratna funkcija brzine kretanja. Stoga različiti autori preporučuju manje nagibe saga (1-2%) radi kompenziranja smanjenog opterećenja zbog nedostatka otpora zraka (Heck i sur., 1985; Jones i Doust, 1996; Tegtbur, Busse i Braumann, 1993). Vrijednosti fizioloških parametara (frekvencija srca, ventilacija, VO_2 itd.) pri kretanju na pokretnom sagu u tom slučaju vjerno simuliraju opterećenje pri kretanju na otvorenom. U testovima koji koriste veći ili promjenjiv nagib saga teško je ili nemoguće opterećenje pretvoriti u odgovarajuću brzinu kretanja na ravnoj stazi zbog veće energetske potrošnje (koja raste proporcionalno s porastom nagiba saga), ali i promjene kinematičkih, odnosno biomehaničkih parametara (dužina i frekvencija koraka, amplituda i kutne brzina u kuku, koljenom i gležanjskom zglobu, aktivacija specifičnih mišića i mišićnih skupina itd.).

1.6. Tranzicijska brzina između hodanja i trčanja

Kontinuirani kontakt s podlogom jedne ili obje noge možemo smatrati kriterijem koji definira hodanje kao dinamičko-motorički stereotip lokomocije. Suprotno tome, trčanje bi mogli definirati kao oblik lokomocije pri kojem postoji faza leta, kada su obje noge bez kontakta sa podlogom. Međutim, pri nižim brzinama lokomocije čovjek također može trčati (*jogging*) uz prisutnu fazu dvostrukog kontakta (Nilsson, Thorstensson i Halbertsma, 1985). Iako bi prema navedenim kriterijima takav oblik lokomocije definirali kao hodanje, prema ostalim mogućim kriterijima (kinematički, kinetički, aktivacija specifičnih mišića i mišićnih skupina, energetska potrošnja) takav prisup nije ispravan. U ovom radu istražuje se sportsko hodanje stoga su svi ispitanici morali zadovoljiti visoke kriterije kvalitetne tehnike koji su u skladu sa natjecateljskim pravilima ove discipline. Dakle težišna noga mora biti ispružena u koljenom zglobu, od prvog kontakta pete s podlogom pa sve do faze stražnjeg odraza, vertikalne pozicije, i napuštanja podloge iste te noge. Poštivanje tog pravila uvjetuje kretanje težišta tijela prema gore u prvoj polovici faze kontakta (model obrnutog njihala), za razliku od trčanja gdje se u prvoj polovici faze kontakta težište spušta (model sustava opruga-masa) (Lee i Farley, 1998). Prilagodba čovjeka na brzinu kretanja uvjetuje promjenu brojnih fizioloških i biomehaničkih parametara koji određuju energetsku potrošnju i ekonomičnost lokomocije. Hodanje je ekonomičniji oblik lokomocije pri nižim brzinama, dok je trčanje ekonomičnije pri višim

brzinama kretanja (Margaria, 1938). Ako raste brzina hodanja ili se pak smanjuje brzina trčanja, dostiže se preferirana tranzicijska brzina (PTB) pri kojoj u pojedinca dolazi do spontane promjene modaliteta kretanja.

Energetska potrošnja hoda koja je izražena potrošnjom kisika po jedinici prevaljenog puta (VO_2/metar) u čovjeka dostiže minimalnu vrijednost pri brzini od oko 4 km/h, te eksponencijalno raste bilo da se brzina smanjuje ili povećava (Šentija, 2002). Energetska potrošnja trčanja (po jedinici prevaljenog puta) naprotiv, manje više je konstantna (oko 0.2 ml O_2/kg/m) neovisno o brzini trčanja (Di Prampero, 1986; Mazzeo i Marshall, 1989). Brzina pri kojoj se križaju ove krivulje odgovara *energetski optimalnoj tranzicijskoj brzini* (EOTB) (Slika 1.6.1). Iz dosadašnjih istraživanja vidljivo je da postoje različiti faktori koji uvjetuju prijelaz s jednoga na drugi oblik lokomocije – reduciranje mehaničkog stresa na lokomotorni sustav uz redistribuciju mišićne sile s potkoljeničnih na veće i jače natkoljenične i zdjelične mišiće (Biewener i Taylor, 1986), povećanje stabilnosti pokreta i ravnoteže, biomehanički parametri (Minetti, Ardigo' i Saibene, 1994; Hreljac A. 1995; Brisswalter, Fougeron i Legros, 1996; Kram, Domingo i Ferris, 1997), neurosenzorička aktivnost (Hreljac, 1993), dužina noge, tjelesna masa i druge antropometrijske mjere (Thorstensson i Robertson, 1987; Hreljac, 1995; Heglund i Taylor, 1988; Taylor, 1985), te optimizacija energetske potrošnje (Hreljac, 1993; Mercier i sur., 1994; Hoyt i Taylor, 1981).



Slika 1.6.1. Odnos brzine lokomocije i energetske potrošnje za hod i trčanje (Šentija 2002.)

1.7. Istraživanja primjene različitih protokola u trčanju i sportskom hodanju

Pretraživanjem literature vidljivo je da su na trkačima primjenjivani različiti protokoli, kraćeg i dužeg trajanja. Nilsson (1990) je u sintezi više svojih istraživanja na uzorku od 36 studenata tjelesno-zdravstvene kulture, analizirao funkcionalne aspekte živčane kontrole pri prilagodbi ljudske lokomocije na različite brzine pri hodanju i trčanju na pokretnom sagu. Rezultati istraživanja pokazali su da sa povećanjem brzine trčanja dolazi do povećanja dužine i frekvencije koraka te je razlika u povećanju dužine i frekvencije koraka veća pri nižim brzinama kretanja. Nigg, De Boer i Fisher (1995) su na 22 ispitanika utvrđivali može li trčanje na pokretnom sagu uspješno simulirati trčanje na prirodnoj podlozi. Gibson i sur. (1999) uspoređivali su fiziološke parametre koji su dobiveni dvama različitim protokolima opterećenja na pokretnom sagu. Kuipers i sur. (2003) testirali su 8 treniranih trkača sa tri različita protokola (trajanja 1, 3, 6 minuta na pojedinom stupnju opterećenja). Pri tomu su primjenjivali tri različita pokretna saga s obzirom na njihovu veličinu i snagu, te četiri različite brzine (od 3 do 6 m/s). Pratili su kinematičke parametre desne noge i stopala. Utvrdili su da ispitanici sistematski postavljaju stopalo na pokretni sag ravnije nego kod trčanja na prirodnoj podlozi. Vučetić (2007) je u svom istraživanju na trkačima utvrđivao utjecaj protokola, tj. ukupnog trajanja testa opterećenja na pokretnom sagu na parametre za procjenu aerobnog i anaerobnog energetskog kapaciteta u trkača s dominantnim udjelom aerobnog odnosno anaerobnog metabolizma. U drugom istraživanju također na trkačima (Maršić, 2009) utvrđivana je povezanost metaboličkih i kinematičkih parametara u progresivnom testu opterećenja na pokretnom sagu. Odnosno, željela se utvrditi eventualna prisutnost kinematičkih pragova (KP) pri progresivnom testu opterećenja. U trećem istraživanju na trkačima utvrđivala se pretpostavka o postojanju temperaturnog praga koji se može koristiti u procjeni anaerobnog praga. Pratila se dinamika kretanja središnje temperature tijela pri progresivnom testu s finom gradacijom opterećenja na pokretnom sagu te su se uspoređivali pritom zabilježeni temperaturni i ventilacijski pokazatelji (Rakovac, 2011). U četvrtom istraživanju Kolić, Šentija i Babić (2012) su uspoređivali pokazatelje aerobnog energetskog kapaciteta dobivenih različitim protokolima opterećenja u trkačica.

Istraživanja sportskog hodanja koja su koristila pokretni saga sa ciljem mjerenja funkcionalnih parametara nisu brojna. Svega ih je nekoliko novijeg datuma odnosno nakon 1995. godine i promjene pravila natjecanja u sportskom hodanju. Istraživanja su uglavnom usmjerena na mjerenje osnovnih funkcionalnih parametara kao što su VO_{2max} i anerobni prag. Prema

dostupnim podacima iz literature, ne postoje istraživanja koja su pokušala staviti u vezu kinematičke i funkcionalne parametre pri progresivnom kontiniranom testu hodanja na pokretnom sagu koji bi eventualno mogli biti prilagođeni testiranju atletičara hodača.

Hagberg i Coyle (1983) u svom su istaživanju mjerili fiziološke faktore koji bi mogli biti povezani sa tehnikom sportskog hodanjem u utrci na 20 km. Osam atletičara hodača mjereno je sa dva testa na pokretnom sagu. U prvom testu mjeren je maksimalni primitak kisika u sportskom hodanju pri konstantnoj brzini 9.0-11.3 km/h dok se nagib saga povećavao za 2% svake dvije minute te je test trajao do subjektivnog iscrpljenja sportaša. U drugom testu također je mjeren maksimalni prmitak kisika ali za vrijeme trčanja na pokretnom sagu koji se provodio na isti način kao i protokol sportskog hodanja. Brzina atletičara hodača pri laktatnom pragu tijekom stabilnog stanja visoko je korelirala sa prolaznim vremenima kod sportskog hodanja (r=0.94) sa pogreškom procjene od 0.67%. U istraživanju Hagberg i Coyle (1984) sudjelovalo je 8 atletičara hodača, koji su provodili testove na pokretnom sagu kako bi se utvrdilo: 1. brzina kretanja na kojoj su sportsko hodanje i trčanje jednako efikasni, 2. razlikuje li se sportsko hodanje od trčanja pri sličnom VO_2, 3. može li se tijekom sportskog hodanja postići VO_{2max}. Dobiveni razultati pokazuju da je brzina kretanja između 8 i 9 km/h ona pri kojoj je VO_2 jednak kod sportskog hodanja i trčanja. Sportsko hodanje je efikasnije pri manjim brzinama kretnja a trčanje pri većim brzinama kretanja. Kada su uspoređeni atletičari hodači i trkači pri sličnim vrijednostima primitka kisika, frekvenciji srca, ventilaciji, dišnom ekvivalentu kisika, percepciji napora bili su jednaki. Morgan i Martin (1986) u svom su se istraživanju bavili utjecajem dužine koraka na ekonomičnost sportskog hodanja kod 7 atletičara hodača u tri testa na pokretnom sagu. U prvom mjerenju utvrđen je VO_{2max}. U drugom mjerenju utvrđene su za svakog ispitanika 5 različitih dužina koraka: subjektivna dužina koraka, -10%, - 5%, + 5% i + 10 % od ispitanikove dužine noge pri brzini koja odgovara njegovom tempu utrke na 10 km. U trećem mjerenju praćen je VO_2 pri različitim dužinama koraka, utvrđenim u drugom mjerenju, također pri brzini koja odgovara tempu utrke na 10 km. Uočena je razlika aritmetičke sredine u apsolutnom primitku kisika VO_2 između subjektivno odabrane dužine koraka i optimalne dužine koraka. Podaci provedenog istraživanja podržavaju hipotezu da trenirani pojedinci odabiru obrasce kretanja (dužinu koraka) koji su optimalni u smislu aerobnih zahtjeva, odnosno ekonomičnosti izvedbe. Brisswalter, Fougeron i Legros (1998) su proučavali varijabilnost potrošnje energije kod sportskog hodanja nakon 3 sata hodanja pri brzini koju hodači održavaju za vrijeme natjecanja. U istraživanju je sudjelovalo 9 atletičara hodača iste natjecateljske razine. Prvim testom na pokretnom sagu mjeren je VO_{2max}, a potom je svaki ispitanik sudjelovao u još 2 submaksimalna testa na pokretnom sagu. Pojedini test je trajao 6 minuta a nagib saga bio je

0%. Brzina saga je unaprijed određena i iznosila je 12 km/h. Tijekom dva submaksimalna testa, ispitanici su snimani između 2. i 4. minute, a fiziološki parametri zabilježeni su između 4. i 6. minute. Dobiveni rezultati ukazuju da pri povećanju metaboličke energetske potrošnje svi ispitanici postižu različite vrijednosti dužine koraka, kretanja pete i maksimalnog kuta fleksije u gornjem gležanjskom zglobu za vrijeme odraza. Klimek i Chwala (2007) vrednovali su utjecaj povećanja dužine ekstremiteta upotrebom specifičnih cipela, ortoza na potrošnju energije kod vrhunskog poljskog atletičara hodača. Prije glavnog mjerenja izmjeren je primitak kisika maksimalnim testom hodanja na pokretnom sagu koji se sastojao od hodanja 3 minute po pojedinom stupnju opterećenja uz povećanje brzine saga za 1 km/h. Nakon toga provedena su još dva testa na pokretnom sagu, prvi bez ortoza, drugi sa ortozama. U oba submaksimalna testa na pokretnom sagu isptanik je hodao 12 minuta pri brzini od 12 km/h te su uz fiziološke, mjereni i kinematički parametri 3D sustavom Vicon. Rezultati su pokazali da je energetska potrošnja hodanja nešto niža pri brzini anaerobnog praga sa upotrebom ortoza nego bez upotrebe ortoza. Nije zapažena značajna razlika u rasponu vertikalnog kolebanja centra težišta tijela za vrijeme hodanja sa i bez ortoza. Drake i James (2008) proveli su istraživanje u kojem je sudjelovalo 45 muških i 23 ženskih ispitanika, atletičara hodača. Ispitanici su proveli diskontinuirani test na pokretnom sagu koji se sastojao od četverominutnih perioda hodanja. Nagib saga se povećavao za 1%, a brzina saga 0.5 km/h za svaki period opterećenja. Kada je frekvencija srca prešla 95% od procjenjenog maksimuma ili kada je razina laktata u krvi prešla 4 mmol/l nagib pokretnog saga povećavao se za 1% svakih 60 s. Test se izvodio do iscrpljenja kako bi se odredio maksimalni primitak kisika. 13 muških i 8 ženskih ispitanika provelo je i terenski test, utrku, na atletskom stadionu u dužini od 2 km. Svrha rada bila je razviti nomograme (dijagrame) koji predstavljaju odnose između tri ili više varijabli, pomoću kojih će se moći predvidjeti natjecateljska uspješnost i/ili fiziološke varijable na temelju natjecateljskih rezultata u drugim disciplinama (3 km, 5 km, 10, km, 20 km i 50 km) sportskog hodanja. Drake i sur. (2011) u svom su istraživanju na uzorku, dobro treniranih, 17 muških i 14 ženskih atletičara hodača pratili razinu laktata i kretanje primitak kisika. Na ispitanicima je proveden diskontinuirani test na pokretnom sagu sa postepenim porastom nagiba i brzine saga. Dobiveni podaci ukazuju da kod ispitanika brzina na laktatnom pragu i maksimalni primitak kisika visoko koleriraju sa natjecateljskom uspješnošću. Povezanost između fizioloških varijabli i natjecateljske uspješnosti može se smatrati pokazateljem intenziteta s obzirom na dužinu utrke u kojoj se natječu. Nadalje autori su zaključili da će natjecatelji sa boljom ekonomičnošću hodanja, a sličnih vrijednosti primitka kisika postizati bolje uspjehe na samom natjecanju. Odnosno atletičari hodači sa boljom ekonomičnosti hodanja postizati će u pravilu bolje razultate u utrci.

Pupiš i Cillík (2011) u svom su se istraživanju bavili problemom povezanosti anaerobnog praga i maksimalnog primitka kisika u 6 vrhunskih atletičara hodača koji su nastupali za Slovačku reprezentaciju na Europskom prvenstvu, Svjetskom prvenstvu ili Olimpijskim igrama. Proveden je Conconi test u 5 navrata sa svakim ispitanikom u različitim fazama sportske pripreme. Zaključili su da primitak kisika pri anaerobnom pragu kod vrhunskih atletičara hodača doseže razinu između 80-100% od maksmalnog primitka kisika. Chwała, Klimek i Mirek (2014) su na 12 atletičara hodača u dobi od 24.9±4.10 godina, nacionalne ili međunarodne razine, procjenjivali energetsku potrošnju i sveukupni rad pri tehničkoj brzini (individualna brzina pri kojoj svaki ispitanik najbolje može kontrolirati svoju tehniku), brzini na kojoj sportaš postiže anaerobni prag i pri natjecateljskoj brzini (prosječnu brzinu koju je svaki ispitanik imao za vrijeme utrke na 20 km). Aerobna izdržljivost ispitanika mjerena je progresivnim testom opterećenja na pokretnom sagu do iscrpljenja. U prve 3 minute testa ispitanik se zagrijavao pri brzini od 8 km/h a nakon toga se brzina saga povećavala za 1 km/h svake 3 minute. Brzina od 15 km/h prihvaćena je kao ključna brzina prelaska iz hodanja u trčanje. Kako bi se to spriječilo nakon 15 km/h nagib saga povećavao se za 1% svakih 3 minute. Obrazac sportskog hodanja ispitanika sniman je Vicon 3D sustavom. Vrijednosti promjene potencijalne energije i ukupne kinetičke energije u ciklusu sportskog hodanja određena je na temelju vertikalnog pomaka središta mase. Vrijednosti prosječne energetske potrošnje i ukupnog rada standardizirane su na masu tijela i prijeđenu udaljenost te su izračunate za tehničku brzinu, brzinu anaerobnog praga i natjecateljsku brzinu i sve dobivene vrijednosti bile su statistički značajne ($p<0.001$). Ukupna potrošnja energije bila je u rasponu od 51.2 kJ.m-1 pri tehničkoj brzini pa sve do 78.3 kJ.m-1 pri natjecaeljskoj brzini. Autori su zaključili da je, neovisno o brzini hodanja ukupni mišićni rad oko 25% od ukupne potrošnje energije u utrci sportskog hodanja.

Značajke dosadašnjih istraživanja na sportskom hodanju koja su koristila pokretni sag u svrhu mjerenja funkcionalnih parametara:

1. proveden je mali broj istraživanja,
2. istraživanja provedena prije 1995. godine, nakon koje se uvodi novo pravilo natjecanja upitna su sa stajališta usporedbe podataka,
3. većina provedenih istraživanja ima iznimno mali ili nejasno definiran uzorak ispitanika ili nejasno definiran proveden protokol na pokretnom sagu,
4. nedostatak istraživanja na vrhunskim atletičarima hodačima; ženama i juniorima.

Sportsko hodanje je atletska disciplina, koja se svrstava u discipline izdržljivosti sa trčanjima na duge i ultra duge pruge (polumaraton, maraton, 50 km, 100 km itd.). No za razliku od trkačkih disciplina, sportsko hodanje je visoko tehnički zahtjevna disciplina u kojoj se natjecatelj mora pridržavati specifičnih pravila natjecanja (Schiffer, 2008). Dostizanje vrhunskih rezultata u sportskom hodanju dugotrajan je proces koji uključuje učenje tehnike u užem smislu, ali i razvoj specifičnih motoričkih i funkcionalnih sposobnosti, te je u ovoj disciplini veliki broj varijabli bitan za uspjeh. Za pretpostaviti je da protokoli testova s progresivnim opterećenjem koji se koriste za trčanje nisu prikladni za hodanje, budući da je zbog eksponencijalnog porasta energetske potrošnje s porastom brzine hodanja zona vrlo teškog opterećenja (zona iznad anaerobnog praga) značajno kraćeg trajanja što, zbog kinetike fizioloških parametara pri progresivnom opterećenju, može onemogućiti dostizanje stvarnih maksimalnih vrijednosti parametara za procjenu funkcionalnih sposobnosti. Ova atletska disciplina, u natjecateljskom obliku, relativno je mlada te je u zadnja dva desetljeća intenzivnije razvijana u svijetu stoga se treneri i sportaši pri planiranju i provedbi trenažnog procesa, razvoju i napretku tehnike uglavnom oslanjaju na vlastita iskustva sa vrlo malo uključenih znanstvenih dokaza i analiza.

Ovim bi se istraživanjem provjerila pretpostavka koja kaže da je za određivanje parametara energetskih kapaciteta u sportskom hodanju prikladniji test dužeg trajanja u odnosu na optimalno trajanje testova (od 8 do 12 minuta) koji se navode za druge modalitete opterećenja (trčanje, bicikl).

2. CILJEVI I HIPOTEZE

Ciljevi ovog istraživanja su:

1. utvrditi utjecaj protokola progresivnog kontinuiranog testa sportskog hodanja na pokretnom sagu na parametre za procjenu energetskih kapaciteta,
2. utvrditi utjecaj protokola progresivnog kontinuiranog testa sportskog hodanja na pokretnom sagu na kinematičke parametre,
3. utvrditi dinamiku kretanja kinematičkih parametara pri progresivnom kontinuiranom testu sportskog hodanja na pokretnom sagu s finom gradacijom opterećenja i na osnovu njih odrediti eventualno postojanje kinematičkih pragova između zona opterećenja, te načine (kriterije) za njihovu procjenu,
4. utvrditi funkcionalnu vezu između kinematičkih i ventilacijskih pragova pri progresivnom kontinuiranom testu sportskog hodanja na pokretnom sagu,
5. utvrditi razliku između kinematičkih i ventilacijskih pragova pri progresivnom kontinuiranom testu sportskog hodanja na pokretnom sagu,
6. utvrditi razliku u kinematičkim parametarima desne i lijeve noge u progresivnom kontinuiranom testu sportskog hodanja na pokretnom sagu.

Iz postavljenih ciljeva istraživanja proizlaze slijedeće hipoteze:

H1: Vrijednosti parametara za procjenu energetskih kapaciteta u progresivnom kontinuiranom testu sportskog hodanja na pokretnom sagu značajno će se razlikovati u testu dužeg trajanja s fino gradiranim opterećenjem u odnosu na test kraćeg trajanja.

H2: Vrijednosti kinematičkih parametara u progresivnom kontinuiranom testu sportskog hodanja na pokretnom sagu značajno će se razlikovati u testu dužeg trajanja s fino gradiranim opterećenjem u odnosu na test kraćeg trajanja.

H3: U progresivnom kontinuiranom testu sportskog hodanja na pokretnom sagu, pri određenoj brzini, dolazi do neproporcionalnog porasta ili pada vrijednosti (promjene trenda) kinematičkih parametara (dužine koraka, dužine jednog ciklusa koraka, trajanja jednopotporne faze, trajanja dvopotporne faze, trajanja prednjeg kontakta pete s podlogom, frekvencije koraka) koji se mogu koristiti za određivanje kinematičkog praga.

H4: Postoji statistički značajna povezanost između ventilacijskih (aerobnog i anaerobnog) i kinematičkih pragova (za dužinu koraka, dužinu jednog ciklusa koraka, trajanje jednopotporne faze, trajanje dvopotporne faze, trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom, frekvenciju koraka) utvrđenih pri progresivnom kontinuiranom testu sportskog hodanja na pokretnom sagu.

H5: Ne postoji statistički zanačajna razlika između kinematičkih i ventilacijskih pragova pri progresivnom kontinuiranom testu sportskog hodanja na pokretnom sagu.

H6: Postoji statistički značajna razlika u kinematičkim parametarima desne i lijeve noge u progresivnom kontinuiranom testu sportskog hodanja na pokretnom sagu.

3. METODE RADA

3.1. Uzorak ispitanika

Uzorak ispitanika čini 34 ispitanika, od kojih je 14 atletičara hodača i 20 studenata kineziologije, koji su na predmetu Atletika hodanja i trčanja dobili ocjenu izvrstan iz demonstracije tehnike sportskog hodanja. Uzorak su činili 19 muškaraca i 15 žena. Svi ispitanici su anamnestički zdravi, bez akutnih bolesti ili ozljeda lokomotornog sustava koje bi mogle utjecati na provođenje mjerenja.

Prosječna dob uzorka muških ispitanika je 22.3±8.0 godine (Tablica 3.1.). Jedan ispitanik u uzorku je star 54 godine te je jedan ispitanik bio mlađi od 18 godina. Prosječna tjelesna visina muškog uzorka ispitanika je 182±5.9 cm a prosječna tjelesna masa 78.2±8.7 kg.

Tablica 3.1.: Osnovni podaci, deskriptivni parametri u varijablama za procjenu antropometrijskih karakteristika kod muških ispitanika

n=19	AS± SD	MIN	MAX	RASPON
Starost (god)	22.3±8.0	17.0	54.0	37.0
Tjelesna masa (kg)	78.2±8.7	61.2	98.7	37.5
Tjelesna visina (cm)	182.0±5.9	172.4	196.8	24.4
Dužina noge (cm)	103.7±4.9	94.8	113.8	19.0

Legenda str. 84* p<0.05

Prosječna dob uzorka ženskih ispitanika je 22±6 godine (Tablica 3.2.). Jedna ispitanica u uzorku je stara 43 godine. Prosječna tjelesna visina ženskog uzorka ispitanika je 168.4±6.5 cm a prosječna tjelesna masa 61.1±7.2 kg.

Tablica 3.2.: Osnovni podaci, deskriptivni parametri u varijablama za procjenu antropometrijskih karakteristika kod ženskih ispitanika

n=15	AS± SD	MIN	MAX	RASPON
Starost (god)	22.0±6.0	19.0	43.0	24.0
Tjelesna masa (kg)	61.1±7.2	52.7	77.7	25.0
Tjelesna visina (cm)	168.4±6.5	153.4	179.5	26.1
Dužina noge (cm)	96.1±3.7	89.0	101.8	11.9

Legenda str. 84* p<0.05

3.2. Trenažni proces

Studenti Kineziološkog fakulteta koji su dobrovoljno sudjelovali u ovom istraživanju bili su obvezani sudjelovati u sustavnom i stručno vođenom trenažnom procesu u trajanju od tri mjeseca – jedan mezociklus, koji je trajao do provedbe samog mjerenja. Trenažni proces provodili su treneri specijalisti za disciplinu sportskog hodanja. Svi treninzi su provedeni na atletskoj stazi ŠRS Mladost i u TRIM kabinetu Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Trenažni proces obuhvaćao je minimalno tri treninga tjedno u trajanju od 60 do 90 minuta. Tijekom tjedna ispitanicima je bilo ponuđeno više termina kako bi mogli treninge uskladiti sa drugim obavezama. Vođena je evidencija njihove redovitosti na treninzima. Mjereni su ispitanici koji su zadovoljili minimalni kriterij od tri treninga tjedno. Ispitanicima koji su izrazili želju i mogućnost dolaska na više od tri treninga tjedno to je i omogućeno.

Tjedni plan treninga sastojao se od tri oblika treninga:

1. trening rada na tehnici (bazična hodačka izdržljivost),
2. trening kratkih i dužih dionica 75-85% (rad na frekvenciji),
3. intervalni/fartlek treninzi (izmjene sporijih i bržih dionica).

U prvom tjednu zahtjevi prema ispitanicima bili su minimalni. Iz tjedna u tjedan postepeno se povećavao opseg i intenzitet trenažnog procesa te su nakon prvog mjeseca treninga svi ispitanici bili u mogućnosti pratiti tempo i intenzitet treninga atletičara hodača. Svaki tjedan u sklopu prvog treninga, koji je bio fizički najmanje zahtjevan, provodio su specifični set vježbi snage za jačanje mišića stopala, mišića nogu, zdjeličnog pojasa, trupa i ruku. U zadnjem mjesecu trenažnog procesa svi ispitanici su odradili nekoliko treninga na pokretnom sagu, kako bi se pripremili na podlogu na kojoj će biti mjereni i kako bi osjetili na koji način njihovo tijelo reagira na drugačijoj podlozi.

Atletičari hodači su bili u svom normalnom ciklusu treninga i natjecanja te su pristupili mjerenju u regeneracijskom periodu, nakon završetka natjecateljske sezone. Za period 1.3.–1.6.2017. godine bilježena je njihova prisutnosti na treninzima. U istraživanju su sudjelovali samo oni atletičari hodači koji su zadovoljili kriterij o redovitosti na treninzima, minimalno tri treninga tjedno. Atletičarima hodačima je također dana mogućnost da dođu na nekoliko probnih treninga na pokretnom sagu radi prilagodbe na pokretni sag i drugačiju podlogu u odnosu na onu na kojoj su inače provodili svoje treninge.

Sva mjerenja provedena su u skladu s etičkim načelima i odobrena od Etičkog povjerenstva Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Svakom je ispitaniku dano usmeno i pismeno objašnjenje istraživanja, predvidenog postupka mjerenja, te mogućih zdravstvenih rizika. Ispitanici su potpisali suglasnost kojom su potvrdili upoznatost sa svrhom i ciljevima mjerenja, mjernim protokolima i mogućim rizicima mjerenja. Svojim su potpisom potvrdili dobrovoljno sudjelovanje u istraživanju. Cjelokupno mjerenje provedeno je u Laboratoriju za funkcionalnu dijagnostiku Sportsko-dijagnostičkog centra Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

3.3. Mjerna oprema

- pokretni sag *Run Race Competition HC1200* (Technogym, Italija), dužine 190 cm, širine 60 cm. Sag omogućuje precizno reguliranje brzine, od 1 do 25 km/h, s najmanjim intervalom od 0.1 km/h.
- kompjutorizirani sustav *Quark b2* (Cosmed, Italija), za kontinuirano (*breath by breath*) prikupljanje, grafički prikaz, pohranjivanje i analizu ventilacijskih, metaboličkih i ergometrijskih parametara pri spiroergometrijskom testiranju. Sustav se sastoji od respiracijske maske za nos i usta (Hans Rudolph, USA), spojene na turbinu s optoelektricnim čitačem protoka zraka. Uzorak zraka (1 ml/s) se kapilarnom cijevi *Nafion Permapure*® dovodi do brzih analizatora za kisik (cirkonijski) i ugljični dioksid (infracrveni), koji koncentraciju tih plinova mjere s preciznošću od ±0.03%. Nakon analogno-digitalne konverzije signala, sustav omogućuje kontinuirano praćenje sljedećih parametara: primitka kisika, izdatka ugljičnog dioksida, srčane frekvencije, minutnog volumena disanja, respiracijskog kvocijenta, koncentracije kisika i ugljičnog dioksida u izdahnutom zraku, dišnog volumena, frekvencije disanja, pulsa kisika i ventilacijskih ekvivalenata za kisiki ugljični dioksid. Prije svakog testiranja turbina se baždari 3-litrenom pumpom, a analizatori se baždare mješavinom plinova poznate koncentracije (16.10% O_2 i 5.20 % CO_2, NO_2 rest).
- telemetrijski sustav *Polar Vantage NV* (Polar ElectroOi, Finska), za praćenje srčane frekvencije, s dvije elektrode s odašiljačem pričvršćenim elastičnom trakom oko prsnog koša, i prijemnikom.
- optojump Next sustav – OPTO JUMP®, proizvođača Microgate (Italija) korišten je za mjerenje kinematičkih parametara tehnike sportskog hodanja (dužina koraka, frekvencija koraka, trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom, trajanje jednopotporne faze, trajanje dvopotporne faze, trajanje oslonačne faze itd.). Optojump Next je mjerni

instrument sastavljen od dvije ćelije, koje se temelje na optičkoj tehnologiji. Za vrijeme izvedbe testa moguće je dobiti tri vrste povratnih informacija u realnom vremenu: brojčane, grafičke i video (od jedne ili dvije videokamere). Jedamput kada je izabrani test potvrđen, sve tri vrste podataka automatski se pohranjuju i postaju odmah dostupni za pregled ili za daljnje analize.

- antropometrijski set (GPM, Švicarska). Tjelesna visina i dužina noge određivale su se antropometrom, uz preciznost od 0.1 cm. Tjelesna masa mjerena je pomoću TANITA uređaja (Japan).

3.4. Opis mjerenja

Svaki ispitanik sudjelovao je u dva spiroergometrijska testa na pokretnom sagu, koji će se u ovom radu nazivati progresivni kontinuirani test hodanja na pokretnom sagu s porastom brzine kretanja od 0.3 km/h (T03) i progresivni kontinuirani test hodanja na pokretnom sagu s porastom brzine kretanja od 0.5 km/h (T05). Mjerenja su se provodila u razmaku od nekoliko dana u isto vrijeme dana (±2 sata). Redoslijed testova određen je slučajnim odabirom. Jedan mjerni postupak trajao je oko 45 minuta dok je sam test opterećenja na pokretnom sagu trajao od 14 do 20 minuta ovisno o sposobnostima ispitanika. Prije samog testiranja, od svakog su ispitanika uzeti opći podaci, medicinska i sportska anamneza, izmjerene su osnovne antropometrijske mjere (masa tijela, visina tijela i dužina noge). Za vrijeme spiroergometrijskih testiranja, kojima su se mjerili funkcionalni parametri ispitanika, mjereni su i kinematički parametri uz pomoć Optojump Next sustava. Optojump Next sustav postavljen je sa bočnih strana pokretnog saga u skladu sa uputama za korištenje proizvođača. Sva mjerenja dodatno su snimljena kamerama koje su pravilno postavljene i kalibrirane u prostoru za testiranje. Sva mjerenja je provela ekipa stručno osposobljenih djelatnika Sportsko-dijagnostičkog centra i Laboratorija za sportske igre Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mjerenja su provedena tijekom mjeseca lipnja i srpnja 2017.godine. Mjerenja su provedena u stabilnim mikroklimatskim uvjetima (temperatura 20-22°C, relativna vlažnost zraka do 60%) (Brotherhood, 2008). Mjerna oprema pripremljena je i kalibrirana prije svakog mjerenja. Uz pismeno objašnjenje procedure testiranja, ispitanici su prije početka testiranja dobili i detaljno usmeno objašnjenje. Ispitanici su dobili uputu da na svako testiranje dođu odmorni (6-8 sati sna), da u 24 sata prije testiranja uzimaju dovoljno tekućine, da 1.5-3 sata prije testiranja konzumiraju lagani obrok te da u istom periodu ne provode tjelesne aktivnosti, ne konzumiraju

hranu, alkohol ni napitke koji sadrže kofein. Tijekom testiranja nosili su laganu i prozračnu sportsku odjeću (sportska majica, hlačice i čarape) i obuću (atletske tenisice). Prije spiroergometrijskog testiranja, ispitanicima je postavljen telemetrijski sustav za praćenje srčane frekvencije i respiracijska maska.

3.4.1. Opis spiroergometrijskih protokola na pokretnom sagu

Svaki od primijenjenih protokola opterećenja na pokretnom sagu započinje mirovanjem u prvoj minuti uz praćenje svih ventilacijskih i metaboličkih parametara. Protokoli se nastavljaju normalnim hodanjem pri brzini od 3 km/h. Povećanje brzine saga ovisilo je o izabranom protokolu. Ispitanik započinje sa tehnikom sportskog hodanja pri brzini od 6.9 km/h (T03), odnosno 7 km/h (T05), uz konstantan nagib pokretnog saga od 1%. Test se završava na najvišoj brzini pri kojoj je ispitanik mogao održati ispravnu tehniku sportskog hodanja, o čemu su vodili brigu međunarodni i državni altetski suci za disciplinu sportsko hodanje. Onog trenutka kada je ispitanik počeo narušavati tehniku sportskog hodanja stručna osoba bi dala uputu o prekidu testa.

Nakon testa, u oporavku, ispitanik je nastavio hodati još 5 minuta pri brzini saga od 5 km/h. Za utvrđivanje dostignuća stvarnih maksimalnih vrijednosti u testovima na pokretnom sagu korišteni su slijedeći kriteriji (prema Vučetić i Šentija, 2004):

1) porast VO_2 dostiže plateau (porast manje od 2 ml/kg/min ili <5%) sa porastom opterećenja,
2) frekvencija srca unutar je 10 otkucaja/min ili 5% u odnosu na predviđeni maksimum za dob,
3) RQ (respiracijski kvocijent) >1.10,
4) VE/VO2 (dišni ekvivalent) >30.

Progresivni kontinuirani test hodanja na pokretnom sagu s porastom brzine kretanja od 0.3 km/h (T03)

Nakon faze mirovanja u trajanju od 1 minute test započinje hodanjem pri brzini od 3 km/h kroz 2 minute, nakon toga brzina saga se povećava svakih 30 sekundi za 0.3 km/h. Nagib saga je konstantan i iznosi 1%. Ispitanik normalno hoda prvih trinaest stupnjeva opterećenja zaključno sa brzinom od 6.6 km/h. Zatim od brzine 6.9 km/h započinje hodati tehnikom sportskog hodanja. Maksimalna brzina i završetak testa određeni su zadnjim stupnjem opterećenja kojeg

je ispitanik uspio odhodati pravilnom tehnikom u cijelosti. Ispitanik u oporavku nastavlja normalno hodati 5 min pri brzini od 5 km/h, uz dalje praćenje funkcionalnih parametara.

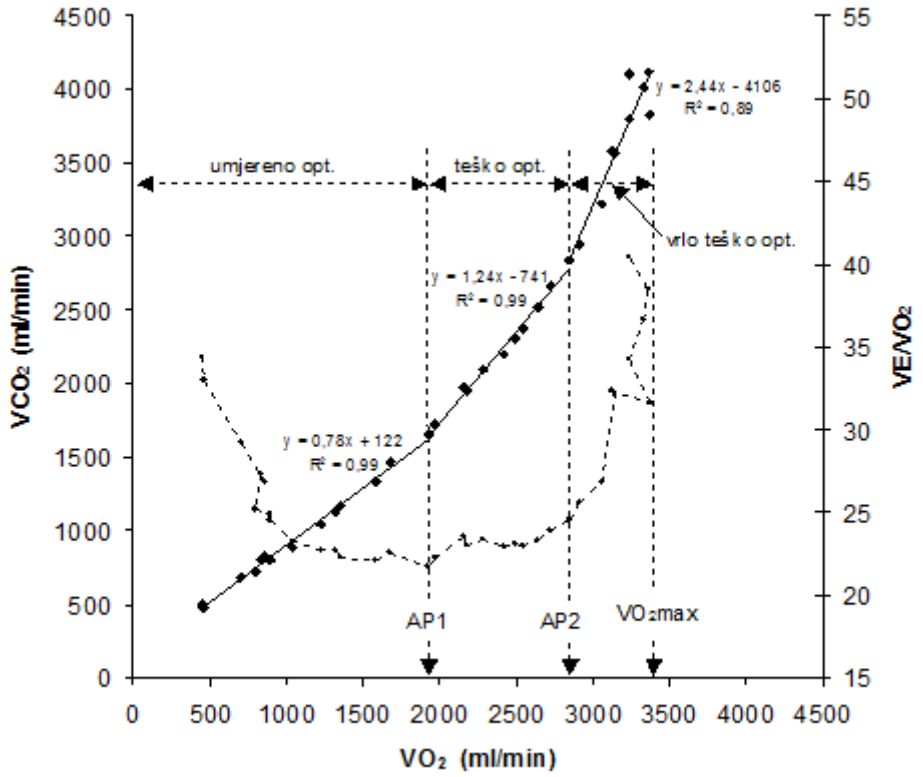
Progresivni kontinuirani test hodanja na pokretnom sagu s porastom brzine kretanja od 0.5 km/h (T05)

Nakon faze mirovanja u trajanju od 1 minute test započinje hodanjem pri brzini od 3 km/h kroz 2 minute, nakon toga brzina saga se povećava svakih 30 sekundi za 0.5 km/h. Nagib saga je konstantan i iznosi 1%. Ispitanik normalno hoda prvih osam stupnjeva opterećenja zaključno sa brzinom od 6.5 km/h. Zatim od brzine 7 km/h započinje hodati tehnikom sportskog hodanja. Maksimalna brzina i završetak testa određeni su zadnjim stupnjem opterećenja kojeg je ispitanik uspio odhodati pravilnom tehnikom u cijelosti. Ispitanik u oporavku nastavlja normalno hodati 5 min pri brzini od 5 km/h, uz dalje praćenje funkcionalnih parametara.

3.5. Određivanje parametara energetskih kapaciteta

3.5.1. Aerobni i anaerobni prag

Na osnovu dobivenih *breath-by-breath* parametara iz testa (prethodno usrednjenih na vremenski period od 30 sekundi), određen je prvi ventilacijski – aerobni prag (AP1), odnosno drugi ventilacijski - anaerobni prag (AP2), primjenom *V-slope* metode (neproporcionalni porast VCO_2 u odnosu na VO_2) i dodatno odnosa VE/VO_2 (porast VE/VO_2 bez porasta VE/VCO_2) prema Walshu i Daviesu (1990) (Slika 3.5.1.1.). Najviši primitak kisika zabilježen u VO_{2max} testu tijekom bilo kojeg 30-s intervala označen je kao vršni VO_2 (VO_{2max}). Frekvencija srca također je kontinuirano praćena.



Slika 3.5.1.1. Aerobni i anaerobni ventilacijski prag (AP1, AP2), određeni V-slope metodom (VO_{2max} test). VCO_2 i VO_2 = volumen izdahnutog ugljičnog dioksida i primitka kisika; VE/VO_2 = ventilacijski ekvivalent. Pri intenzitetu (primitku kisika) manjem od AP1, nagib regresijskog pravca VO_2 / VCO_2 manji je od 1 (0.78), dok je iznad aerobnog praga nagib >1 (1.24). Pri intenzitetu iznad AP2, dolazi do metaboličke acidoze što dovodi do hiperventilacije i povećanog izdavanja VCO_2, naglog porasta ventilacijskog ekvivalenta i daljeg porasta nagiba regresijskog pravca VO_2/VCO_2 (2.44) od AP2 do VO_{2max} (Šentija i Vučetić, 2006).

3.5.2. Anaerobni kapacitet

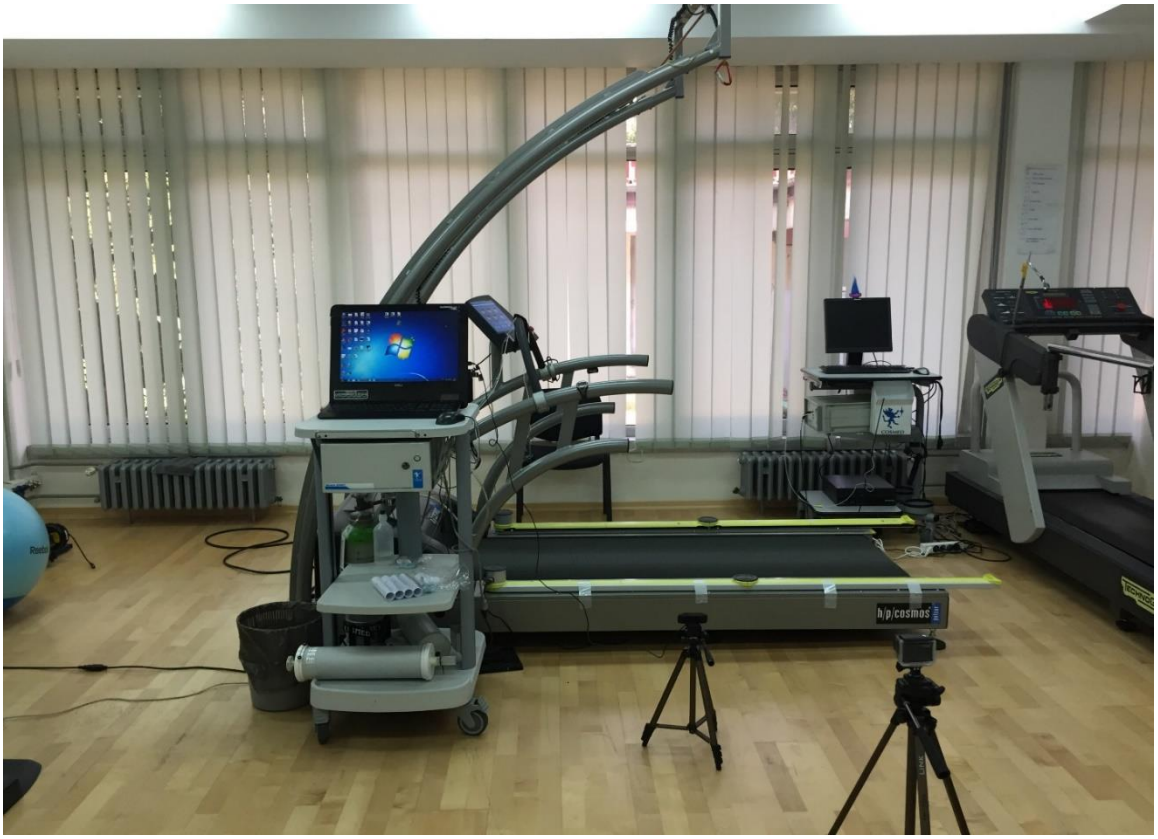
U ovom istraživanju anaerobni kapacitet (AnK) procjenjen je na temelju izračuna prijeđenog puta u anaerobnoj zoni (od anaerobnog praga do kraja testa) iznad brzine hodanja pri anaerobnom pragu (Šentija, Maršić i Dizdar, 2009):

$$AnK\ (m) = k \bullet \tfrac{1}{2}\ n \bullet (n + 1)$$

k = 2.5 odnosno 4.167 m/(30s)^2, tj. akceleracija saga (dodatni put prijeđen u 30 sekundi za porast brzine hoda od 0.3 odnosno 0.5 km/h); n = broj stupnjeva opterećenja od 30 sekundi, od anaerobnog praga do maksimalne dostignute brzine hodanja.

3.6. Opis mjerenja kinematičkih parametara Optojump Next sustavom

Optojump Next OPTOJUMP®, proizvođača Microgate (Italija) je optički sustav mjerenja koji se sastoji od dvije vrste ćelija: one koje prenose signale i one koje primaju signale, kamera i prijenosnog računala. Optojump Next sustav je vrlo jednostavan i lagan za transport i instalaciju u bilo kojem prostoru. Svaka od ćelija sadrži od 33 do 100 led dioda ovisno o izabranoj rezoluciji. U ovom israživanju korišten je maksimalan broj led dioda odnosno 100. Led diode na prijenosnim ćelijama šalju informacije led diodama na primajućim ćelijama. Sustav zabilježi svaki prekid u komunikaciji između prijenosnih i primajućih ćelija, te bilježi duljinu trajanja tog prekida, što omogućava mjerenje trajanja faze leta kao i faze trajanja kontakta s podlogom za vrijeme izvedbe lokomocije sa preciznošću od 1/1000 sekunde. Na temelju ovih osnovnih podataka softver koji podržava Optojump Next sustav omogućuje pohranu i praćenje velikog broja parametara koji opisuju izvedbu pojedinog sportaša sa maksimalnom preciznošću i u realnom vremenu. U softverskim postavkama Optojump Next sustava kreirani su posebni protokoli za sportsko hodanje koji su usklađeni i sinkronizirani sa spiroergometrijskim protokolima.



Slika 3.6.1. Optojump Next sustav za mjerenje kinematičkih parametara povezan sa pokretnim sagom i kompjutorizirani sustav Quark b^2 (Cosmed, Italija) za mjerenje spiroergometrijskih parametara.

3.7. Uzorak varijabli

Uzorak varijabli obuhvaća varijable antropometrijskog statusa, spiroergometrijske i kinematičke varijable zabilježene i pohranjene tijekom progresivnih kontinuiranih testova opterećenja na pokretnom sagu.

