

# Povezanost kinematičkih varijabli i rezultata na 400 m kod vrhunskih atletičarki

---

**Miletić, Anita**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**2019**

*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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:117:081954>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-04**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Kinesiology, University of Zagreb - KIFoREP](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**KINEZIOLOŠKI FAKULTET**

(studij za stjecanje visoke stručne spreme i stručnog

naziva: stručni specijalist trenerske struke)

Anita Banović

**POVEZANOST KINEMATČKIH VARIJABLI I  
REZULTATA NA 400 METARA KOD  
VRHUNSKIH ATLETIČARKI**

specijalistički rad

**Mentor:**

**izv. prof. dr. sc. Ljubomir Antekolović**

Zagreb, srpanj 2019.

## POVEZANOST KINEMATIČKIH VARIJABLI I REZULTATA NA 400 METARA KOD VRHUNSKIH ATLETIČARKI

### Sažetak

Trčanje na 400 m jedna je od najzahtjevnijih atletskih disciplina. Osim snage i maksimalne brzine, u trenažnom procesu potrebno je iznimno razviti i brzinsku izdržljivost. Trkač mora razviti submaksimalnu brzinu kretanja uz optimalnu tehniku trčanja i što manju potrošnju energije te ove iste parametre zadržati na visokoj razini što dulje tijekom utrke usprkos izraženom razvoju jakog zamora. Postizanje optimalnog rezultata ovisi o sposobnosti trkača da utрку otrči na način da na svakoj njenoj pojedinoj dionici od po 100 m postigne rezultate koji su bliski njegovim najboljim rezultatima, odnosno da postigne optimalna prolazna vremena. U svijetu vrhunske atletike male razlike u izvedbi utječu na krajnji rezultat te se samim time nameće potreba taktičke pripreme za utрку koja bi omogućila postizanje optimalnog rezultata za pojedinog sportaša. Rezultati ovog istraživanja provedenog na finalisticama svjetskog prvenstva u Londonu 2017. pokazuju da je kod vrhunskih atletičarki prisutan obrazac trčanja utrke na 400 m. Utrka se trči na način da nakon starta i startnog ubrzanja trkačice ubrzavaju do postizanja optimalne brzine kretanja u drugoj polovici prvog zavoja. Nakon toga bitno je održati istu brzinu kretanja kroz drugih 100 m utrke koji, zato što su leteća dionica bez startnog ubrzanja, mjeriteljski ispadaju nešto brži od prvih 100 m. Ulaskom u drugi zavoj cilj je što manje pasti u brzini kretanja, zadržati nivo tehnike te frekvenciju i duljinu koraka, odnosno istrčati trećih 100 m rezultatski što sličnije prvom zavoju. Izlaskom na ciljnu ravninu do izražaja dolazi individualna brzinska izdržljivost trkačica i u ovom segmentu vidljiva je najveća razlika u kinematičkim varijablama. Statistički najznačajnija povezanost s rezultatom utrke odnosi se na broj koraka u utrci s najvećim koeficijentom korelacije 0,82 za broj koraka u segmentu 200-300 m. U ovom segmentu je i najveća korelacija RDK i rezultata utrke uz koeficijent korelacije -0,74. Uvjet za postizanje vrhunskog rezultata jesu dobra tehnika trčanja i sposobnost zadržavanja iste usprkos zamoru koji nastaje kroz utрку kako bi se što više smanjila varijabilnost kroz pojedine segmente utrke.