Antropometrijske varijable:

Tjelesna masa (kg)
Tjelesna visina (cm)
Dužina noge (cm)

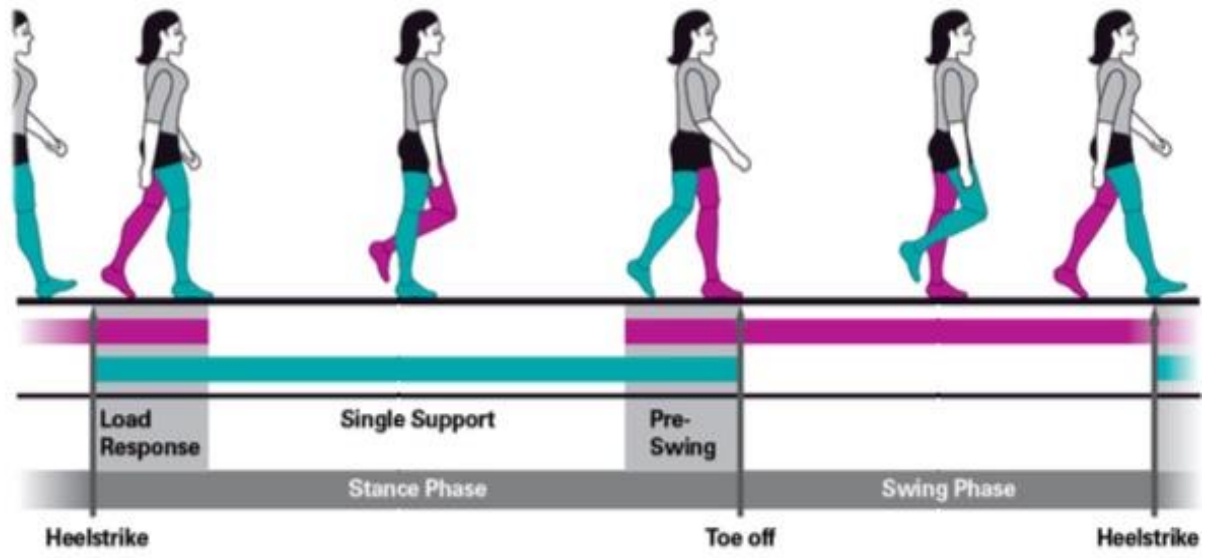
Spiroergometrijske varijable:

Brzina hoda (km/h)
Frekvencija srca (otk/min)
Frekvencija disanja (udah/min)
Dišni volumen (L/min)
Minutna ventilacija (L/min)
Relativni primitak kisika (ml/kg/min)
Apsolutni primitak kisika (ml/min)
Volumen izdahnutog ugljičnog dioksida (ml/min)
Respiracijski kvocijent
Ventilacijski ekvivalent kisika
Anaerobni kapacitet (m)
Aerobni udio u anaerobnoj zoni (m)
Ukupni kapacitet u anaerobnoj zoni (m)

Kinematičke varijable:

Dužina koraka (cm)
Dužina jednog ciklusa koraka (cm)
Trajanje oslonačne faze (s)
Trajanje jednopotporne faze (s)
Trajanje dvopotporne faze (s)
Trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom (s)
Frekvencija koraka (kor/min)

3.8. Opis kinematičkih parametara korištenih u ovom istraživanju



Slika 3.8.1. Prikaz jednog ciklusa koraka (Microgate, 2015).

Jedan ciklusa koraka – Započinje kada peta jedne noge dotakne podlogu a završava kada se stopalo iste noge, nakon što je napravila jedan korak, ponovno osloni petom o podlogu. Jedan ciklus koraka sastoji se od od 2 faze: oslonačne faze (Stance phase) i faze zamaha (Swing phase). U ukupnom vremenu trajanja jednog ciklusa koraka, omjer oslonačne faze i faze zamaha je 60% prema 40 %. Oslonačna faza sastoji se od dvopotporne faze (faza u kojoj su oba stopala u kontaktu sa podlogom) i od jednopotporne faze (faze u kojima je samo jedno stopalo u kontaktu sa podlogom).

Dužina koraka [DK (cm); engl. step] – je dužina između dva uzastupna koraka. Od kontakta s podlogom pete lijeva noge do kontakta s podlogom pete desne noge i obrnuto.

Dužina jednog ciklusa koraka [DJC (cm); engl. stride] – je dužina između dva uzastopna kontakta istom nogom. Dužina od kontakta s podlogom pete lijeve noge do ponovnog kontakta s podlogom pete lijeve noge i obrnuto.

Trajanje oslonačna faze [OF (s); engl. stance phase=contact time] – vrijeme trajanja od kontakta sa podlogom pete jedne noge do trenutka kada vrh (palac) istog stopala napusti podlogu. Dakle vrijeme između prvog i poslijednjeg kontakta dva uzastopna oslonca istog stopala.

Trajanje jednopotporne faze [JF (s); engl. single support] – vrijeme trajanja kontakta samo jedne noga s podlogom.

Trajanje dvopotporne faze [DF (s); engl. double support] – vrijeme trajanja kontakta oba stopala s podlogom

UKUPNO VRIJEME KONTAKTA = Trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom (PKP) + Faza punog stopala (PS) + Propulzivna faza (PF)

Trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom [PKP (s); engl. contact phase] – vrijeme trajanja od kontakta pete s podlogom jedne noge do početka faze punog stopala (engl. foot flat). – izražena u sekundama od ukupnog vremena kontakta.

Faza punog stopala [PS (s); engl. foot flat] – vrijeme trajanja u kojem cijelo stopalo dotiče podlogu – izražena u sekundama od ukupnog vremena kontakta.

Propulzivna faza [PF (s); engl. propulsive phase] – vrijeme trajanja od podizanja pete od podloge (završetak faze punog stopala) pa do prvog trenutka kada stopalo potpuno napusti podlogu (do početka jednopotporne faze) – izražena u sekundama od ukupnog vremena kontakta.

Frekvencija koraka [FK (koraci/min); engl. cadenca] – broju koraka u jednoj minuti.

3.9. Metode obrade podataka

Softverska obrada podataka dobivenih spiroergometrijskim testiranjima obavljena je sa programom *Quark b^2 7.5* (*Cosmed)*. Za softversku obradu snimljenih video sekvenci i izračunavanje kinematičkih parametara korišten je programski softver sustava za biomehaničku analizu *Optojump Next.*

Određivanje kinematičkih pragova iz podataka izračunatih Optojump Next sustavom, izvršeno je subjektivnom procjenom troje nezavisnih procjenjivača. Procjena je izvršena na osnovi pismenih uputa (Prilog 1) izrađenih za ovo istraživanje. U uputama su navedena potrebna objašnjenja, opisan postupak procjene te navedena pravila za određivanje pragova. Sve procjene su vršene na slijepo, bez uvida u podatke o (kodiranim) ispitanicima, kako bi se dobila neovisnost procjena kinematičkih pragova.

Statistička obrada podataka provedena je primjenom programskog paketa *Statistica 13.3.* (*Statsoft)*. U okviru statističke obrade rezultata izračunati su za sve funkcionalne i kinematičke varijable deskriptivni parametri: aritmetička sredina (AS), standardna devijacija (SD), minimalna vrijednost (MIN) i maksimalna vrijednost (MAX). Normalnost distribucije varijabli testirana je Kolmogorov-Smirnovljevim testom (K-S).

Studentov t-test za zavisne uzorke korišten je za utvrđivanje razlika u funkcionalnim parametima između testova, za utvrđivanje razlika u kinematičkim parametrima između testova, za utvrđivanje razlika u brzini sportskog hoda između ventilacijskih i kinematičkih pragova, i za utvrđivanje razlika kinematičkih parametara između lijeve i desne noge. Za utvrđivanje razlika u kinematičkim parametrima između lijeve i desne noge korištene su prosječne vrijednosti (za svaku nogu zasebno) svih brzina hoda.
Studentov t-test za nezavisne uzorke korišten je za utvrđivanje razlika u funkcionalnim parametima između spolova te za utvrđivanje razlika u parametrima ukupno trajanje testa i trajanje dijela testa tehnikom sportskog hoda.

Stupanj međusobnog slaganja troje procjenjivača u procjeni kinematičkih pragova testiran je na osnovu Cronbachovog koeficijenta pouzdanosti-objektivnosti. Povezanost između ventilacijskih i kinematičkih pragova određena je Pearsonovim koeficijentom korelacije (r). Statistička značajnost testirana je uz pogrešku od $p < 0.05$.

4. REZULTATI

4.1. Deskriptivna analiza

4.1.1. Deskriptivna analiza kinematičkih i funkcionalnih parametara u testovima T03 i T05

Osnovni deskriptivni parametri maksimalnih izmjerenih kinematičkih i funkcionalnih varijabli u testovima T03 i T05 prikazani su u Tablicama 4.1.1.1. i 4.1.1.2. K-S testom utvrđena je normalna distribucija svih kinematičkih i funkcionalnih varijabli.

Tablica 4.1.1.1.: Osnovni deskriptivni parametri maksimalnih izmjerenih kinematičkih i funkcionalnih varijabli u muških ispitanika u testovima T03 i T05

Varijable n=19	**T03**					**T05**				
	AS±SD	**MIN**	**MAX**	**RASPON**	**MAX D**	**AS±SD**	**MIN**	**MAX**	**RASPON**	**MAX D**
Dužina koraka (cm)	104.8±5.3	97.4	119.5	22.2	0.13	105.2±5.8	93.0	116.4	23.4	0.12
Dužina jednog ciklusa koraka (cm)	209.5±10.4	194.7	237.9	43.2	0.13	210.5±11.6	185.9	232.6	46.7	0.12
Trajanje oslonačne faze (s)	0.37±0.02	0.34	0.41	0.07	0.16	0.36±0.02	0.33	0.43	0.10	0.16
Trajanje jednopotporne faze (s)	0.30±0.02	0.26	0.34	0.08	0.10	0.29±0.02	0.25	0.32	0.07	0.14
Trajanje dvopotporne faze (s)	0.07±0.03	0.03	0.13	0.10	0.15	0.07±0.03	0.03	0.13	0.10	0.15
Trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom (s)	0.06±0.02	0.03	0.12	0.09	0.20	0.06±0.02	0.04	0.12	0.09	0.24
Frekvencija koraka (kor/min)	179.9±7.9	164.2	192.4	28.3	0.12	183.6±9.2	166.5	203.1	36.6	0.12
Frekvencija srca (otk/min)	186.2±16.3	139.0	204.0	65.0	0.18	184.0±14.5	143.0	202.0	59.0	0.15
Relativni primitak kisika (ml/kg/min)	51.6±3.8	46.8	62.8	16.0	0.16	50.3±3.6	45.2	57.6	12.5	0.17
Apsolutni primitak kisika (ml/min)	4083±553	3295	5226	1931	0.21	3919±472	2852	4738	1886	0.13
Volumen izdahnutog ugljičnog dioksida (ml/min)	4224±715	2957	5393	2436	0.13	4198±688	2651	5070	2419	0.21
Minutna ventilacija (L/min)	137.4±28.0	88.5	188.7	100.2	0.12	131.1±23.0	78.7	172.4	93.7	0.15
Frekvencija disanja (udah/min)	53.9±9.0	35.2	68.5	33.3	0.10	50.9±7.9	37.3	66.4	29.1	0.10
Dišni volumen (L/min)	2.71±0.45	1.82	3.64	1.82	0.09	2.67±0.46	1.74	3.27	1.53	0.16
Respiracijski kvocijent	1.05±0.10	0.87	1.19	0.32	0.13	1.07±0.10	0.92	1.22	0.30	0.19
Ventilacijski ekvivalent kisika	34.4±5.1	28.1	45.4	17.3	0.12	33.6±4.4	27.3	41.9	14.6	0.11

Legenda str. 84* $p<0.05$; K-S p: u svim varijablama $p > .20$

Tablica 4.1.1.2.: Osnovni deskriptivni parametri maksimalnih izmjerenih kinematičkih i funkcionalnih varijabli u ženskih ispitanika u testovima T03 i T05

Varijable n=15	**T03**					**T05**				
	AS±SD	**MIN**	**MAX**	**RASPON**	**MAX D**	**AS±SD**	**MIN**	**MAX**	**RASPON**	**MAX D**
Dužina koraka (cm)	95.5±7.1	78.6	103.9	25.3	0.20	94.8±7.2	76.9	103.7	26.8	0.18
Dužina jednog ciklusa koraka (cm)	191.0±14.1	157.4	207.4	50.0	0.19	189.6±14.4	154.0	206.9	52.9	0.18
Trajanje oslonačne faze (s)	0.38±0.02	0.33	0.41	0.08	0.11	0.38±0.02	0.34	0.40	0.06	0.11
Trajanje jednopotporne faze (s)	0.30±0.03	0.25	0.35	0.09	0.16	0.29±0.02	0.24	0.31	0.07	0.13
Trajanje dvopotporne faze (s)	0.08±0.04	0.03	0.15	0.12	0.22	0.09±0.03	0.04	0.14	0.10	0.14
Trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom (s)	0.07±0.01	0.04	0.09	0.05	0.25	0.08±0.02	0.05	0.13	0.08	0.24
Frekvencija koraka (kor/min)	178.5±8.0	163.9	188.3	24.4	0.16	182.0±7.2	172.3	193.6	21.3	0.21
Frekvencija srca (otk/min)	186.7±9.2	165.0	201.0	36.0	0.80	183.1±10.1	158.0	199.0	41.0	0.14
Relativni primitak kisika (ml/kg/min)	41.7±3.8	35.3	50.5	15.2	0.11	40.5±3.0	34.5	44.8	10.3	0.14
Apsolutni primitak kisika (ml/min)	2534±241	2132	2907	775	0.16	2468±290	1985	2945	960	0.12
Volumen izdahnutog ugljičnog dioksida (ml/min)	2794±299	2282	3222	940	0.18	2720±317	2250	3201	951	0.12
Minutna ventilacija (L/min)	91.0±12.1	74.0	113.0	39.0	0.14	86.4±13.0	64.3	106.6	42.3	0.14
Frekvencija disanja (udah/min)	52.0±6.3	42.6	66.8	24.2	0.15	51.2±6.0	43.5	67.0	23.5	0.19
Dišni volumen (L/min)	1.82±0.26	1.52	2.45	0.93	0.16	1.73±0.28	1.34	2.30	0.96	0.26
Respiracijski kvocijent	1.11±0.09	0.87	1.26	0.39	0.16	1.11±0.09	0.91	1.26	0.35	0.16
Ventilacijski ekvivalent kisika	36.0±3.7	29.8	42.2	12.4	0.17	35.2±4.1	29.4	43.6	14.2	0.15

Legenda str. 84* $p<0.05$; K-S p: u svim varijablama $p > .20$

4.2. Povezanost i razlike u funkcionalnim parametrima dobivenim u testovima T03 i T05

S ciljem analize razlika između funkcionalnih parametara za procjenu energetskih kapaciteta u testovima T03 i T05 proveden je Studentov t-test za zavisne uzorke (Tablice 4.2.1-3).

Tablica 4.2.1.: Povezanost i razlike u funkcionalnim parametrima dobivenim u testovima T03 i T05 pri aerobnom pragu

n=34 (M=19: Ž=15)	**test**	**AS±SD**	**d**	**Cohen's d**	**r**	**SEd**	**t**	**p**
Brzina hoda pri aerobnom pragu (km/h)	03	7.01±0.60						
	05	**7.32±0.76**	**0.31**	**0.44**	**0.50**	**0.12**	**2.55**	**0.016**
Brzina hoda pri aerobnom pragu (km/h; M)	03	7.27±0.51						
	05	**7.61±0.65**	**0.34**	**0.53**	**0.40**	**0.15**	**2.25**	**0.038**
Brzina hoda pri aerobnom pragu (km/h; Ž)	03	6.70±0.57						
	05	6.97±0.74	0.27	0.35	0.33	0.20	1.34	0.203
Frekvencija srca pri aerobnom pragu (otk/min)	03	130.9±15.4						
	05	**136.3±15.6**	**5.39**	**0.50**	**0.76**	**1.9**	**2.89**	**0.007**
Relativni primitak kisika pri aerobnom pragu (ml/kg/min)	03	24.2±3.3						
	05	25.3±4.1	1.08	0.26	0.37	0.7	1.49	0.147
Apsolutni primitak kisika pri aerobnom pragu (ml/min)	03	1710±382						
	05	1787±427	76.70	0.25	0.71	54.2	1.41	0.167
Volumen izdahnutog ugljičnog dioksida pri aerobnom pragu (ml/min)	03	1388±326						
	05	1392±382	3.85	0.01	0.67	50.6	0.08	0.940
Minutna ventilacija pri aerobnom pragu (L/min)	03	40.3±9.4						
	05	40.8±9.8	0.54	0.07	0.68	1.3	0.40	0.689
Frekvencija disanja pri aerobnom (udah/min)	03	28.5±5.1						
	05	28.7±5.1	0.16	0.05	0.78	0.59	0.28	0.783
Dišni volumen pri aerobnom pragu (L/min)	03	1.46±0.42						
	05	1.46±0.42	0.01	0.03	0.80	0.05	0.15	0.881
Respiracijski kvocijent pri aerobnom pragu	03	0.81±0.04						
	05	**0.78±0.06**	**-0.04**	**0.60**	**0.31**	**0.01**	**3.43**	**0.002**
Ventilacijski ekvivalent kisika pri aerobnom pragu	03	23.6±1.4						
	05	**22.9±1.8**	**-0.64**	**0.35**	**0.36**	**0.32**	**2.01**	**0.053**

Legenda str. 84* p<0.05

Tablica 4.2.2.: Povezanost i razlike u funkcionalnim parametrima dobivenim u testovima T03 i T05 pri anaerobnom pragu

n=34 (M=19: Ž=15)	**test**	**AS±SD**	**d**	**Cohen's d**	**r**	**SEd**	**t**	**p**
Brzina hoda pri drugom ventilacijskom pragu (km/h)	03	8.69±0.77						
	05	**9.06±0.83**	**0.37**	**0.48**	**0.55**	**0.13**	**2.81**	**0.008**
Brzina hoda pri drugom ventilacijskom pragu (km/h; M)	03	9.02±0.72						
	05	**9.39±0.72**	**0.38**	**0.59**	**0.60**	**0.15**	**2.58**	**0.019**
Brzina hoda pri drugom ventilacijskom pragu (km/h; Ž)	03	8.28±0.65						
	05	8.63±0.79	0.35	0.39	0.20	0.24	1.49	0.158
Frekvencija srca pri drugom ventilacijskom pragu pragu (otk/min)	03	157.2±17.3						
	05	157.8±18.9	0.59	0.05	0.76	2.2	0.27	0.786
Relativni primitak kisika pri drugom ventilacijskom pragu (ml/kg/min)	03	35.0±5.3						
	05	34.9±5.91	-0.04	0.01	0.46	1.0	0.04	0.968
Apsolutni primitak kisika pri drugom ventilacijskom pragu (ml/min)	03	2483±610						
	05	2485±664	2.44	0.01	0.77	74.8	0.03	0.974
Volumen izdahnutog ugljičnog dioksida pri drugom ventilacijskom pragu (ml/min)	03	2215±562						
	05	2214±682	-1.47	0.00	0.78	73.8	0.02	0.984
Minutna ventilacija pri drugom ventilacijskom pragu (L/min)	03	63.1±17.3						
	05	63.8±19.2	0.69	0.05	0.72	2.4	0.29	0.774
Frekvencija disanja pri drugom ventilacijskom pragu (udah/min)	03	35.0±6.1						
	05	35.6±6.5	0.61	0.10	0.50	1.1	0.56	0.578
Dišni volumen pri drugom ventilacijskom pragu (L/min)	03	1.83±0.46						
	05	1.81±0.49	-0.02	0.07	0.85	0.04	0.4	0.691
Respiracijski kvocijent pri drugom ventilacijskom pragu	03	0.90±0.09						
	05	0.88±0.07	-0.01	0.14	0.50	0.01	0.81	0.426
Ventilacijski ekvivalent kisika pri drugom ventilacijskom pragu	03	25.5±2.8						
	05	25.5±2.4	0.09	0.03	0.39	0.49	0.19	0.852

Legenda str. 84* $p<0.05$

Tablica 4.2.3.: Povezanost i razlike između testova T03 i T05 u trajanju i u funkcionalnim parametrima pri maksimalnoj kinematičkoj brzini hoda

n=34 (M=19: Ž=15)	test	AS±SD	d	Cohen's d	r	SEd	t	p
Maksimalna kinematička brzina hoda (km/h)	03	10.94±0.88						
	05	**11.21±0.98**	**0.27**	**0.52**	**0.85**	**0.09**	**3.03**	**0.005**
Maksimalna kinematička brzina hoda (km/h, M)	03	11.43±0.61						
	05	**11.77±0.71**	**0.34**	**0.7**	**0.74**	**0.11**	**3.06**	**0.007**
Maksimalna kinematička brzina hoda (km/h, Ž)	03	10.32±0.79						
	05	10.49±0.79	0.17	0.32	0.76	0.14	1.22	0.241
Trajanje dijela testa tehnikom sportskog hoda (min)	03	7.24±1.47						
	05	**4.71±0.98**	**-2.53**	**3.1**	**0.85**	**0.14**	**18.05**	**0.000**
Trajanje dijela testa tehnikom sportskog hoda (min, M)	03	8.05±1.01						
	05	**5.27±0.71**	**-2.78**	**4.06**	**0.74**	**0.16**	**17.69**	**0.000**
Trajanje dijela testa tehnikom sportskog hoda (min, Ž)	03	6.20±1.31						
	05	**3.99±0.79**	**-2.21**	**2.51**	**0.76**	**0.23**	**9.73**	**0.000**
Ukupno trajanje testa (min)	03	13.74±1.47						
	05	**8.71±0.98**	**-5.03**	**6.16**	**0.85**	**0.14**	**35.91**	**0.000**
Ukupno trajanje testa (min, M)	03	14.55±1.01						
	05	**9.27±0.71**	**-5.28**	**7.71**	**0.74**	**0.16**	**33.6**	**0.000**
Ukupno trajanje testa (min, Ž)	03	12.70±1.31						
	05	**7.99±0.79**	**-4.71**	**5.36**	**0.76**	**0.23**	**20.76**	**0.000**
Maksimalna frekvencija srca (otk/min)	03	186.5±13.1						
	05	**183.5±13.0**	**-3.00**	**0.53**	**0.91**	**0.97**	**3.09**	**0.004**
Maksimalni relativni primitak kisika (ml/kg/min)	03	47.1±6.2						
	05	**45.9±6.0**	**-1.69**	**0.50**	**0.86**	**0.58**	**2.89**	**0.037**
Maksimalni relativni primitak kisika (ml/kg/min, M)	03	51.6±3.8						
	05	50.3±3.6	-1.24	0.34	0.52	0.86	1.44	0.167
Maksimalni relativni primitak kisika (ml/kg/min, Ž)	03	41.7±3.8						
	05	40.5±3.0	-1.18	0.44	0.71	0.69	1.70	0.111
Maksimalni apsolutni primitak kisika (ml/min)	03	3399±895						
	05	**3278±832**	**-121.29**	**0.37**	**0.93**	**55.91**	**2.17**	**0.037**
Maksimalni volumen izdahnutog ugljičnog dioksida (ml/min)	03	3579±910						
	05	3520±927	-75.04	0.28	0.96	45.58	1.65	0.213
Maksimalna minutna ventilacija (L/min)	03	117.1±32.1						
	05	**111.2±29.5**	**-5.81**	**0.45**	**0.92**	**2.21**	**2.63**	**0.013**
Maksimalna frekvencija disanja (udah/min)	03	53.1±7.8						
	05	**51.0±7.1**	**-2.07**	**0.40**	**0.76**	**0.90**	**2.31**	**0.027**
Maksimalni dišni volumen (L/min)	03	2.32±0.58						
	05	**2.26±0.61**	**-0.06**	**0.35**	**0.95**	**0.03**	**2.03**	**0.051**
Maksimalni respiracijski kvocijent	03	1.08±0.10						
	05	1.09±0.10	0.01	0.16	0.76	0.01	0.93	0.361
Maksimalni respiracijski kvocijent (M)	03	1.05±0.10						
	05	1.07±0.10	0.02	0.27	0.70	0.02	1.18	0.255
Maksimalni respiracijski kvocijent (Ž)	03	1.11±0.09						
	05	1.11±0.09	0.00	0.02	0.81	0.01	0.09	0.930
Maksimalni ventilacijski ekvivalent kisika	03	35.1±4.6						
	05	34.4±4.2	-0.74	0.24	0.75	0.54	1.38	0.176
Anaerobni kapacitet (m)	03	91.2±35.0						
	05	**61.4±35.6**	**-29.7**	**0.81**	**0.46**	**6.32**	**4.71**	**0.000**
Aerobni udio u anaerobnoj zoni (m)	03	571.7±125.0						
	05	**354.7±114.2**	**-217.0**	**2.14**	**0.64**	**17.42**	**12.46**	**0.000**
Ukupni kapacitet u anaerobnoj zoni (m)	03	662.8±157.7						
	05	**416.1±148.4**	**-246.8**	**1.80**	**0.60**	**23.45**	**10.52**	**0.000**

Legenda str. 84* $p<0.05$

4.3. Razlike u kinematičkim parametrima dobivenim u testovima T03 i T05

S ciljem analize razlika u kinematičkim parametrima dobivenim u testovima T03 i T05 proveden je Studentov t-test za zavisne uzorke. Razlike između testova utvrđivane su na brzinama hoda jednakim u oba testa (7.5 km/h, 9.0 km/h, 10.5 km/h; Tablica 4.3.1).

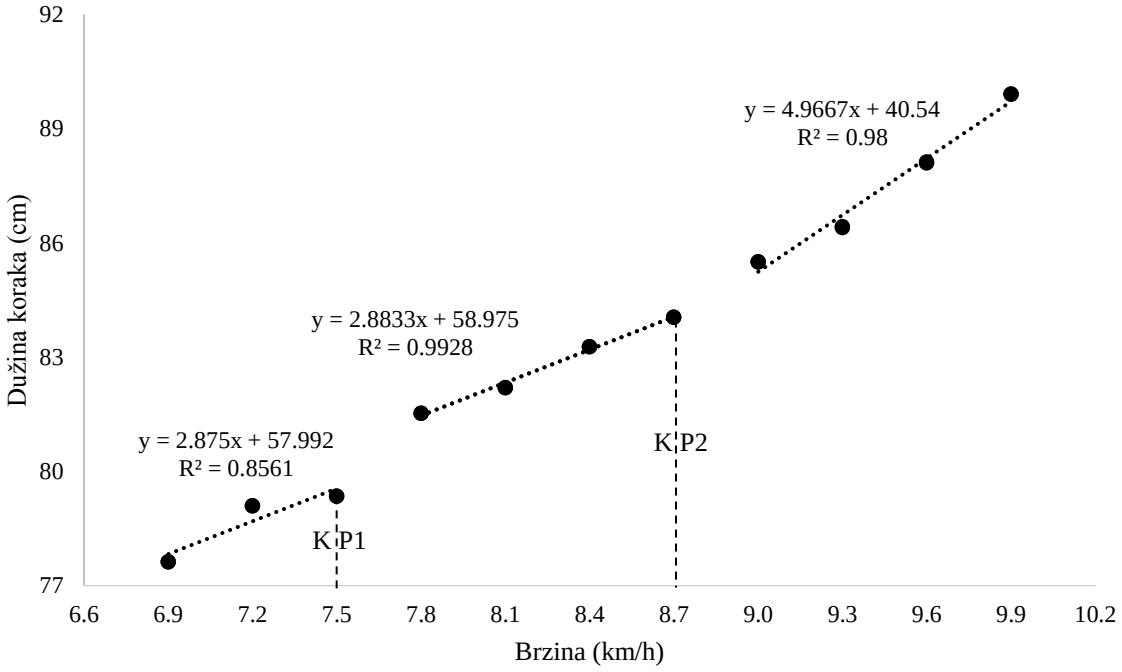
Tablica 4.3.1: Razlike između kinematičkih parametara u testovima T03 i T05 pri brzinama 7.5 km/h, 9.0 km/h i 10.5 km/h

Varijable		**7.5 km/h (n=34)**		**9.0 km/h (n=33)**		**10.5 km/h (n=25)**	
	test	**AS±SD**	**p**	**AS±SD**	**p**	**AS±SD**	**p**
Dužina koraka (cm)	03	88.2±5.3		92.9±4.9		100.0±4.1	
Dužina koraka (cm)	05	87.6±5.2	0.149	92.8±4.7	0.785	**98.9±4.4**	**0.003**
Dužina ciklusa koraka (cm)	03	176.3±10.7		185.9±9.9		200.0±8.1	
Dužina ciklusa koraka (cm)	05	175.3±10.4	0.146	185.7±9.4	0.770	**197.9±8.8**	**0.003**
Traanje oslonačne faze (s)	03	0.54±0.03		0.45±0.02		0.39±0.02	
Traanje oslonačne faze (s)	05	0.54±0.03	0.461	0.45±0.03	0.343	0.39±0.02	0.812
Trajanje jednopotporne faze (s)	03	0.31±0.03		0.30±0.02		0.296±0.021	
Trajanje jednopotporne faze (s)	05	0.31±0.02	0.163	0.29±0.02	0.138	**0.288±0.021**	**0.000**
Trajanje dvopotporne faze (s)	03	0.23±0.03		0.16±0.03		0.097±0.029	
Trajanje dvopotporne faze (s)	05	0.23±0.03	0.372	0.16±0.03	0.087	**0.106±0.025**	**0.018**
Trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom (s)	03	0.15±0.04		0.109±0.03		0.078±0.024	
Trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom (s)	05	0.15±0.04	0.607	**0.124±0.03**	**0.001**	**0.084±0.026**	**0.020**
Frekvencija koraka (kor/min)	03	141.2±8.3		161.0±8.5		174.4±6.8	
Frekvencija koraka (kor/min)	05	142.0±8.1	0.189	161.2±7.97	0.815	**176.3±7.8**	**0.003**

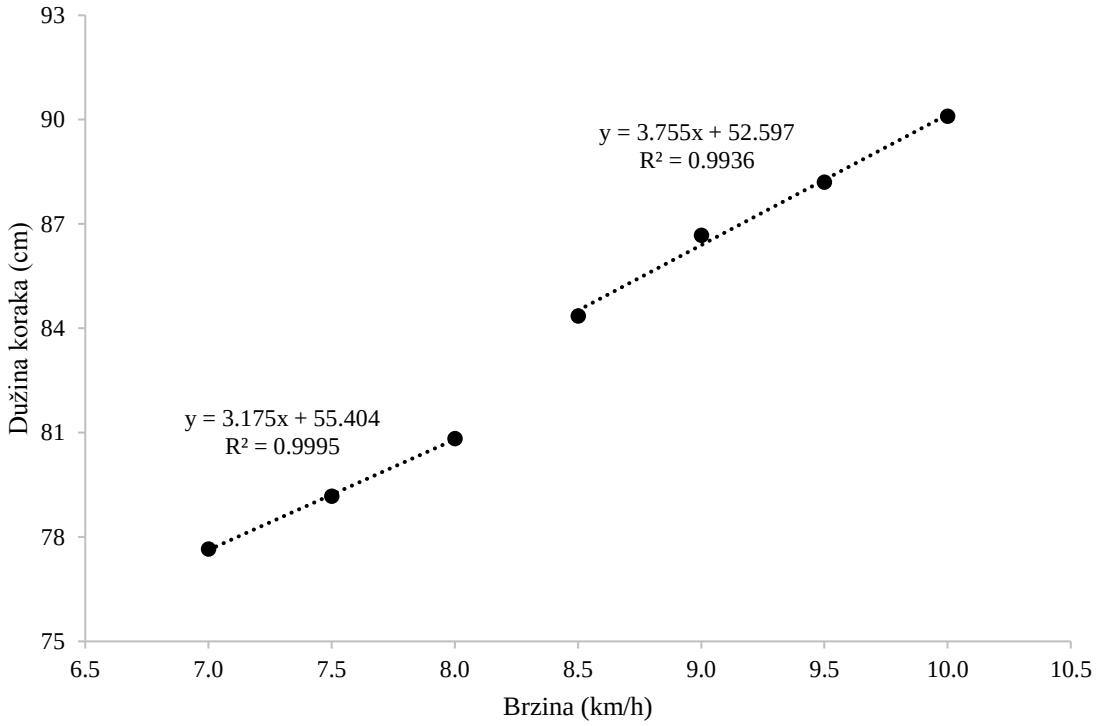
Legenda str. 84* $p<0.05$

4.4. Objektivnost procjene kinematičkih pragova

Nakon izračuna rezultata kinematičkog mjerenja, te izrade i analize grafova pojedinih kinematičkih parametara, izrađene su upute za procjenu kinematičkih pragova (Prilog 1). Usporedbom grafova svih mjerenih kinematičkih varijabli testa T03 i T05 bilo je vidljivo da test T05, prema očekivanju, ima značajno manji broj stupnjeva opterećenja što, zbog slabije rezolucije mjerenih parametara, znatno otežava i dovodi u pitanje mogućnost određivanja kinematičkih pragova. Kinematički pragovi određivani su stoga samo u testu T03 zbog veće rezolucije mjerenja i mogućnosti preciznije, kvalitetnije i objektivnije procjene kinematičkih pragova. Kinematički pragovi utvrđivani su na grafovima pet kinematičkih varijabli: dužina koraka (DK), trajanje jednopotporne faze (JF), trajanje dvopotporne faze (DF), trajanje prednjeg kontakta petom s podlogom (PKP) i frekvencija koraka (FK). Grafovi i upute date su potom na procjenu trojici nezavisnih procjenjivača koji su na osnovu uputa odredili prvi (KP1) i drugi (KP2) kinematički prag.



Slika 4.4.1. Prikaz modela kretanja dužine koraka u testu T03 kod ispitanika br. 18 – 11 stupnjeva opterećenja sa vidljive tri zone



Slika 4.4.2. Prikaz modela kretanja dužine koraka u testu T05 kod ispitanika br. 18 – 7 stupnjeva opterećenja sa vidljive dvije zone

4.4.1. Objektivnost procjene prvog kinematičkog praga u testu T03

Kod 16-44% ispitanika, ovisno o kinematičkom parametru, pojedini procjenjivači nisu detektirali prvi kinematički prag (KP1). Dok je drugi kinematički prag (KP2) detektiran kod 97.5-100% ispitanika. U Tablici 4.4.2.1. navedeni su postotci procjene prvog kinematičkog praga (KP1).

Tablica 4.4.1.1.: Broj i udio ispitanika u kojih je detektiran prvi kinematički prag u testu T03

KP1 n=34	**n**	**%**
Dužina koraka (cm)	22	64.7
Dužina jednog ciklusa koraka (cm)	25	73.5
Trajanje jednopotporne faze (s)	20	58.8
Trajanje dvopotporne faze (s)	25	73.5
Trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom (s)	19	55.9
Frekvencija koraka (kor/min)	23	67.6

Legenda str. 84* p<0.05

4.4.2. Objektivnost procjene drugog kinematičkog praga u testu T03

Kao mjera interne konzistencije (unutarnjeg slaganja) između troje procjenjivača u određivanju drugog kinematičkog praga (KP2) korišten je Cronbachov koeficijent objektivnosti procjene (Tablici 4.4.2.1.).

Tablica 4.4.2.1.: Cronbachov koeficijent α (alfa) objektivnosti procjene drugog kinematičkog praga (KP2) u testu T03

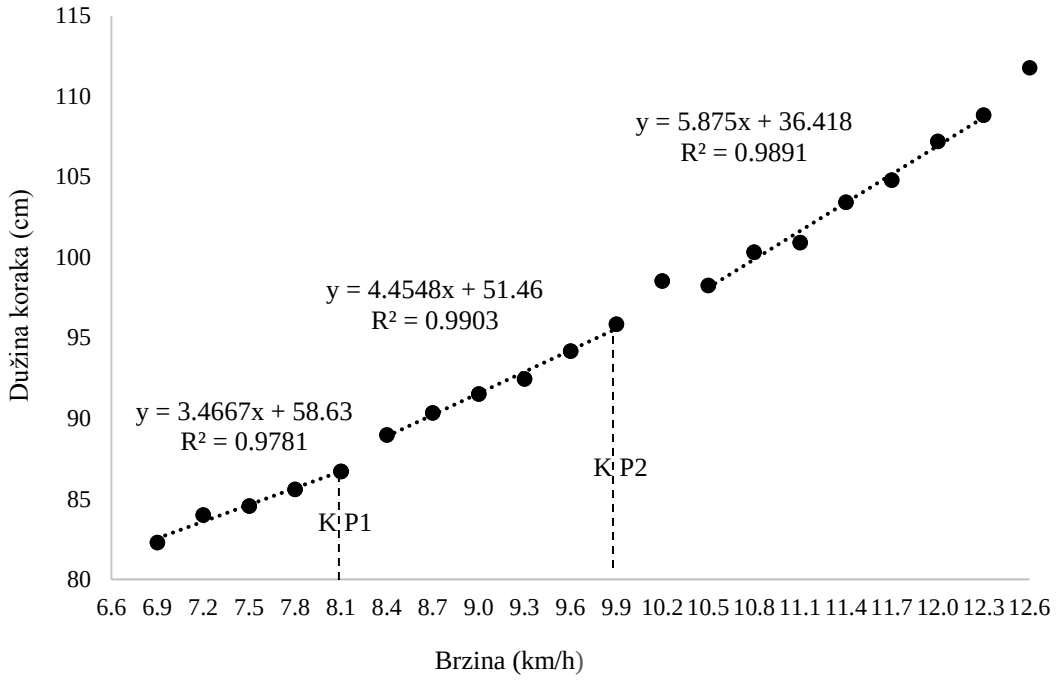
Varijable n=34	**α**	**n**
Dužina koraka (cm)	0.92	33
Dužina jednog ciklusa koraka (cm)	0.91	34
Trajanje jednopotporne faze (s)	0.89	33
Trajanje dvopotporne faze (s)	0.88	33
Trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom (s)	0.91	34
Frekvencija koraka (kor/min)	0.91	33

Legenda str. 84* $p<0.05$

4.5. Modeli krivulja kretanja kinematičkih parametara u testu T03

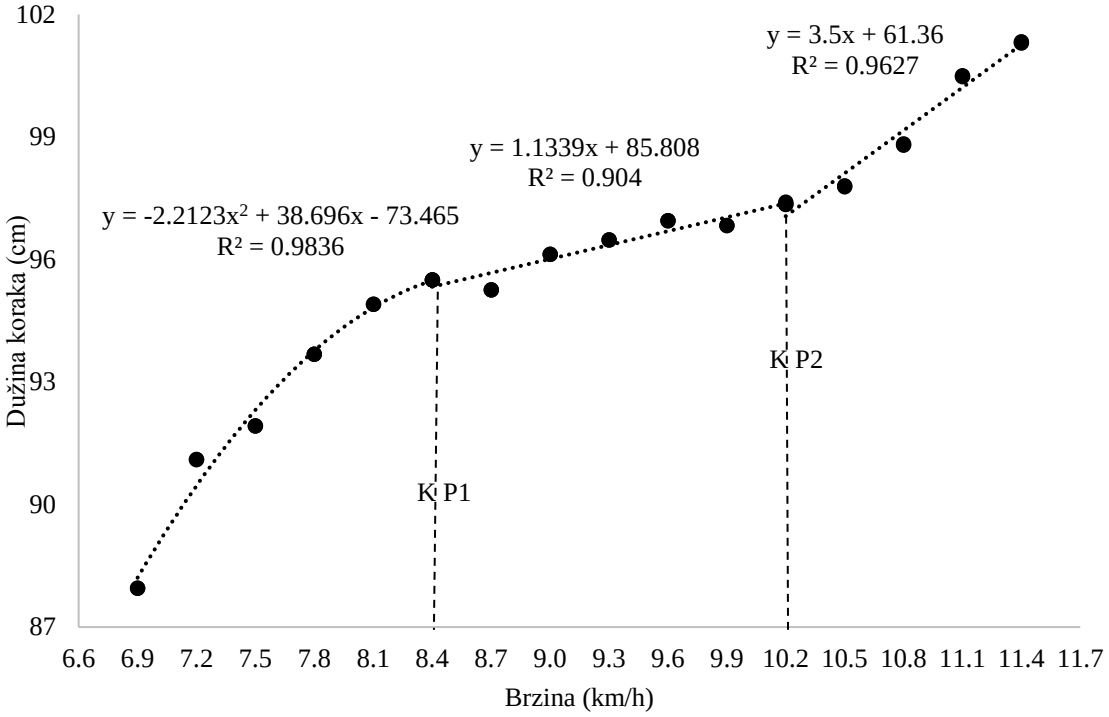
4.5.1. Krivulje kretanja dužine koraka (DK)

Kretanje kinematičkog parametra dužine koraka u testu T03 opisuju četiri modela. Prvi model (Slika 4.5.1.1.) pojavljuje se kod 18 ispitanika (br. 2, 3, 4, 5, 8, 7, 9, 10, 17, 18, 24, 26, 27, 28, 30, 32, 33 i 34). Krivulja sadrži tri zone (s uočljiva dva praga) linearnog porasta dužine koraka. U zoni do prvog praga dužina koraka pokazuje sporiji, linearan porast. U zoni iznad prvog praga porast je tkđ. linearan, nešto brži. Nakon drugog praga dužina koraka raste još brže, i dalje linearno.



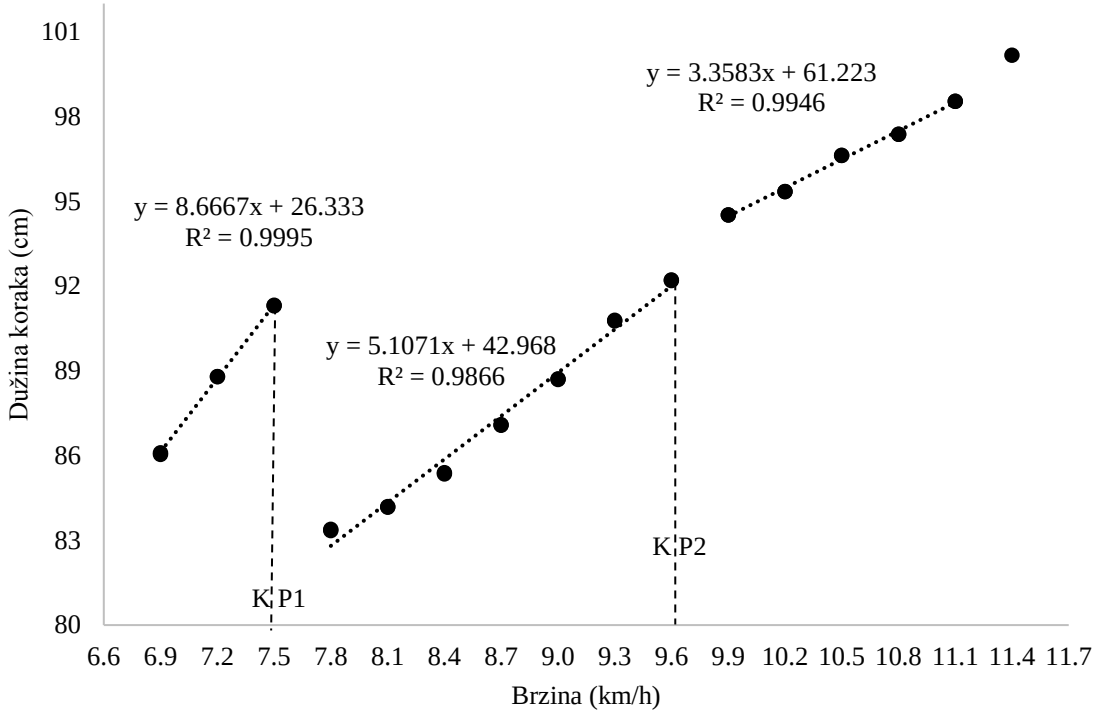
Slika 4.5.1.1. Prikaz PRVOG modela kretanja dužine koraka u testu T03 – tri zone s linearnim infleksijskim porastom (primjer ispitanika br. 34)

Drugi model (Slika 4.5.1.2.) pojavljuje se kod 6 ispitanika (br. 16, 19, 20, 21, 23 i 31). Krivulja sadrži tri zone (s uočljiva dva praga). Prije prvog praga krivulja pokazuje nelinearan porast (u pravilu ga opisuje polinom 2. stupnja). U zoni između prvog i drugog praga porast je linearan s manjim nagibom a nakon drugog praga trend krivulje se nastavlja linearno ali uz veći porast nagiba u odnosu na drugu zonu.



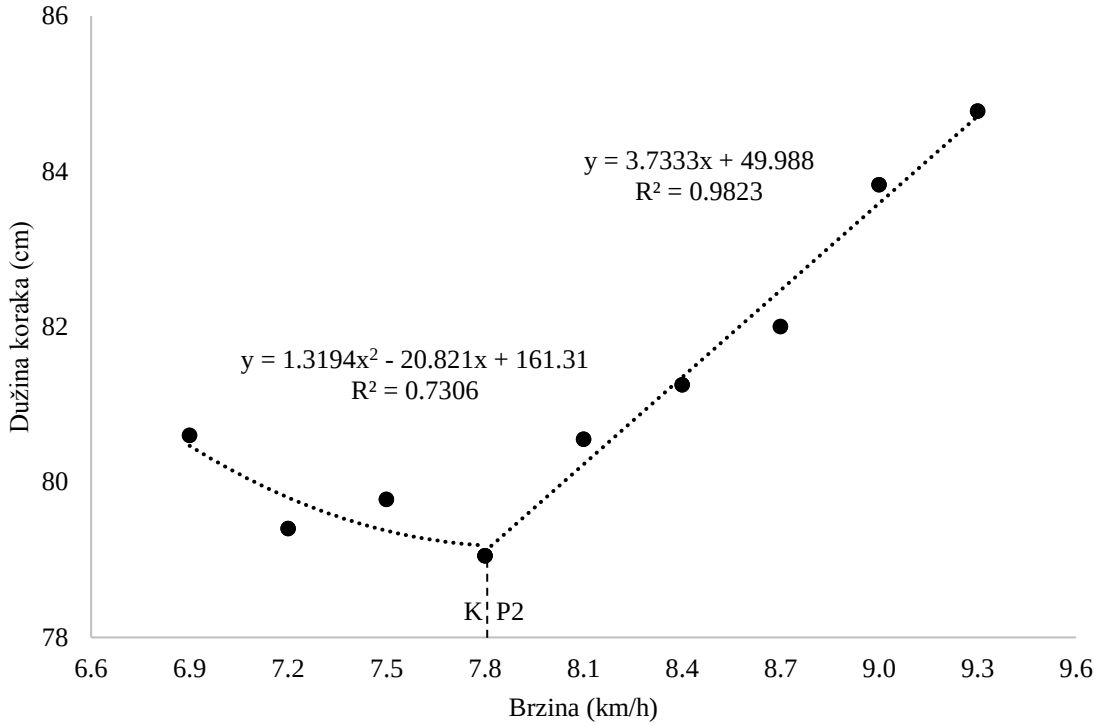
Slika 4.5.1.2. Prikaz DRUGOG modela kretanja dužine koraka u testu T03 – tri zone: 1. polinom 2. stupnja – 2. linearan porast – 3. linearan porast (primjer ispitanika br. 20)

Treći model pojavljuje se kod 7 ispitanika (br. 1, 11, 12, 14, 15, 22 i 29). Krivulja sadrži tri zone (s uočljiva dva praga) linearnog porasta dužine koraka (Slika 4.5.1.3.). U zoni do prvog praga dužina koraka pokazuje linearan porast s većim nagibom. Nakon prvog praga, dolazi do naglog pada vrijednosti dužine koraka, te potom ponovno raste linearno do drugog praga. Nakon drugog praga dolazi do značajnog skoka vrijednosti dužine koraka te potom sporijeg linearnog porasta.