**Ključne riječi:** prolazna vremena, duljina koraka, taktička priprema

# RELATIONSHIPS BETWEEN KINEMATIC VARIABLES AND RESULTS IN ELITE FEMALE 400 METERS RUNNERS

## **Abstract**

400 m dash is one of the most demanding athletic events. In addition to power and maximum speed, the training process requires development of high level speed endurance. The runner must achieve the submaximal running speed combined with optimal running technique and low energy consumption and maintain these parameters at a high level throughout the race despite the development of strong fatigue. Achieving optimal results depends on the ability of the runners to run the race in a way that each of 100 m split times of the race is as similar as possible to athletes best 100 m results, ie achieving optimal split times. In top level athletics, small differences in performance affect the end result and thus a tactical preparation for the race that would enable each athlete to obtain optimal results is necessary. The results of this research that was done by analyzing female world championships finalists from London 2017. implicate that there is a pattern in 400 m race running. The race is run in such a way that, after start and acceleration, runners achieve optimal running speed in the second half of the first bend. After that, there is maintenance of the running speed during the second 100 m split which is somewhat faster than the first split time because there is no start and acceleration phase. In the second bend, the goal is to minimally decrease in running speed, preserve good running technique, stride frequency and length in order to run the third 100 m split as similar as possible to the first one. Entering the last 100 m split the individual speed endurance of the runner comes to expression and the biggest difference among kinetic variables can be seen. Statistically most significant correlation can be seen among race result and the number of steps in the race with the highest correlation coefficient of 0,82 in 200-300 m split. In this segment there is also the highest correlation coefficient of -0,74 among race result and relative step length. The condition for achieving top results is good running technique and the ability to maintain it despite the fatigue that arises throughout the race in order to minimize the variability of split segments of the race.

**Key words:** split times, step length, tactical preparation

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1. Povijest trčanja na 400 m.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2. Tehnika trčanja.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3. Biomehanička analiza trčanja .....</b>	<b>8</b>
<b>1.4. Anatomska analiza trčanja .....</b>	<b>8</b>
<b>1.5. Neuromišićne osobine sprinta.....</b>	<b>10</b>
<b>1.6. Energetski mehanizmi trčanja na 400 m.....</b>	<b>13</b>
<b>2. CILJ ISTRAŽIVANJA.....</b>	<b>17</b>
<b>3. METODE ISTRAŽIVANJA .....</b>	<b>17</b>
<b>4. REZULTATI .....</b>	<b>21</b>
<b>4.1. Deskriptivna analiza.....</b>	<b>22</b>
<b>4.2. Analiza korelacija .....</b>	<b>27</b>
<b>5. RASPRAVA .....</b>	<b>29</b>
<b>6. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>31</b>
<b>7. LITERATURA .....</b>	<b>32</b>
<b>8. PRILOZI .....</b>	<b>34</b>
<b>8.1. Popis tablica .....</b>	<b>34</b>
<b>8.2. Popis slika.....</b>	<b>34</b>

## 1. UVOD

Trčanje na 400 m jedna je od najzahtjevnijih atletskih disciplina. Ranije se ova utrka smatrala utrkom na srednje pruge, međutim razvojem trenažnog procesa utrka na 400 m postala je produženi sprint. Trčanje rezultata bržih od 44 sekunde u muškoj te bržih od 50 sekundi u ženskoj konkurenciji zahtjeva iznimno visoku razinu svih komponenata koje su bitne za ovu disciplinu. Osim snage i maksimalne brzine, u trenažnom procesu potrebno je iznimno razviti i brzinsku izdržljivost. Iznimno je bitan volumen opterećenja (ukupni rad) i intenzitet opterećenja u trenažnom procesu. Trkač mora razviti submaksimalnu brzinu kretanja uz optimalnu tehniku trčanja i što manju potrošnju energije te ove iste parametre zadržati na visokoj razini što dulje tijekom utrke usprkos izraženom razvoju jakog zamora. Trkači na 400 m obično imaju sporiju startnu reakciju od klasičnih sprintera. Nakon samog starta kreće startno ubrzanje koje u ovoj disciplini traje 20-25 koraka što je također duže nego kod klasičnih sprintera. Tijekom startnog ubrzanja postiže se oko 95 % maksimalne brzine (submaksimalna brzina kretanja) te se stabilizira dužina koraka (Orešćuk, 1993). Ako je vrijeme od starta do postizanja maksimalne brzine kretanja kraće, sprinter je uspješniji (Gagua, 2001; Jovović, 2005). Posebnu važnost za postizanje što boljeg rezultata ima faza finiša koja nastupa nakon iscrpljujuće produžene motoričke aktivnosti. Finiš ovisi o kapacitetima anaerobnog energetskeg metabolizma, razini tolerancije na laktate i sposobnosti održavanja visoke razine tehnike i mišićne sinergije. Dosadašnja analize trčanja na 400 m pokazale su da postoje dva osnovna tipa trkača. Takozvani sprinterski tip postiže brži prolaz na prvih 200 m, dok izdržljivi tip trkača ima manji pad brzine kretanja u drugih 200 m utrke, (Šesterova i Šuteeva, 2006). Ne postoji trkač koji 400 m može pretrčati maksimalnom brzinom. Premala ili prevelika brzina trčanja na početku utrke uvijek će se negativno odraziti na krajnji rezultat. Postizanje optimalnog rezultata ovisi o sposobnosti trkača da utрку otrči na način da na svakoj njenoj pojedinoj dionici od po 100 m postigne rezultate koji su bliski njegovim najboljim rezultatima, odnosno da postigne optimalna prolazna vremena. U svijetu vrhunske atletike male razlike u izvedbi utječu na krajnji rezultat te se samim time nameće potreba taktičke pripreme utrke koja bi omogućila postizanje optimalnog rezultata za pojedinog sportaša.

## 1.1. Povijest trčanja na 400 m

U povijesti je utrka na 400 m smatrana utrkom na srednje pruge, međutim u novije vrijeme okarakterizirana je kao produženi sprint što je mnogo točnije uzimajući u obzir činjenicu da, ako se ukupni rezultat podijeli na 4 etape od po 100 m, rezultat na svakoj istrčanoj dionici od 100 m ispada impresivno brz. Upravo zato neki autori su ovu utrku okarakterizirali terminom ubojiti sprint – „*killer sprint*“ (Quercetani, 2005) uzimajući u obzir činjenicu da trkači moraju, unatoč vrlo velikoj razini zamora, zadržavati visoki nivo brzine i tehnike u završnoj etapi utrke (Neuhoff, 1978). Jedan od najpoznatijih pratitelja atletike u 19. stoljeću, Montague Sherman, već je tada opisao trkače na 440 jardi kao trkače koji oslijepe prije prolaska kroz cilj – „*runners who run themselves blind before reaching the tape*“ (Quercetani, 2005) što je dovoljno govorili o težini utrke. Utrka na 440 jardi, odnosno, četvrtina milje, trčala se u mnogim zemljama prije modernih olimpijskih igara, a iznosi preračunato 402,336 m. Sredinom 19. st. nitko od trkača nije mogao sprintati cijelom dužinom utrke. Najbolji rezultati iznosili su oko 50 sekundi. Godine 1886. Amerikanac Wendell Baker sa Sveučilišta Harvard postavio je najbolji rezultat u utrci na 440 jardi s rezultatom ispod 48 sekundi na posebno pripremljenoj i prebrušenoj stazi za „borbu čovjeka protiv vremena“ (Dohert, 2007). Prvi službeni svjetski rekord u ovoj utrci postavio je Amerikanac Ted Meredith 1916. rezultatom ispod 48 s, a činjenica da je on 1912. godine pobijedio na Olimpijskim igrama u utrci na 800 m imala je jak utjecaj na način treninga tadašnjih trkača na 400 metara jer je ovo dodatno potkrijepilo činjenicu da se radi o utrci na srednje pruge. Tek 1924. godine nakon što je Škot Eric Lidell pobijedio na Olimpijskim igrama u utrkama 100 m, 200 m i 400 m počelo se o utrci na 400 m razmišljati kao o utrci produženog sprinta. Kroz povijest je bilo trkača koji su spajali utrke na 400 m i na 800 m vrlo uspješno. Jedan od njih je Nijemac Rudolf Harbig koji je postavio svjetske rekorde na obje utrke, Još poznatiji je Alberto Juantorena koji je na Olimpijskim Igrama u Montrealu 1976. osvojio zlato u obje utrke. Međutim, u novije vrijeme trkači na 400 m su sprinterskog tipa. Jedan od najboljih ikada američki je sprinter Michael Johnson koji je držao svjetske rekorde u utrkama na 200 m (19,32 s) i na 400 m (43,18 s). Johnson je ostvario pobjedu u obje ove utrke na Svjetskom prvenstvu 1995. godine u Goetheborgu i na Olimpijskim igrama 1996. u Atlanti.