Slika 4.5.1.3. Prikaz TREĆEG modela kretanja dužine koraka u testu T03 – tri zone: 1. linearan porast – 2. pad + linearan porast – 3. linearan porast (primjer ispitanika br. 14)

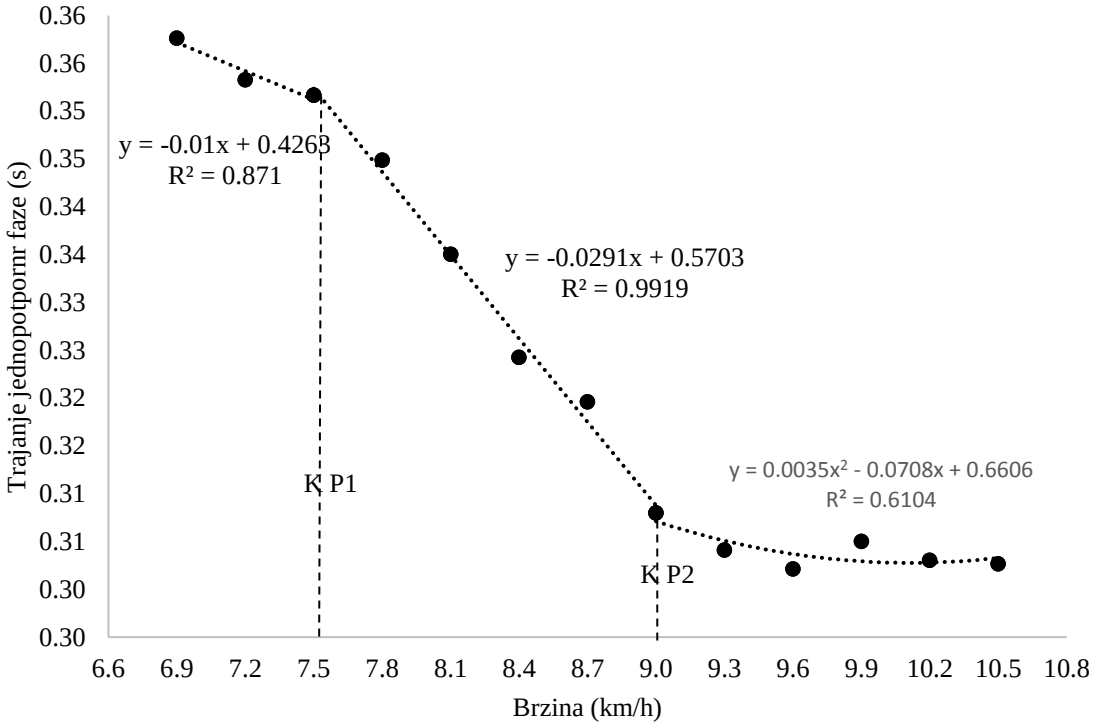
Četvrti model pojavljuje se kod 3 ispitanika (br. 6, 13 i 25). Jasno je vidljiv samo jedan prag, dvije zone, kojeg su procjenjivači označili kao drugi prag (Slika 4.5.1.4.). U zoni prije praga krivulja pokazuje nelinearan pad (u pravilu ga opisuje polinom 2. stupnja). Nakon praga dužina koraka raste linearno većim nagibom.



Slika 4.5.1.4. Prikaz ČETVRTOG modela kretanja dužine koraka u testu T03 – dvije zone: 1. polinom 2. stupnja – 2. linearan porast (primjer ispitanika br. 13)

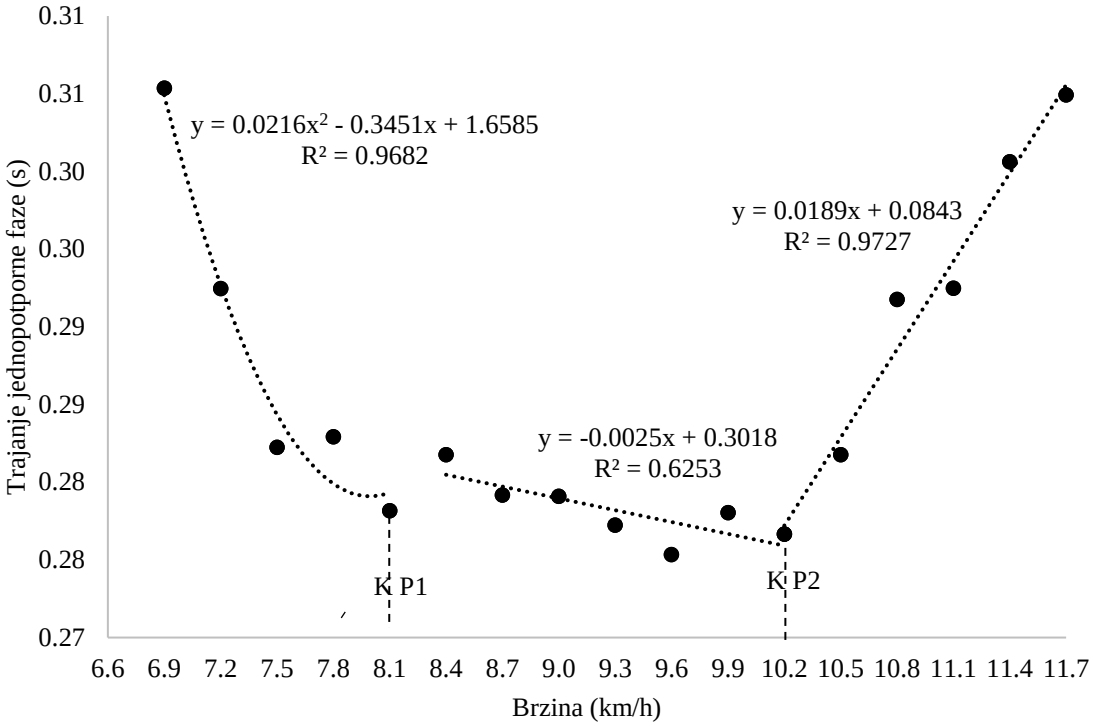
4.5.2. Krivulje kretanja trajanja jednopotporne faze (JF)

Kretanje kinematičkog parametra trajanje jednopotporne faze u testu T03 opisuju tri modela. Prvi model (Slika 4.5.2.1.) pojavljuje se kod 18 od ukupno 34 ispitanika (br. 2, 5, 6, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 20, 21, 23, 24, 25, 28, 29 i 31). Krivulja sadrži tri zone s uočljiva dva praga. U zoni do prvog praga trajanje jednopotporne faze pokazuje linearan pad s manjim nagibom. Zatim se u zoni iznad prvog praga nastavlja linearan pad ali s većim nagibom. Nakon drugog praga kretanje trajanja jednopotporne faze je nelinearno s manjim padom (u pravilu ga opisuje polinom 2. stupnja).



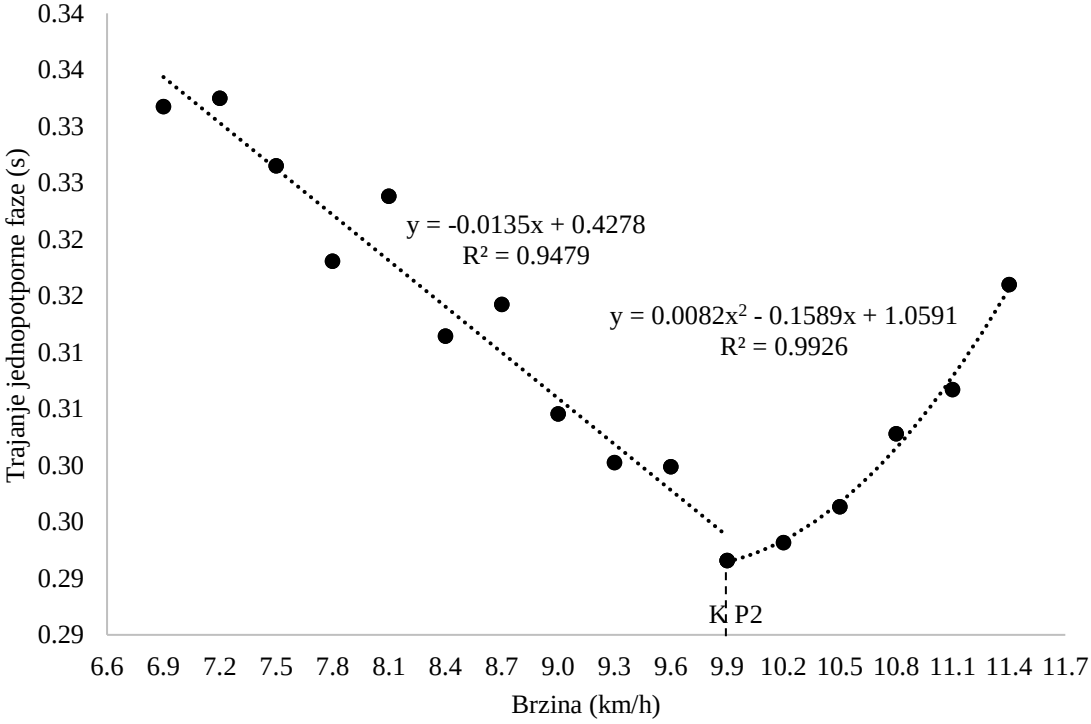
Slika 4.5.2.1. Prikaz PRVOG modela kretanja trajanja jednopotprne faze u testu T03 – tri zone: 1. linearan pad – 2. linearan pad – 3. polinom 2. stupnja (primjer ispitanika br. 21)

Drugi model (Slika 4.5.2.2.) pojavljuje se kod 8 ispitanika (br. 1, 3, 4, 7, 8, 9, 30 i 34). Krivulja sadrži tri zone (s uočljiva dva praga). Prije prvog praga krivulja pokazuje nelinearan pad (u pravilu ga opisuje polinom 2. stupnja) s većim nagibom. U zoni između prvog i drugog praga pad je linearan s manjim nagibom a nakon drugog praga trend krivulje je linearni porast većeg nagiba.



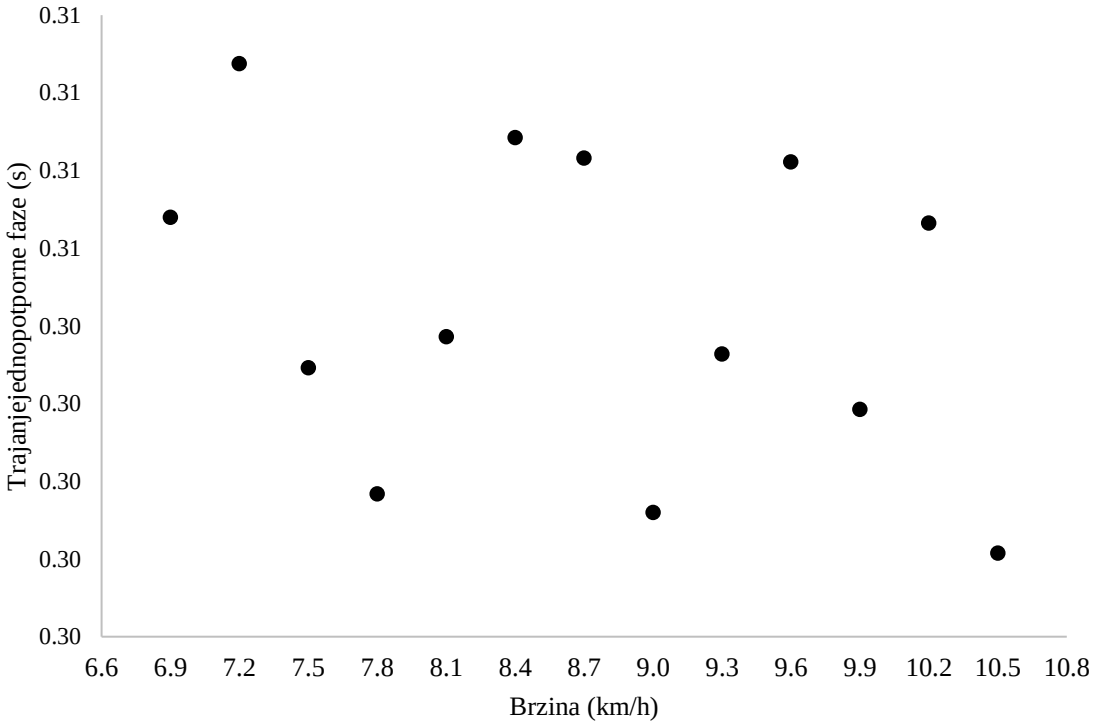
Slika 4.5.2.2. Prikaz DRUGOG modela kretanja trajanja jednopotprne faze u testu T03 – tri zone: 1. polinom 2. stupnja – 2. linearan pad – 3. linearni porast (primjer ispitanika br. 3)

Treći model pojavljuje se kod 7 ispitanika (br. 16, 18, 19, 22, 26, 27, 32 i 33). Krivulja sadrži dvije zone s uočljivim jednim pragom kojeg su procjenjivači označili kao drugi prag (Slika 4.5.2.3.). U zoni do praga trajanje jednopotporne faze pokazuje linearan pad a nakon drugog praga dolazi do nelinearnog porasta vrijednosti.



Slika 4.5.2.3. Prikaz TREĆEG modela kretanja trajanja jednopotprne faze u testu T03 – dvije zone: 1. linearan pad – 2 polinom 2. stupnja (primjer ispitanika br. 26)

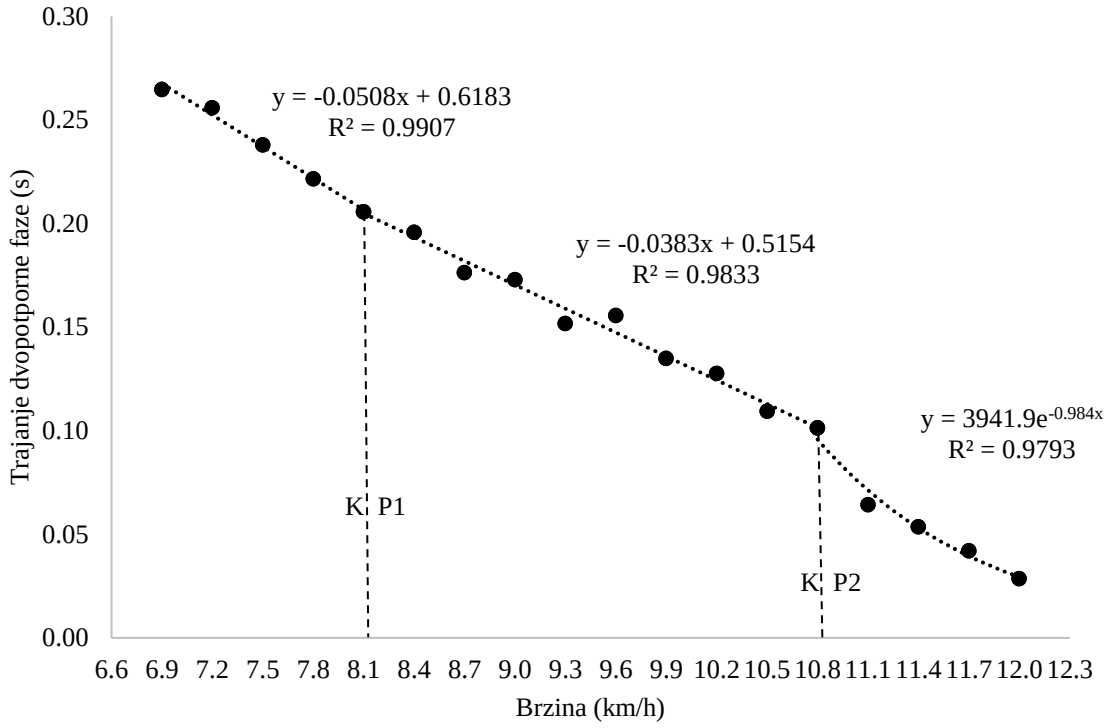
Samo kod jednog ispitanika (br. 19) izgled krivulje je odstupao od navedena tri modela (Slika 4.5.2.4.). Kod ovog ispitanika niti jedan procjenjivač nije u ovoj kinematičkoj varijabli mogao utvrditi prvi i/ili drugi prag.



Slika 4.5.2.4. Prikaz krivulje kretanja trajanja jednopotprne faze u testu T03 ispitanika br. 19

4.5.3. Krivulja kretanja trajanja dvopotporne faze (DF)

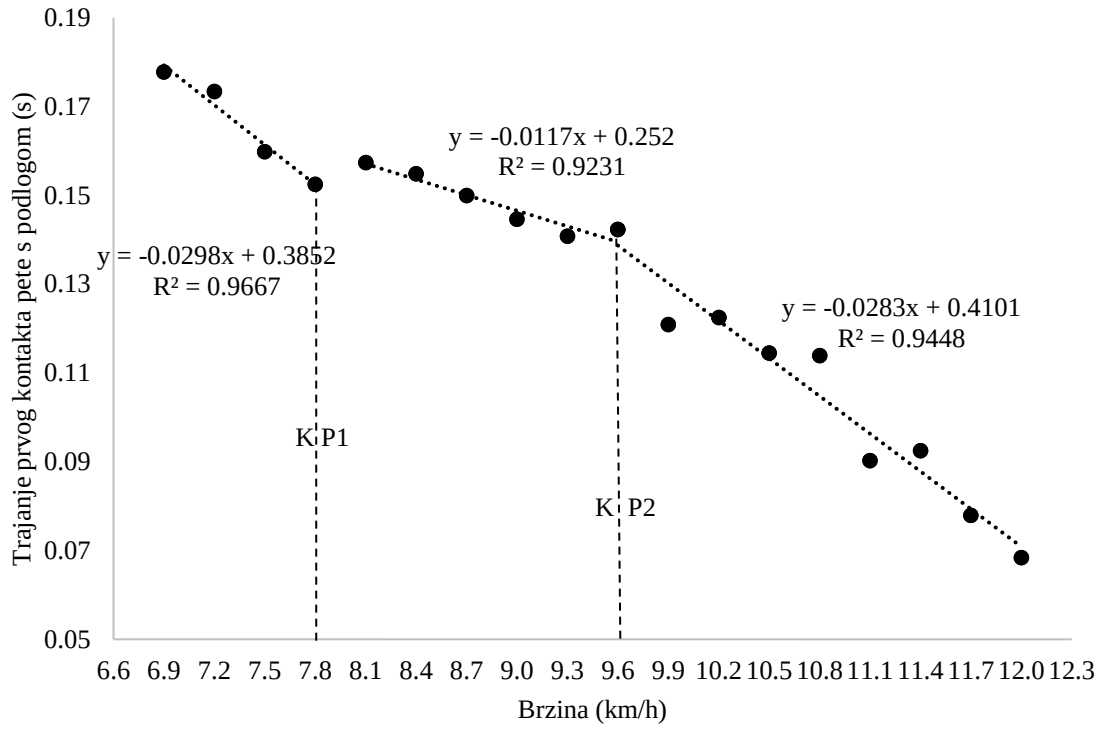
Kretanje kinematičkog parametra trajanje dvopotporne faze u testu T03 opisuje jedan model vidljiv kod svih ispitanika (34) (Slika 4.5.3.1.). Prije prvog praga krivulja pokazuje linearan pad manjeg nagiba koji traje do prvog praga ali i u zoni između prvog i drugog praga a nakon drugog praga dolazi do značajnijeg pada vrijednosti varijable.



Slika 4.5.3.1. Prikaz modela kretanja trajanja dvopotporne faze u testu T03 – tri zone: 1. linearan pad – 2. linearni pad – 3. eksponencijalan pad (primjer ispitanika br. 9)

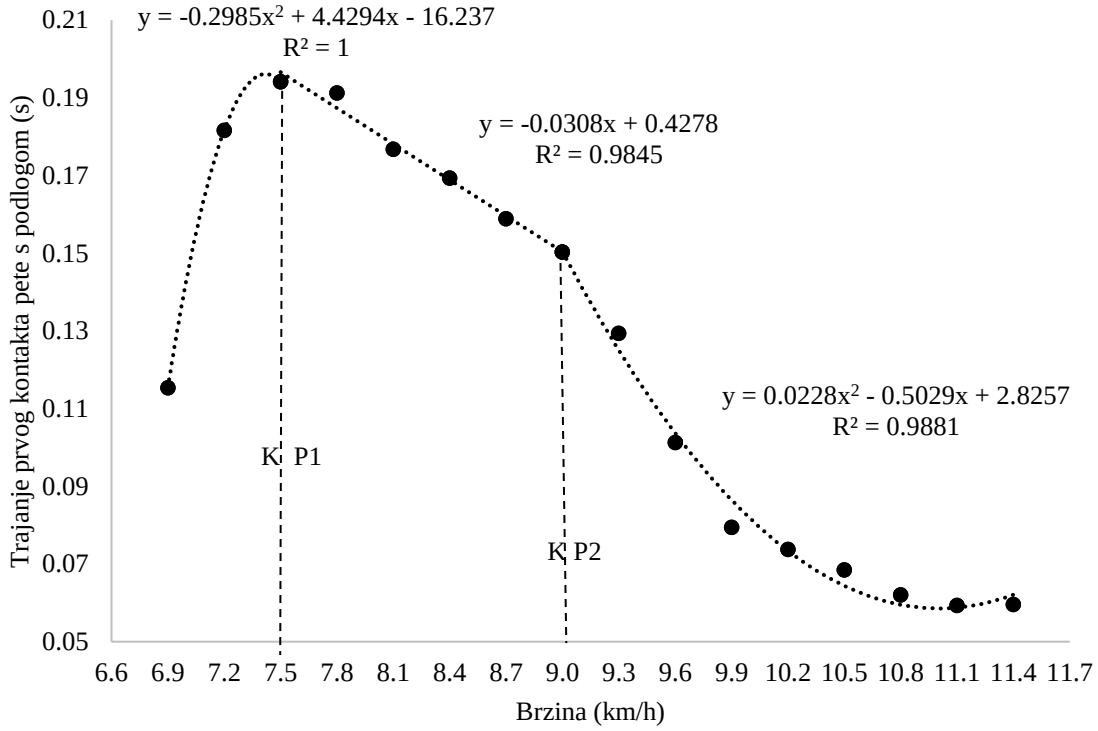
4.5.4. Krivulje kretanja trajanja prednjeg kontakta pete s podlogom (PKP)

Kretanje kinematičkog parametra trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom u testu T03 opisuju dva modela. Prvi model pojavljuje se kod 24 ispitanika od ukupno 34 (br. 1, 2, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 29, 31 i 34) (Slika 4.5.4.1.). Krivulja sadrži tri zone s uočljiva dva praga. U zoni do prvog praga trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom pokazuje linearan pad. U zoni iznad prvog praga nastavlja se sporiji, linearan pad. Nakon drugog praga trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom pokazuje bržu dinamiku pada vrijednosti.



Slika 4.5.4.1. Prikaz PRVOG modela trajanja prednjeg kontakta pete s podlogom u testu T03 – tri zone: 1. linearan pad – 2. linearan pad – 3. linearan pad (primjer ispitanika br. 9)

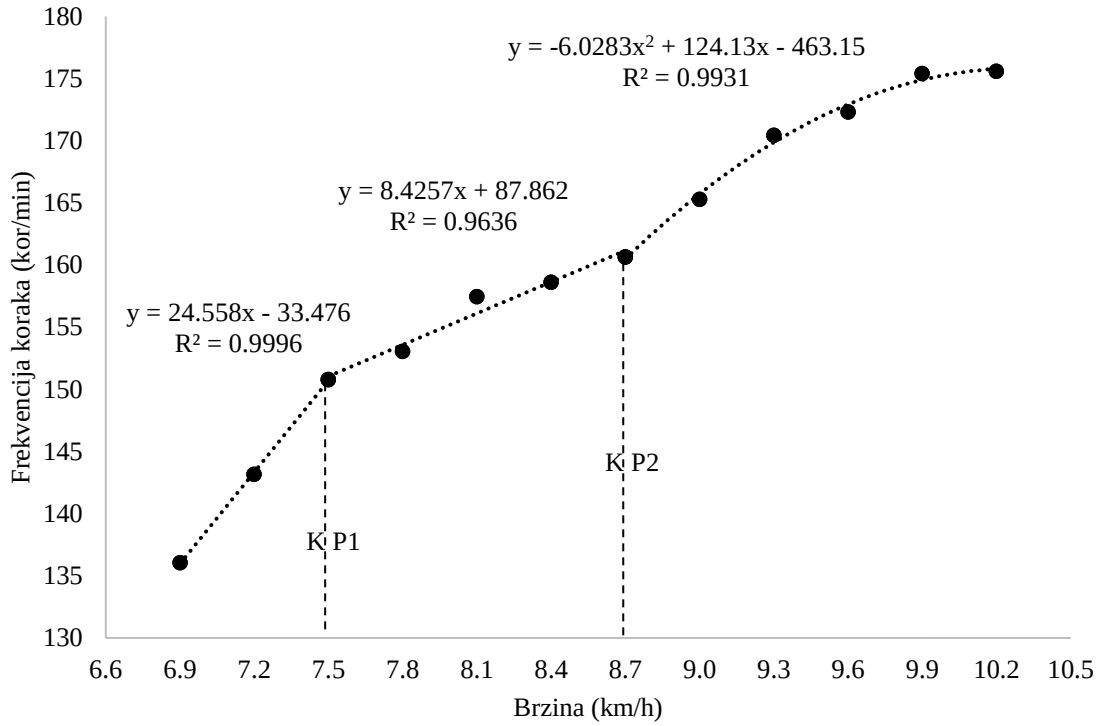
Drugi model (Slika 4.5.4.2.) pojavljuje se kod 10 ispitanika (br. 3, 5, 7, 13, 17, 26, 28, 30, 32 i 33). Krivulja sadrži tri zone (s uočljiva dva praga). Prije prvog praga krivulja pokazuje porast s većim nagibom (u pravilu ga opisuje polinom 2. stupnja). Zatim između prvog i drugog praga dolazi do linearnog pada, a nakon drugog praga još brži, nelinearni pad.



Slika 4.5.4.2. Prikaz DRUGOG modela trajanja prednjeg kontakta pete s podlogom u testu T03 – tri zone: 1. polinom 2. stupnja – 2. linearan pad – 3. polinom 2. stupnja (primjer ispitanika br. 28)

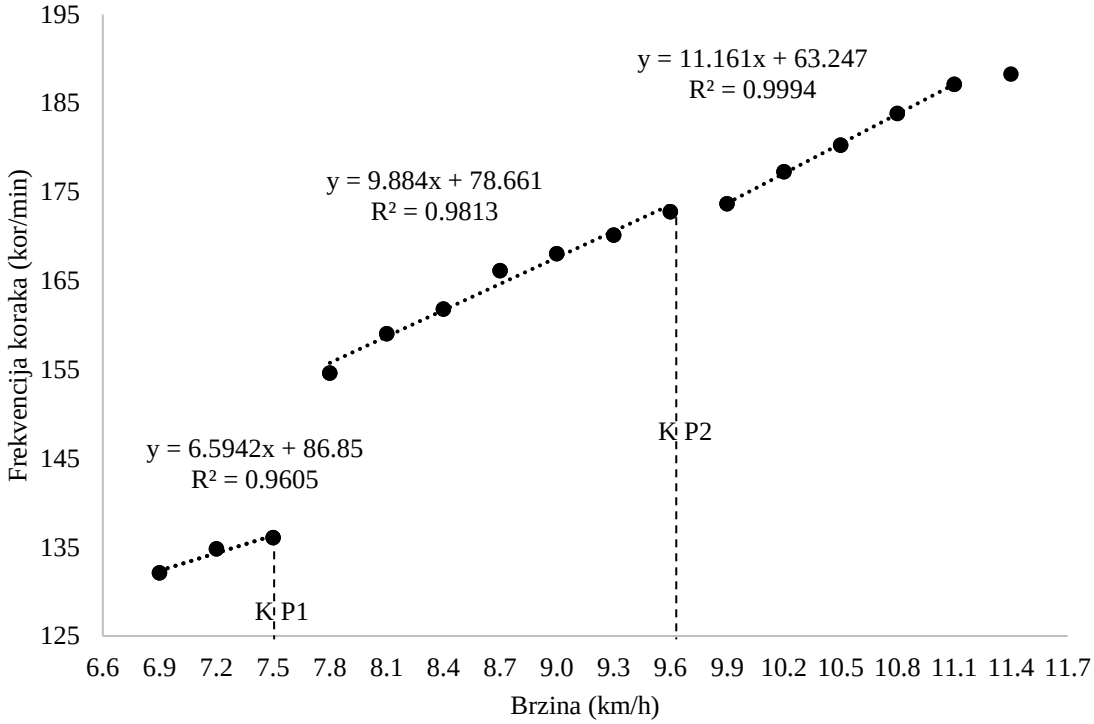
4.5.5. Krivulje kretanja frekvencije koraka (FK)

Kretanje kinematičkog parametra frekvencije koraka u testu T03 opisuju dva modela. Prvi model pojavljuje kod 27 ispitanika (br. 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 33 i 34) (Slika 4.5.5.1.). Krivulja sadrži tri zone s uočljiva dva praga. U zoni do prvog praga frekvencija koraka pokazuje linearan porast. U zoni iznad prvog praga nastavlja se linearan porast, s manjim nagibom. Nakon drugog praga frekvencija koraka nelinearno raste.



Slika 4.5.5.1. Prikaz PRVOG modela kretanja frekvencije koraka u testu T03 – tri zone: 1. linearan porast – 2. linearan porast – 3. polinom 2. stupnja (primjer ispitanika br. 12)

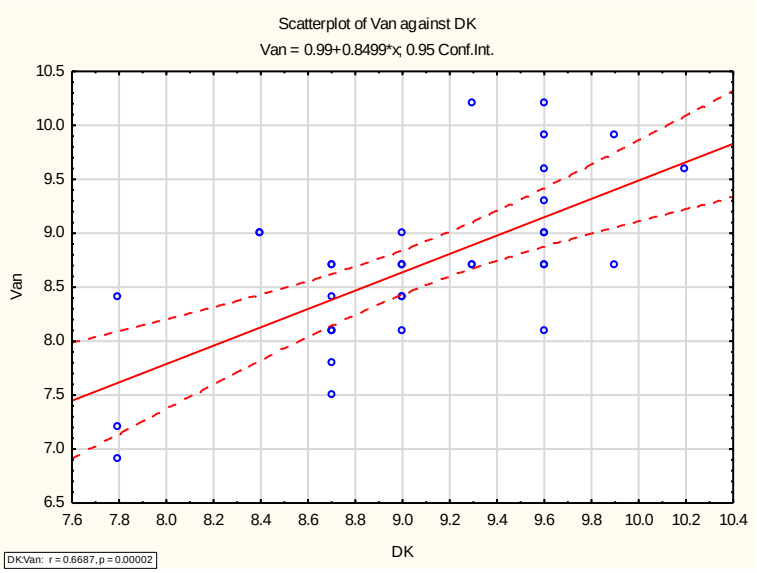
Drugi model (Slika 4.5.5.2.) pojavljuje se kod 7 ispitanika (br. 1, 3, 11, 14, 15, 22 i 29). Krivulja sadrži tri zone (s uočljiva dva praga). Prije prvog praga krivulja pokazuje linearan porast sa sporijom dinamikom rasta. Zatim nakon prvog praga dolazi do naglog skoka te se nastavlja linearan porast manjeg nagiba između prvog i drugog praga. Nakon drugog praga trend krivulje nastavlja se dalje linearno s porastom većeg nagiba.



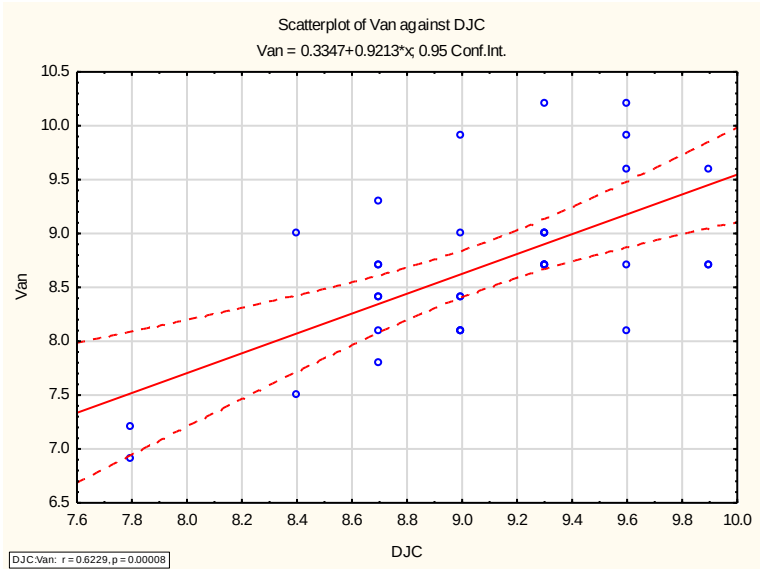
Slika 4.5.5.2. Prikaz DRUGA modela kretanja frekvencije koraka u testu T03 – tri zone: 1. linearan porast – 2. skok + linearan porast – 3. linearan porast (primjer ispitanika br. 14)

4.6. Analiza povezanosti između drugog ventilacijskog (V_{an}) i kinematičkog praga (KP2) u testu T03

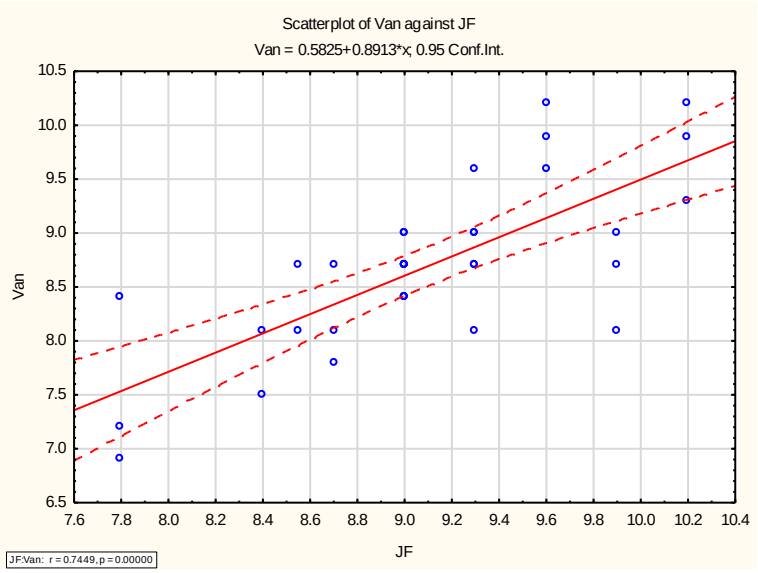
Na slikama 4.6.1.–.6. prikazana je povezanost između drugog ventilacijskog (V_{an}) i kinematičkog praga (KP2) u različitim kinematičkim parametrima u testu T03.



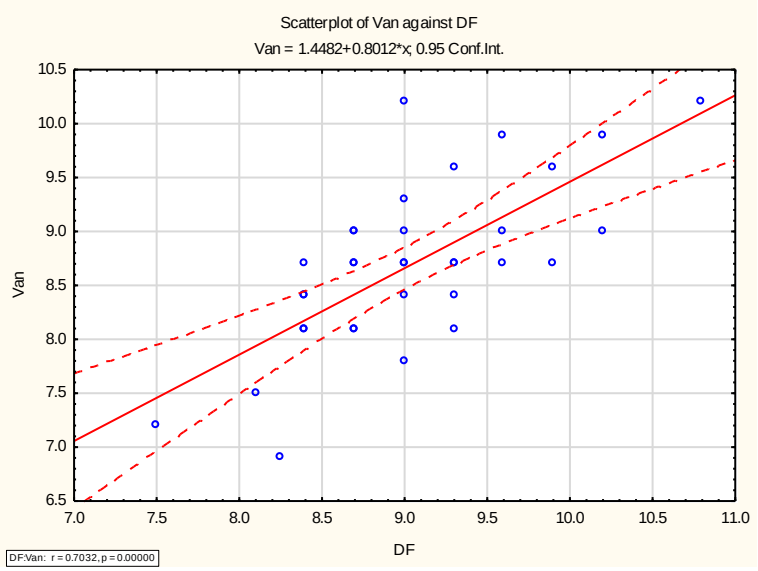
Slika 4.6.1. Povezanost drugog ventilacijskog (V_{an}) i kinematičkog praga (KP2) za dužinu koraka u testu T03



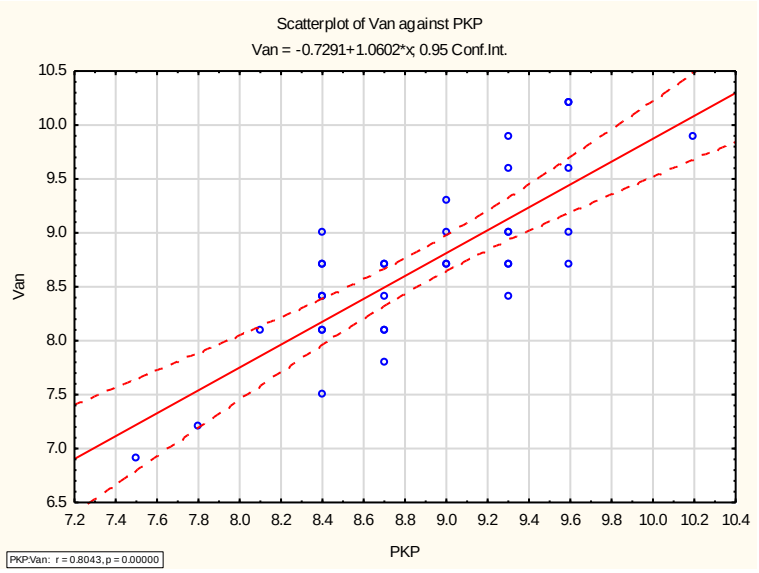
Slika 4.6.2. Povezanost drugog ventilacijskog (V_{an}) i kinematičkog praga (KP2) za dužinu jednog ciklusa koraka u testu T03



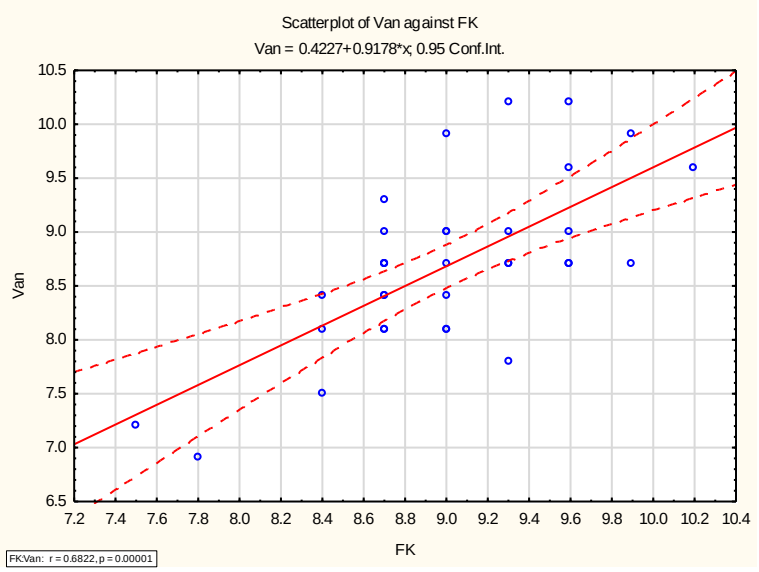
Slika 4.6.3. Povezanost drugog ventilacijskog (V_{an}) i kinematičkog praga (KP2) za trajanje jednopotporne faze u testu T03



Slika 4.6.4. Povezanost drugog ventilacijskoga (V_{an}) i kinematičkog praga (KP2) za trajanje dvopotporne faze (DF) u testu T03



Slika 4.6.5. Povezanost drugog ventilacijskog (V_{an}) i kinematičkog praga (KP2) za trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom u testu T03



Slika 4.6.6. Povezanost drugog ventilacijskog (V_{an}) i kinematičkog praga (KP2) za frekvenciju koraka u testu T03

4.7. Razlike između brzina hodanja pri drugom ventilacijskom (V_{an}) i kinematičkom (KP2) pragu u testu T03

Razlike u brzini hodanja između Van i KP2 u testu T03 prikazane su u Tablici 4.7.1.

Tablica 4.7.1.: Razlike u brzini hodanja pri drugom ventilacijskom (V_{an}) i kinematičkom (KP2) pragu u testu T03

n=34	**AS± SD**	**d**	**Cohen's d**	**r**	**SEd**	**t**	**p**
Dužina koraka (cm)	9.06±0.61						
Drugi ventilacijski prag	8.69±0.77	-0.37	0.64	0.67	0.10	**3.71**	**0.001**
Dužina jednog ciklusa koraka (cm)	9.07±0.52						
Drugi ventilacijski prag	8.69±0.77	-0.38	0.63	0.62	0.10	**3.65**	**0.001**
Trajanje jednopotporne faze (s)	9.10±0.65						
Drugi ventilacijski prag	8.69±0.77	-0.41	0.78	0.74	0.09	**4.55**	**0.000**
Trajanje dvopotporne faze (s)	9.04±0.68						
Drugi ventilacijski prag	8.69±0.77	-0.35	0.62	0.70	0.10	**3.59**	**0.001**
Frekvencija koraka (kor/min)	9.01±0.57						
Drugi ventilacijski prag	8.69±0.77	-0.32	0.56	0.68	0.10	**3.28**	**0.003**
Trajanje prednjeg kontakta pete sa podlogom (s)	8.89±0.59						
Drugi ventilacijski prag	8.69±0.77	-0.19	0.42	0.80	0.08	**2.46**	**0.019**

Legenda str. 84* $p<0.05$

4.8. Razlike između desne i lijeve noge u kinematičkim parametrima u testovima T03 i T05 odvojeno po spolu

S ciljem analize razlika u radu desne i lijeve noge u kinematičkim parametrima dobivenim u testovima T03 i T05 odvojeno po spolu proveden je t-test za zavisne uzorke te su rezultati prikazani u skraćenim tablicama (Tablice 4.8.1-2.).

Tablica 4.8.1.: Razlike između desne i lijeve noge u kinematičkim parametarima u testovima T03 i T05 kod muških ispitanika

n=19	**T03**				**T05**		
	noga	**AS±SD**	**t**	**p**	**AS±SD**	**t**	**p**
Dužina koraka (cm)	D	96.0±4.1			96.4±4.7		
	L	95.3±4.9	0.65	0.525	95.4±5.0	1.05	0.306
Dužina jednog ciklusa koraka (cm)	D	191.3±7.8			191.8±8.8		
	L	191.2±7.8	0.96	0.347	191.8±8.8	0.32	0.750
Trajanje oslonačne faze (s)	D	0.47±0.02			0.46±0.02		
	L	0.47±0.02	0.53	0.602	0.46±0.02	0.06	0.955
Trajanje jednopotporne faze (s)	D	0.30±0.02			0.30±0.02		
	L	0.30±0.01	0.59	0.557	0.30±0.02	0.15	0.880
Trajanje dvopotporne faze (s)	D	0.164±0.020			0.16±0.02		
	L	**0.165±0.021**	**2.12**	**0.047**	0.16±0.02	1.87	0.077
Trajanje prednjeg kontakta pete sa podlogom (s)	D	0.109±0.027			0.11±0.02		
	L	**0.118±0.028**	**2.05**	**0.055**	0.12±0.03	1.78	0.091
Frekvencija koraka (kor/min)	D	157.7±7.2			160.6±8.0		
	L	158.8±7.2	0.78	0.444	160.6±8.0	1.39	0.179

Legenda str. 84* $p<0.05$

Tablica 4.8.2.: Razlike između desne i lijeve noge u kinematičkim parametarima u testovima T03 i T05 kod ženskih ispitanika

n=15	**T03**				**T05**		
	noga	**AS±SD**	**t**	**p**	**AS±SD**	**t**	**p**
Dužina koraka (cm)	D	89.5±6.0			89.3±5.5		
	L	89.0±5.8	0.78	0.445	88.3±5.2	1.03	0.319
Dužina jednog ciklusa koraka (cm)	D	178.5±11.5			177.6±10.1		
	L	178.5±11.5	0.54	0.593	177.6±10.1	0.38	0.706
Trajanje oslonačne faze (s)	D	0.46±0.02			0.45±0.02		
	L	0.46±0.01	0.25	0.808	0.46±0.02	0.96	0.350
Trajanje jednopotporne faze (s)	D	0.30±0.03			0.30±0.02		
	L	0.30±0.03	0.27	0.790	0.30±0.02	0.86	0.399
Trajanje dvopotporne faze (s)	D	0.16±0.03			0.16±0.02		
	L	0.16±0.03	1.24	0.232	0.16±0.02	2.02	0.062
Trajanje prednjeg kontakta pete sa podlogom (s)	D	0.11±0.03			0.11±0.03		
	L	0.11±0.03	0.39	0.701	0.12±0.03	0.53	0.599
Frekvencija koraka (kor/min)	D	159.3±7.5			161.9±6.7		
	L	159.3±7.5	0.56	0.582	161.9±6.7	0.51	0.614

Legenda str. 84* $p<0.05$

5. RASPRAVA

Osnovna svrha ovog istraživanja bila je utvrditi utjecaj protokola progresivnog kontinuiranog testa hodanja na pokretnom sagu: 1. s finom gradacijom opterećenja (T03), 2. sa standardnim protokolom koji se koristi za trčanje kao modalitet opterećenja (T05), na parametre za procjenu energetskih kapaciteta. Zatim se analizirala dinamika kretanja kinematičkih parametara u sportskom hodanju pri primjenjenim testovima opterećenja. Također se željelo provjeriti da li određeni kinematički parametri pokazuju fenomen praga pri progresivnom porastu opterećenja (promjenu u trendu) te da li postoji funkcionalna veza između eventualno detektiranih kinematičkih pragova i ventilacijskih pragova. Dodatno su se analizirale spolne razlike te razlike u kinematičkim parametrima lijeve i desne noge u progresivnom kontinuiranom testu hodanja na pokretnom sagu s finom gradacijom opterećenja.