Iako se trčala i ranije, utrka na 400 m postala je dio atletskog olimpijskog programa 1896. za muškarce, a tek 1964. za žene. Prvi olimpijski pobjednik bio je Amerikanac Thomas Burke s rezultatom 52,4 s, a prva olimpijska pobjednica Australka Bety Cuthbert s rezultatom 52,01 s. IAAF je priznala prvi muški svjetski rekord 1900. kojeg je postavio Amerikanac Maxey Long s rezultatom 47,8 s. Prvi ženski svjetski rekord priznat je 1957. godine, a postavila ga je

Australka Marlene Willard s rezultatom 57,0 s. Prva žena koja je 400 m istrčala brže od 50 sekundi bila je Poljakinja Irena Kirszenstein 1974. Marita Koch, trkačica iz Istočne Njemačke, postavila je i danas važeći svjetski rekord za žene u Canberri 1985. s rezultatom 47,60 s. Mnogi ovaj rezultat i činjenicu da se u moderno vrijeme niti jedna atletičarka nije približila rušenju svjetskog rekorda povezuju sa „zlatnim dobom dopinga“ (Quercetani, 2005). Od trkačica iz novije povijesti ovom rezultatu najviše su se približile trostruka olimpijska pobjednica Francuskinja Marie Jose Perc s rezultatom 48,25 s iz Atlante, zatim Australka Cathy Freeman, olimpijska pobjednica iz Sydneya s osobnim rekordom od 48,63 s te Amerikanka Sanya Richards sa istrčanih 48,70 s u Ateni 2006.

U tablicama najboljih rezultata svih vremena, u utrci na 400 m za muškarce najzastupljeniji su Amerikanci, dok je u ženskoj konkurenciji popis zemalja nešto širi. Trenutno važeći svjetski rekord za muškarce drži Južnoafrikanac Wayde Van Niekerk s rezultatom 43,03 s. Ovaj rezultat istrčan je na Olimpijskim igrama u Rio de Janeiru 2016. Ženski svjetski rekord i dalje je rezultat koji je davne 1985. istrčala Nijemica Marita Koch i iznosi 47,60 s.

## **1.2. Tehnika trčanja**

Kod sprinterskog trčanja vrlo važnu ulogu ima pravilna tehnika trčanja. Bitna je dobra koordinacija i ekonomičnost pokreta uz što manju potrošnju energije. Za dobru tehniku trčanja vrlo je bitan razvoj snage, koordinacije, fleksibilnosti i drugih motoričkih sposobnosti. Brzina trčanja ovisi o razini/kvaliteti tehnike trčanja, fizičkim sposobnostima i treniranosti te masi trkačeva tijela (inercija).

Osobine dobrog trčanja su (Babić, 2010):

- aktivno prizemljenje koje podrazumijeva postavljanje stopala ispod težišta tijela pri čemu peta ne dodiruje podlogu
- brz i dinamičan odraz uz što kraće vrijeme oslonca (amortizacija)
- grabeći korak u fazi prednjeg zamaha
- snažno savijanje i povlačenje noge u fazi stražnjeg zamaha
- stabilan položaj trupa i zdjelice
- koordiniran, energičan i relaksiran rad ruku
- ekonomično kretanje



Najčešće pogreške kod trčanja su (Babić, 2010):