5.1. Razlike u funkcionalnim parametrima između testova T03 i T05

Sportsko hodanje je atletska disciplina koju prema energetskoj potrošnji svrstavamo u discipline izdržljivosti zajedno sa trčanjima na srednje, duge i ultra duge pruge. Pretraživanjem literature vidljivo je da su različiti funkcionalni parametri, kao što su maksimalni primitak kisika (VO_{2max}) (Saltin i Astrand, 1967; Pollock, 1977; Rusko, Havu i Karvinen, 1978; Boileau i sur., 1982), ekonomičnost trčanja (Conley i Krahenbuhl, 1980; Sjodin i Jacobs, 1982; Conley, Krahenbuhl i Burkett, 1984; Saunders i sur., 2004) te parametri anaerobnog praga (Powers i sur., 1983; Svedahl i Macintosh, 2003) značajni za uspjeh u trkačkim disciplinama a njihov utjecaj na natjecateljsku uspješnost raste sa porastom dužine staze (Costill, 1967; Foster i sur., 1978; Conley i Krahenbuhl, 1980; Conley, Krahenbuhl i Burkett, 1984; Bulbulian, Wilcox i Darabos, 1986; Brandon i Boileau, 1992; Morgan i Craig, 1992; Anderson, 1996; Saunders i sur., 2004). Maksimalni primitak kisika (VO_{2max}) smatra se jednim od najobjektivnijih parametara kojim se utvrđuje potencijal transportnog sustava za kisik u disciplinama izdržljivosti. Vrhunski trkači na srednje i duge pruge dostižu vrijednosti VO_{2max} preko 70 ml/kg/min, dok neki izvori navode vrijednosti od 80 do 85 ml/kg/min u pojedinih trkača. Vrhunski hodači dostižu nešto niže vrijednosti VO_{2max} od 63 do 75 ml/kg/min (Chwala, Klimek i Mirek, 2014; Drake i sur., 2011) za muške te od 55 do 65 ml/kg/min za žene (Drake i sur., 2011). Prosječne vrijednosti maksimalnog primitka kisika, opće populacije za istu dob iznose oko 40-50 ml/kg/min (Schwartz i Reibold, 1990). Heterogeni uzorak, s obzirom na stupanj

treniranosti, dijelom je razlog nižih vrijednosti maksimalnog primitka kisika u ovom istraživanju. Također, testovi nisu provedeni do iscrpljenja ispitanika jer su pri višim brzinama kretanja, iznad anaerobnog praga, ispitanici narušavali tehniku sportskog hodanja što se *on-line* praćenjem kinematičkih parametara moglo uočiti i ranije subjektivne stručne procjene. Stoga su za dio ispitanika testovi prekinuti prije postizanja maksimalnih funkcionalnih vrijednosti.

Anaerobni (drugi) ventilacijski prag je intenzitet pri kojem se, u progresivnom testu opterećenja, ventilacija povećava disproporcionalno sa porastom VCO_2, a posljedica toga je pad arterijskog PCO_2 (Wasserman i sur., 1999; Whipp i sur., 1981; Zhang i sur., 1991), pri čemu se VE/VCO2 i arterijski PCO_2 u pravilu bitno ne mijenjaju između prvog (aerobnog) i drugog (anaerobnog) praga (tzv. 'isocapnic buffering' zona), ukoliko je kraće ukupno trajanje testa. U testovima dužeg trajanja (trajanje pojedinog stupnja opterećenja ≥3 min ili porast opterećenja ≤8 W/min), VE/VCO_2 se povećava a PCO_2 smanjuje iznad prvog praga. Weston i suradnici (2002) na uzorku vrhunskih biciklista utvrdili su, u trima testovima s različitim porastom opterećenja (10, 30 i 50 W/min), da se primitak kisika pri anaerobnom pragu ne razlikuje između različitih testova, tj. da je VO_2 pri anaerobnom pragu neovisan o protokolu opterećenja. Rezultati ovog istraživanja na hodačima potvrđuju navedenu pretpostavku, da brzina porasta opterećenja u testu ne utječe na primitak kisika pri anaerobnom pragu (Tablica 4.2.2) te se na temelju dobivenih rezultata može predpostaviti da postoji jedinstven metabolički anaerobni prag kod hodača neovisno o ukupnom trajanju testa opterećenja.

Naprotiv, dostignuta maksimalna kinematička brzina hodanja (10.9±0.9 : 11.2±1.0) kao i brzina hodanja, tj. intenzitet opterećenja pri kojoj ispitanici prelaze ventilacijski anaerobni prag (8.7±0.8 : 9.1±0.8) značajno se razlikuju ovisno o primijenjenom protokolu opterećenja (Tablice 4.2.2 i 4.2.3), u skladu sa dosadašnjim istraživanjima (Kuipers i sur., 2003; Weston i sur., 2002; Billat i sur., 1996; Vučetić, 2007) na biciklergometru i pri trčanju na pokretnom sagu. Te razlike su statistički značajne za ukupni uzorak kao i za muške ispitanike dok za skupinu ispitanica zbog nešto manjeg uzorka i nešto veće varijabilnosti ta razlika ne dosiže statističku značajnost iako je jasan trend viših vrijednosti i za drugi ventilacijski prag i za maksimalnu brzinu hoda u testu T05. Trajanje dijela testa tehnikom sportskog hoda (za T03 od 6.9 km/h a za T05 od 7 km/h) također se značajno razlikuje i iznosi 4.7±1 minuta u testu T05 a 7.2±1.5 minuta u testu T03. Ukupno trajanje testa T05 prosječno iznosi 8.7±1 minutu, dok za test T03 trajanje iznosi 13.7±1.5 minutu ($p<0.000$). Naime, u testovima dužeg trajanja postižu se nešto niže vrijednosti VO_{2max}, što se objašnjava povećanom temperaturom tijela, većom dehidracijom, bolovima ili nelagodom u mišićima, gubitkom motivacije te različitim energetskim zahtjevima (Barros Neto, Cesar i Tambeiro, 1999). Optimalno trajanje

spiroergometrijskog testa za procjenu parametara aerobnog kapaciteta iznosi 8 do 12 minuta (Wasserman, 1999). Iako je ukupno trajanje testa T03 u prosjeku nešto iznad preporučenih vrijednosti, VO_{2max} je statistički značajno veći (47.1±6.2 ml/kg/min) u odnosu na T05 (45.9 ±6.0 ml/kg/min) no ta razlika (1.6 ml/kg/min) ipak nije značajna u praktičnom smislu. Sa porastom brzine lokomocije, pri trčanju energetska potrošnja proporcionalno raste, dok pri hodanju energetska potrošnja raste eksponencijalno s porastom brzine hoda (Di Prampero, 1986; Mazzeo i Marshall, 1989). Stoga finija gradacija odnosno sporija akceleracija opterećenja u testu T03 omogućava nešto duže trajanje testa u anaerobnoj zoni (od anaerobnog praga do dostignute maksimalne brzine) koje približno odgovara trajanju testa u anaerobnoj zoni T05 kod trčanja (test sa bržom akceleracijom). Sličan je odnos trajanja testova T03 i T05 i u muških i u ženskih ispitanika, s time da su vrijednosti statistički značajno više u muških (Tablica 4.2.3.). Ovo je prvo istraživanje u kojem su ti parametri uspoređeni u dva protokola sa sportskim hodanjem kao modalitetom opterećenja. Viša maksimalna dostignuta kinematička brzina hodanja u protokolu s većim pomakom kao u ovom istraživanju, ili kraćim trajanjem pojedinog stupnja opterećenja (Kuipers i sur., 2003, Vučetić, 2007) može se objasniti manjim udjelom anaerobne komponente pri svakoj brzini iznad aerobnog praga. Naime, pri brzinama iznad anaerobnog praga za svaki stupanj opterećenja, što je kraće trajanje pojedinog stupnja, manja je potrošnja energije iz zaliha anaerobnog kapaciteta. Osim toga, za veću dostignutu brzinu u protokolima s bržim porastom opterećenja odgovorna je i činjenica da se i anaerobni prag postiže pri višoj brzini te se stoga i kasnije uključuje anaerobna potrošnja. Moglo bi se pretpostaviti da je u testu T05, zbog većeg porasta intenziteta sa svakim stupnjem opterećenja, teža tehnička prilagodba te stoga niža efikasnost, naročito pri većim brzinama pokretnog saga. Mjerenje anaerobnog kapaciteta ograničeno je mnogim metodološkim i tehničkim čimbenicima, i najčešće se provodi na biciklergometru, pokretnom sagu ili pomoću specifičnih terenskih testova. Neke od metoda za procjenu anaerobnog kapaciteta su: 1) tzv. *critical power* metoda (CP), 2) mjerenje maksimalnog akumuliranog deficita kisika (MAOD – maximal accumulated *oxygen deficit,* Medbo i Sejersted, 1988) te 3) mjerenje duga kisika i tzv. EPOC-a (*excess postexercise oxygen consumption*). U ovom istraživanju za procjenu anaerobnog kapaciteta korišten je indirektan parametar izračunat prema formuli AnK = k•x ½n x (n + 1) (Šentija, Maršić i Dizdar, 2009). Anaerobni kapacitet (AnK) izražen u metrima, predstavlja anaerobni udio u energetskoj potrošnji u anaerobnoj zoni, odnosno od anaerobnog praga do kraja testa. Aerobni udio u anaerobnoj zoni (AeAnK) ukazuje na ukupno potrošen VO_2 u anaerobnoj zoni iznad potrošnje pri anaerobnom pragu. Ukupni kapacitet u anaerobnoj zoni (AnKuk=AnK+AeAnK), izražen u metrima, dobiven je kao zbroj dva prethodna parametra. Za

razliku od dobivenih rezultata u istraživanjima provedenim u trčanju kao modalitetu kretanja, u ovom istraživanju kod hodanja u sva tri parametra više su vrijednosti postignute u testu T03 (Tablica 4.2.3).

Frekvencija srca zbog visoke povezanosti s intenzitetom rada koristi se kao mjera opterećenja u programiranju i kontroli trenažnog procesa. U ovom istraživanju pri anaerobnom pragu dobivene su gotovo identične prosječne vrijednosti u testovima T05 : T03 (157.8±19 : 157.2±17 o/min, p = 0.786; Tablica 4.2.2). Pri maksimalnom opterećenju pak dobivene su više vrijednosti frekvencije srca u testu T03 (183.5±13 : 186.5±13, p= 0.004; Tablica 4.2.3). Niže vrijednosti maksimalne frekvencije srca u testu T05, mogu biti posljedica metode usrednjavanja podataka. U oba provedena testa podaci su usrednjavani na 30 sekundi, što je standardni postupak, s obzirom na prisutnost šuma mjerenja *breath-by-breath* metodom. Kako bi se izbjegao utjecaj različite dinamike porasta frekvencije srca u jedinici vremena, bilo bi poželjno usrednjavati podatke u svakom testu na ½ vremena trajanja pojedinog stupnja opterećenja. Usrednjavanjem podataka u testu T05 na 15 sekundi, razlika u frekvenciji srca između testova postaje neznačajna. Također, dobivene niže vrijednosti mogu se objasniti inercijom kardiovaskularnog sustava (tj. što je brža akceleracija saga, sporiji je porast frekvencije srca). Stoga možemo zaključiti da je maksimalna frekvencija srca izmjerena u T05 nešto niža u odnosu na stvarnu maksimalnu frekvenciju srca. Moglo bi se zaključiti da se frekvencija srca pri ventilacijskom anaerobnom pragu može koristiti kao objektivan parametar za procjenu opterećenja, neovisno o primjenjenom protokolu dok je za određivanje maksimalne frekvencije srca valjaniji test dužega trajanja.

U pogledu ventilacijskih parametara smatra se da dišni sustav ne limitira aerobni kapacitet, iako Martin, May i Pilbeam (1985) navode mogućnost plućne limitiranosti VO_{2max}, ujedno dokazujući da specifični trening dišne muskulature može poboljšati natjecateljsku uspješnost i treniranih i netreniranih osoba. U ovome radu, veću maksimalnu minutnu ventilaciju ispitanici postižu u testu T03 (117.1±32.1 : 111.2±29.5 ml/min, p = 0.013) i ta je razlika statistički značajna (Tablica 4.2.3), suprotno drugim istraživanjima (Vučetić, 2007 i Kolić, Šentija i Babić, 2012) u kojima su na uzorku trkača i trkačica dobivene više vrijednosti maksimalne minutne ventilacije u kraćim tj. u protokolima s bržim porastom brzine pokretnog saga odnosno intenziteta opterećenja. Pri brzinama iznad ventilacijskog anaerobnog praga, uz oksidaciju venske krvi, osnovna zadaća dišnoga sustava je i ventilacijska korekcija metaboličke acidoze, te posljedično, daljnje povećanje ventilacije. Mogući razlog zbog čega su rezultati u hodanju suprotni vrijednostima u trčanju vjerojatno je raniji prekid testova prije potpunog iscrpljenja ispitanika ili pak u većoj maksimalnoj brzini hodanja u kratkom testu. Razlika u minutnoj

ventilaciji pri aerobnom i anaerobnom pragu između dva provedna testa nije statistički značajna iako je nešto viša u kraćem testu T05 (Tablice 4.2.1 i 4.2.2).

Vrijednost respiracijskog kvocijenta proporcionalno raste s porastom intenziteta, zbog većeg porasta VCO_2 iznad aerobnog, te potom iznad anaerobnog praga. Maksimalni respiracijski kvocijent koristi se kao kriterij dostignutog iscrpljenja u progresivnim testovima opterećenja. Različiti autori (Green i Dawson, 1996; Cheng i sur., 1992; Bruce, Kurusumi i Hosmar, 1973; Brisswalter, Fougeron i Legros, 1996; Antonutto i Di Prampero, 1995; Billat i sur., 1998; Duncan, Howley i Johnson, 1997; Froelicher i sur., 1974; Gleim i sur., 1990; Medved, 1987; Rowland, 1996; Wasserman i sur., 1999) navode graničnu vrijednost za maksimalni respiracijski kvocijent od 1.15, 1.10, ili čak i 1.00. No u navedenim se radovima spomenuti kriteriji ne vežu direktno uz određeni protokol opterećenja. Dosadašnja istraživanja govore u prilog obrnuto proporcionalnom odnosu maksimalnog respiracijskog kvocijenta i trajanja testa opterećenja, te bi shodno tome i vrijednost maksimalnog respiracijskog kvocijenta kao kriterija za dostizanje maksimalnog intenziteta trebala biti vezana uz vrstu primijenjenog protokola opterećenja. Obrnuto proporcionalne vrijednosti maksimalnog respiracijskog kvocijenta sa trajanjem testa mogu se objasniti većim iscrpljenjem glikolitičkih depoa te istovremenim manjim dostignutim maksimalnim brzinama pokretnog saga u testovima dužeg trajanja, što za posljedicu ima manju aktivaciju brzih anaerobnih glikolitičkih mišićnih vlakana a time i niže vrijednosti maksimalnog respiracijskog kvocijenta. Isto tako, što je kraće trajanje testa, veća je dosegnuta maksimalna brzina hodanja i, može se pretpostaviti, dodatna aktivacija motoričkih jedinica s pretežito anaerobnim glikolitičkim energetskim metabolizmom (brza glikolitička vlakna tipa II). Iako u ovom istraživanju, u testu T03 je dobiven nešto niži maksimalni respiracijski kvocijent u odnosu na test T05 (1.08 : 1.09, $p = 0.361$; Tablica 4.2.3) razlika nije statistički značajna te se navedena pretpostavka ne može potvrditi.

5.2. Razlike u kinematičkim parametrima između testova T03 i T05

Prema dostupnim podacima iz literature, nisu nađena istraživanja koja su se bavila analizom i usporedbom promjena u kinematičkim parametrima pri progresivnom kontinuiranom testu sportskog hodanja na pokretnom sagu. Maršić (2009) je slično istraživanje proveo na trčanju te se u svom istraživanju bavio povezanošću ventilacijskih i kinematičkih pokazatelja pri procjeni anaerobnog praga za trčanje.

Analizirane su razlike u kinematičkim parametrima pri identičnim brzinama hodanja (7.5, 9, i 10.5 km/h) u oba testa. Između testova T03 i T05 utvrđene su statistički značajne razlike za dužinu koraka, dužinu jednog ciklusa koraka, trajanje jednopotporne faze, trajanje dvopotporne faze, trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom i frekvenciju koraka (Tablica 4.3.1). U fino gradiranom testu dužeg trajanja (T03) pri brzini kretanja od 10.5 km/h ispitanici su imali manju frekveciju a veću dužinu koraka, dužinu jednog ciklusa koraka i trajanje jednopotporne faze, te niže vrijednosti kinematičkih parametara trajanje dvopotporne faze i trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom. Pri nižim brzinama hoda zabilježeni su slični trendovi razlika između testova no statistički značajna razlika utvrđena je jedino u varijabli trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom. Trajanje oslonačne faze nije se pokazalo značanim niti pri jednoj analiziranoj brzini kretanja iako se sastavnice oslonačne faze (trajanje jednopotporne i dvopotporne faze) stastistički značajno razlikuju između testova (pri 10.5 km/h). Naime, trajanje jednopotporne i dvopotporne faze su u inverznom odnosu te se poništavaju prisutne razlike u podfazama oslonačne faze.

5.3. Objektivnost procjene kinematičkih pragova u testu T03

Kao mjera interne konzistencije (unutarnjeg slaganja) između procjenjivača za procjenu kinematičkih pragova korišten je Cronbachov koeficijent objektivnosti procjene. Kinematičke pragove u ovom istraživanju procjenjivalo je troje procjenjivača, u skladu sa dosada primjenjivanim metodama drugih istraživača (Lucia i sur., 1997; Lucia i sur., 1999a; Vachon, Bassett i Clarke, 1999; Schneider, McLellan i Gass, 2000). Dostatnost tri procjenjivača za postizanje zadovoljavajuće objektivnosti procjene utvrdio je i Maršić (2009) u svom istraživanju objektivnosti ventilacijskih i kinematičkih pragova kao i Rakovac (2011) pri utvrđivanju objektivnosti temperaturnih i ventilacijskih pragova. Procijenjene vrijednosti kinematičkih pragova za svakog ispitanika u ovom istraživanju izražene su kao dominantna vrijednost (mod) od prvoizabranih vrijednosti triju procjenjivača, a ukoliko su se sve tri vrijednosti praga razlikovale, uzeta je centralna vrijednost (medijan). Nije korištena aritmetička sredina tri očitane vrijednosti kako bi se izbjegla mogućnost da kinematički prag dobije vrijednost koju nijedan od procjenjivača nije ocijenio kao vrijednost praga.

Kinematički pragovi određivani su samo u testu T03 i to zbog manje rezolucije mjerenja i nemogućnosti preciznije i objektivnije procjene kinematičkih pragova u testu T05. Određivanje

prvog kinematičkog praga bilo je otežano, odnosno nije ga bilo moguće utvrditi kod većeg broja ispitanika (16-44%, ovisno o kinematičkom parametru; Tablica 4.4.1.1), pretežno u ispitanika s nižim vrijednostima praga (ispod 7 km/h), tj. ispod ili u zoni, kada su tek započinjali sa tehnikom sportskog hodanja. Za analizu podataka uzeti su podaci od brzine 6.9 km/h za test T03, odnosno od brzine 7.0 km/h za test T05 pri kojima je svaki ispitanik započinjao sa tehnikom sportskog hodanja. Podaci pri nižim brzinama nisu uključeni u analizu jer nisu odgovarali adekvatnoj tehnici sportskog hodanja, odnosno ispitanici su do navedenih brzina hodali tehnikom uobičajenog svakodnevnog hoda. Spiroergometrijski parametri bilježeni su od samog početka pa je procjena obaju ventilacijskih pragova bila moguća kod svih ispitanika. U istraživanju (Lucia i sur., 1999 a) koje se bavilo utvrđivanjem pragova registracijom mišićne aktivnosti putem EMG signala, prvi prag je bio odrediv kod svih (28) ispitanika, podudaran i u značajnoj visokoj korelaciji s prvim ventilacijskim pragom, no autori ne navode podatak o slaganju između procjenjivača u procjeni praga. Grant i sur. (2002) također navode da je pouzdanost procjene drugog laktatnog praga (LP2) znatno manja u zoni nižih vrijednosti. Maršić (2009) je u svom istraživanju utvrdio nisku objektivnost procjene prvog kinematičkog praga i ukazuje da mjerenjem kinematičkih pokazatelja nije moguće pouzdano procjeniti prvi ventilacijski prag. Slabiju uočljivost prvog praga u kinematici trčanja Maršić interpretira nižim intenzitetom rada u toj zoni opterećenja, te manjim aktivnim udjelom mišićne mase, posebno skupine mišića pokretača kuka. Također, Maršić mogući razlog otežane procjene prvog kinematičkog praga pripisuje češćoj pojavi nelinearnog trenda kinematičkih pokazatelja u zoni umjerenog i srednjeg opterećenja (do anaerobnog praga). Rakovac (2011) je u svom istraživanju temperaturnih i ventilacijskih pragova utvrdila također vrlo nisku objektivnost procjene prvog temperaturnog praga (α=0.693) te je zaključila da kretanje središnje temperature pri nižim opterećenjima (I i II zona intenziteta) tijekom progresivnog testa na pokretnom sagu ne pokazuje jasne promjene trenda koje bi se pouzdano mogle koristiti za procjenu prvog temperaturnog praga. I u ovom istraživanju nije se moglo pouzdano odrediti prvi kinematički prag koji bi odgovarao prvom ventilacijskom pragu.

Objektivnost procjene drugog kinematičkog praga (KP2) u ovom istraživanju (0.90±0.2) ukazuje na zadovoljavajuću razinu slaganja između troje procjenjivača (Tablici 4.4.2.1.) iako je nešto niža nego u istraživanjima Maršića (2009) pri utvrđivanju drugog kinematičkog praga (α=0.98) i Rakovac (2011) pri uvrđivanju drugog temperaturnog praga (α=0.94). Razlog nešto niže objektivnosti procjene za sportsko hodanje može se objasniti nelinearnim porastom

opterećenja s porastom brzine tj. nejednolikim porastom primitka kisika s porastom brzine hoda.

5.4. Modeli krivulja kretanja kinematičkih parametara u testu T03 i analiza povezanosti i razlika između drugog ventilacijskog i kinematičkog praga u testu T03

Modela krivulja kinematičkih parametara pri progresivnom testu opterećenja na pokretnom sagu pri trčanju istraživao je Maršić (2009). U ovom istraživanju primjenjena je metoda određivanja aerobnog i anaerobnog praga prema Maršiću (2009) i Rakovac (2011). S obzirom na veću objektivnost pri određivanju drugog kinematičkog praga analizirana je prvenstveno dinamika kretanja kinematičkih parametara u zonama opterećenja do i iznad anaerobnog praga. Analizom objektivnosti procjene drugog kinematičkog praga u svih šest kinematičkih varijabli (u daljnje analize uzeto je ubzir pet kinematičkih varijabli) utvrđena je visoka pouzdanost procjene (Crombach α = od 0.88 do 0.92; Tablica 4.4.2.1) kao i povezanost sa drugim ventilacijskim (anaerobnim) pragom (r = od 0.623 do 0.804; p = 0.05; slike 4.6.1-6). Isto tako, za sve varijable, drugi kinematički prag je statistički značajno viši u odnosu na drugi ventilacijski (anaerobni) prag u testu T03. Ta razlika se kreće u rasponu od 0.19 do 0.41 km/h (prosječno 0.337 km/h, što vremenski odgovara pomaku od 33.7 s, tj. oko jedan stupanj u testu; Tablica 4.7.1). Dugim rječima, kinematički se prag manifestira oko pola minute kasnije od ventilacijskog (anaerobnog) praga. U istraživanju na trkačima (Maršić, 2009) prosječne vrijednosti drugog kinematičkog i ventilacijskog praga nisu se statističke značajno razlikovale iako je također primjećen trend nešto viših vrijednosti drugog kinematičkog praga. Nešto veća razlika između drugog kinematičkog i ventilacijskog praga u ovom istraživanju može se pripisati različitom modalitetu kretanja odnosno nešto sporijoj kinetici primitka kisika pri sportskom hodanju u odnosu na trčanje.

Od uočena četiri modela krivulje kretanja **dužine koraka** (Slike 4.5.1.1-4.) u sportskom hodanju prevladava prvi model sa 53% (18) ispitanika, zatim treći model sa 20% (7) ispitanika, drugi model sa 18% (6) i četvrti model sa 9% (3) ispitanika. U svim modelima vidljiv je kontinuirani porast dužine koraka s porastom brzine hoda, s tim da se porast brzine iznad anaerobnog praga postiže prvenstveno porastom dužine koraka osim kod trećeg modela, dakle kod 7/34 ispitanika (2 muških, 5 ženskih), u kojih brzina hoda iznad anaerobnog praga raste prvensveno povećanjem frekvencije koraka. Treći se model rjeđe pojavljuje u ispitanika

muškog spola (10%) u odnosu na ispitanice ženskog spola (33%). Analizom objektivnosti procjene drugog kinematičkog praga za varijablu dužina koraka utvrđena je najveća pouzdanost procjene (Crombach $\alpha = 0.92$; Tablica 4.4.2.1). Drugi kinematički prag za dužinu koraka statistički je značajno povezan sa drugim ventilacijskim (anaerobnim) pragom ($r = 0.668$; $p < 0.001$; Slika 4.6.1). Također, u prosjeku se manifestira oko jedan stupanj (0.37 km/h, p=0.001; Tablica 4.7.1) nakon pojave drugog ventilacijskog (anaerobnog) praga.

Za dinamiku kretanje kinematičkog parametra **trajanje jednopotporne faze** uočljiva su tri karakteristična modela (Slike 4.5.2.1-3). Prvi model je karakterističan za 53% (18) ispitanika, drugi model 24% (8) ispitanika, treći model 20% (7) ispitanika i u jednog ispitanika nije se mogao uočiti bilo kakav trend izmjerenih vrijednosti te ga nije bilo moguće svrstati niti u jedan od prethodno navedenih modela. Uspoređujući dobivene modele dinamike kretanja trajanja jednopotporne faze kod približno polovice ispitanika (18) pri drugom kinematičkom pragu dolazi do stabilizacije trajanja jednopotporne faze (prvi model) dok se u preostalih ispitanika (15, drugi i treći model) nakon progresivnog pada trajanje jednopotporne faze progresivno produžuje s porastom brzine sportskog hodanja (Slika 4.5.2.1.-3.). Također, podjednaka je zastupljenost pojedinih modela i po spolu. U drugom modelu od 7 ispitanika 6 je onih koji sudjeluju u atletskim natjecanjima u sportskom hodanju. Analizom objektivnosti procjene drugog kinematičkog praga za varijablu trajanje jednopotporne faze utvrđena je visoka pouzdanost procjene (Crombach $\alpha = 0.91$; Tablica 4.4.2.1). Drugi kinematički prag za trajanje jednopotporne faze statistički je značajno povezan sa drugim ventilacijskim (anaerobnim) pragom ($r = 0.745$; $p < 0.001$; Slika 4.6.3).

Za dinamiku kretanja kinematičkog parametra **trajanje dvopotporne faze** uočljiv je jedinstveni model za sve ispitanike (Slika 4.5.3.1.). Može se pretpostaviti da dinamika kretanja trajanja dvopotporne faze ne ovisi o morfološkim, funkcionalnim, spolnim ili tehničkim značajkama čiji je utjecaj moguć u ostalim kinematičkim prametrima.

Za dinamiku kretanja kinematičkog parametra **trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom** uočljiva su dva karakteristična modela (Slike 4.5.4.1.-2.). Kod oba modela pri drugom kinematičkom pragu dolazi do još bržeg pada vremena trajanja prednjeg kontakta pete s podlogom. Ovaj kinematički parametar ima najveću povezanost sa drugim ventilacijskim (anaerobnim) pragom ($r = 0.804$; $p = 0.000$; Slika 4.6.5). Ujedno od svih kinematičkih parametara drugi kinematički prag ove varijable najmanje se razlikuje od drugog ventilacijskog

(anaerobnog) praga (prosječno 0.19 km/h; Tablica 4.7.1). On se od svih kinematičkih varijabli prvi manifestira neposredno nakon pojave drugog ventilacijskog (anaerobnog) praga a statistički značajno ranije od drugog kinematičkog praga većine ostalih kinemtičkih parametara ($p = 0.01$ do 0.07; Tablica 1.; Prilog 2). Cavagna i sur. (1976) povezuju skraćivanje vremena kontakta sa stagnacijom vertikalnog kretanja centra težišta tijela, uz kompenzaciju u vidu povećanja frekvencije koraka, a što je u skladu s istraživanjima Hanona, Thepaut-Mathieu, i Van De Walle (2005) i Silve i sur. (2007) po kojima frekvencija koraka raste brže pri većim brzinama trčanja uzrokovana skraćenom fazom kontakta.

Kod dinamike kinematičkog parametra **frekvencija koraka** uočljiva su dva modela (Slika 4.5.5.1.-2.). U prvom modelu, kod 79% (27) ispitanika, krivulje sadrže tri zone s uočljiva dva praga. Drugi model pojavljuje se kod 21% (7) ispitanika. U oba prikazana modela frekvencija koraka raste linearno u zoni do anaerobnog praga, a u zoni iznad drugog kinematičkog praga frekvencija koraka raste još brže. Drugim riječima, u svih ispitanika u anaerobnoj zoni (iznad anaerobnog praga) frekvencija koraka raste brže nego u aerobnoj zoni.

5.6. Razlike između desne i lijeve noge u kinematičkim parametrima u testovima T03 i T05 odvojeno po spolu

Posljednji cilj ovog istraživanja bio je utvrditi razliku desne i lijeve noge u kinematičkim parametarima u progresivnom kontinuiranom testu sportskog hodanja na pokretnom sagu. U Tablici 4.8.1. i 4.8.2. prikazane su razlike između desne i lijeve noge u kinematičkim parametrima dobivenih u testu T03 i testu T05 kod muških odnosno ženskih ispitanika. Kod ispitanica nije zabilježena statistički značajna razlika niti u jednom kinematičkim parametru u oba testa. Kod ispitanika (Tablica 4.8.1) statistički su se značajno razlikovale trajanje dvopotporne faze i trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom u testu T03. Brodáni i sur. (2011) na uzorku od 8 slovačkih hodača istraživali su razlike između rada dominantne i nedominantne noge pri dvije različite brzine kretanja (14.8 km/h i 15.3 km/h) u različitim kinematičkim varijablama. Pri obje mjerene brzine utvrdili su veću dužinu koraka dominantne noge, kraće trajanje kontakta stopala s podlogom odnosno manju frekvenciju koraka u odnosu na nedominantnu nogu. Te su razlike bile izraženije pri većoj brzini hodanja. Hanley, Bissas i Drake (2010) su tijekom utrke pratili simetričnost dužine koraka u 20 juniora i 20 juniorki.

Utvrdili su da se češće javlja asimetrija (veća dužina koraka) u korist desne noge, dok kod 5 ispitanika nije bilo razlike između dominantne i nedominantne noge. U ovom je istraživanju vrijednost dužine koraka nešto veća kada korak započinje desnom nogom no ta razlika nije statistički značajna. Analizom krivulja kinematičkih parametara (Prilog 3-7) uočava se u nekim parametrima, kod pojedinih ispitanika, veća varijabilnost u pojedinoj zoni opterećenja (primjerice ispitanici 5, 10, 21; Prilog 3; ispitanik 33; Prilog 6). Kod drugih se vidi isti trend tijekom ukupnog trajanja testa uz vidljivu razliku između desne i lijeve noge za cijeli raspon vrijednosti (primjerice ispitanik 9 i 33; Prilog 3; ispitanik 8, 9; Prilog 5 i dr.). Kod pojedinih pak se ispitanika uočava razlika u trendu u smislu da je ista dinamika ali je različita točka drugog kinematičkog praga za lijevu odnosno desnu nogu (primjerice ispitanik 25; Prilog 3) a u nekih se drugi kinematički prag javlja u istoj točci no sa divergencijom u progresiji trenda tj. jedna noga pokazuje rast a druga pad vrijednosti promatrane varijable (primjerice ispitanik 25; Prilog 3 i dr.). Konačno, u nekih se ispitanika uočava pravilna krivulja i uočljive promjene trenda za jednu nogu dok se za drugu uočava velika varijabilnost i nekonzistentno kretanje s velikim odstupanjima (primjerice ispitanik 23; Prilog 6). Ove uočene razlike u kinematičkim parametrima koje nisu statistički analizirane podloga su za daljnja istraživanja i analizu tehnike sportskog hodanja i njene povezanosti sa morfološkim, fiziološkim i motoričkim značajkama.

6. ZAKLJUČAK

U progresivnom kontinuiranom testu sportskog hodanja na pokretnom sagu dužeg trajanja (13.7±1.5 min) s fino gradiranim porastom intenziteta postižu se veće vrijednosti aerobnog i anaerobnog kapaciteta, ventilacijskih parametara i maksimalne vrijednosti frekvencije srca u odnosu na test kraćeg trajanja (8.7±1 min). Pri trčanju energetska potrošnja raste proporcionalno s porastom brzine lokomocije, dok pri hodanju raste eksponencijalno s porastom brzine hoda, a vršne su vrijednosti parametara aerobnog kapaciteta nešto niže u odnosu na trčanje. Stoga finija gradacija odnosno sporija akceleracija opterećenja za sportsko hodanje omogućava više stupnjeva opterećenja i duže trajanje testa u anaerobnoj zoni (od anaerobnog praga do dostignute maksimalne brzine). Veća rezolucija mjerenja i nešto više vršne vrijednosti aerobnog kapaciteta u testu s finom gradacijom opterećenja omogućuju i pouzdaniju i precizniju procjenu kinematičkih i ventilacijskih pragova. Ukupno trajanje testa utječe i na vrijednosti kinematičkih parametara, i to što je veće ubrzanje saga, pri istoj brzini hoda, veća je vrijednost frekvencije koraka, a kraće su dužina koraka i trajanje faza oslonca stopala.

U progresivnom testu sportskog hodanja na pokretnom sagu s fino gradiranim porastom opterećenja (T03), pri određenoj brzini, dolazi do promjene trenda kinematičkih parametara (dužina koraka, trajanje jednopotporne faze, trajanje dvopotporne faze, trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom, frekvencija koraka) koji se mogu koristiti za određivanje kinematičkog praga. U većine ispitanika uočljive su dvije promjene trenda kinematičkih parametara (dva praga, KP1 i KP2) u cijelom rasponu opterećenja. Za većinu promatranih kinematičkih parametara postoji dva ili više karakterističnih modela dinamike kretanja tijekom progresivnog opterećenja. Za dio ispitanika prvi kinematički prag nije moguće pouzdano i objektivno procjeniti, dok je drugi kinematički prag prisutan i objektivno procjenjiv gotovo u svih ispitanika. Brzine hoda pri kojima se javljaju navedene promjene trenda za drugi kinematički prag značajno su povezane s brzinom hoda koja odgovara drugom ventilacijskom (anaerobnom) pragu (Van). Do promjene trenda kinematičkih parametara (KP2) dolazi približno 1 stupanj (20-40 sekundi) nakon pojave drugog ventilacijskog praga, od kojeg se stoga kinematički pragovi značajno razlikuju. Od svih kinematičkih parametara, najmanju razliku (0.19 km/h, odnosno 19 s, $p < 0.05$), i najveću povezanost ($r = 0.804$) s Van ima trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom.

U progresivnom kontinuiranom testu sportskog hodanja na pokretnom sagu uočena je značajna asimetrija između desne i lijeve noge u trajanju faza oslonca za ispitanike, dok u ispitanica nisu utvrđene statistički značajne razlike u kinematičkim parametarima između lijeve i desne noge. Ipak, u pojedinih ispitanika, i muških i ženskih, vidljive su značajne razlike u varijabilnosti i trendu kinematičkih parametara između desne i lijeve noge. Naime, u pojedinih ispitanika kinematički prag je vidljiv samo unilateralno, ili se prag za isti kinematički parametar razlikuje za desnu i lijevu nogu. Ove uočene razlike u dinamici kinematičkih parametara i njihovoj (a)simetriji koje nisu statistički analizirane podloga su za daljnja istraživanja i analizu lokomocije i njene povezanosti sa morfološkim, fiziološkim i motoričkim značajkama.

Originalni znanstveni doprinos ovog istraživanja je razumijevanje biomehaničkih i fizioloških značajki sportskog hodanja te optimizacija ergometrijskog protokola progresivnog testa opterećenja za sportsko hodanje. Posebno je značajno otkriće nove metode za procjenu energetskih kapaciteta temeljem mjerenja kinematičkih parametara. Rezultati ovog istraživanja biti će od iznimne koristi trenerima i sportašima, ali i u razvoju srgometrijskih protokola općenito, za različite populacije.

Praktična primjena rezultata istraživanja očituje se u mogućnosti razvoja jednostavne, ekonomične i neinvazivne metode određivanja anaerobnog praga mjerenjem kinematičkih parametara u sportskom hodanju. Dodatni praktični doprinos istraživanja je utvrđena objektivnost procjene kinematičkih pragova, kao i kreirane detaljne upute za procjenu kinematičkih pragova za sportsko hodanje.

7. LITERATURA

1. Anderson, T. (1996). Biomechanics and running economy. *Sports Medicine,* 22, 2, 7689.
2. Antonutto, G., & Di Prampero, P.E. (1995). The concept of lactate threshold. *J Sports Med Phys Fitness,* 35, 6-12.
3. Babić, V. (2010). Atletika hodanja i trčanja. Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
4. Balke, B., & Ware, R.W. (1959). An experimental study of physical fitness of air Force personnel. *US Arned Forces Medical Journal,* 29 (4), 301-306.
5. Barstow, T.J., & Mole', P.A (1991). Linear and nonlinear characteristics of oxygen uptake kinetics during heavy exercise. *J Appl Physiol,* 71, 2099-2106.
6. Barstow, T.J., Casaburi, R., & Wasserman, K. (1993). O_2 uptake kinetics and the O_2 deficit as related to exercise intensity and blood lactate. *Journal of Applied Physiology*, 75, 755-762.
7. Barstow, T.J. (1994). Characterization of VO_2 kinetics during heavy exercise. *Med Sci Sport Exerc*, 6 (11), 1327-1334.
8. Barros Neto, T.L., Cesar, M.C., & Tambeiro, V.L. (1999). Avaliacao da aptidao cardiorrespiratoria. In: Ghorayeb, N., Barros Neto, T. O Exercicio: Preparacao Fisiologica, Avaliacao Medica, Aspectos Especiais e Preventivos. Sao Paulo, Atheneu, 15-24.
9. Biewener, A.A., & Taylor, C.R. (1986). Bone strain: a deterrminant of gait and speed? *J Exp Biol*, 123, 383-400.
10. Billat, V.L., Hill, D.W., Pinoteau, J., Petit, B., & Koralsztein, J.P. (1996). Effect of protocol on determination of velocity at VO2max and on its time to exhaustion. *Archives of Physiological Biochemisty*, 104 (3), 313-321.
11. Billat, V.L., Richard, R., Binsse, V.M., Koralsztein, J.P., & Haouzi, P. (1998). The VO2 slow component for severe exercise depends on type of exercise and is not correlated with time to fatigue. *J Appl Physiol*, 85 (6), 2118-2124.
12. Bland, J.M., & Altman, D.G. (1999). Measuring agreement in method comparison studies. *Statistical Methods in Medical Research*, 8, 136–160.
13. Boileau, R.A., Mayhew, J.L., Riner, W.F., & Lussier, L. (1982). Physiological characteristics of elite middle and long distance runners. *Canadian Journal of Applied Sport Science*, 7, 167-172.

14. Brandon, L.J., & Boileau, R.A. (1992). Influence of metabolic, mechanical and physique variables on middle distance running. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 32 (1), 1-9.
15. Brisswalter, J., Fougeron, B., & Legros, P. (1996). Effect of three hours race walk on energy cost, cardiorespiratory parameters and stride duration in elite race walkers. *Int J Sports Med*, 17(3), 182-186.
16. Briswalter, J., Fougeron, B., & Legros, P. (1998). Variability in energy cost and walking gait during race walking in competitive race walkers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30 (9), 1451-1455.
17. Brotherhood, J.R. (2008). Heat stress and strain in exercise and sport. *J Sci Med Sport*, 11:6-19.
18. Brodáni, J., Šelinger, P., & Vavák, M. (2011). Athletic walking in terms of kinematic parameters of walking step. In M. Pupiš (Ed.), World race walking research (Monography), Banská Bystrica, 2011. (pp. 162-170). Banská Bystrica: Univerzita Mateja Bela.
19. Bruce, R.A. (1956). Evaluation of functional capacity and exercise tolerance of cardiac patients. Modern Concepts Cardiovascular Disease, 25, 321-326.
20. Bruce, R.A., Kurusumi, F., & Hosmar, D. (1973). Maximal oxygen intake and nomographic assesment of functional aerobic impartment in cardiovascular disease. *American Heart Journal*, 85, 546-562.
21. Bulbulian, R., Wilcox, A.R., & Darabos, B.L. (1986). Anaerobic contibutions to distance running performance of trained cross-country athletes. *Medicine and Science of Sports and Exercise*, 18, 128-133.
22. Casaburi, R., Storer, T.W., Ben-Dov, I., & Wasserman, K. (1987). Effect of endurance training on possible determinants of VO_2 during heavy exercise. *J Appl Physiol*, 62, 199-207.
23. Cavagna, G.A., Thys, H., & Zamboni, A. (1976). The sources of external work in level walking and running. *Journal of Physiology, London*, 262, 639 -657.
24. Cheng, B., Kuipers, H., Snyder, A.C., Keizer, H.A., Jeukendrup, A., & Hesselink, M. (1992). A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds. *International Journal of Sports Medicine*, 13 (7), 518-522.
25. Chwała, W., Klimek, A., & Mirek, W. (2014). Changes in energy cost and total external work of muscles in elite race walkers walking at different speeds. *Journal of Human Kinetics*, 44, 129-136.

26. Conley, D.L., & Krahenbuhl, G.S. (1980). Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12, 357-360.
27. Conley, D.L., Krahenbuhl, G.S., & Burkett, L.N. (1984). Following Steve Scott: physiological changes accompanying training. *Physical Sports medicine*, 12, 103-106.
28. Costill, D.L. (1967). The relationship between selected physiological variables and distance running performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 7, 6166.
29. De Cort, S.C., Innes J.A., Barstow, T.J., & Guz, A. (1991). Cardiac output, oxygen consumption and arteriovenous oxygen difference following a sudden rise in exercise level in humans. *J Physiol (Lond)*, 441, 501-512.
30. Dizdar, D. (2006). Kvantitativne metode. Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
31. Di Prampero, P.E. (1986). The energy cost of human locomotion on land and in water. *Int J Sports Med*, 7: 55-72.
32. Drake, A., & James, R. (2008). "Prediction of racewalking performance via laboratory and field tests". *New Studies in Athletics*, 23 (4), 35-41.
33. Drake, A., Cox, V., Godfrey, R., & Brooks, S. (2011). Physiological variables related to 20 km racewalk performance. In M. Pupiš (Ed.), World race walking research (Monography), Banská Bystrica, 2011. (pp. 47-70). Banská Bystrica: Univerzita Mateja Bela.
34. Duncan, G.E., Howley, E.T., & Johnson, B.N. (1997). Applicability of VO2max criteria: discontinuous versus continuous protocols. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29 (2), 273-278.
35. Froelicher, V.F., Brammel, H., Davis, G., Noguera, I., Stewert, A., & Lancester, M.C. (1974). A comparison of tree maximal treadmill exercise protocols. *Journal of Applied Physiology*, 36 (6), 720-725.
36. Foster, C., Costill, D.L., Daniels, J.T., & Fink, W.J. (1978). Skeletal muscle enzyme activity fiber composition and VO2max in relation to distance running performance. *European Jurnal of Apllied Physiology*, 39, 73-80.
37. Gibson, C.A., Lambert, M.I., Hawley, J.A., Bromhead, S.A., & Noakes, T.D. (1999). Measurement of maximal oxyigen uptake from two different laboratory protocols in runners and squash players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31 (8), 1226-1229.
38. Gilbert, R., Auchincloss, J.H., & Baule, G.H. (1967). Metabolic and circulatory adjustments to unsteady-state exedrcise, *J Appl Physiol*, 22; 905-912.

39. Gleim, G.W., Stachenfeld, N.S., Eskanazi, M., & Nicholas, J.A. (1990). Predictive accuracy of criteria for assessing maximum oxygen consumption. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(2), S11.
40. Grant, S., Mcmillan, K., Newell, J., Wood, L., Keatley, S., Simpson, D., Leslie, K., & Fairlie-Clark, S. (2002). Reproducibility of the blood lactate threshold, 4 mmol/L-1 marker, heart rate and ratings of perceived exertion during incremental treadmill exercise in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 87, 159-66.
41. Grassi, B., Gladden, L.B., Stary, C.M., & Wagner, P.D. (1998). Peripheral O2 diffusion does not affect VO2 on-kinetics in isolated in situ canine muscle. *J Appl Physiol*, 85,1404-1412.
42. Grassi, B., Hogan M.C., & Kelley, K.M. (2000). Role of convective O2 delivery in determining VO2 on-kinetics in canine muscle contracting at peak VO2. *J Appl Physiol*, 89, 1293-1301.
43. Green, S., & Dawson, B.T. (1996). Methodological effects on the VO_2 - power regresion and the accumulated O_2 deficit. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28 (3), 392-397.
44. Guyton, A.C., & Hall, J.E. (2003). Medicinska fiziologija. Zagreb: Medicinska naklada.
45. Hagberg, J.M., & Coyle, E.F. (1983). Physiological determinants of endurance perfornrance as studied in competitive racewalkers. *Medicine and science in sport exercise*, 15 (4), 287-289.
46. Hagberg, J.M., & Coyle, E.F. (1984). Physiologic Comparison of Competitive Racewalking and Running. *International Journal of Sports Medicine*, 5, 74-77.
47. Hanley, B., Bissas, A., & Drake, A. (2010). Biomechanical analysis of elite junior race walkers. *New studies in athletics*, 25 (2), 39-47.
48. Hanon, C., Thepaut-Mathieu, C., & Van De Walle, H. (2005). Determination of muscular fatigue in elite runners. *European Journal of Applied Physiology*, 94, 118-125.
49. Heck, H., Mader, A., Hess, G., Mucke, S., Muller, R., & Hollmann, W. (1985). Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *International Journal of Sports Medicine*, 6, 117-130.
50. Heglund, N.C., & Taylor, C.R. (1988). Speed, stride frequency and energy cost per stride: how do they change with body size and gait? *J Exp Biol*, 138, 301-318.
51. Hoyt, D.F., & Taylor, C.R. (1981). Gait and the energetics of locomotion in horses. Nature, 292, 239-240.
52. Hreljac, A. (1993) Preferred and energetically optimal gait transition speeds in human locomotion. *Med Sci Sports Exerc*, 25 (10), 1158-1162.

53. Hreljac, A. (1995). Determinants of the gait transition speed during human locomotion: kinematic factors. *J Biomech*, 28 (6), 669-677.
54. International Association of Athletics Federation (2014). IAAF Competition rules 2018-2019. S mreže skinuto 15. veljače 2018. godine s adrese: http://www.iaaf.org/about-iaaf/documents/rules-regulations#rules.
55. Jones, A.M., & Doust, J.H. (1996). A 1% treadmill grade most accuratelly reflects the energetic cost of outdoor running. *Journal of Sport Sciences*, 14, 321-327.
56. Kram, R., Domingo, A., & Ferris, D.P. (1997). Effect of reduced gravity on the preferred walk-run transition speed. *J Exp Biol*, 200, 821-826.
57. Klimek, A., & Chwala, W. (2007). The evaluation of energy cost of effort and changes of centre of mass (COM) during race walking at starting speed after improving the length of lower extremities. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 9 (2), 55-60.
58. Kolić, L., Šentija, D., & Babić, V. (2012). Usporedba pokazatelja aerobnog energetskog kapaciteta dobivenih različitim protokolima opterećenja u trkačica. *Hrvatski športskomedicinski vjesnik*, 27 1, 17-23.
59. Krogh, A., & Lindhard, J. (1913). The regulation of respiration and circulation during the initial stages of muscular work. *J Physiol (Lond)*, 47, 112-136.
60. Kuipers, H., Pietjers, G., Verstappen, F., Schoenmakers, H., & Hofman, G. (2003). Effects of Stage Duration in Incremental Running Tests on Physiological Variables. *International Journal of Sports Medicine*, 24, 486-491.
61. Lee, C.R., & Farley, C.T. (1998). Determinants of the center of mass trajectory in human walking and running. *J Exp Biol*, 201, 2935-2944.
62. Lucia, A., Vaquero, A.F, Perez, M., Sanchez, O., Sanchez, V., Gomez, M.A., & Chicharro, J.L. (1997). Electromyographic Response to Exercise in Cardiac Transplant Patients. A New Method for Anaerobic Threshold Determination? Chest, 111, 1571-6.
63. Lucia, A., Sanchez, O., Carvajal, A., & Chicarro, J. (1999a). Analysis of the aerobic-anaerobic transition in elite cyclists during incremental exercise with the use of electromyography. *British Journal of Sports and Medicine*, 33, 178-85.
64. Margaria, R. (1938). Sulla fisiologia e specialmente sul consumo energetico della marcia e della corsa a varie velocita' ed inclinazioni del terreno. Atti Accad Naz Lincei Memorie, serie VI, (7), 299-368.
65. Maršić, T. (2009). *Povezanost ventilacijskih i kinematičkih pokazatelja prilikom procjene anaerobnog praga pri trčanju na pokretnom sagu*. (Doktorska disertacija). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

66. Martin, D.E., May, D.F., & Pilbeam, S.P. (1985). Ventilation limitations to performance among elite male distance runners. In: The 1984 Olympic Scentific Congress Proceedings, Vol. 3 (ed. Landers, D.M.), Human Kinetics Publishers, Champaign, 121131.
67. Mazzeo, R.S., & Marshall, P. (1989). Influence of plasma catecholamines on the lactate threshold during graded exercise. *J Appl Physiol*, 67, 1319-22.
68. Medbo, J., & Sejersted, O. (1985). Acid-base and electrolyte balance after exhausting exercise in endurance-trained and sprint-trained subjects. *Acta Physiologica Scandinavia*, 125, 97-109.
69. Medved, R. (1987). Sportska medicina. Zagreb: Jumena.
70. Mercier, J., Le Gallais, D., Durand, M., Goudal, C., Micallef, J.P., Prefaut, C. (1994). Energy expenditure and cardiorespiratory responses at the transition between walking and running. *Eur J Appl Physiol*, 69 (6), 525-529.
71. Microgate (2015). Optojump Next User Manual. S mreže skinuto 15. veljače 2017. godine s adrese:http://www.optojump.com/OptojumpNext/Media/Manuals/Manual-EN.PDF.
72. Mišigoj–Duraković, M., Matković., Br. & Medved, R. (1995). Morfološka antrpometrija u športu. Zagreb: Fakultet za fizičku kulturu.
73. Minetti, A.E., Ardigo', L.P., & Saibene, F. (1994). The transition between walking and running in humans: metabolic and mechanical aspects at different gradients. *Acta Physiol Scand*, 150, 315-323.
74. Morgan, D.W., & Martin, P.E. (1986). Effects of stride length alternation on racewalking economy. *Canadian Jurnal of Applied Sport Sciences*, 11 (4), 211-217.
75. Morgan, D.W., & Craig, M. (1992). Physiolocigal aspectsof running economy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(4), 456-461.
76. Nigg, B.M., De Boer, R.W., & Fisher V. (1995). A kinematic comparison of overground and treadmill running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27 (1), 98-105.
77. Nilsson, J., Thorstensson, A., & Halbertsma, J. (1985). Changes in leg movements and muscle activity with speed of locomotion and mode of progression in humans. *Acta Physiol Scand*, 123, 457-475.
78. Nilsson, J. (1990). *On the adaptation to speed and mode of progression in human locomotion*. Doktorska disertacija, Karolinska Institute and University College of Physical Education & Sports, Stockholm.
79. Paterson, D.H., & Whipp, B.J. (1991). Asymmetries of oxygen uptake transients at the on- and offset of heavy exercise in humans. *J Physiol (Lond)*, 443, 575-86.

80. Pollock, M. (1977). Submaximal and maximal working capacity of elite distance runners. Part I. Cardiorespiratory aspect. *Annual NY Academy of Science*, 301, 310-322.
81. Powers, S.K., Dodd, S., Deason, R., Byrd, R., & McKnight, T. (1983). Ventilatory Threshold, Running Economy and distance running performance of trained athletes.. Research Quarterly for Exercise and Sport, 54(2), 179-182. 180.
82. Pupiš, M., & Cillík, I. (2011). Dependence between anaerobic threshold and maximum oxygen consumption in race walkers. In M. Pupiš (Ed.), World race walking research (Monography), Banská Bystrica, (pp. 26-36). Banská Bystrica: Univerzita Mateja Bela.
83. Rakovac, M. (2011) *Središnja temperatura tijela u procjeni anaerobnog praga pri progresivnom testu opterećenja* (Doktorska disertacija). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
84. Rowland, T.W. (1996). Developmental exercise physiology. Champaign: Human Kinetics.
85. Rusko, H., Havu, H., & Karvinen, E. (1978). Aerobic performance capacity in athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 38, 151-159.
86. Saunders, P.U., Pyne, D.B., Telford, R.D., & Hawley, J.A. (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners, *Sports Medicine*, 34 (7), 465-485.
87. Saltin, B., & Astrand, P.O. (1967). Maximal oxygen uptake in athletes. *Journal of Applied Physiology*, 23(3), 353-358.
88. Schiffer, J. (2008). Race walking. *New Studies in Athletics*, 23, 4, 7-15.
89. Schwartz, E., & Reibold, R.C. (1990). Aerobic fitness norms for males and females aged 6-75: A review. Aviation, *Space and Environmental Medicine*, 61, 3-11.
90. Schneider, D.A, McLellan, T.M., & Gass, G.C. (2000). Plasma catecholamine and blood lactate responses to incremental arm and leg exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 32, 60813, 21.
91. Silva, P.B., Fraga, C.H.W., Silva, S.R.D., Cardozo, A.C., & Gonçalves, M. (2007). Treadmill running: na electromyographic and kinematic analysis. In: XXV International Symposium on Biomechanics in Sports, Ouro Preto.
92. Sjodin, B., & Jacobs I. (1981). Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *International Journal of Sports Medicine*, 2, 23-26.
93. Skinner, J.S., & McLellan, T.H. (1980). The transition form aerobic to anaerobic metabolism. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 51, 234-248.
94. Svedahl, K., & Macintosh, B.R. (2003). Anaerobic Threshold: The Concept and Methods of Measurement. *Canadian Jurnal of Applied Physiology*, 28 (2), 299-323.

95. Šentija, D. (2002). *Energetska dinamika pri tranzicijskoj brzini između hoda i trčanja.* (Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu). Zagreb: Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
96. Šentija, D., & Vučetić, V. (2006). Estimation of anaerobic running capacity from a single ramp test. Zbornik radova: the 11th Annual Congress of the European college of sport science. Lausanne, 293-294.
97. Šentija, D., Maršić, T., & Dizdar, D. (2009). Effects of strength training on endurance, *Collegium Antropologicum*, 33(1), 111-116.
98. Taylor, R. (1985). Force development during sustained locomotion: a determinant of gait, speed and metabolic power. *J Exp Biol*, 115, 253-262.
99. Thorstensson, A., & Robertson, H. ((1987). Adaptations to changing speed in human locomotion: speed of transition between walking and running. *Acta Physiol Scand*, 131, 211-214.
100. Tegtbur, U., Busse, M., & Braumann, K. (1993). Estimation of individual equilibrium between lactate production and catabolism during exercise. Medicine and *Science in Sports and Exercise*, 25, 620-627.
101. Vachon, J.A, Bassett, D.R., & Clarke, S. (1999). Validity of the heart rate deflection point as a predictor of lactate threshold during running. *J Appl Physiol*, 87, 452-9.
102. Viru, A. (1995). Adaptation in sports training. Boca Raton, FL: CRC Press Inc.
103. Vivacqua, R., & Hwspranha, R. (1992). Introducao: Historico–Perspectiva. *In: Ergometria e Reabilitacao em Cardiologia. Rio de Jeneiro*, Medis, 1-6.
104. Vučetić, V., & Šentija, D. (2004). Dijagnostika funkcionalnih sposobnosti – zašto, kako i kada testirati sportaše? *Kondicijski trening*, 2, 8-14.
105. Vučetić, V. (2007). *Razlike u pokazateljima energetskih kapaciteta trkača dobivenih različitim protokolima opterećenja*. (Doktorska disertacija). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
106. Zhang, Y., Johnson, M.C., Chow, N., & Wasserman, K. (1991). The role of fitness on VO_2 and VCO2 kinetics in response to proportional step increses in work rate. *European Journal of Applied Physiology*, 63, 94-100.
107. Zhang, Y., Johnson, M.C., Chow, N., & Wasserman, K. (1991). Effect of exercise testing protocol on parameters of aerobic function. Medicine and Science in Sports and Exercise, 23(5), 625-630.
108. Wasserman, K., Hansen, J.E., Sue, D.Y., Casaburi, R., & Whipp, B.J. (1999). Principles of exercise testing and interpretation (III Ed). Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.

109. Weston, S.B., Gray, A.B., Schneider, D.A., & Gass, G.C. (2002). Effect of ramp slope on ventilation thresholds and VO2 peak in male cyclists. *Internation Journal of Sports Medicine*, 23, 22-27.

110. Whipp, B.J., & Wasserman, K. (1972). Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant load work. *Journal of Applied Physiology*, 33 (3), 351-356.

111. Whipp, B.J, Davis, J.A, Torres, F., & Wasserman, K. (1981) A test to determine parameters of aerobic function during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 50 (1), 217-221.

112. Whipp, B.J., Ward, S.A., Lamarra, N., Davis, J.A., & Wasserman, K. (1982). Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise. *J Appl Physiol*, 52, 1506-1513.

8. POPIS OZNAKA I KRATICA

Oznake i kratica	Naziv	Mjerna jedinica
T03	Progresivni kontinuirani test hodanja na pokretnom sagu s porastom brzine kretanja za 0.3 km/h	km/h
T05	Progresivni kontinuirani test hodanja na pokretnom sagu s porastom brzine kretanja za 0.5 km/h	km/h
VO_{2max}	Maksimalni primitak kisika	ml/kg/min
VO_2	Primitak kisika	ml/kg/min
VCO_2	Volumen izdahnutog ugljičnog dioksida	ml/min
PCO_2	Koncentracija ugljičnog dioksida u izdahnutom zraku	
VE/VO_2	Ventilacijski ekvivalent kisika	
VE/VCO_2	Ventilacijski ekvivalent ugljičnog dioksida	
AnK	Anaerobni kapacitet	m
AeAnK	Aerobni udio u anaerobnoj zoni	m
(AnK+AeAnK) AnKuk	Ukupni kapacitet u anaerobnoj zoni u metrima	m
V_{ae}	Prvi ventilacijski prag	
V_{an}	Drugi ventilacijski prag	
DK	Dužina koraka	cm
DJC	Dužina jednog ciklusa koraka	cm
OF	Trajanje oslonačne faze	s
JF	Trajanje jednopotporne faze	s
DF	Trajanje dvopotporne faze	s
PKP	Trajanje prvog kontakta pete s podlogom	s
FK	Frekvencija koraka	kor/min
KP1	Prvi kinematički prag	
KP2	Drugi kinematički prag	
AS	Aritmetička sredina	
SD	Standardna devijacija	
MIN	Minimalna vrijednost	
MAX	Maksimalna vrijednost	
RASPON	Raspon rezultata	
D;L	Noga	
K-S	Kolmogorov-Smirnovljev test	
ATP	Adenozin tri fosfat	
CP	Kreatin fosfat	
t	Vrijednost t-testa	
α	Cronbachov koeficijent alfa	
r	Pearsonovim koeficijent korelacije	
n	Broj entiteta	
$p < 0.05$	Pogreška zaključivanja	
MAX D	Maksimalno odstupanje relativne kumulativne empirijske frekvencije od relativne teorijske frekvencije	
STPD	Engl. Standard, Temperature, Pressure, Dry	
MLSS	Maksimalnom laktatnom stabilnom stanju	

9. PRILOG

Prilog 1. Upute za određivanje kinematičkih pragova – Sportsko hodanje

Upute:
Procjenjivanje ne vršite kada ste umorni. Također je važno da budete sami, bez ikakvih ometanja sa strane, kako biste se mogli koncentrirati na zadatke.

U nastavku su Vam prvo ponuđena objašnjenja pragova koje ćete procjenjivati. Ona su nešto šira nego što je to potrebno za samo procjenjivanje, te služe Vašem upoznavanju sa predmetom koji procjenjujete.

Nakon objašnjenja što procjenjujete, imate na raspolaganju upute koje će Vam služiti kao smjernice i pomoć prilikom procjene. Važno je da upute pažljivo pročitate i pridržavate ih se tijekom Vaše procjene.

Uvodni opis zadatka:
Vaš zadatak je, na osnovu dobivenih uputa, odrediti položaje pragova na krivuljama dobivenim kod različitih ispitanika. Pragove određujete (procjenjujete) na osnovu promjena u kretanju krivulje.

U pravilu postoje dva praga, koje nazivamo prvi (aerobni) prag i drugi (anaerobni) prag. Na osnovu dva praga dobivamo i tri zone opterećenja. Zona do prvog praga (aerobna zona), zona između dva praga (aerobno-anaerobna zona) i zona nakon drugog praga (pretežno anaerobna zona) opterećenja. Pri određivanju je važnije odrediti položaj drugog praga jer je prvi prag manje važan, ponekad težak za odrediti ili nevidljiv (ne postoji) jer se nalazi na nižem opterćenju od početnog ili je pak premalo točaka za valjano određivanje trenda krivulje do prvog praga.

Važno je pokušati prepoznati na krivulji **tri zone** koje su međusobno odijeljene uslijed promjene nagiba pravca, ili uslijed promjene trenda krivulje gdje mogu biti odvojene sa prijelazom. Jedna zona predstavlja pravac od najmanje tri točke koje vjerno opisuju regresijski pravac koji se može povući kroz njih, uz mogućnost da poneka točka odstupa od pravca (zbog moguće varijabilnosti mjerenog parametra). Osim pravaca u pojedinoj zoni (do prvog praga,

između prvog i drugog praga i nakon drugog praga) trend krivulje može biti polinomijalan (eksponencijalan).

Ukoliko je prijelaz između zona u jednoj točki onda je ona prag. Međutim, prijelaz između zona se ne mora dešavati u jednom trenutku (u jednoj točki) nego može biti postepen, manifestira se kroz jedan kraći period (kroz dvije ili čak tri točke).
Iz tog razloga ponekad prijelaz među zonama može biti produžen kao zasebna mala zona od dvije ili tri točke (obično u vidu udubljenja ili izbočenja), u tom slučaju je drugi prag u pravilu u prvoj točki u kojoj dolazi do izraženije promjene trenda krivulje/pravca.

Moguće je u nekim slučajevima postojanje i više od tri zone, tada pragove određujete na onim mjestima na krivulji gdje dolazi do najizraženije promjene u trendu krivulje.

U pojedinim slučajevima je procjena otežana, te dijelom i stvar subjektivne (osobne) procjene; namjera je ovih uputa da vaša procjena bude što lakša i objektivija.

List sa pravilima za procjenu položaja praga:

Pravilo 1. Prvi prag se nalazi prije drugog praga i između njih je najmanje 1-2 točke.
Pravilo 2. Moguće je odrediti maksimalno tri praga – **ne više.**
Pravilo 3. Pratiti modele krivulja za lakše određivanje pragova kao što su npr: linearno-linearno-linearno; linearno-linearno-ekspomencijalno i slično.
Pravilo 4. Na mjestima gdje dolazi do promjene u trendu krivulje nalaze se pragovi. Promjene trenda na krivulji su: **pad nagiba (smanjena progresija), defleksija, porast nagiba (uvećana progresija), infleksija, pad pa porast nagiba, pojavljivnje/promjena šuma ili divrgencija između lijeve i desne noge.**
Pravilo 5. Prag je poslijednja točka prije promjene trenda krivulje ili točka koja dijeli pravce (zone), to jest točka prijelaza između dvije zone.
Pravilo 6. Drugi prag ne može biti u zadnjih 5 točaka krivulje. Također te se točke po potrebi mogu potpuno zanemariti (ako odstupaju od trenda pravca/krivulje) zbog velike varijabilnosti uslijed pada koordinacije i iscrpljenosti na samom kraju testa.
Pravilo 7. Drugi prag ne može biti udaljen od kraja (desnog dijela) krivulje za više od 11 točaka kod muškaraca; za više od 9 točaka kod žena.

Pravilo 8. Ako pojedina točka na krivulji ekstremno odskače od trenda krivulje, a prije i nakon te točke trend krivulje je isti ili sličan ta se točka smatra autlierom (artefaktom) te se ta točka u određivanju pragova može zanemariti.

Postojat će slučajevi kada Vam je vidljiv samo jedan (drugi) prag. Nije pogrešno odrediti samo drugi prag, budući je on važniji od prvog. Ipak, pokušajte kada je moguće procijeniti oba praga.

U eventualnim slučajevima kada smatrate kako imate dvije gotovo ravnopravne mogućnosti za potencijalni prag, kao prag navedite onu koju smatrate favoritom a drugu „rezervnu varijantu mogućeg praga“ upišite u rubriku **REZ**.

Nakon što ste odredili drugi prag dajte svoje **mišljenje o jasnoći** uočenog **drugog praga** ocjenama od 1 do 4:

- upišite broj **4 –** ako Vam je **potpuno jasan** i uočljiv drugi prag
- upišite broj **3 –** ako Vam je **uglavnom jasan** i uočljiv drugi prag
- upišite broj **2 –** ako Vam je **teško uočljiv** ili nije jasan drugi prag
- upišite broj **1** – ako drugi **prag ne postoji (ne možete ga uočiti)**

Pri ocjeni jasnoće drugog praga nemojte uzimati u obzir eventualne dileme između praga i REZ praga, nego samo jasnoću već određenog drugog praga. REZ zanemarite!

Dodatna napomena:
Stranice sa pravilima i uputama slobodno držite pored sebe cijelo vrijeme procjenjivanja kako biste se podsjetili ili provjerili određeno pravilo. Ukoliko Vam nešto nije jasno možete uvijek ponovno pogledati u upute.

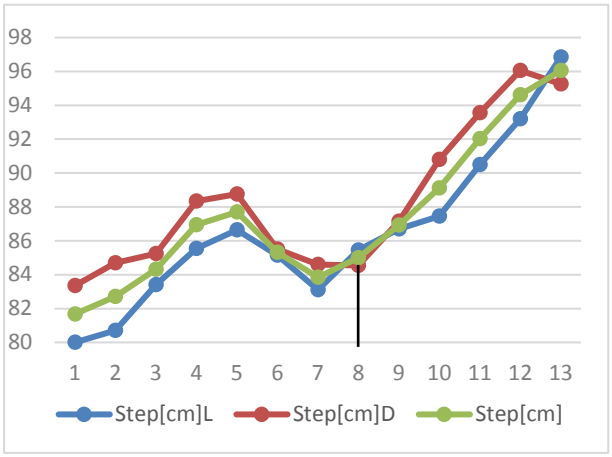
Prilog 2.

Tablica 1.: Razlike između trajanja prednjeg kontakta pete s podlogom i drugih kinematičkih parametara na drugom kinematičkom pragu u testu T03

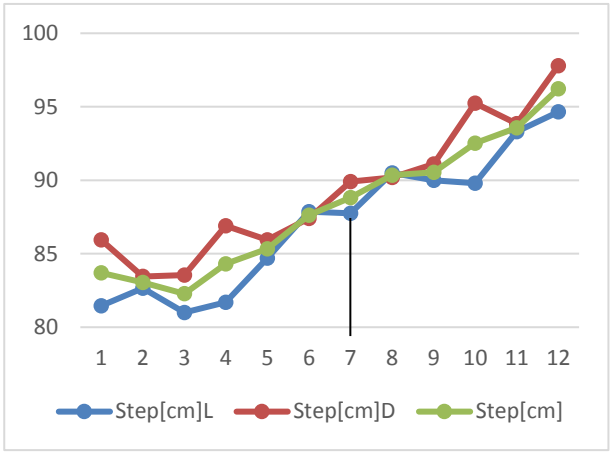
n=34	**AS± SD**	**d**	**Cohen's d**	**r**	**SEd**	**t**	**p**
Trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom (cm)	8.89±0.59						
Dužina koraka (cm)	**9.06±0.61**	**0.18**	**0.46**	**0.79**	**0.07**	**2.68**	**0.012**
Trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom (cm)	8.89±0.59						
Trajanje jednog ciklusa koraka (cm)	**9.07±0.52**	**0.19**	**0.42**	**0.69**	**0.08**	**2.44**	**0.020**
Trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom (cm)	8.89±0.59						
Trajanje jednopotporne faze (cm)	**9.10±0.65**	**0.21**	**0.45**	**0.71**	**0.08**	**2.62**	**0.013**
Trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom (cm)	8.89±0.59						
Trajanje dvopotporne faze (cm)	9.04±0.68	0.15	0.32	0.72	0.08	1.88	0.069
Trajanje prednjeg kontakta pete s podlogom (cm)	8.89±0.59						
Frekvencija koraka (cm)	9.01±0.57	0.12	0.33	0.80	0.06	1.95	0.060

Legenda str. 84* $p<0.05$

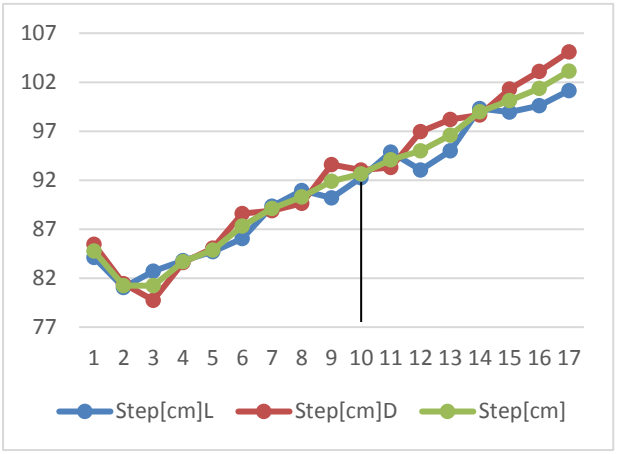
Prilog 3. Krivulje kretanja dužine koraka