- postavljanje stopala ispred težišta tijela
- kruto stopalo ili trčanje po punim stopalima, kočenje/amortizacija
- odklon, zaklon ili pretklon tijela
- prevelika amplituda stražnjeg zamaha
- nisko postavljene kukovi, tzv. sjedeći položaj
- nepravilan rad ruku
- ljuljanje tijela, oscilacije izvan osnovnog smjera kretanja
- prevelika rotacija u zdjelici i ramenom pojasu

### **1.3. Biomehanička analiza trčanja**

Trčanje je najbrži prirodni oblik kretanja cikličkog karaktera, pri čemu se misli na što brže prenošenje tijela u prostoru. Najvažnija jedinica kretanja u trčanju je korak. Jedan ciklus čine dva koraka. U jednom ciklusu trkačkog koraka razlikuju se dvije faze oslonca, dvije faze zamaha i faza leta. Faza prednjeg oslonca izvodi se na način da se stopalo postavlja na prednji vanjski rub stopala, a noga lagano savija u koljenu. Kontakt između stopala i podloge nalazi se ispred projekcije težišta tijela. Pritisak stopala na podlogu suprotan je smjeru kretanja. U suprotnom smjeru od pritiska stopala na podlogu dolazi do sile reakcije podloge i smanjenja brzine trčanja. Skraćivanjem udaljenosti između stopala i težišta tijela trkača dolazi do skraćivanja faze prednjeg oslonca što dovodi do smanjenja sile reakcije podloge i do povećanja brzine trčanja. Stoga, vrlo je važno postavljanje stopala na podlogu što je moguće bliže projekciji težišta tijela, preko prednjeg vanjskog ruba dijela stopala kako bi se izbjegao gubitak brzine i povećala efikasnost prilikom trčanja (Blažević, Babić i Antekolović, 2011).

### **1.4. Anatomska analiza trčanja**

Prilikom trčanja uključen je veliki broj mišića: nogu, trupa, ali i ruku. Svi su oni od velike važnosti za trkače. Da bi trkači mogli brzo trčati, mišići moraju biti dovoljno jaki i raditi sinkronizirano kako njihovu ulogu ne bi preuzeli drugi mišići i nepravilnom aktivacijom doveli do povreda.

Najvažnije mišićne skupine koje sudjeluju u složenim sprinterskim pokretima su:

#### Mišići zdjelice

- Unutarnja skupina: *m. iliopsoas* koji se sastoji od dva mišića koji su u gornjem dijelu odvojeni, a donji im se dijelovi spajaju. To su *m. psoas major* i *m. iliacus*. *M. psoas major* je jedini mišić koji polazi sa kosti trupa, a pokreće nogu. *M. iliopsoas* glavni je fleksor natkoljenice prema zdjelici i zglobu kuka. Osim toga, radi djelomičnu adukciju i rotaciju noge prema van. *M. psoas minor* drugi je mišić ove skupine, ali ne sudjeluje u pokretima kuka.
- Vanjska skupina: *m. gluteus maximus* koji je najpovršniji ali najveći i najsnažniji mišić vanjske skupine mišića zdjelice. Ovaj mišić je glavni ekstenzor i vanjski rotator natkoljenice. *M. gluteus medius* je debeo i širok lepezasti mišić. Ovaj mišić glavni je abduktor natkoljenice, s tim da njegovi prednji snopovi rade i malu fleksiju u zglobu kuka. *M. gluteus minimus* je mali trokutasti mišić. On abducira natkoljenicu i rotira ju prema van.

#### Mišići natkoljenice

- Prednja skupina: *m. quadriceps femoris* koji se sastoji od četiri mišića: *m. vastus lateralis*, *m. vastus medialis*, *m. vastus intermedius*, *m. rectus femoris*. Ovaj mišić radi ekstenziju u zglobu koljena i također stabilizira sam koljenski zglob, a rektus sudjeluje i u ekstenziji zgloba kuka.
- Stražnja skupina: *m. semimembranosus* je najmedijalniji mišić u stražnjoj skupini natkoljenice. Osim njega tu su još *m. semitendinosus*, *m. gracilis*, *m. sartorius*, *m. biceps femoris* koji rade ekstenziju u zglobu kuka i fleksiju u zglobu koljena.

#### Mišići potkoljenice

- Prednja skupina: najznačajniji mišić ove skupne je *m. tibialis anterior* koji radi dorzalnu fleksiju stopala i njegovu adukciju i inverziju.
- Lateralna skupina: ovu skupinu čine *m. peroneus longus* i *m. peroneus brevis*. Ovi mišići rade plantarnu ekstenziju, abdukciju i everziju stopala.
- Stražnja skupina: najznačajniji mišić je *m. triceps surae* koji tvore dva mišića a to su *m. gastrocnemius* i *m. soleus* koji tvore zajedničku Ahilovu tetivu. *M. tibialis posterior* radi

plantarnu ekstenziju, adukciju i inverziju stopala. Ima osobito značenje u statici stopala te zajedno s *m. peroneus longus* održava poprečni i uzdužni svod stopala. *M. flexor digitorum longus* radi fleksiju drugog do petog prsta, plantarnu ekstenziju i inverziju. *M. flexor hallucis longus* radi fleksiju palca, plantarnu ekstenziju, adukciju i inverziju.

#### Mišići stopala

- To je skupina kratkih mišića što ih kosti stopala dijele u dorzalnu i plantarnu skupinu.
- Dorzalnu skupinu čine *m. extensor digitorum brevis* i *m. extensor hallucis brevis*. Ovi mišići rade ekstenziju prva četiri prsta stopala.
- Plantarnu skupinu čine *m. abductor digiti minimi* koji abducira i flektira mali prst, *m. flexor digiti minimi brevis* koji flektira mali prst, *mm. interossei dorsales et plantares* koji su fleksori proksimalne te ekstenzori distalnih falangi pripadajućih prstiju, *m. quadratus plantae* koji sudjeluje u fleksiji prstiju, *mm. lumbricales* koji rade fleksiju proksimalne te ekstenziju distalnih falangi, *m. flexor digitorum brevis* koji flektira 2., 3., 4. i 5. prst, *m. abductor hallucis* koji radi abdukciju i fleksiju palca, *m. flexor hallucis brevis* koji radi fleksiju palca te *m. adductor hallucis* koji radi adukciju i fleksiju palca.

#### 1.5. Neuromišićne osobine sprinta

Odrasna akcija sprinterskog koraka je ključni generator razvoja maksimalne brzine. Glavna kočnica tom kretanju je sila gravitacije, zato sprinter primarno mora razviti dovoljno veliku vertikalnu silu reakcije podloge u odraznoj akciji, koja ima tri faze. Prva faza je postavljanje stopala na podlogu, slijedi faza amortizacije i na kraju faza ekstenzije. Odrasna akcija sprinterskog koraka je najbolji primjer mišićnog ciklusa izduženja i skraćanja (*eng. stretch-shortening cycle*).

U ekscentričnoj fazi se u mišićno-tetivnom kompleksu akumulira energija koja se kasnije koristi te vrijeme tranzicije mora biti što kraće kako bi učinkovitost ekscentrično-koncentrične kontrakcije bila što veća. Tetive i ligamenti, koji se odupiru istezanju, mogu pohraniti 100 % više elastične energije nego mišići (Luhtanen i Komi, 1980; Mero, Komi i Gregor, 1992). Za mehaniku odraza iznimno je važna predaktivacija *m. gastrocnemiusa* koja stvara krutost mišića prije doticaja s podlogom. Povećana krutost mišića, uz što manju amplitudu kretanja u skočnom zglobovima, omogućava bolji prijenos elastične energije iz ekscentrične u koncentričnu kontrakciju (Kyrolainen, Belli i Komi, 2001). Kod opterećenja u sprintu, tetiva se produži 3-4 %. Istezanje

tetive preko te granice predstavlja opasnost za frakturu, jer se tetive i ligamenti koje pohranjuju elastičnu energiju ponašaju kao opruge. U slučaju povećanog istezanja dolazi do stvaranja topline koja može utjecati na nastanak ozljede.