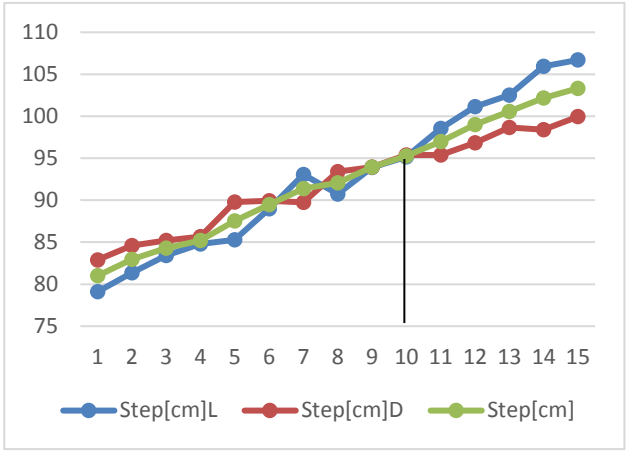
Ispitanik br. 1



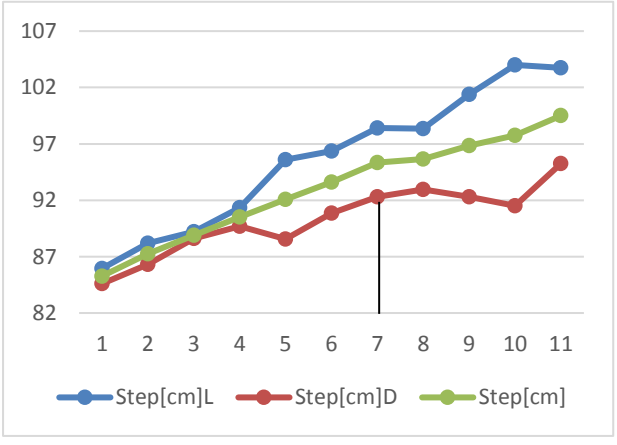
Ispitanik br. 2



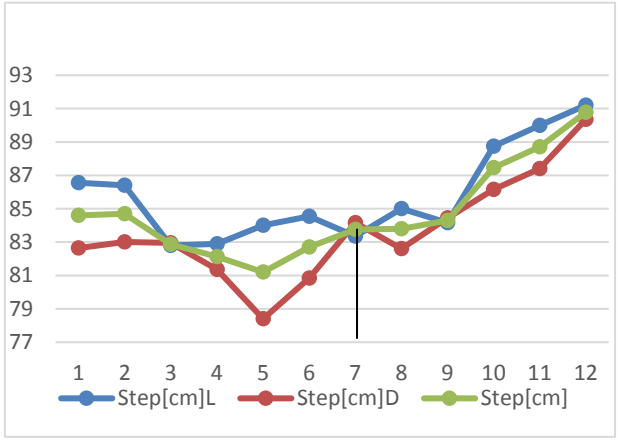
Ispitanik br. 3



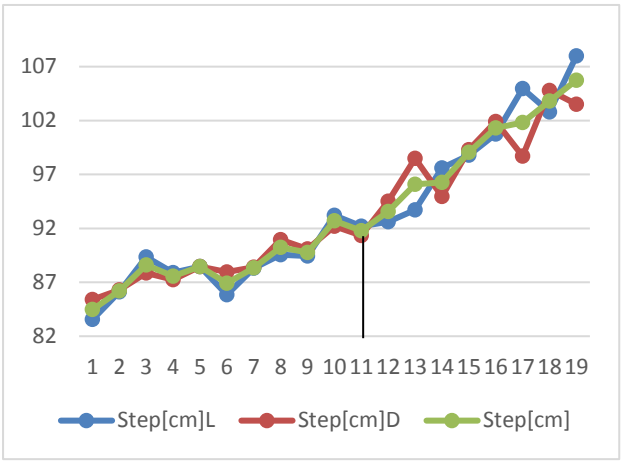
Ispitanik br. 4



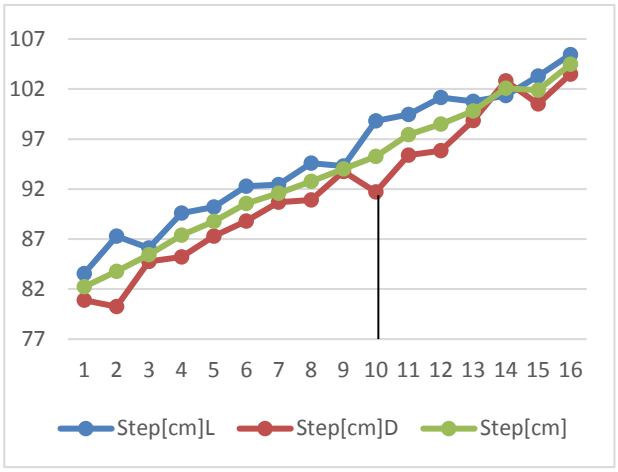
Ispitanik br. 5



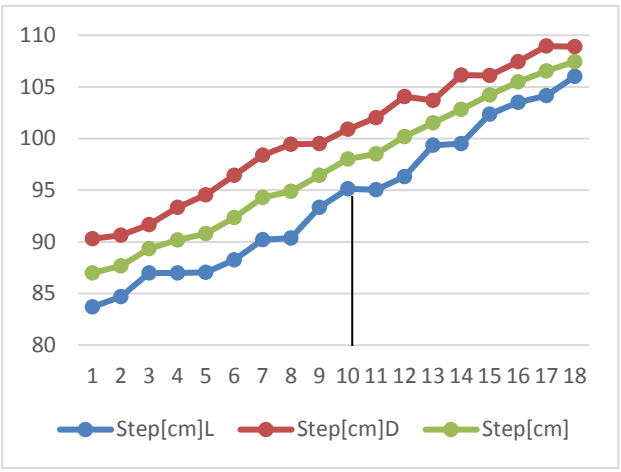
Ispitanik br. 6



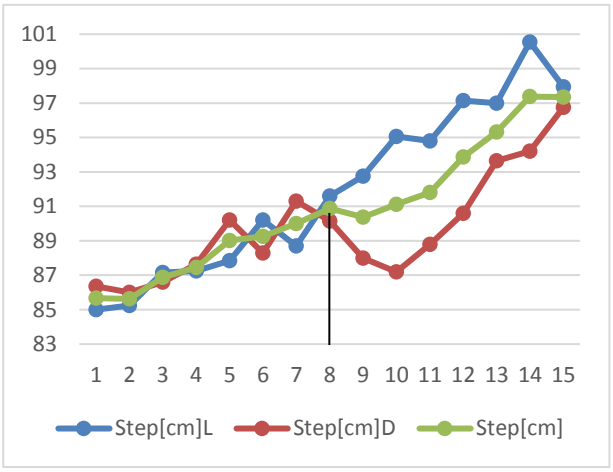
Ispitanik br. 7



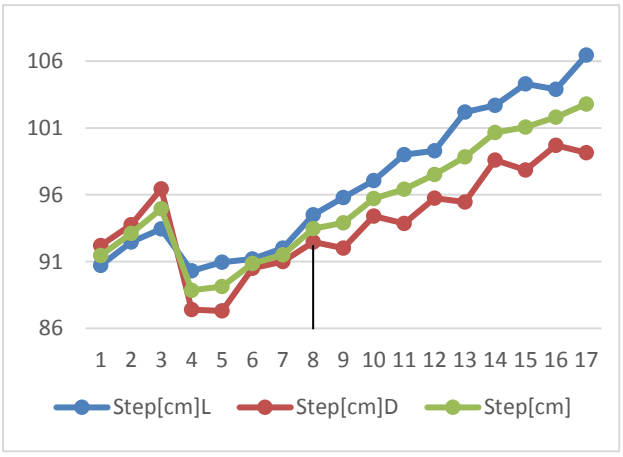
Ispitanik br. 8



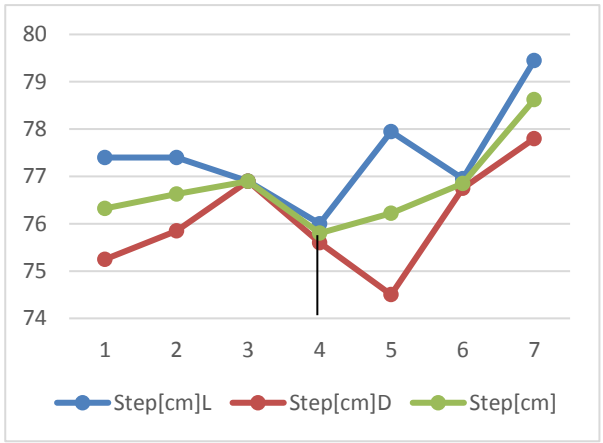
Ispitanik br. 9



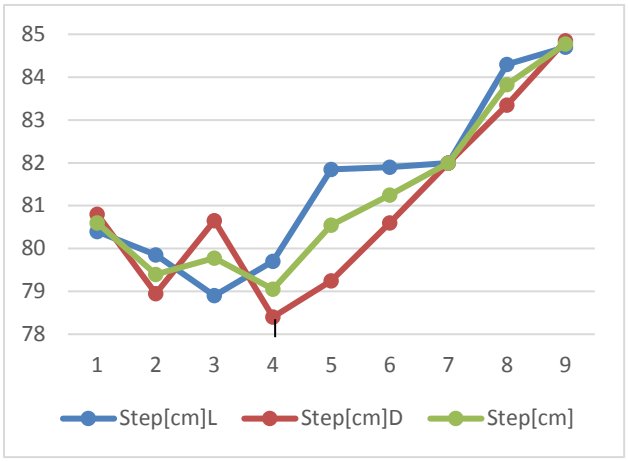
Ispitanik br. 10



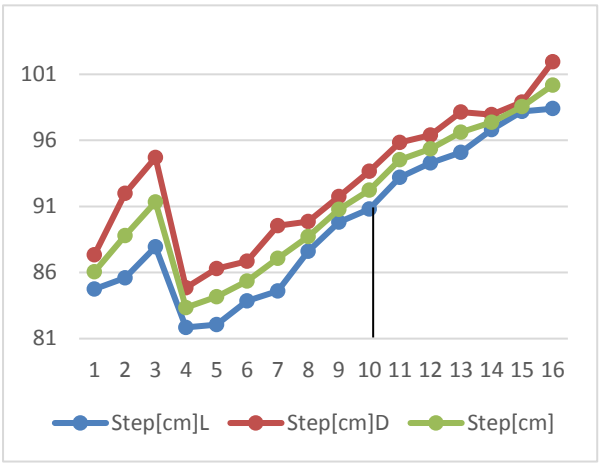
Ispitanik br. 11



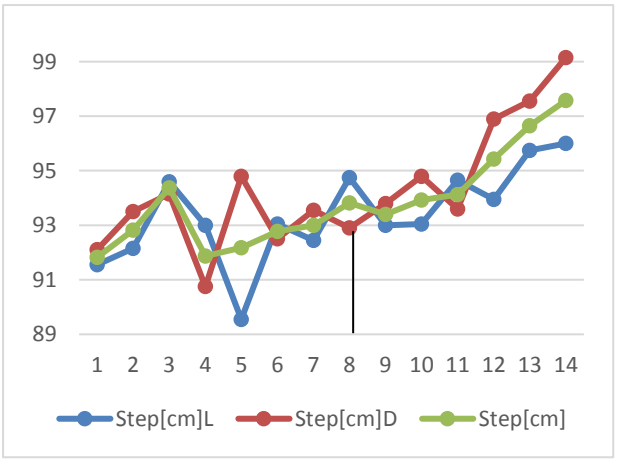
Ispitanik br. 12



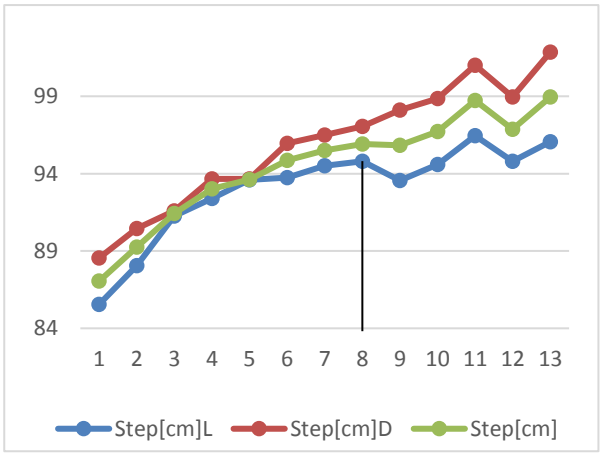
Ispitanik br. 13



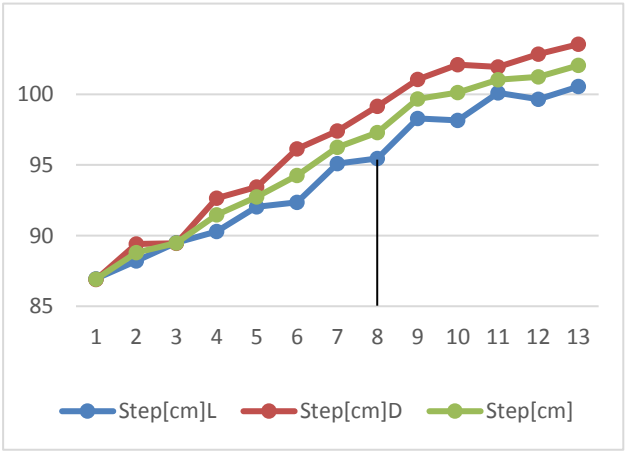
Ispitanik br. 14



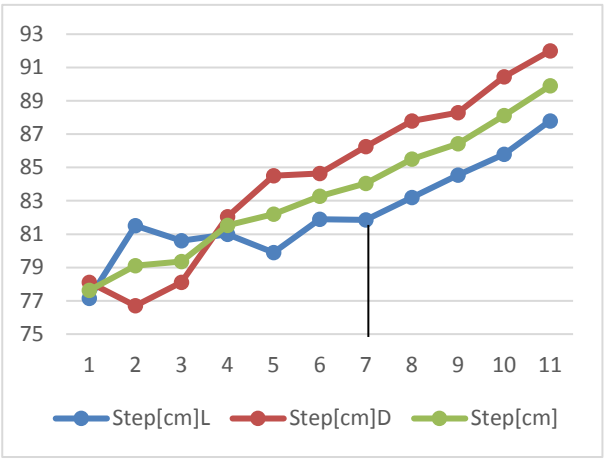
Ispitanik br. 15



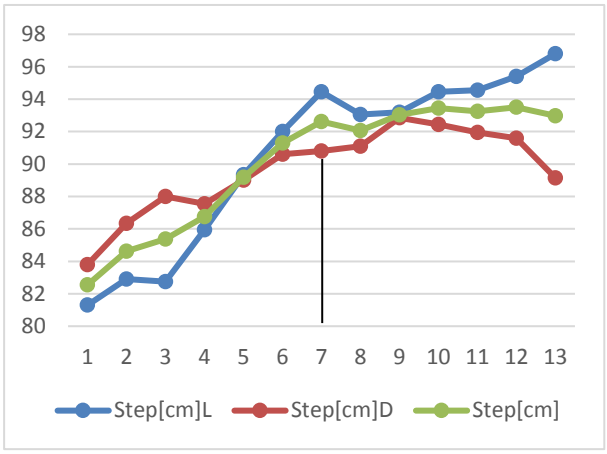
Ispitanik br. 16



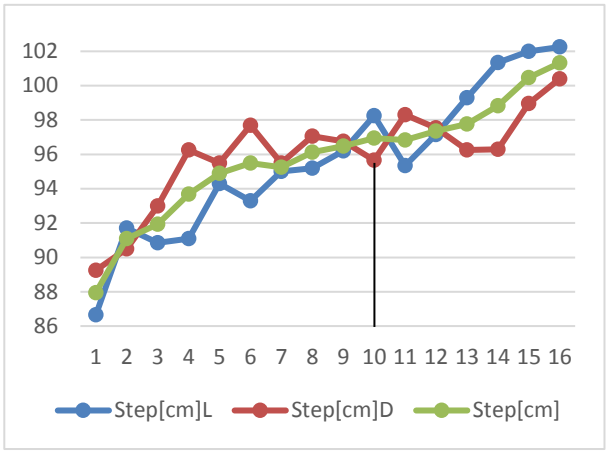
Ispitanik br. 17



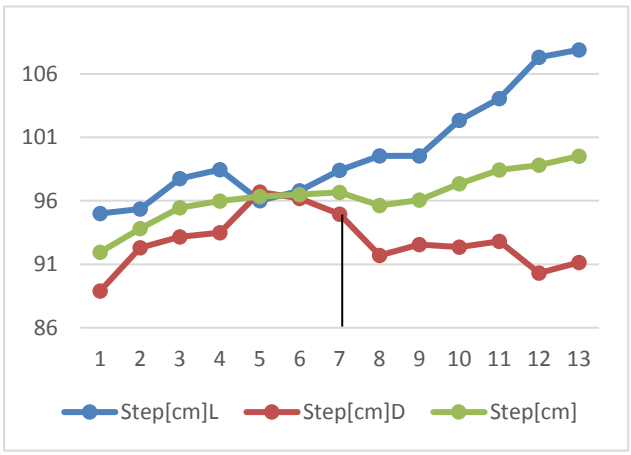
Ispitanik br. 18



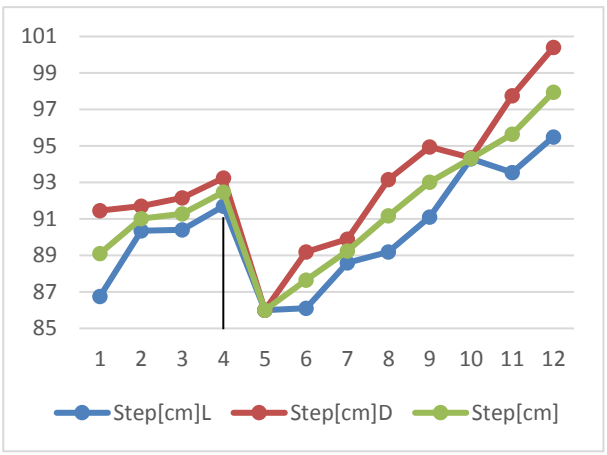
Ispitanik br. 19



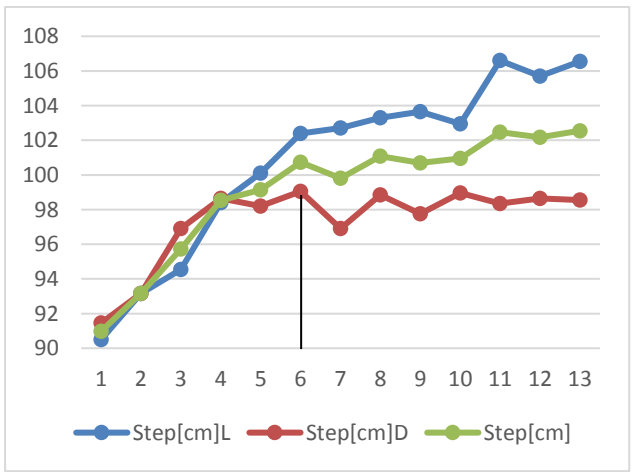
Ispitanik br. 20



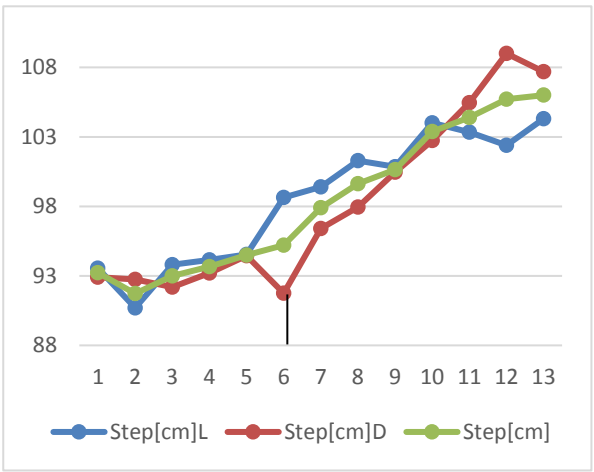
Ispitanik br. 21



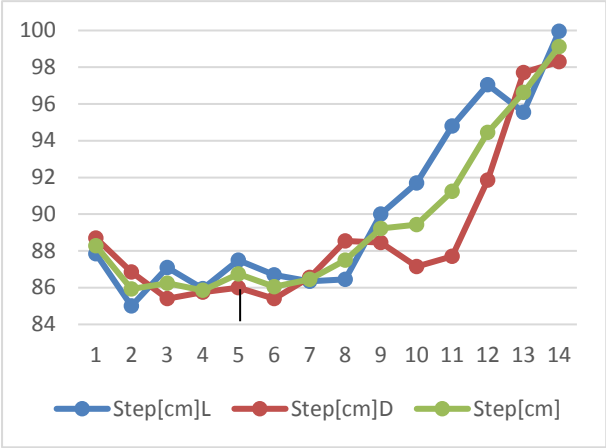
Ispitanik br. 22



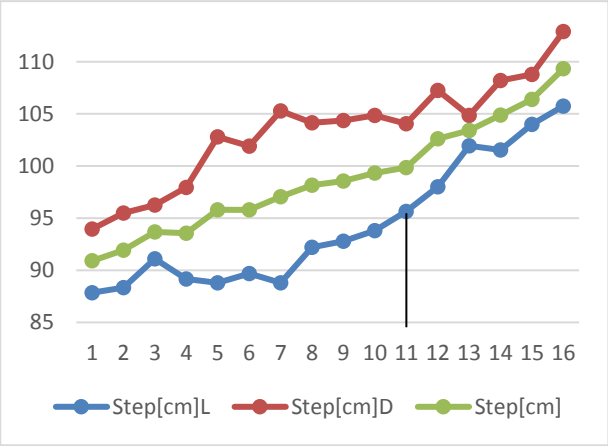
Ispitanik br. 23



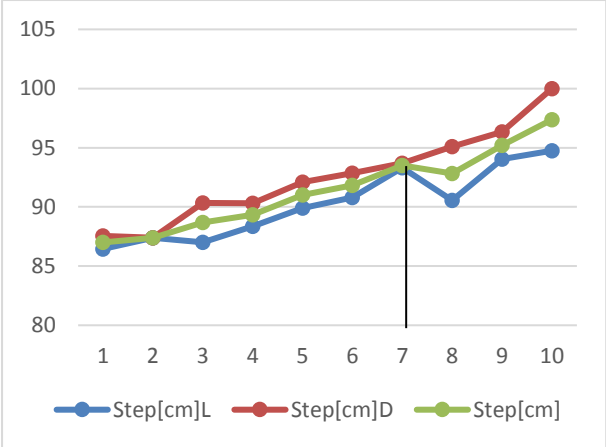
Ispitanik br. 24



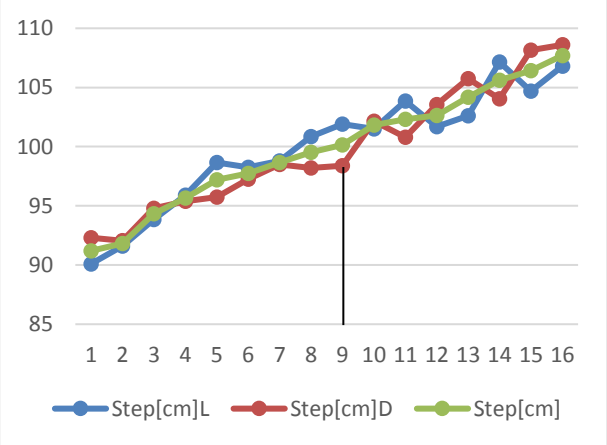
Ispitanik br. 25



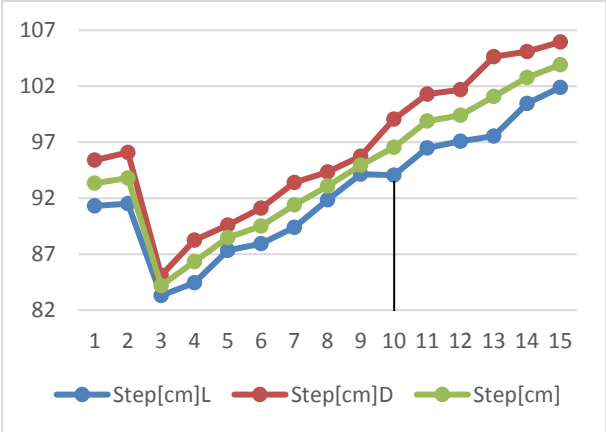
Ispitanik br. 26



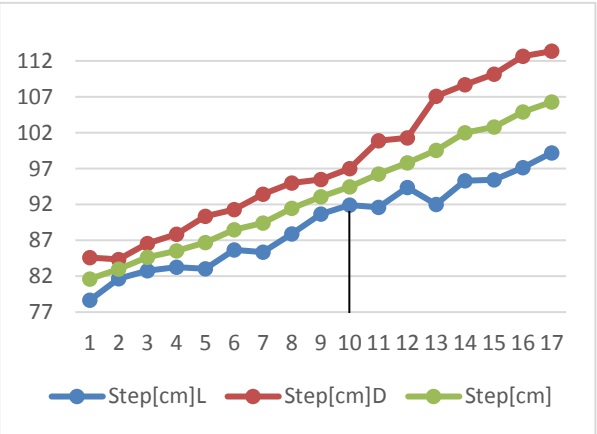
Ispitanik br. 27



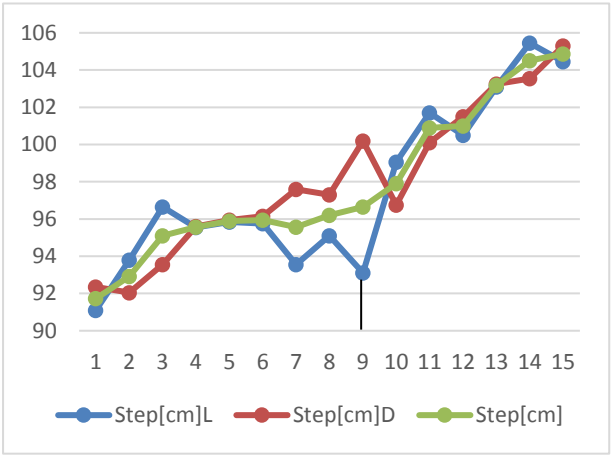
Ispitanik br. 28



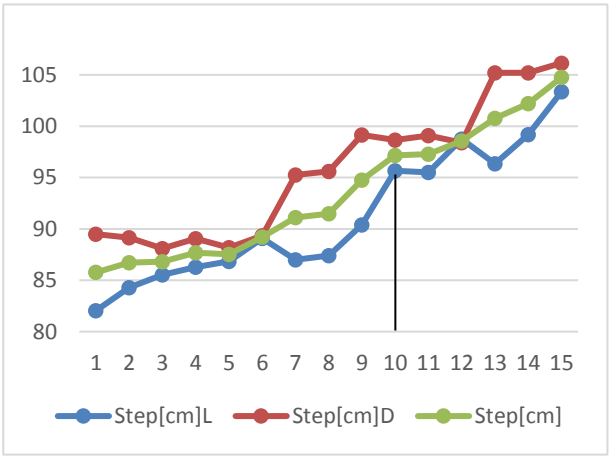
Ispitanik br. 29



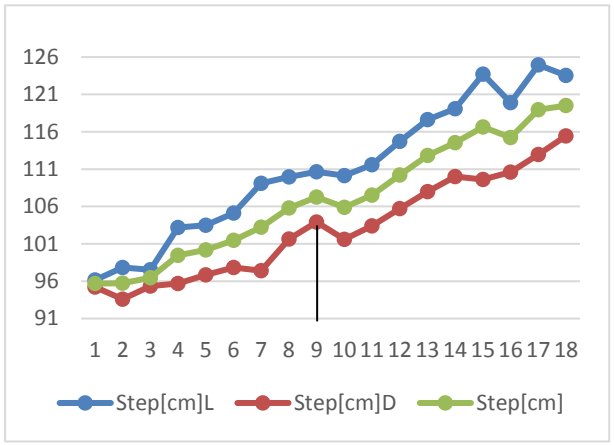
Ispitanik br. 30



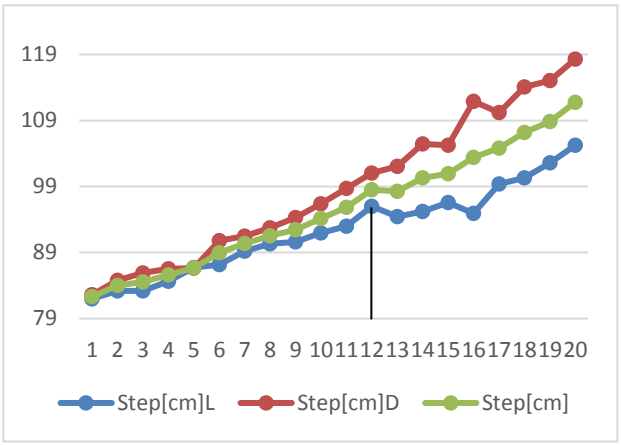
Ispitanik br. 31



Ispitanik br. 32

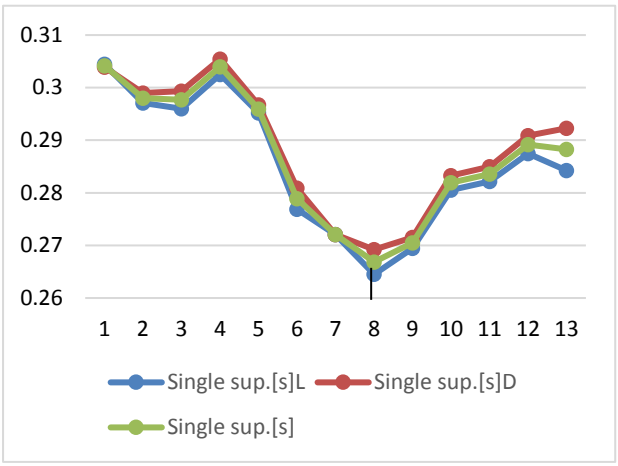


Ispitanik br. 33

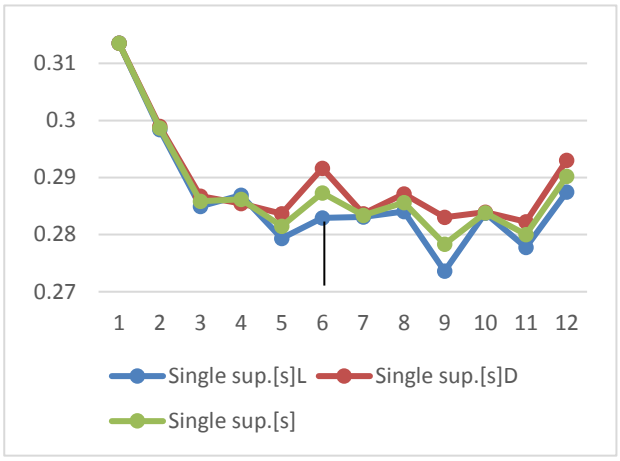


Ispitanik br. 34

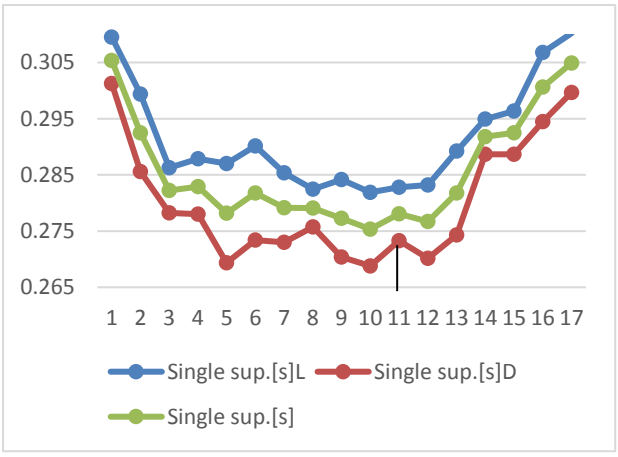
Prilog 4. Krivulje kretanja trajanja jednopotporne faze



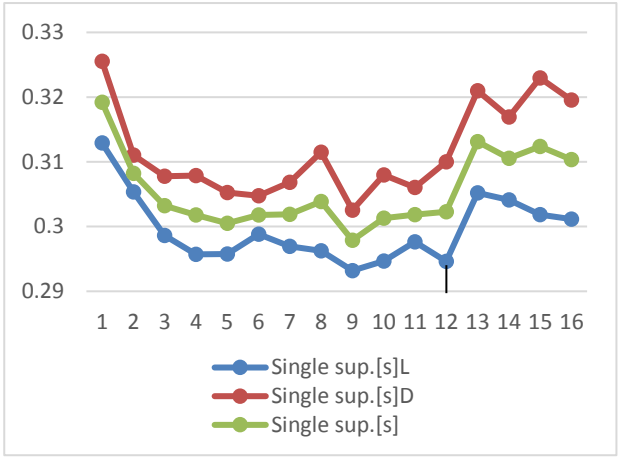
Ispitanik br. 1



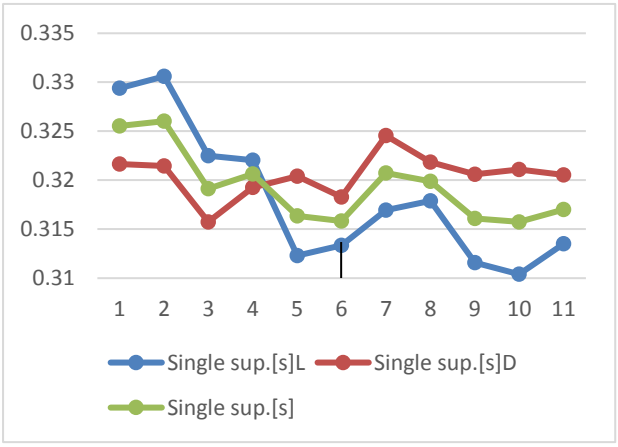
Ispitanik br. 2



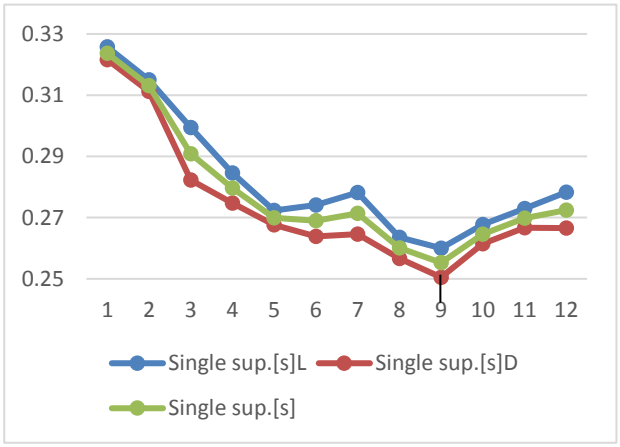
Ispitanik br. 3



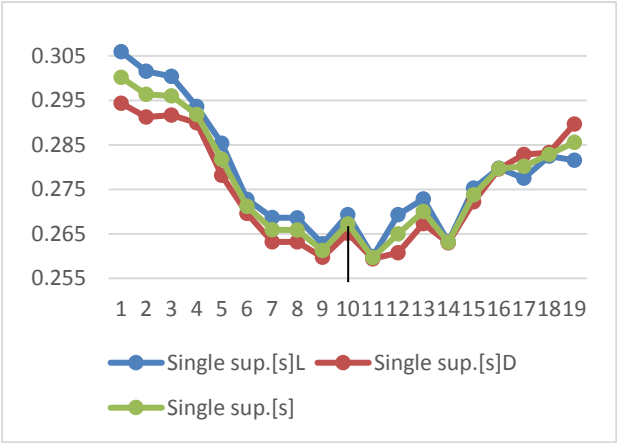
Ispitanik br. 4



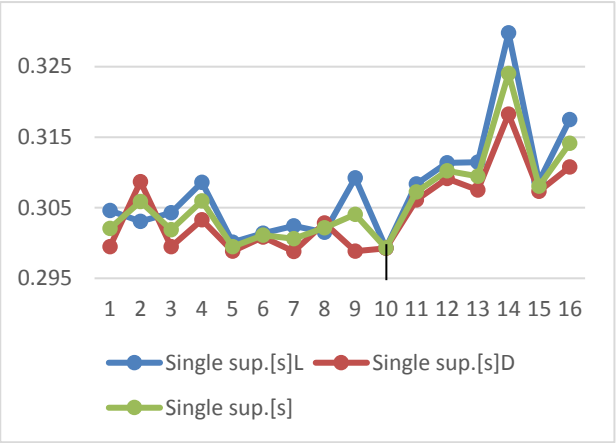
Ispitanik br. 5



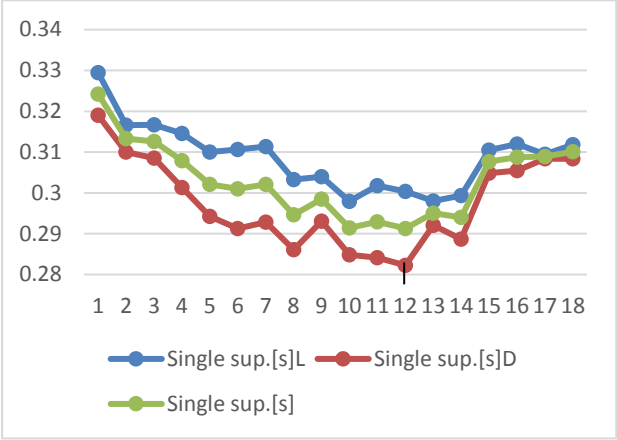
Ispitanik br. 6



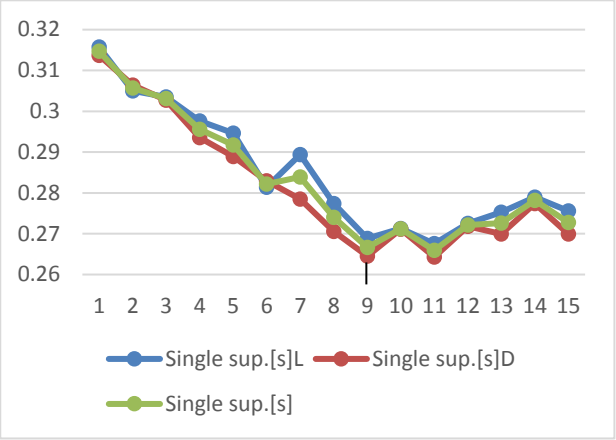
Ispitanik br. 7



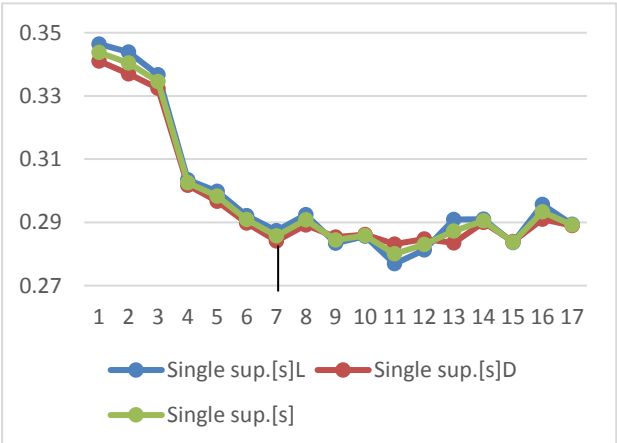
Ispitanik br. 8



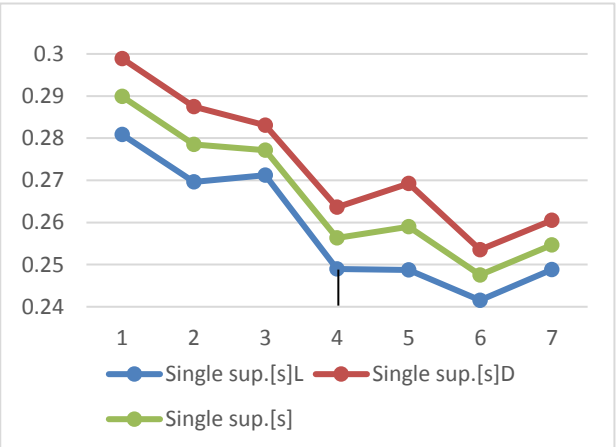
Ispitanik br. 9



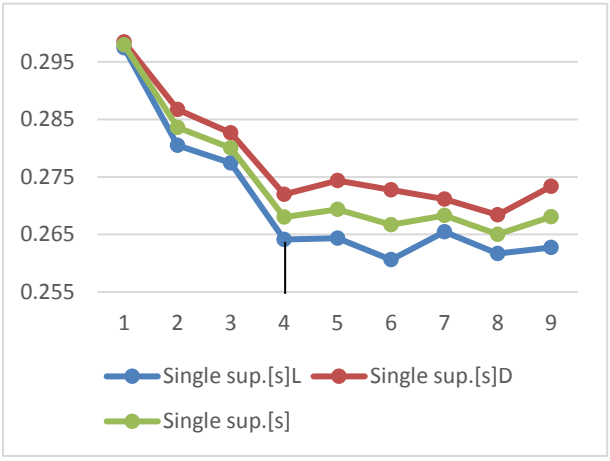
Ispitanik br. 10



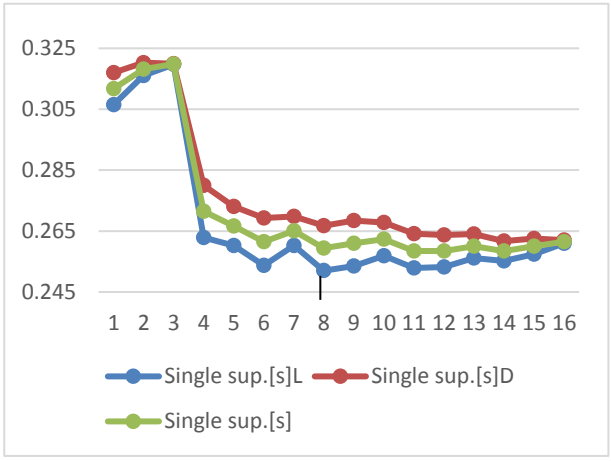
Ispitanik br. 11



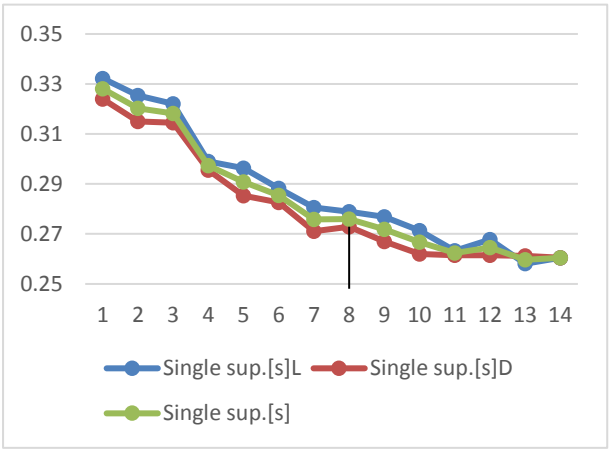
Ispitanik br. 12



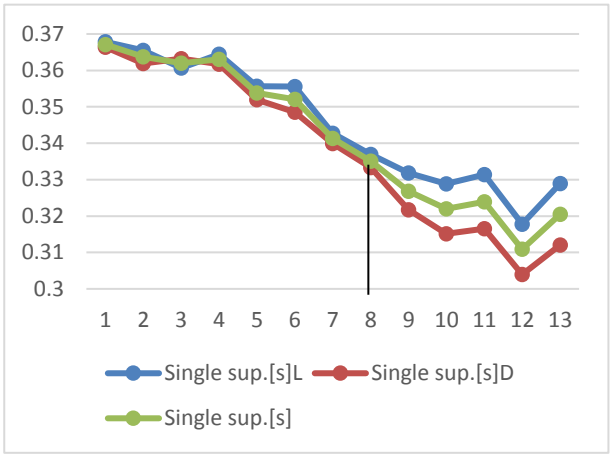
Ispitanik br. 13



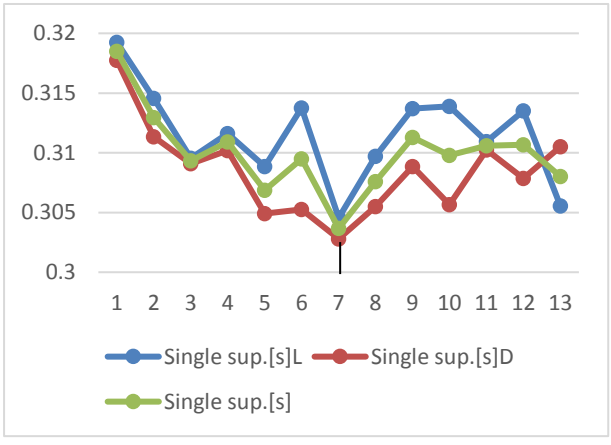
Ispitanik br. 14



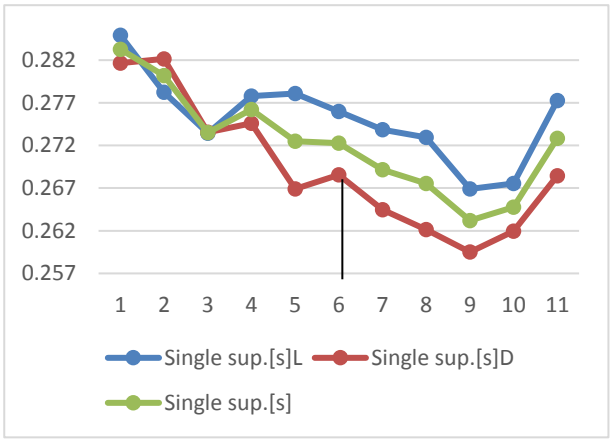
Ispitanik br. 15



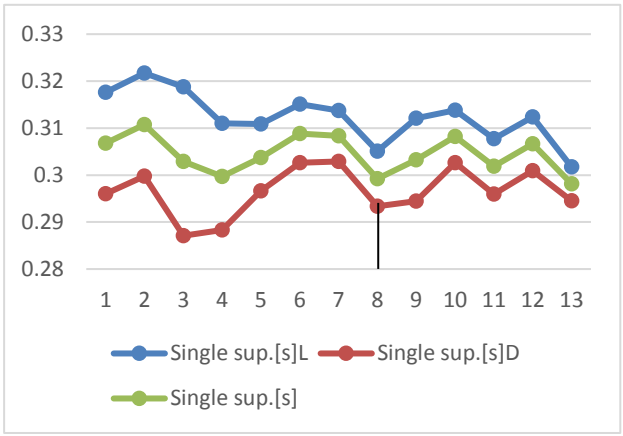
Ispitanik br. 16



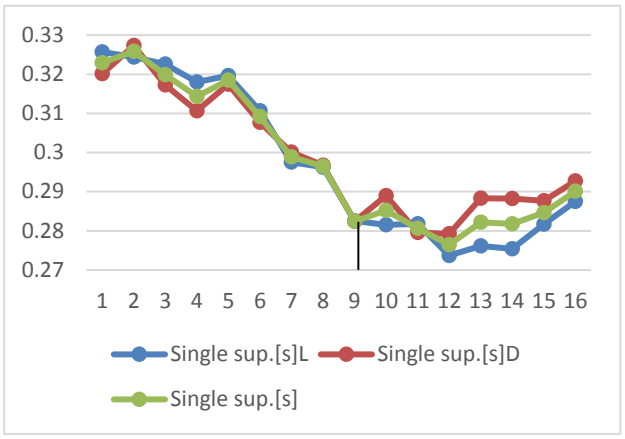
Ispitanik br. 17



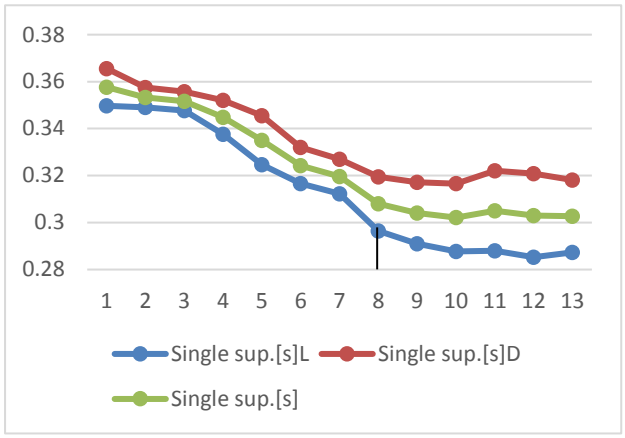
Ispitanik br. 18



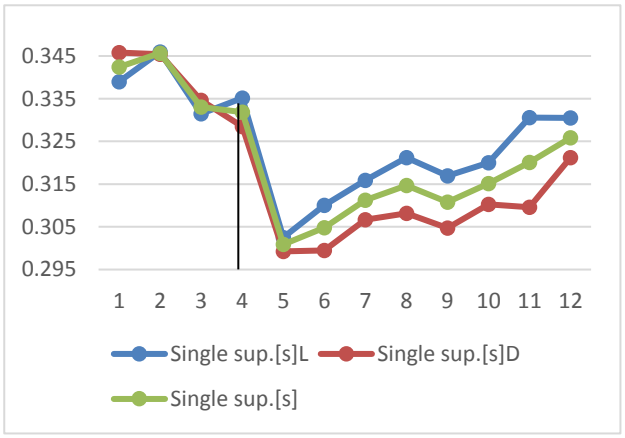
Ispitanik br. 19



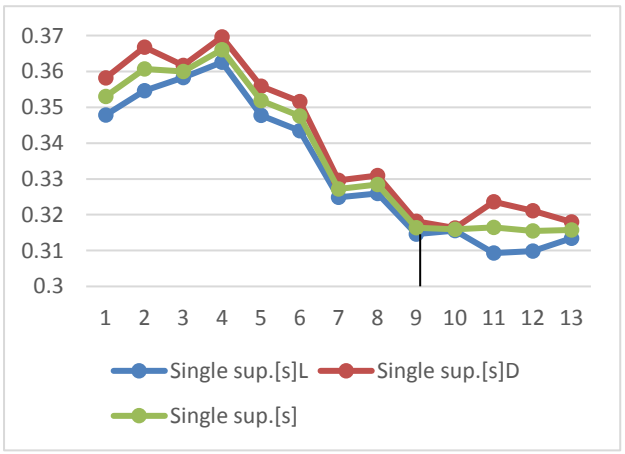
Ispitanik br. 20



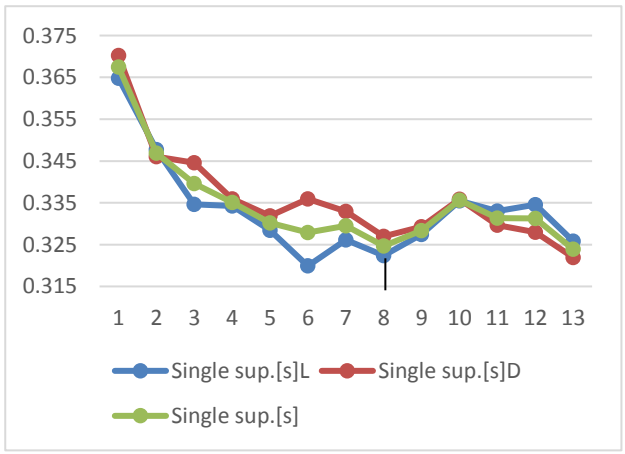
Ispitanik br. 21



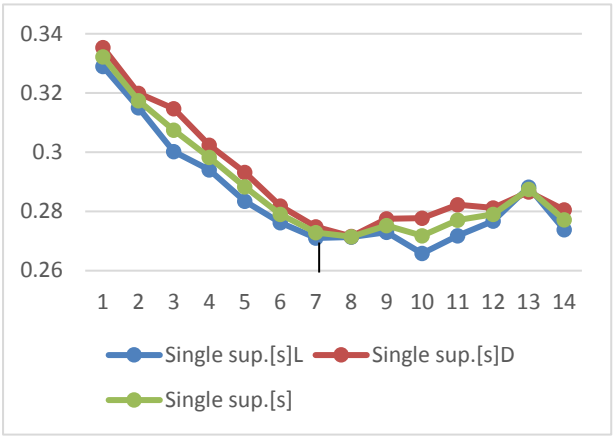
Ispitanik br. 22



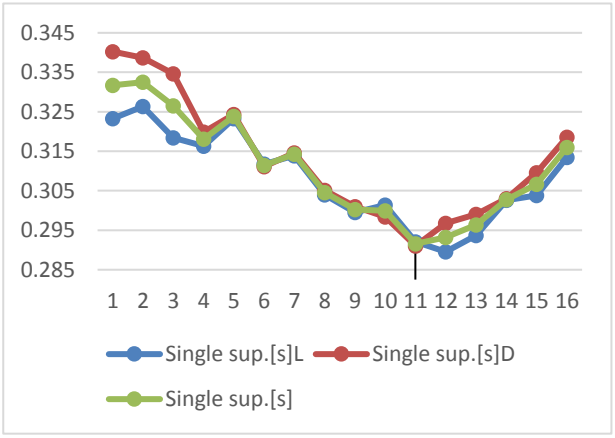
Ispitanik br. 23



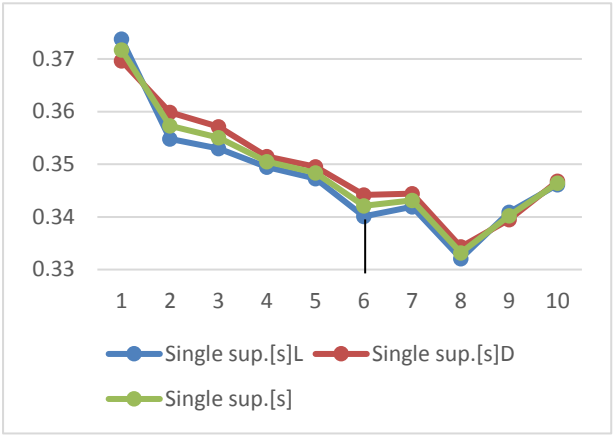
Ispitanik br. 24



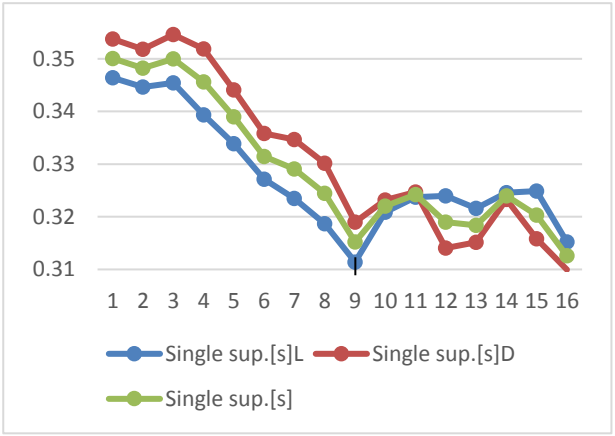
Ispitanik br. 25



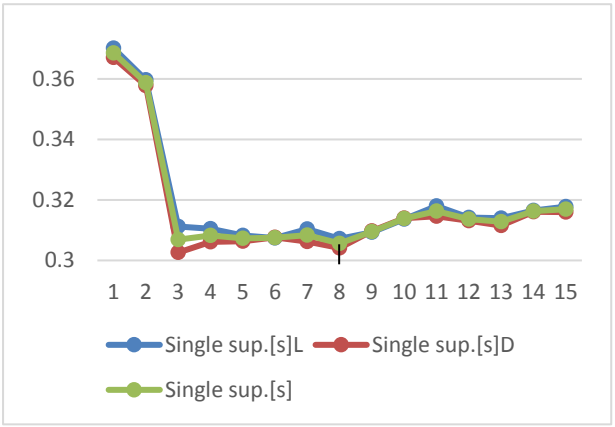
Ispitanik br. 26



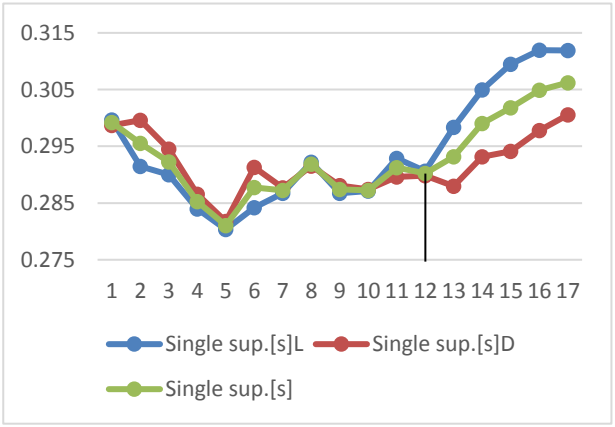
Ispitanik br. 27



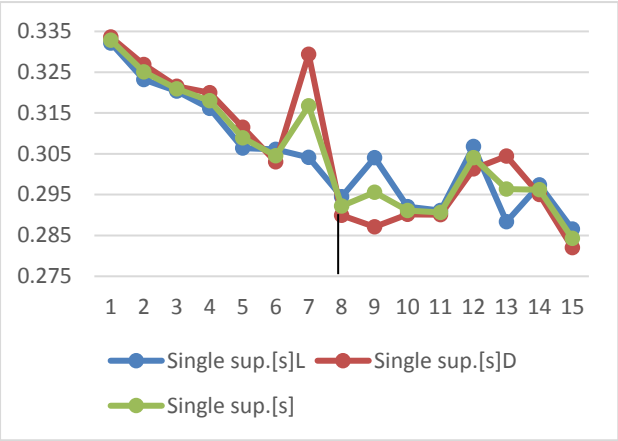
Ispitanik br. 28



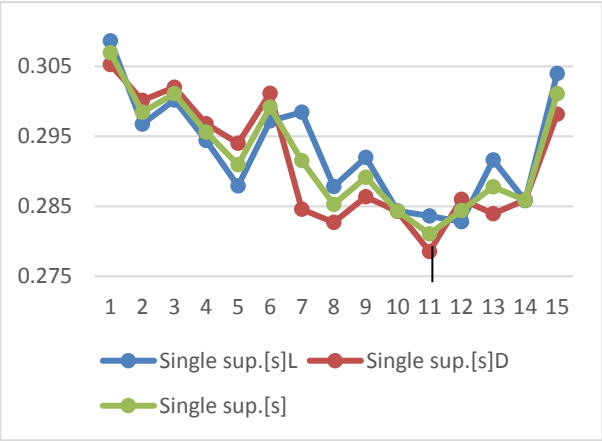
Ispitanik br. 29



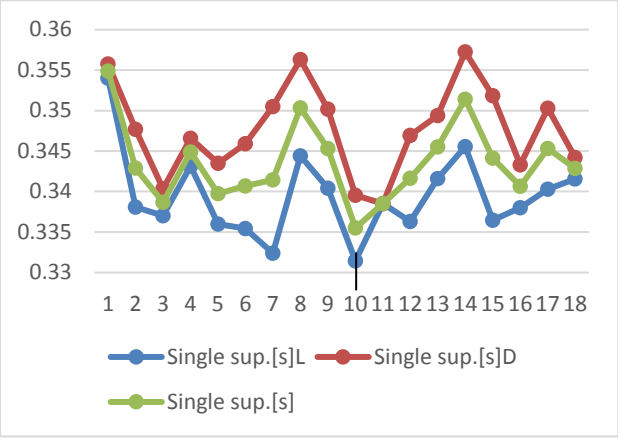
Ispitanik br. 30



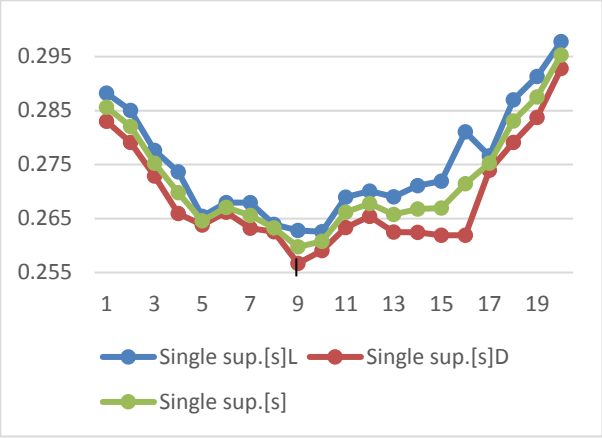
Ispitanik br. 31



Ispitanik br. 32

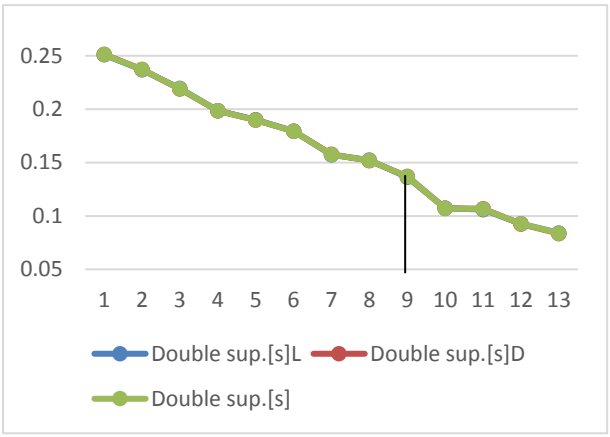


Ispitanik br. 33

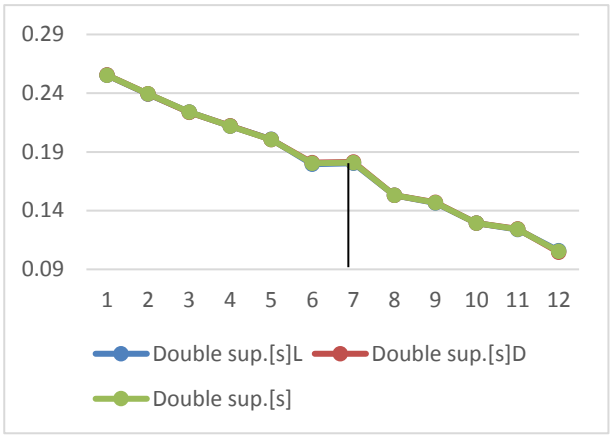


Ispitanik br. 34

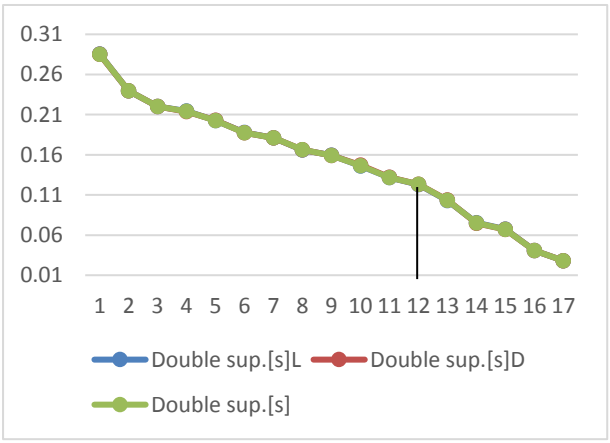
Prilog 5. Krivulje kretanja trajanja dvopotporne faze



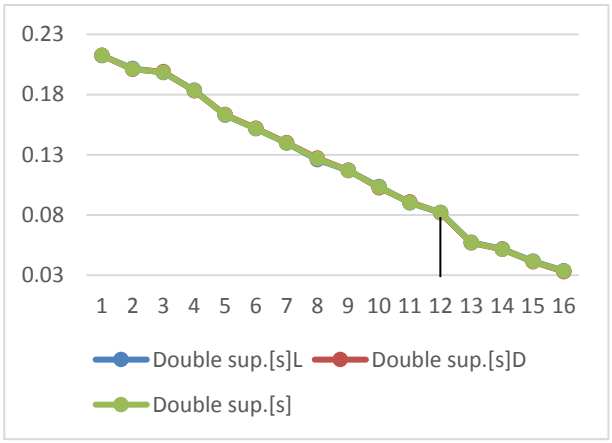
Ispitanik br. 1



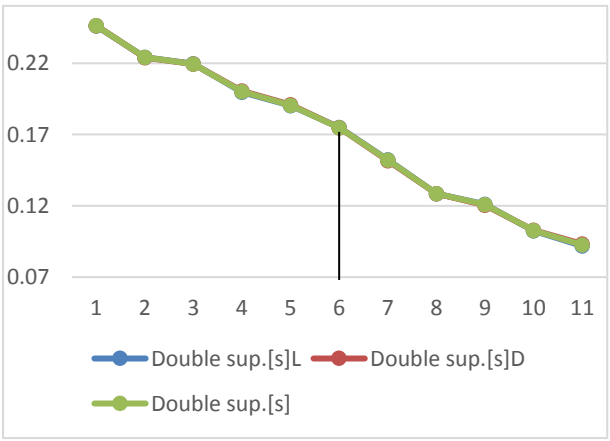
Ispitanik br. 2



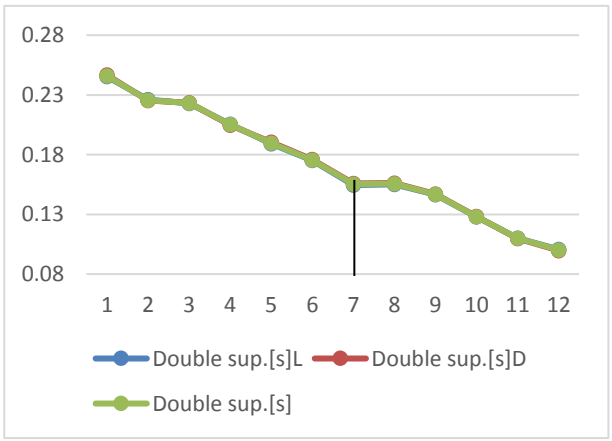
Ispitanik br. 3



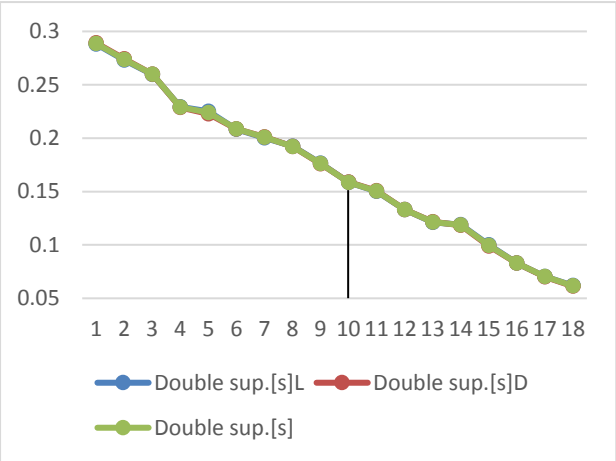
Ispitanik br. 4



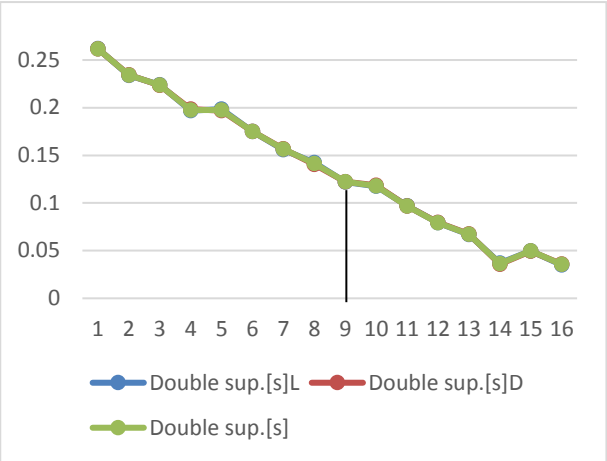
Ispitanik br. 5



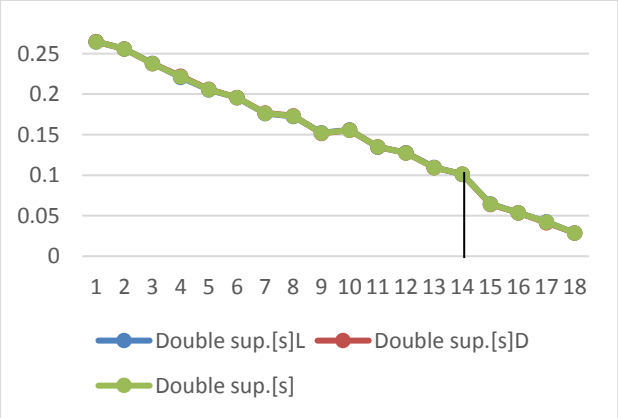
Ispitanik br. 6



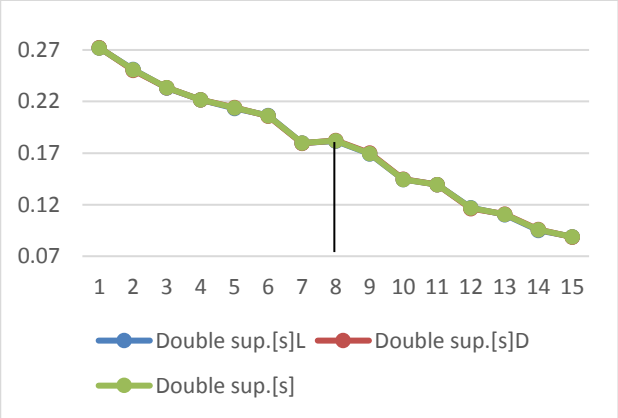
Ispitanik br. 7



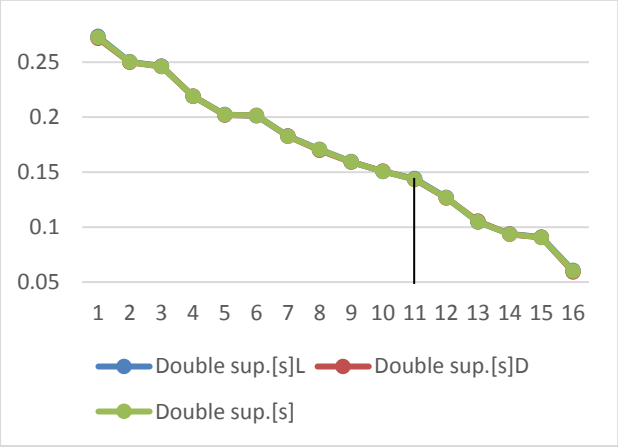
Ispitanik br. 8



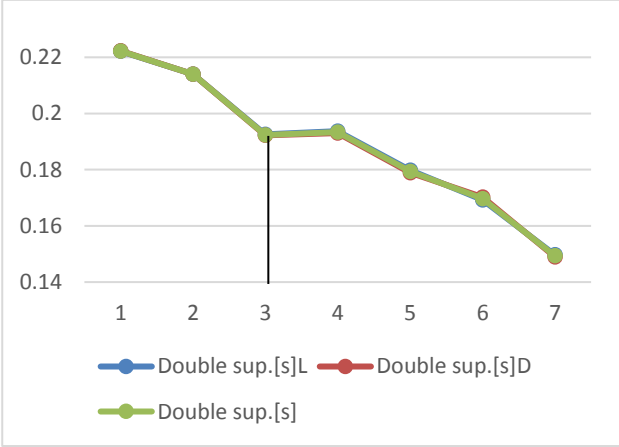
Ispitanik br. 9



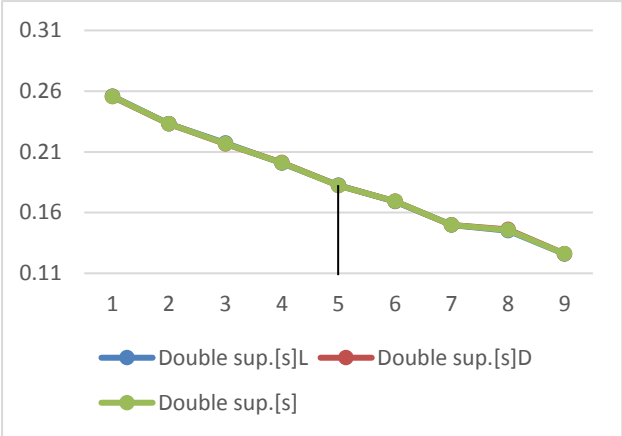
Ispitanik br. 10



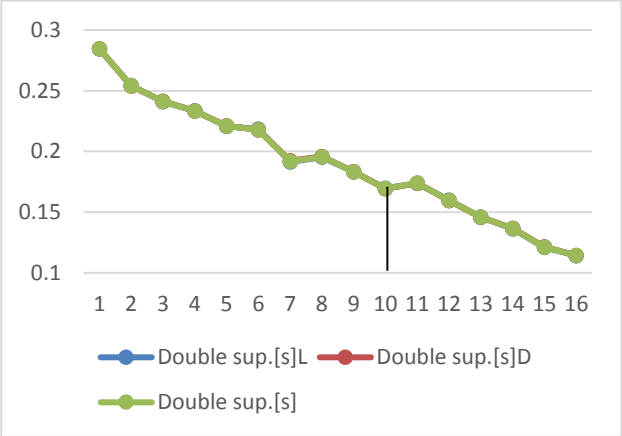
Ispitanik br. 11



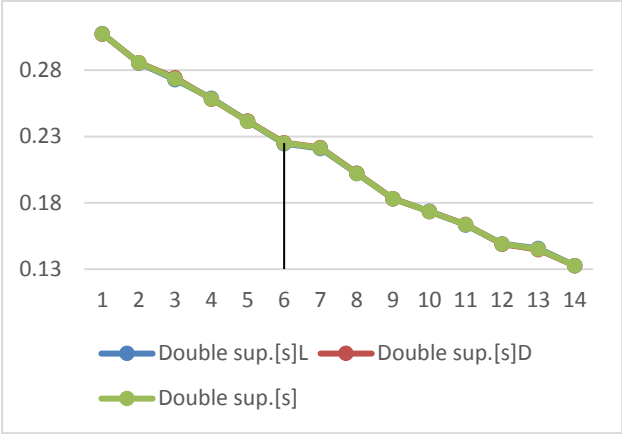
Ispitanik br. 12



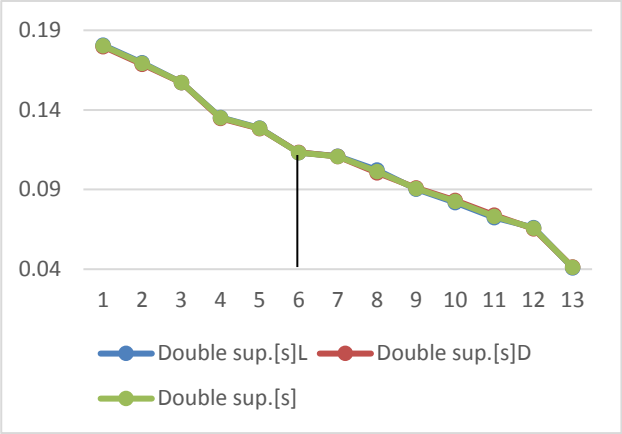
Ispitanik br. 13



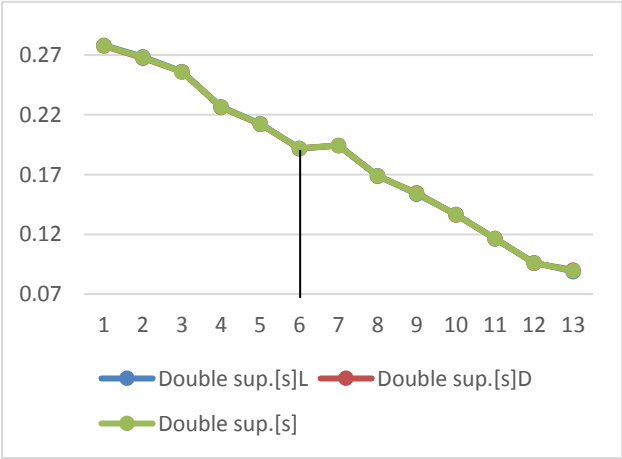
Ispitanik br. 14



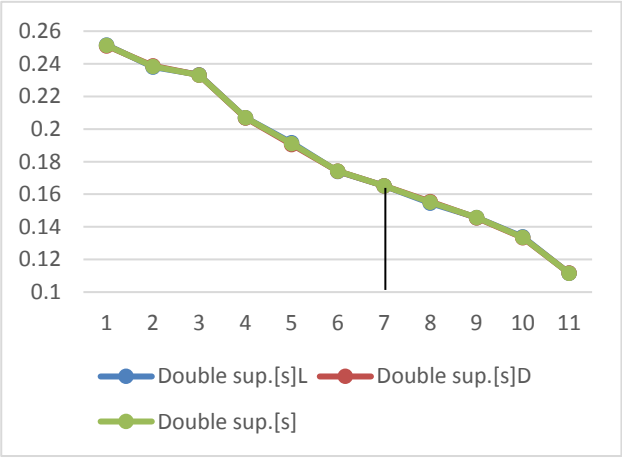
Ispitanik br. 15



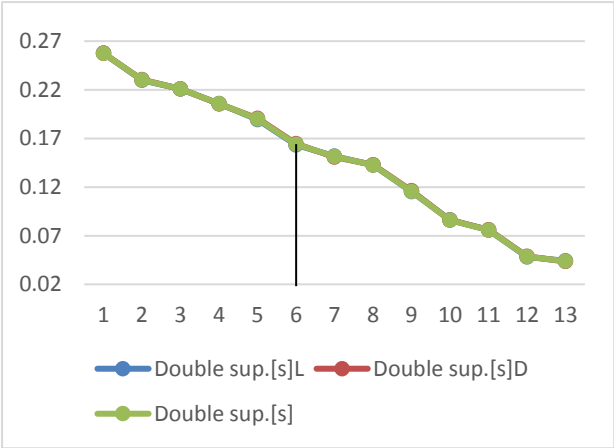
Ispitanik br. 16



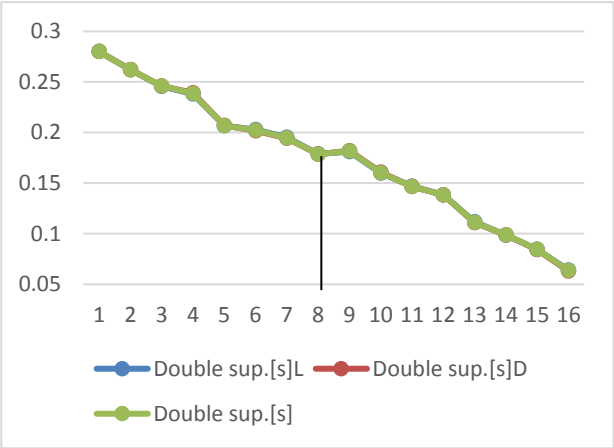
Ispitanik br. 17



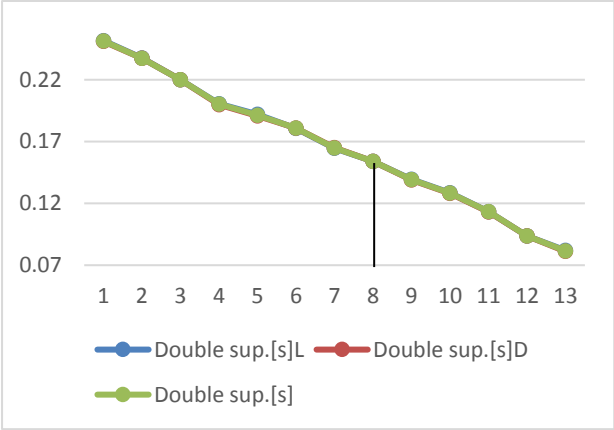
Ispitanik br. 18



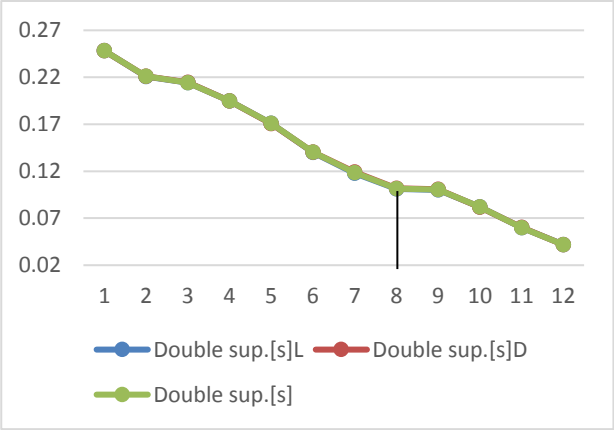
Ispitanik br. 19



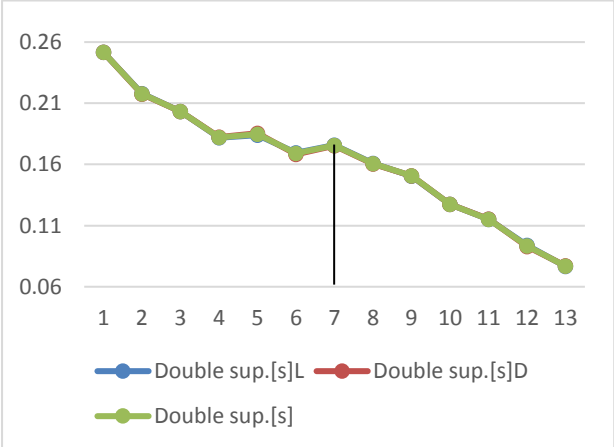
Ispitanik br. 20



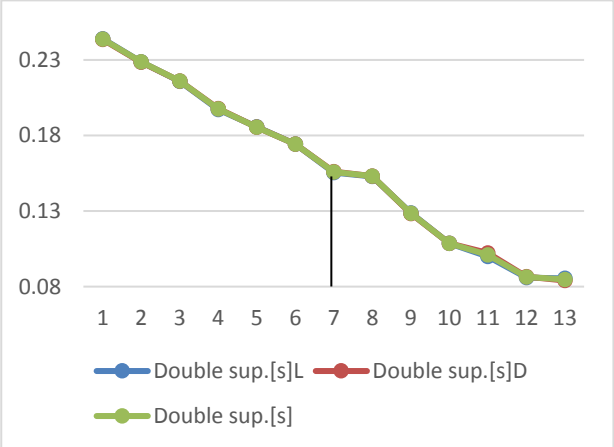
Ispitanik br. 21



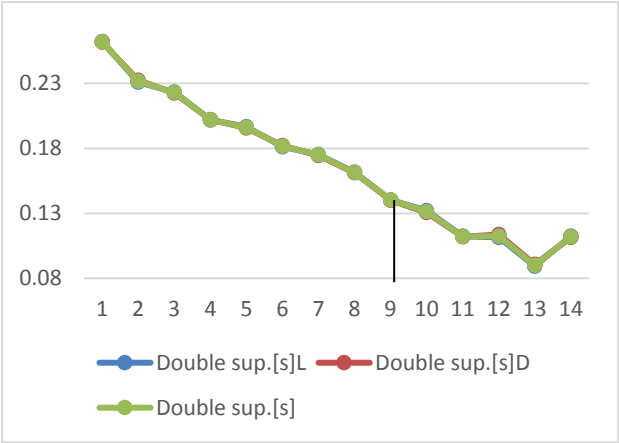
Ispitanik br. 22



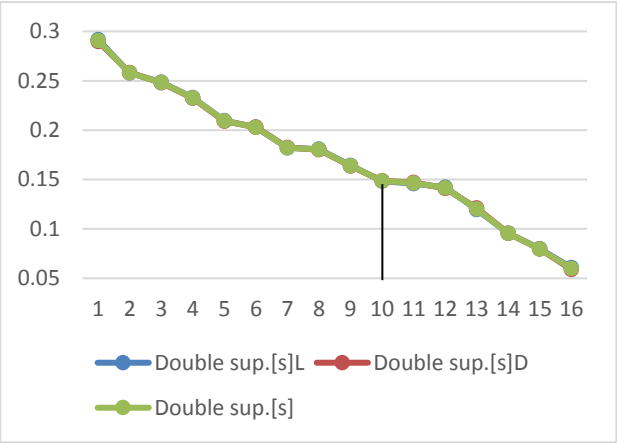
Ispitanik br. 23



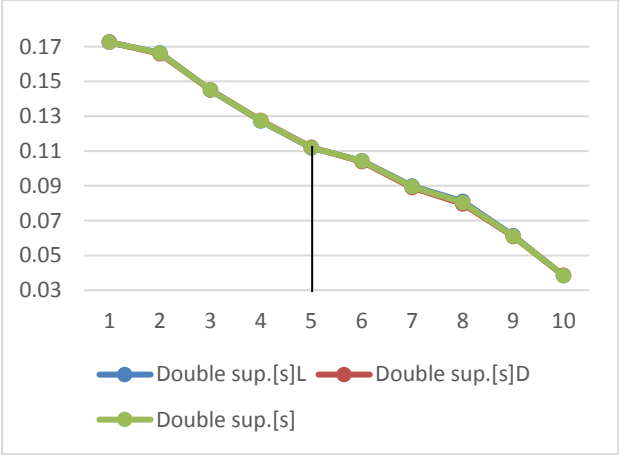
Ispitanik br. 24



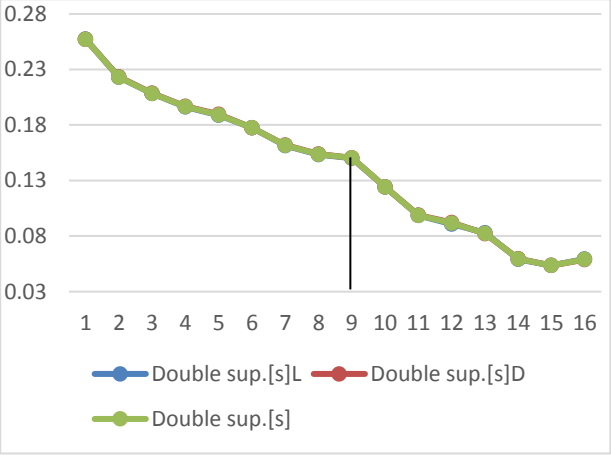
Ispitanik br. 25



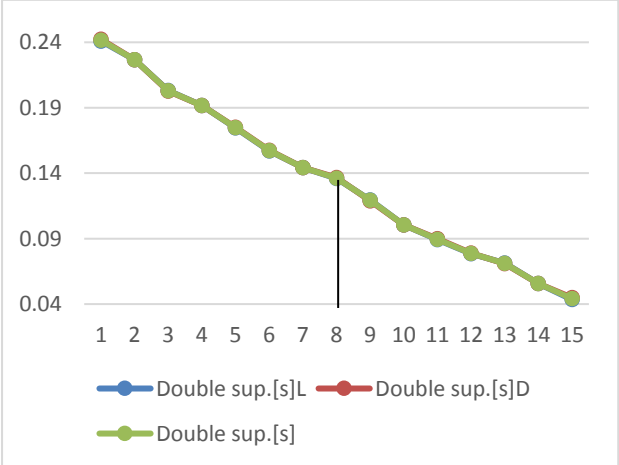
Ispitanik br. 26



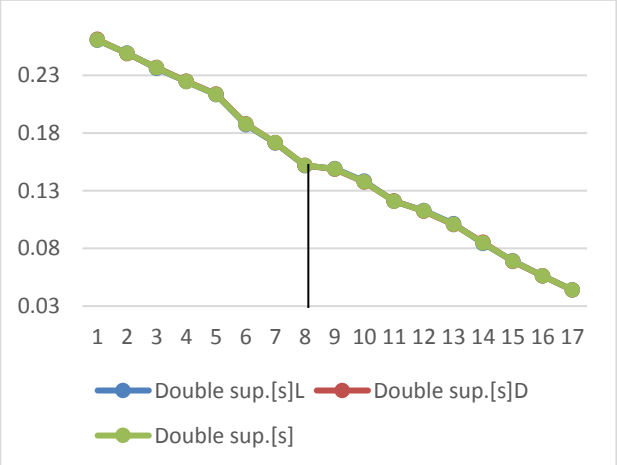
Ispitanik br. 27



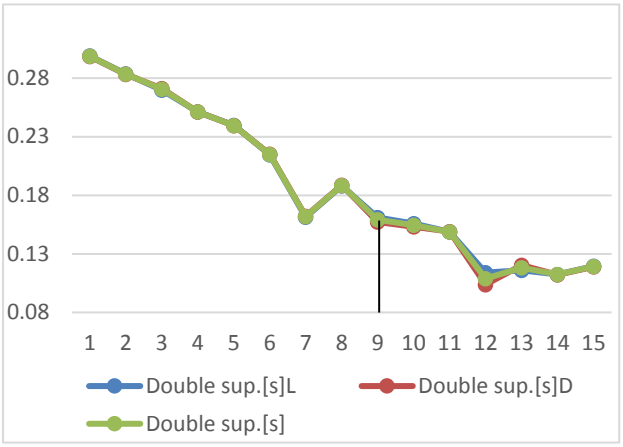
Ispitanik br. 28



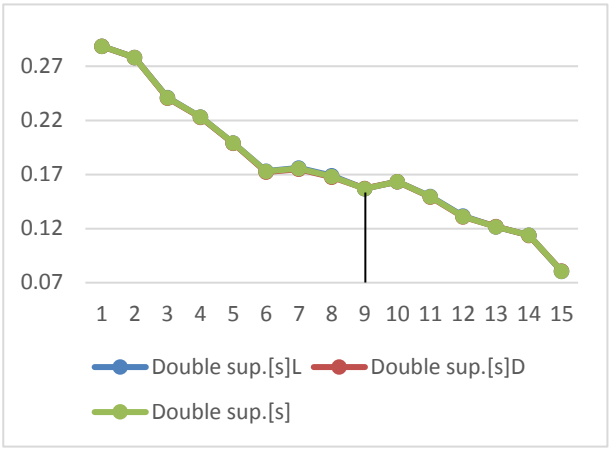
Ispitanik br. 29



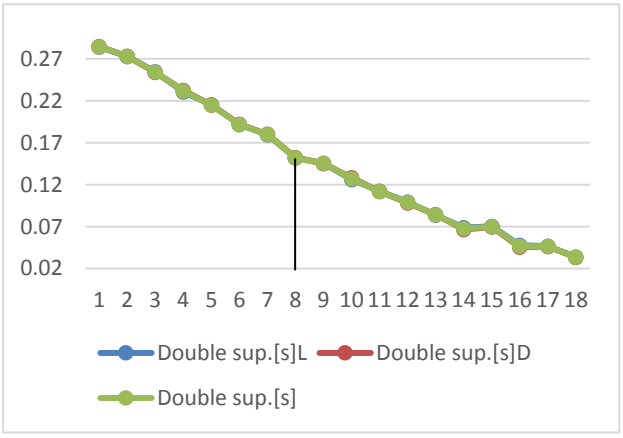
Ispitanik br. 30



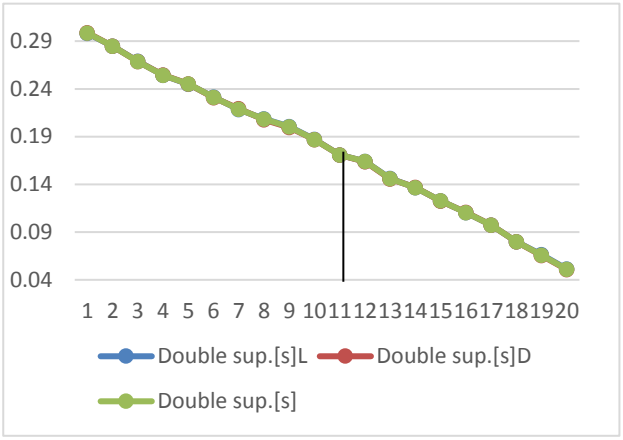
Ispitanik br. 31



Ispitanik br. 32

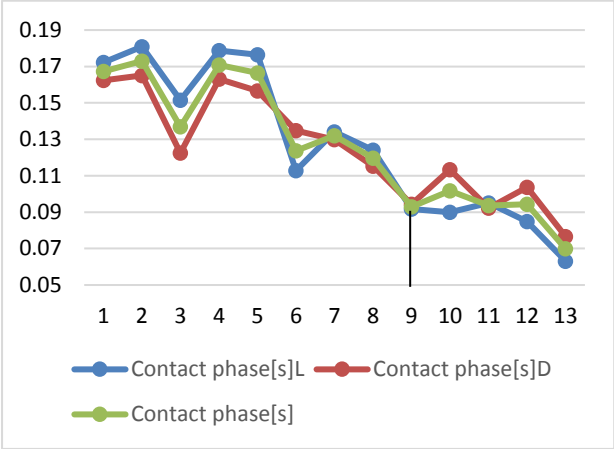


Ispitanik br. 33

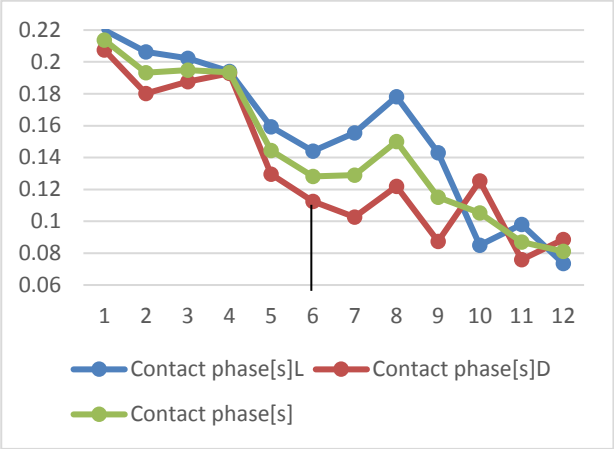


Ispitanik br. 34

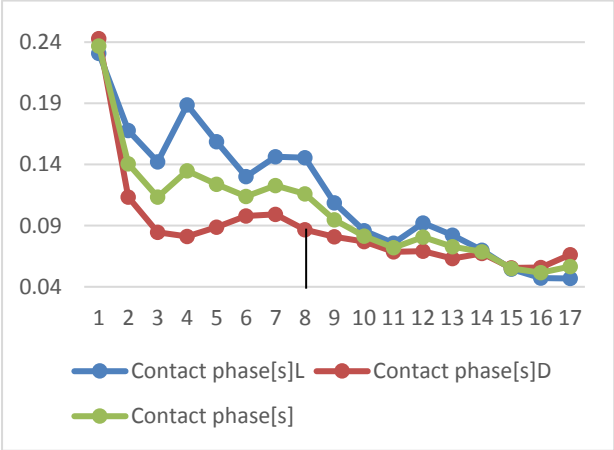
Prilog 6. Krivulje kretanja trajanja prednjeg kontakta pete s podlogom



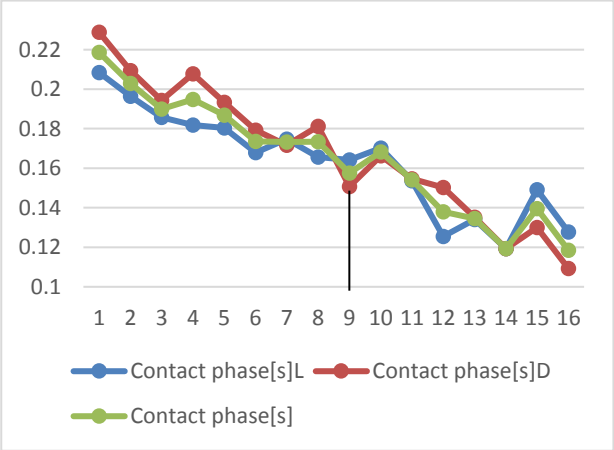
Ispitanik br. 1



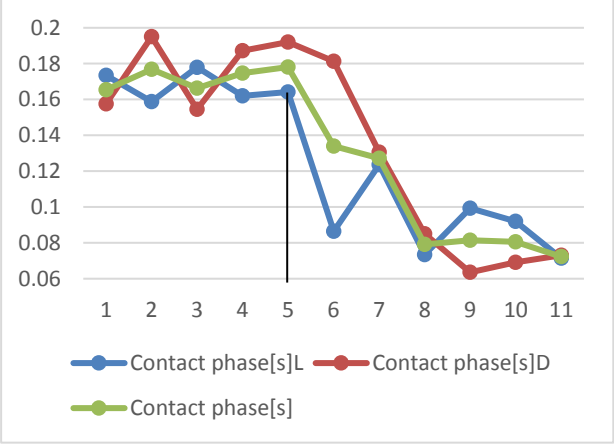
Ispitanik br. 2



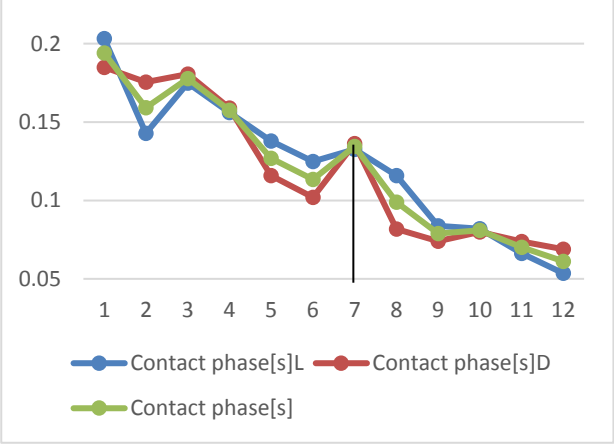
Ispitanik br. 3



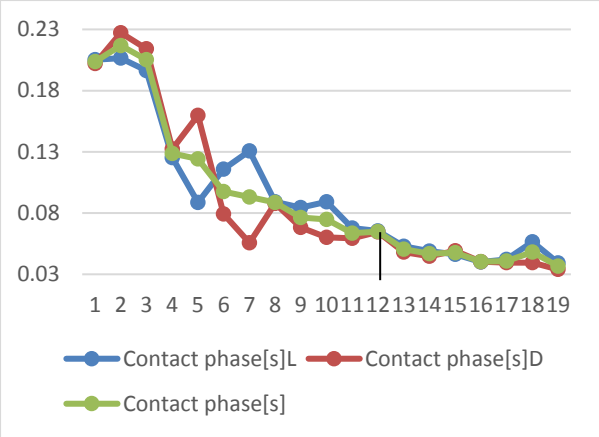
Ispitanik br. 4



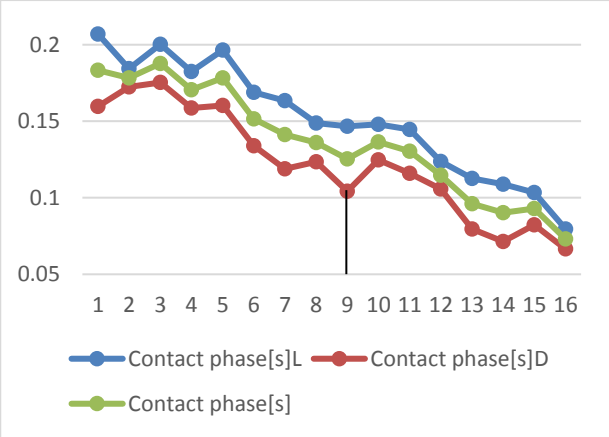
Ispitanik br. 5



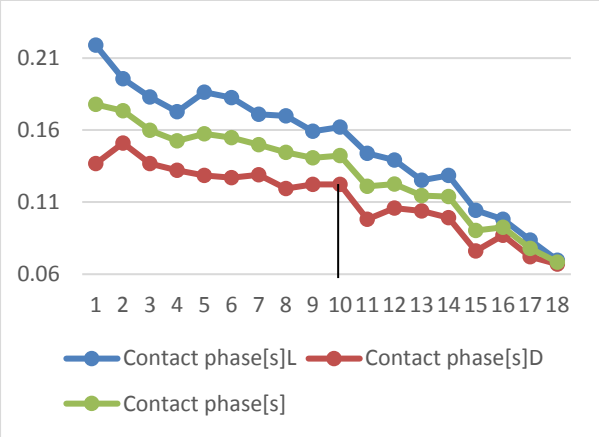
Ispitanik br. 6



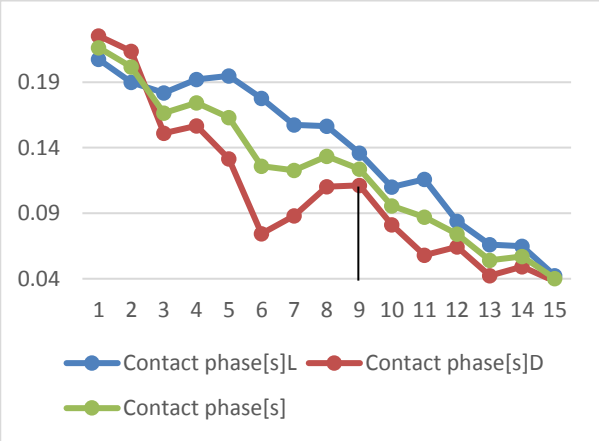
Ispitanik br. 7



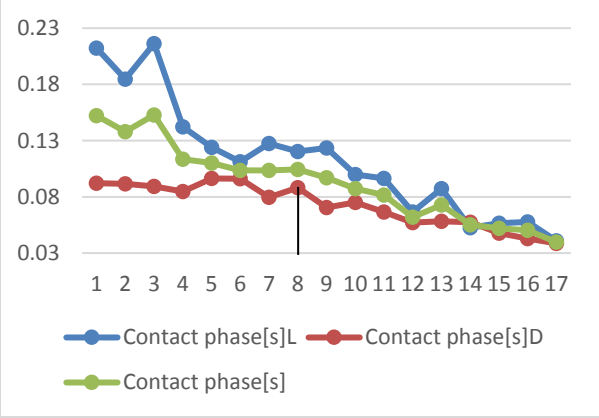
Ispitanik br. 8



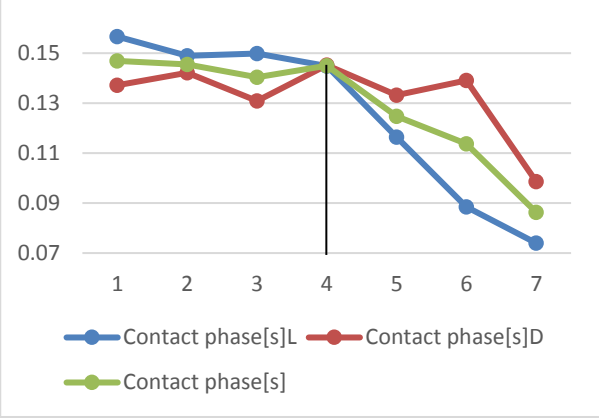
Ispitanik br. 9



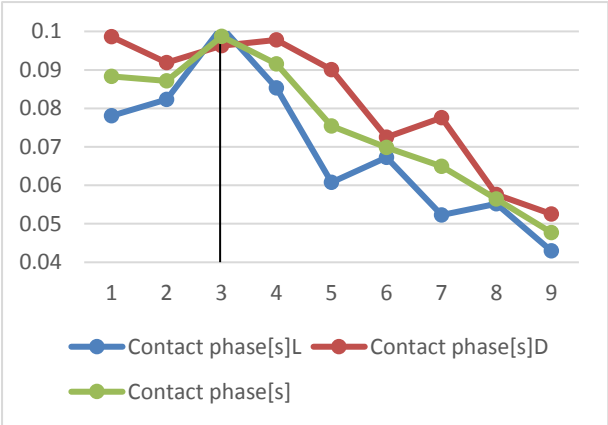
Ispitanik br. 10



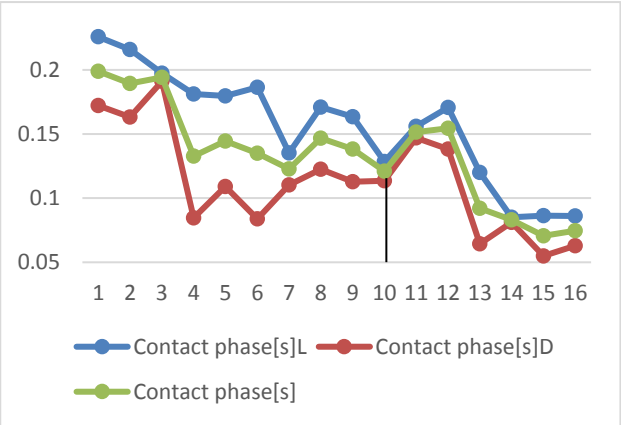
Ispitanik br. 11



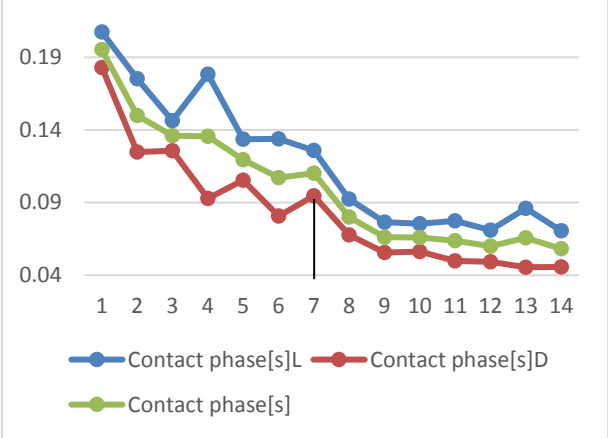
Ispitanik br. 12



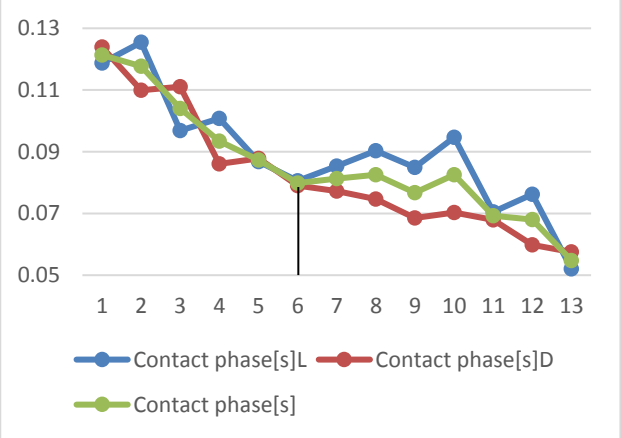
Ispitanik br. 13



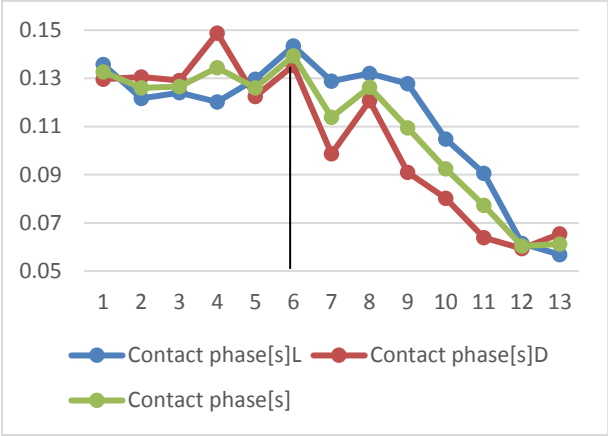
Ispitanik br. 14



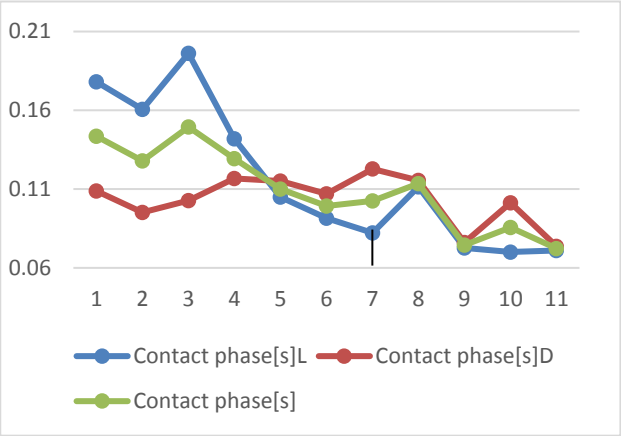
Ispitanik br. 15



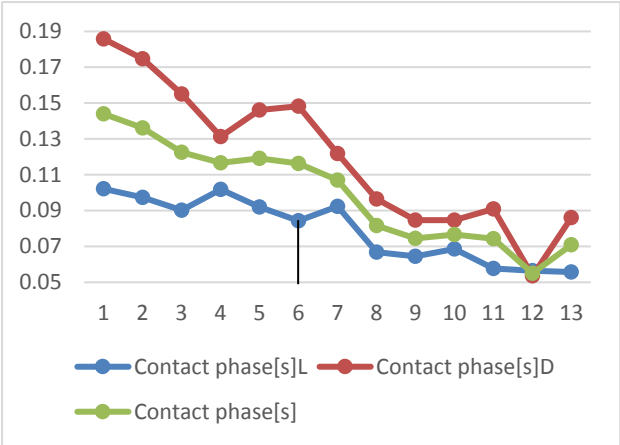
Ispitanik br. 16



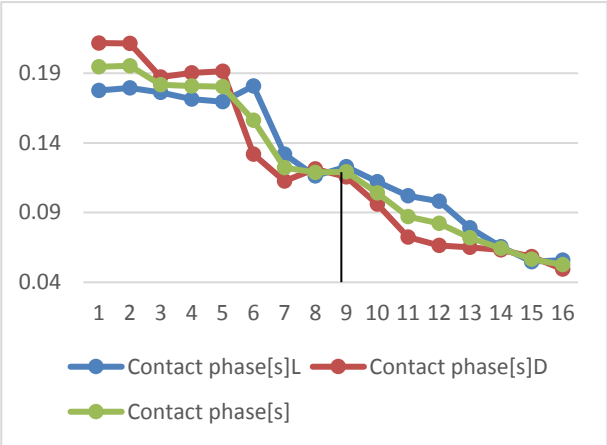
Ispitanik br. 17



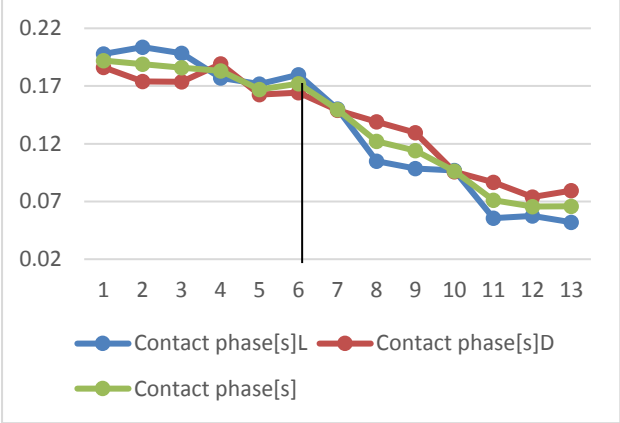
Ispitanik br. 18



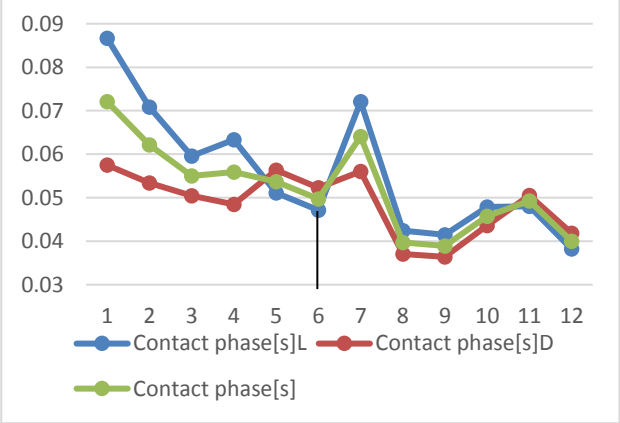
Ispitanik br. 19



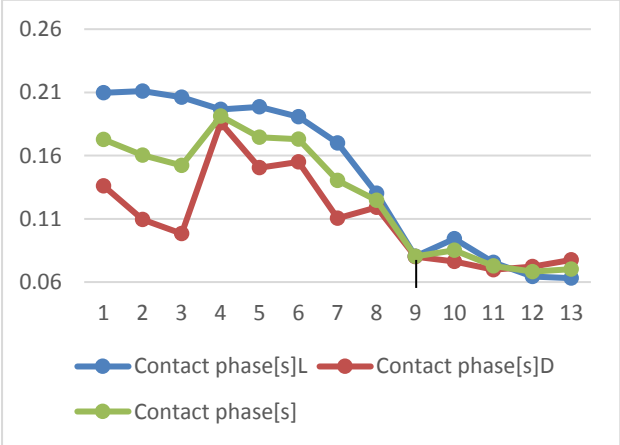
Ispitanik br. 20



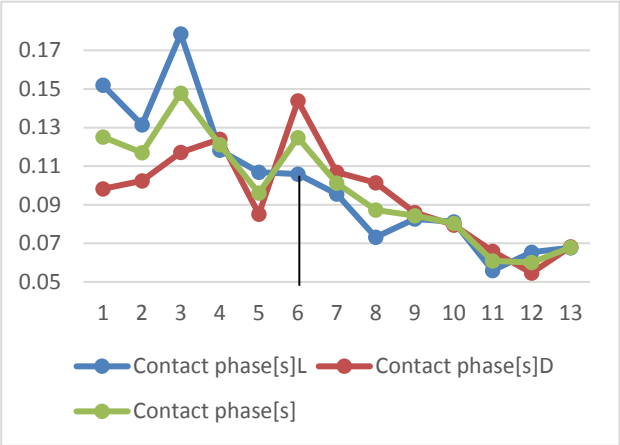
Ispitanik br. 21



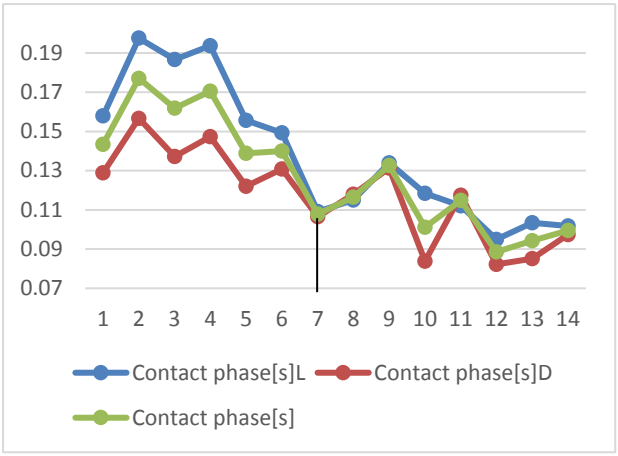
Ispitanik br. 22



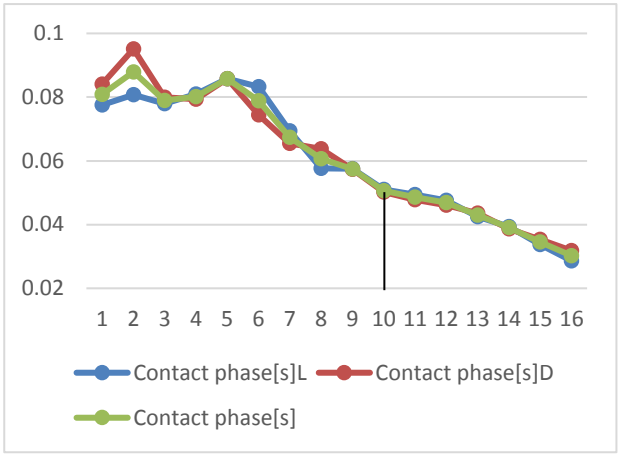
Ispitanik br. 23



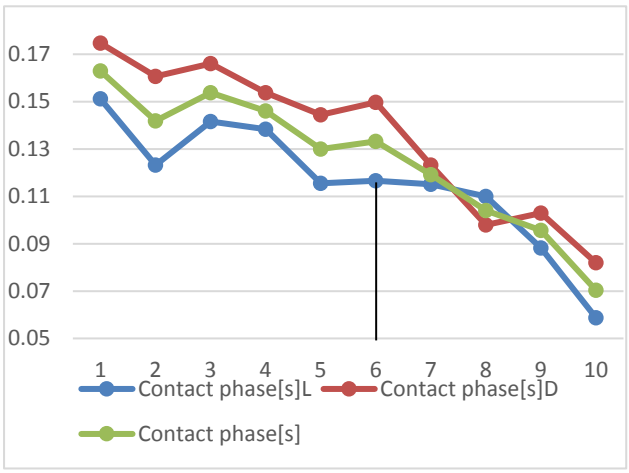
Ispitanik br. 24



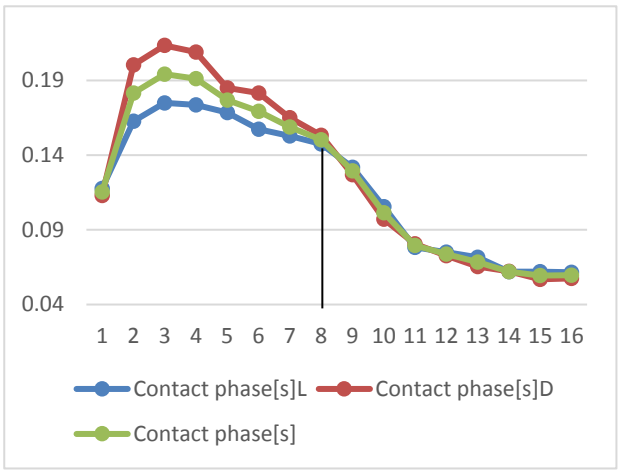
Ispitanik br. 25



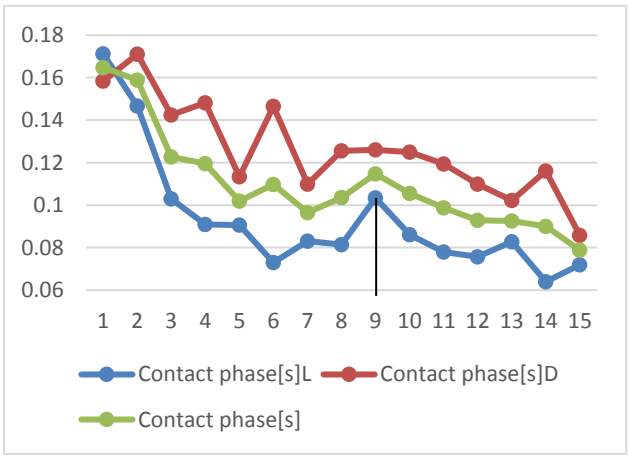
Ispitanik br. 26



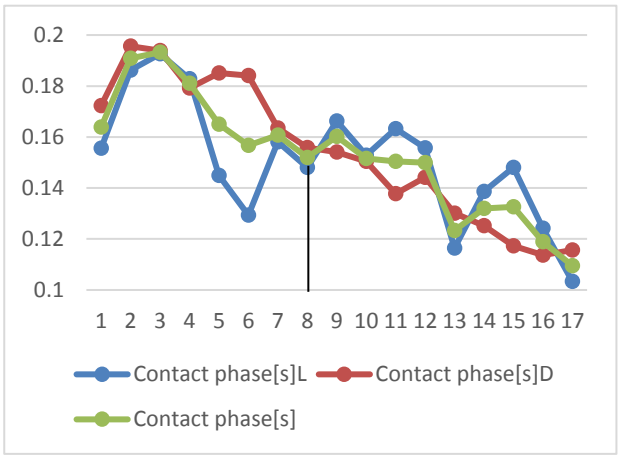
Ispitanik br. 27



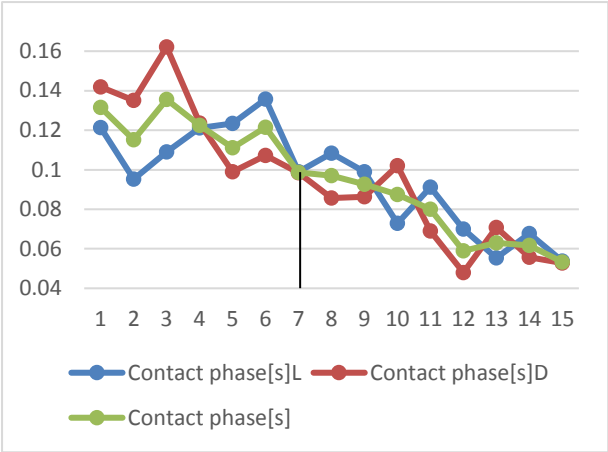
Ispitanik br. 28



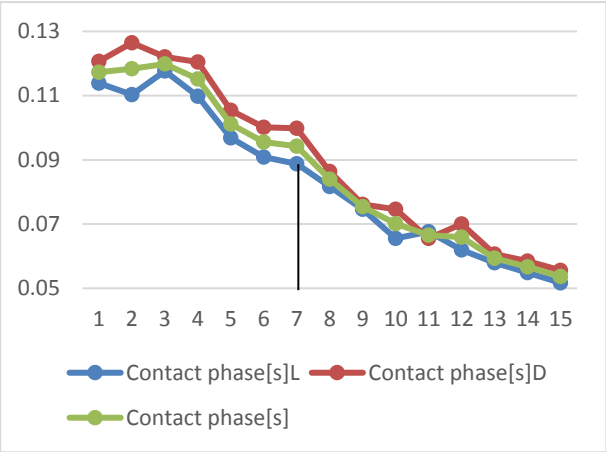
Ispitanik br. 29



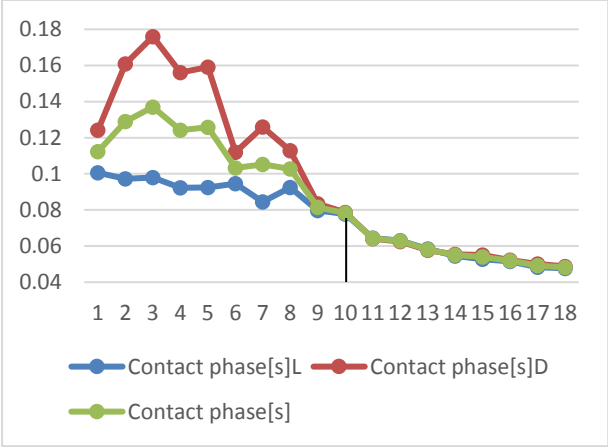
Ispitanik br. 30



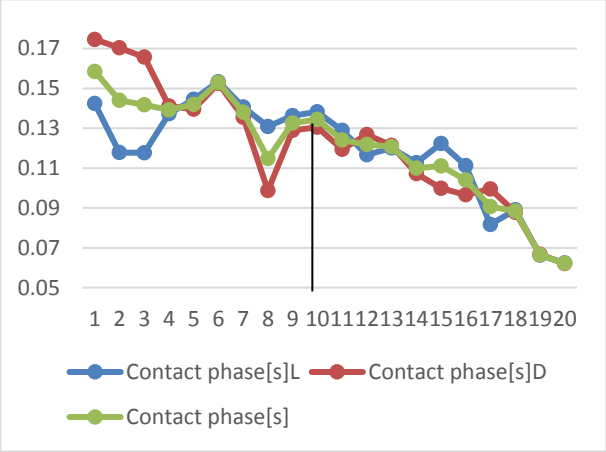
Ispitanik br. 31



Ispitanik br. 32

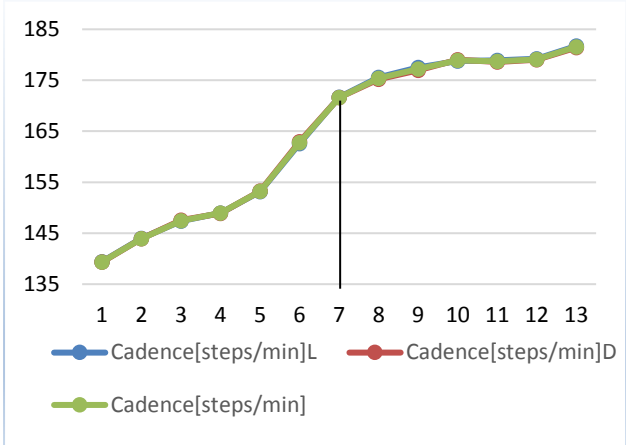


Ispitanik br. 33

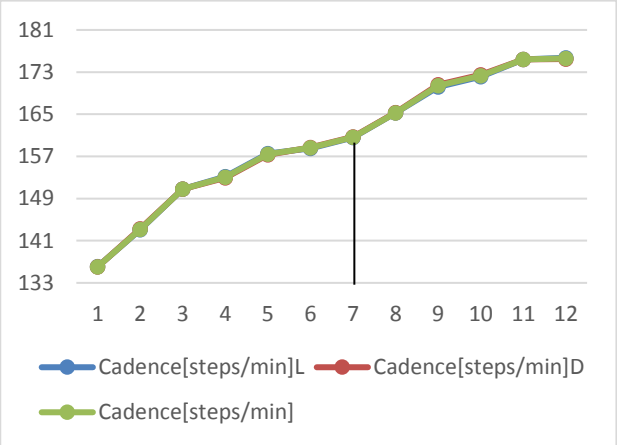


Ispitanik br. 34

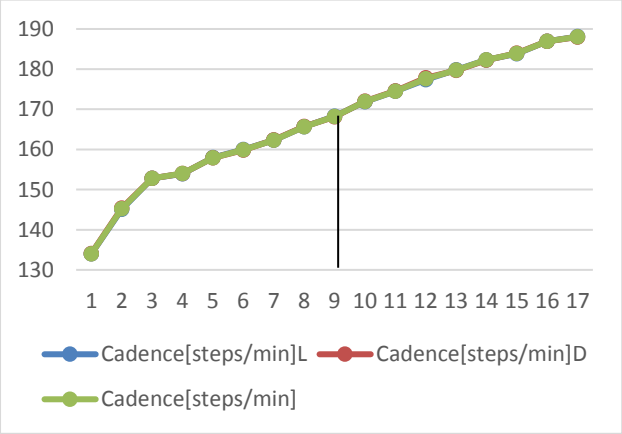
Prilog 7. Krivulje kretanja frekvencije koraka



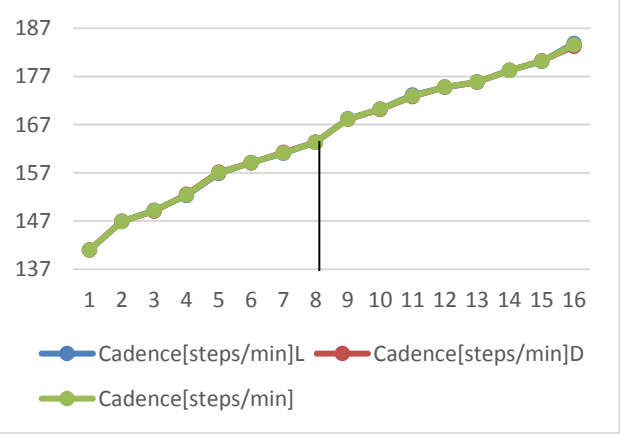
Ispitanik br. 1



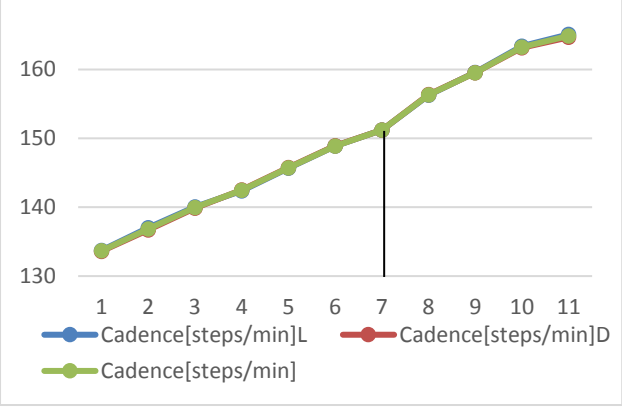
Ispitanik br. 2



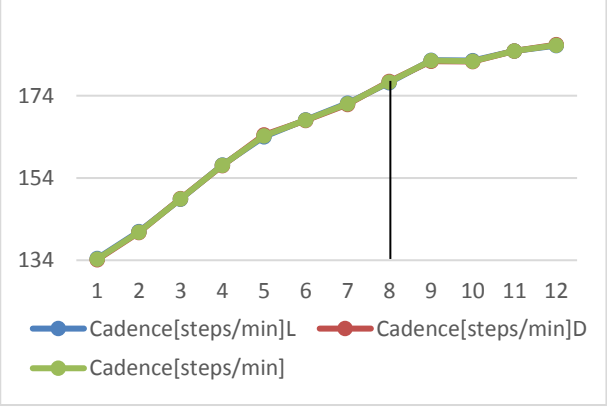
Ispitanik br. 3



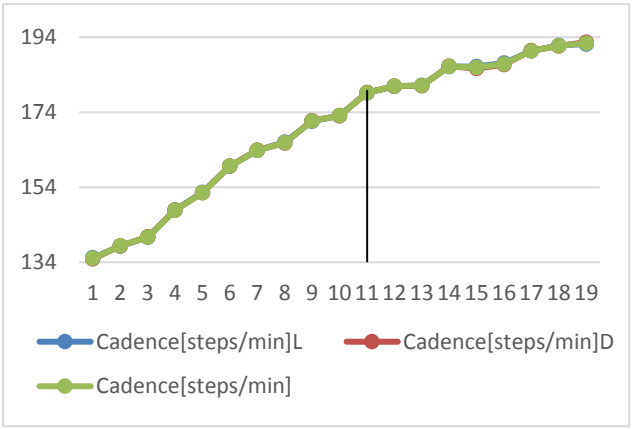
Ispitanik br. 4



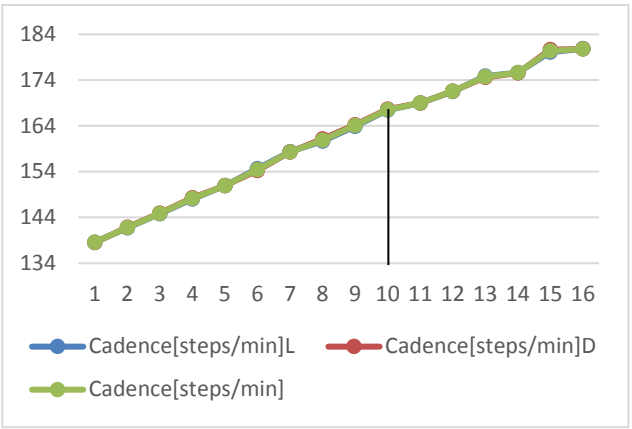
Ispitanik br. 5



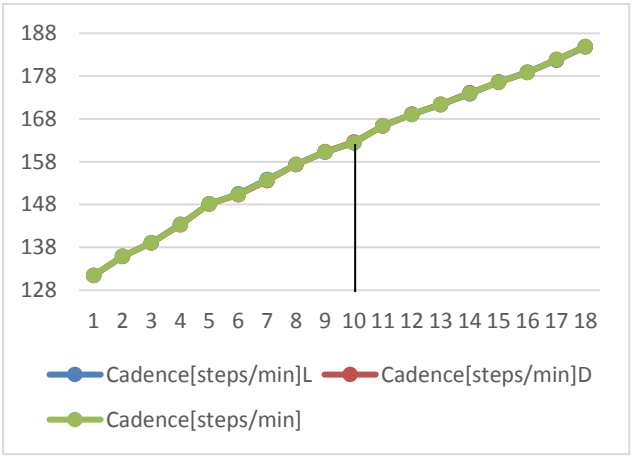
Ispitanik br. 6



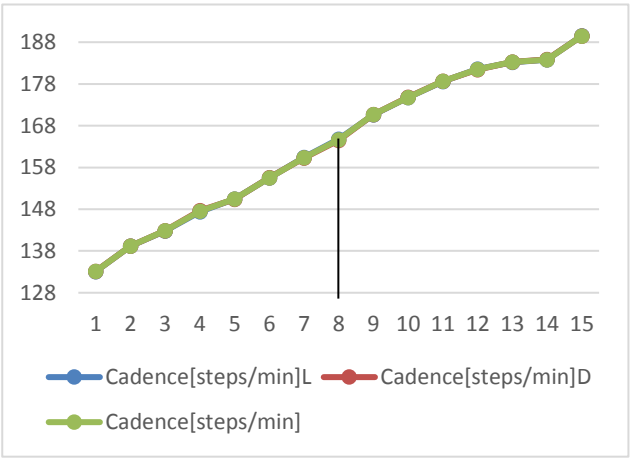
Ispitanik br. 7



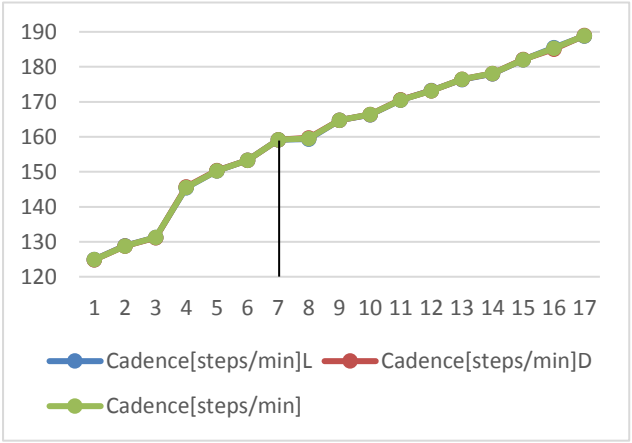
Ispitanik br. 8



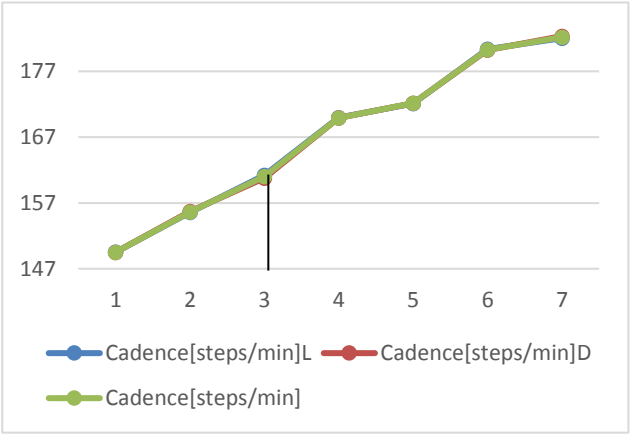
Ispitanik br. 9



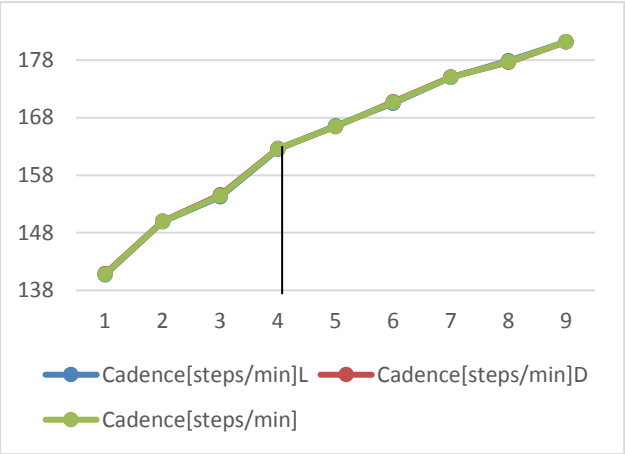
Ispitanik br. 10



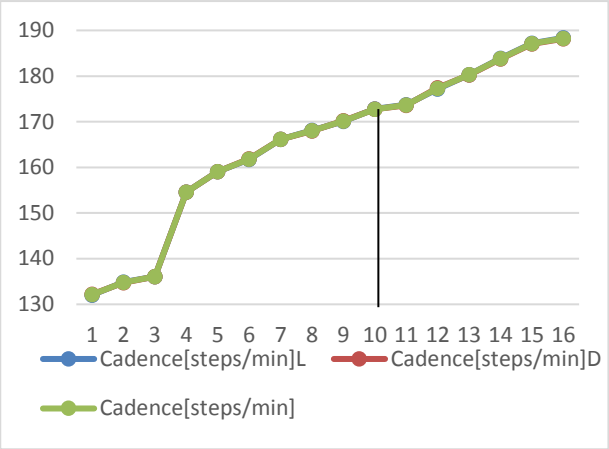
Ispitanik br. 11



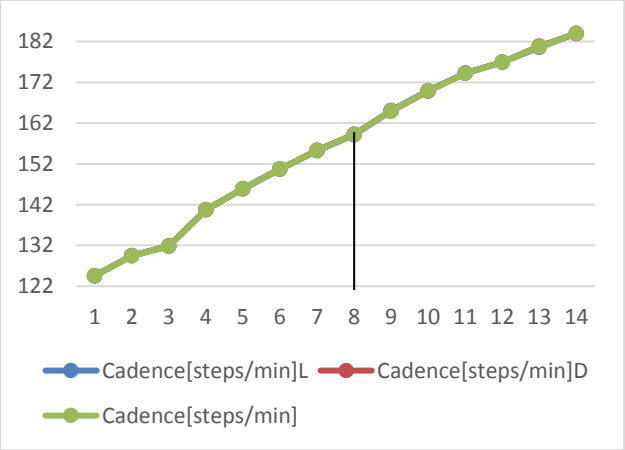
Ispitanik br. 12



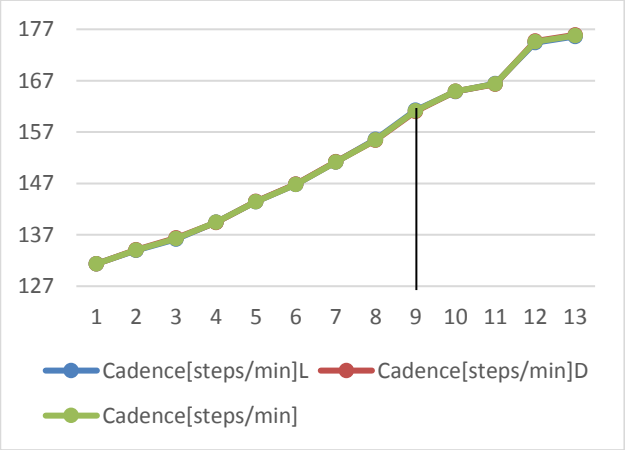
Ispitanik br. 13



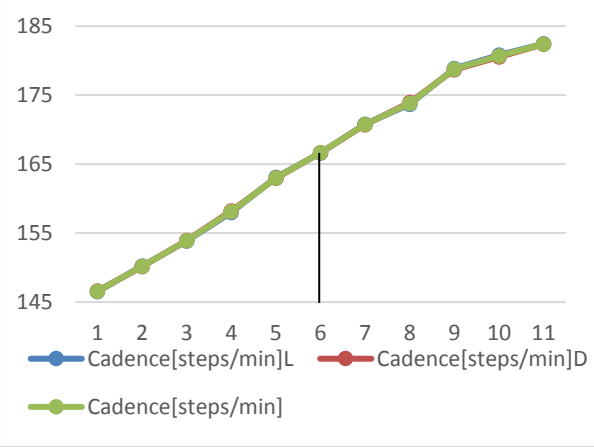
Ispitanik br. 14



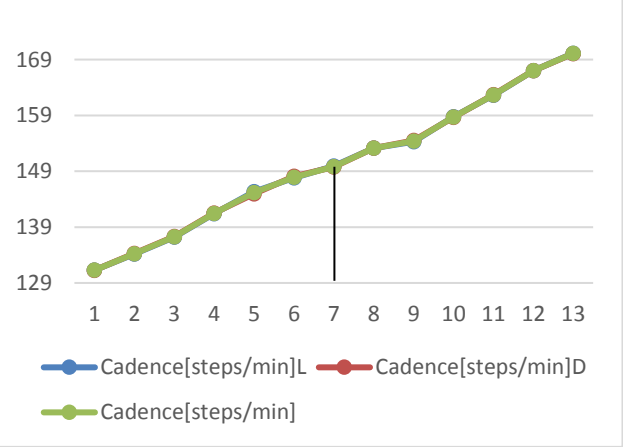
Ispitanik br. 15



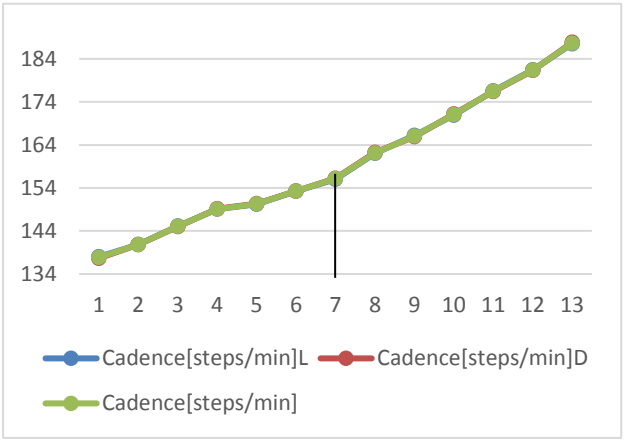
Ispitanik br. 16



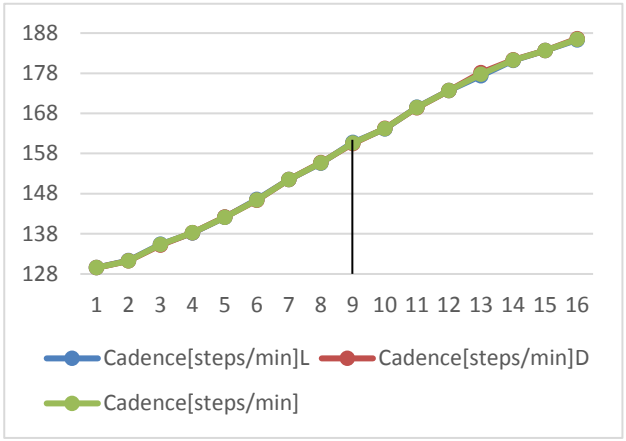
Ispitanik br. 17



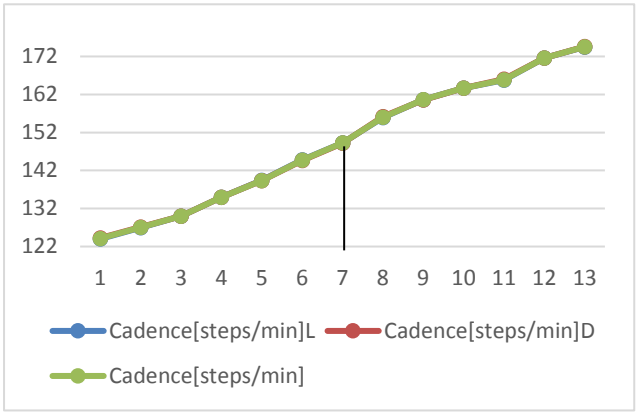
Ispitanik br. 18



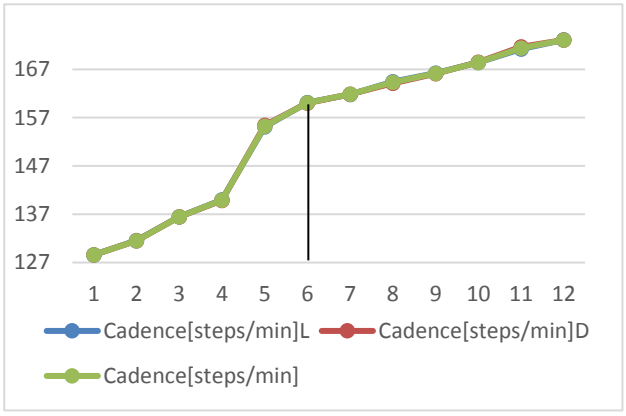
Ispitanik br. 19



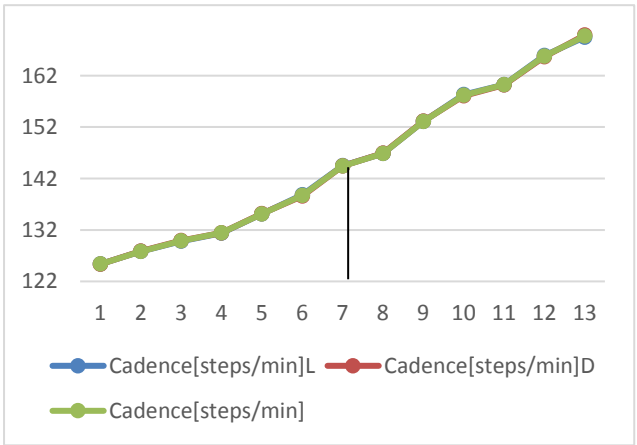
Ispitanik br. 20



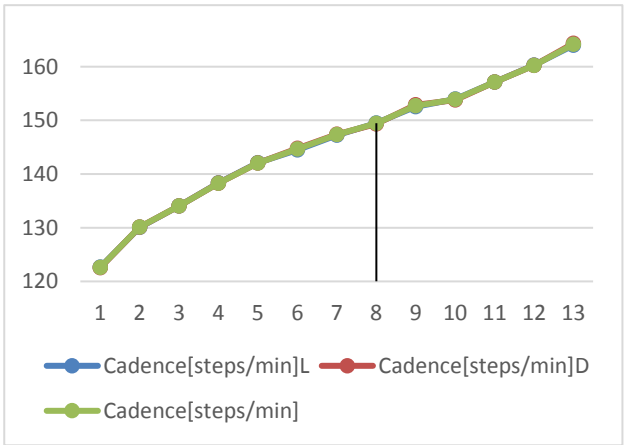
Ispitanik br. 21



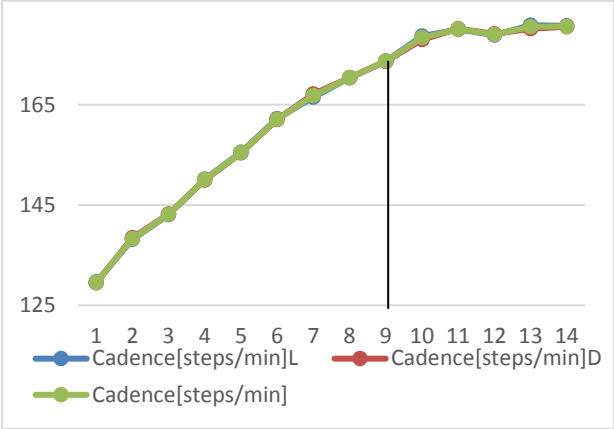
Ispitanik br. 22



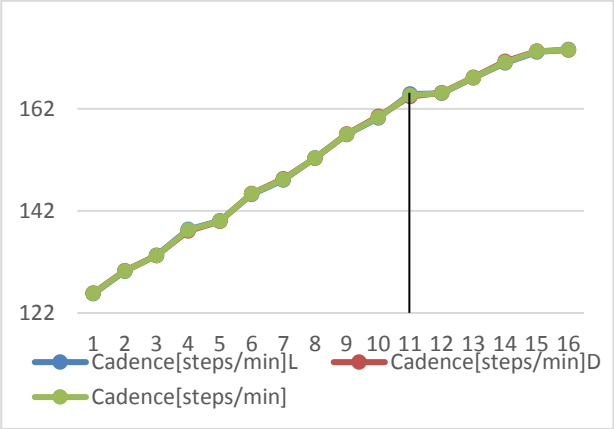
Ispitanik br. 23



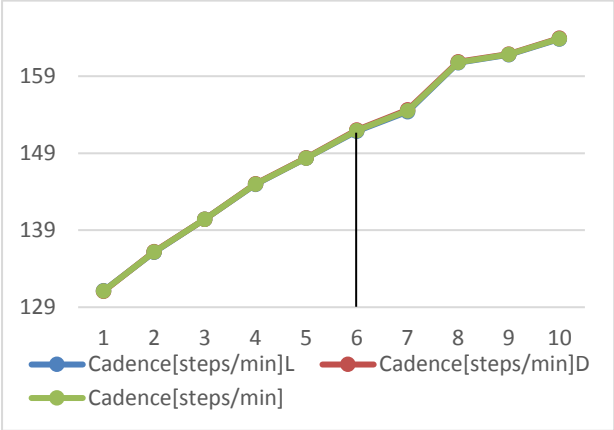
Ispitanik br. 24



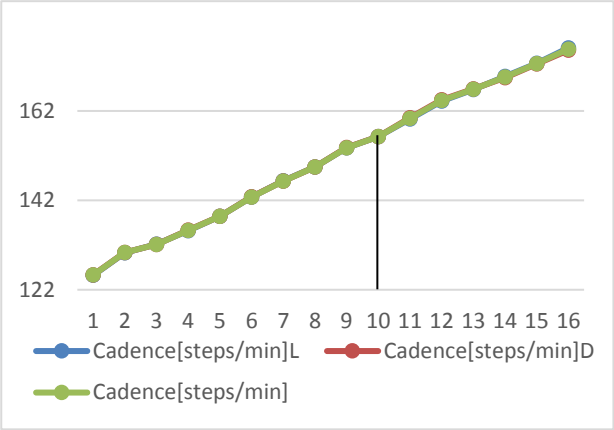
Ispitanik br. 25



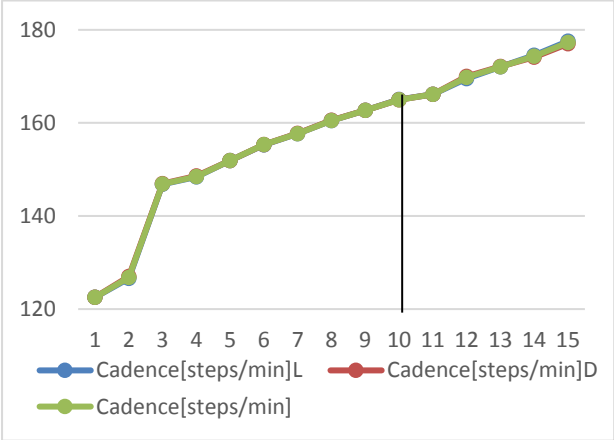
Ispitanik br. 26



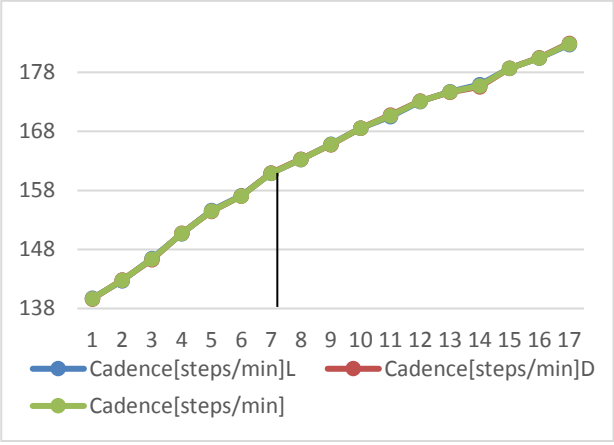
Ispitanik br. 27



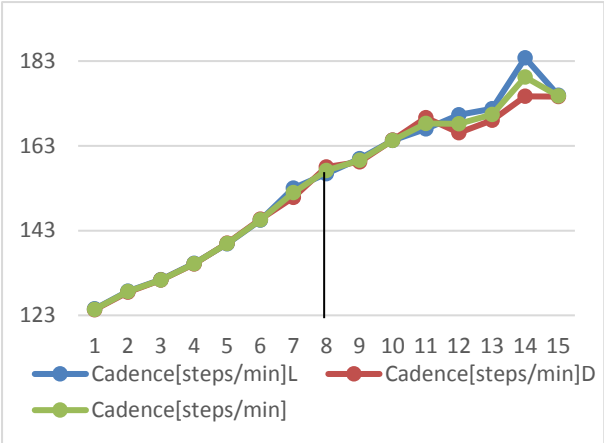
Ispitanik br. 28



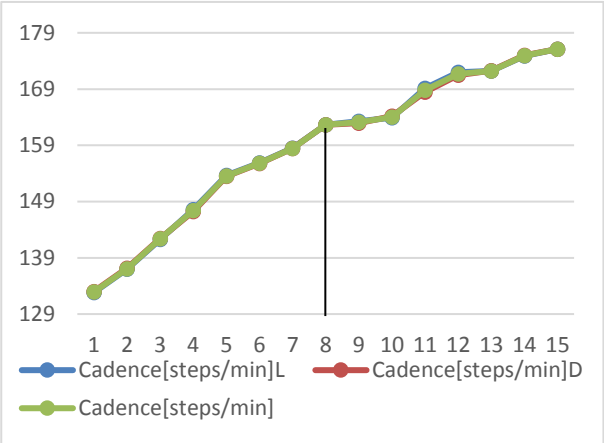
Ispitanik br. 29



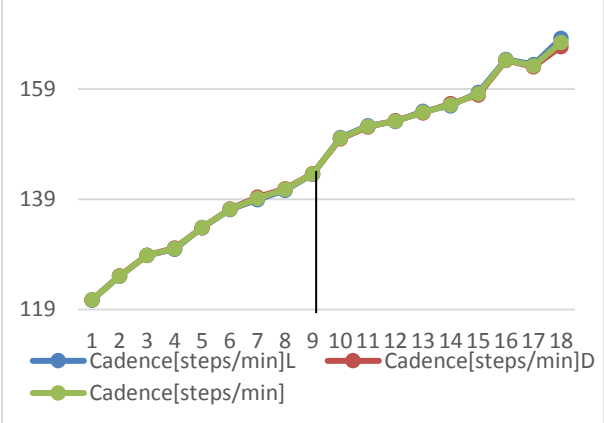
Ispitanik br. 30



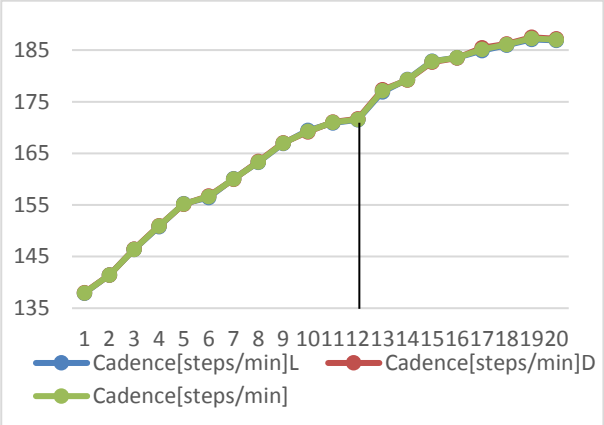
Ispitanik br. 31



Ispitanik br. 32



Ispitanik br. 33



Ispitanik br. 34

ŽIVOTOPIS I POPIS OBJAVLJENIH RADOVA AUTORICE

ŽIVOTOPIS

Lucija Kolić rođena je 22.07.1986. godine u Vinkovcima, gdje je završila osnovnu školu Ivana Mažuranića te srednju školu, gimnaziju Matije Antuna Reljkovića (opći smijer). Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu upisala je 2005. godine. Diplomirala je 2010. godine, sa odličnim uspijehom (prosijek ocjena 4,66) kao najbolja studentica u svojoj generaciji, te time stekla zvanje Magistra kineziologije u edukaciji i dodatnu kompetenciju kroz izborni sport Atletiku kao trenerica Atletike. Vanjska je suradnica na Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, na predmetu Atletika od akademske 2010/11. godine do danas. Gdje je 2013. godine izabrana u nastavno (naslovnom) zvanje predavačica za područje društvenih znanosti, polje kineziologije, grane kineziologije sporta (predmet Atletika) na sveučilišnom studiju kineziologije. Akademske 2011/12. godine upisala je poslijediplomski (doktorski) studij na Kineziološkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Od 2010. do 2016. godine radila je u atletskom klubu Dinamo–Zrinjevac kao trenerica sa mlađim dobnim kategorijama. Od 2010. godine je učiteljica skijanja te u zimskim mjesecima podučava djecu, učenike, studente i odrasle u svladavanju skijaških vještina. Radila je i kao vanjska suradnica na Građevinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, u provedbi nastave Tjelesne i zdravstvene kulture sa studentima prve i druge godine u period od 2012. do 2015. godine.

Atletska je sutkinja, sa dodatnom kompetencijom – sutkinja za atletsku disciplinu sportsko hodanja, te aktivno sudjeluje u radu ZSHAS-a (Zbora sudaca Hrvatskog atletskog saveza), sudila je na natjecanjima svih razina, od školske do međunarodne. Od 2015. godine je IAAF/AIMS međunarodna mjeriteljica staza za cestovno trčanje B razine a od 2017. je IAAF/AIMS međunarodna mjeriteljica staza za cestovno trčanje A razine, jedina u Hrvatskoj i na balkanskom području. Izmjerila je preko 300 staza u različitim zemljama (Hrvatska, Mađarska, Bosna i Hercegovina, Srbija, Makedonija, Ukraina, Rumunjska, Maroko…).

Godine 2017. izabrana je u naslovno suradničko zvanje astitentice iz znanstvenog područja društvenih znanosti, znanstvenog polja kineziologije Fakulteta za odgojne i obrazovane znanosti Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku gdje je u akademskoj 2018./19. godine provodila nastavu iz predmeta Kineziološka analiza u atletici I, na prediplomskom sveučilišnom studiju kineziologije sa studentima prve godine.

Godine 2018. izabrana je u naslovno nastavno zvanje predavačice iz znanstvenog

područja društvenih znanosti, znanstvenog polja kineziologije, znanstvene grane kineziološke edukacije na Filozofskom fakultetu Osijek.

Autorica je više znanstvenih i stručnih radova. Aktivno sudjeluje na međunarodnim konferencijama, radionicama i seminarima iz područja kineziologije.

Aktivno se služi engleskim, španjolskim a pasivno talijanskim i njemačkim jezikom.

POPIS OBJAVLJENIH RADOVA

1. Kolić, L., Podunavac, Z., Šolja, T. (2011.) Vježbe za razvoj opće koordinacije kod djece školskog uzrasta. U D. Milanović i I. Jukić (ur.), Kondicijska priprema sportaša, Zbornik radova međunarodnog znanstvenog stručnog skupa, Zagreb, 25.-26. veljače 2011. (str. 478-483). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
2. Podunavac, Z., Kolić, L., (2012). Analiza promjena nekih motoričkih sposobnosti kod predškolske djece polaznika atletskog vrtića. U B. Neljak (ur.), Zbornik radova 21. Ljetne škole kineziologa RH, Poreč, (str. 229-234). Zagreb: Hrvatski kineziološki savez.
3. Kolić, L., Šentija, D., Babić, V. (2012). Usporedba pokazatelja aerobnog energetskog kapaciteta dobivenih različitim protokolima opterećenja u trkačica. Hrvatski Športskomedicinski Vjesnik, 27, 17-23.
4. Podunavac, Z., Kolić, L., Babić, V. (2012). Razlike u težini tijela učenica danas i prije 20 godina.U M. Andrijašević i D. Jurakić (ur)"Odgojni i zdravstveni aspekti sporta i rekreacije", Zbornik radova međunarodne znanstveno-stručne konferencije, Križevci, 31. ožujka 2012. (str. 162-167). Križevci: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
5. Kolić, L., Podunavac, Z. (2012.) Izbor vježbi specifične pripreme za mlade sprintere. U D. Milanović i I. Jukić (ur.), Kondicijska priprema sportaša, Zbornik radova međunarodnog znanstvenog stručnog skupa, Zagreb, 17.-18. veljače 2012. (str. 441-443). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
6. Ščetarić, A., Kolić, L., Miklečić, D. (2013). Program kondicijske pripreme bodybuildera. U I. Jukić, C. Gregov, S. Šalaj, L. Milanović, V. Wertheimer (ur.), Kondicijska priprema sportaša, Zbornik radova međunarodnog znanstvenog stručnog skupa,Zagreb, 22.-23. veljače 2013. (str. 272-275). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
7. Kolić, L., Podunavac, Z., Babić, V. (2013). Primjena poligona prepreka u atletici s djecom od 7 do 10 godina. U I. Jukić, C. Gregov, S. Šalaj, L. Milanović, V. Wertheimer (ur.),

Kondicijska priprema sportaša, Zbornik radova međunarodnog znanstvenog stručnog skupa,, Zagreb, 22.-23. veljače 2013. (str. 357-359). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

8. Đapić Štriga, S., Farkaš, D., Kolić, L. (2013). Kondicijska priprema vojnika. U D. Milanović i I. Jukić (ur.), Kondicijska priprema sportaša, Zbornik radova međunarodnog znanstvenog stručnog skupa, U I. Jukić, C. Gregov, S. Šalaj, L. Milanović, V. Wertheimer (ur.), Kondicijska priprema sportaša, Zbornik radova međunarodnog znanstvenog stručnog skupa, Zagreb, 22.-23. veljače 2013. (str. 363-368). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
9. Podunavac, Z., Kolić, L., Ščetarić, A. (2013). Primjena kružnog organizacijskog oblika rada u atletskom treningu sa djecom od 10. do 14. godina. U B. Neljak (ur.), Zbornik radova 22. Ljetne škole kineziologa RH, Poreč, (str. 468-473). Zagreb: Hrvatski kineziološki savez.
10. Ščetarić, A., Mergon, S., Kolić, L., (2013). Sat tjelesne i zdravstvene kulture kao organizacijski oblik rada kod učenika s teškoćama u razvoju- U B. Neljak (ur.), Zbornik radova 22. Ljetne škole kineziologa RH, Poreč, (str. 371-473). Zagreb: Hrvatski kineziološki savez.
11. Ščetarić, A., Mergon, S., Kolić, L., (2014). RAZLIKE IZMEĐU UČENIKA S TEŠKOĆAMA U RAZVOJU CENTRA ZA ODGOJ, OBRAZOVANJE I REHABILITACIJU I SREDNJE ŠKOLE „IVAN SELJANEC“ KRIŽEVCI. U B. Neljak (ur.), Zbornik radova 23. Ljetne škole kineziologa RH, Poreč, (str. 445-451). Zagreb: Hrvatski kineziološki savez.
12. Podunavac, Z., Kolić, L. (2014). Vježbe za jačanje mišića stopala u atletskom treningu djece i mladih. U I. Jukić, C. Gregov, S. Šalaj, L. Milanović, V. Wertheimer (ur.), Kondicijska priprema sportaša, Zbornik radova međunarodnog znanstvenog stručnog skupa, Zagreb, 21.-22. veljače 2014. (str. 515-517). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
13. Podunavac, Z., Kolić, L., Ščetarić, A. (2014). “DESETOBOJ” – POJEDINAČNO EKIPNO SPORTSKO NATJECANJE ZA OSOBE S INVALIDITETOM. U B. Neljak (ur.), Zbornik radova 23. Ljetne škole kineziologa RH, Poreč, (str. 403-406). Zagreb: Hrvatski kineziološki savez.
14. Dolenec, A., Babić, V., Kolić, L., and Strojnik, V. (2015). A COMPARISON OF GROUND REACTION FORCES BETWEEN BAREFOOT AND SHOD RACE

WALKING. U M. Topič, T. Katjana (ur.), Proceedings of the 7th Conference for Youth Sport, Ljubljana, 2015. (str. 55-60). Ljubljana: Faculty of Sport.

15. Kolić, L. (2015). Razvoj opće koordinacije uz pomoć vijače kod djece atletskoj igraonici. U I. Jukić, C. Gregov, S. Šalaj, L. Milanović, V. Wertheimer (ur.), Kondicijska priprema sportaša, Zbornik radova međunarodnog znanstvenog stručnog skupa, Zagreb, 27.-28. veljače 2014. (str. 134-138). Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
16. Podunavac, Z., Kolić, L. (2017). RAZINA TJELESNE AKTIVNOSTI MATURANATA OTOKA LOŠINJA. U B. Neljak (ur.), Zbornik radova 26. Ljetne škole kineziologa RH, Poreč, (str. 496-499). Zagreb: Hrvatski kineziološki savez.
17. Podunavac, Z., Kolić, L. (2018). REKREATIVA – STRANICA KREATIVNE REKREACIJE. U V. Babić (ur.), Zbornik radova 27. Ljetne škole kineziologa RH, Poreč, (str. 331-336.). Zagreb: Hrvatski kineziološki savez.
18. Sentija, D., Babic, V., & Kolic, L. (2019). Gait transition speed and the aerobic thresholds for walking and running in women. *Sport Mont, 17*(3), 47-51. doi: 10.26773/smj.191006