U drugoj fazi kontakta dolazi do rastezanja mišićno-tetivnog kompleksa pri čemu se pohranjena elastična energija koristi u obliku efikasne propulzije trkačkog koraka. Glavni amortizer u toj fazi je *m. quadriceps*. Povećana koaktivacija agonista i antagonista (*m. vastus lateralis*, *m. biceps femoris*, *m. gastrocnemius* i *m. tibialis*) povećava krutost koljena i skočnog zgloba te se na taj način noga pripremi za kontakt s podlogom. Povećana krutost skočnog zgloba kod sprinta umanjuje potrošnju kemijske energije u mišićima *m. gastrocnemius –lateralis – medialis* i *m. soleus* (Kuitunen, Komi i Kyrolainen, 2002). Mišićna aktivacija plantarnih fleksora i ekstenzora koljena se povećava u fazi predaktivacije u skladu sa povećanjem brzine. Pored toga, u fazi ekstenzije odrazne faze, predaktivacija *m. triceps surae* zajedno sa refleksom za istezanje, omogućuje visoku krutost mišića.

Istezanjem mišićnoga i tetivnoga kompleksa upravljaju miotatički refleks istezanja i Golgijev tetivni organ. Ova dva sustava formiraju sustav povratne sprege za održavanje mišića blizu optimalne dužine (odgovor na istezanje) i pravilno reagiranje na preveliko istezanje tetiva. Receptori miotatičkog refleksa su tzv. mišićna vretena i ona su postavljena paralelno s mišićnim vlaknima i istežu se kada se isteže i sam mišić. Kao odgovor na ovo istezanje, alfa motoneuroni uzrokuju kontrakciju istegnutog mišića. Golgijevi tetivni organi nalaze se serijski uz mišićna vlakna i reagiraju na silu koja je proizvedena u mišiću. Ako se sila u mišiću naglo povećava, Golgijev organ sprječava kontrakciju mišića i tako štiti mišić i tetivu od nastanka ozljede (Jacobs, Ingen i Schenau, 1992).

U fazi postavljanja stopala na podlogu i u fazi amortizacije (retropulzivna faza sprinterskog koraka) opružajući se izdužuju i na osnovu miotatičkog refleksa proizvedu kontrakciju u istom mišiću. Istovremeno, veliko mišićno naprezanje aktivira Golgijev tetivni organ koji sprečava njegovu aktivnost. Kao rezultat specifičnog treninga, sprečava se djelovanje Golgijevog sustava i atletičar može izdržati velike sile doskoka ne smanjujući ispoljenu silu mišića. Tako je npr. trening skokova s reverzibilnom kontrakcijom (dubinski skokovi) postao je danas sastavi dio treninga brzine.

Kod sprinterskog koraka vrijeme od postavljanja stopala na podlogu do kraja odraza iznosi 80-100 milisekundi. Totalno kontaktno vrijeme je kraće kod boljih sprintera, a duže kod lošijih. Što je vrijeme kraće moguća je veća frekvencija i veća sila reakcije podloge s tim da se najveća

sila reakcije podloge javlja 30 do 40 milisekundi nakon prvog kontakta sa podlogom (Mann i Sprague, 1980).

Za ispoljavanje mišićne sile mišići moraju biti aktivirani na odgovarajući način. Koordinirano pokretanje više mišićnih grupa povezano je sa intermuskularnom koordinacijom. Osnovna karakteristika vrhunskih sprintera je bolje usklađivanje aktiviranih vlakana u pojedinim mišićima i mišićnim grupama. Oni imaju bolju intramuskularnu i intermuskularnu koordinaciju. Živčani sustav generira mišićnu silu na tri načina: aktiviranjem i deaktiviranjem pojedinih motornih jedinica, frekvencijom pražnjenja motornih jedinica i sinkronizacijom motornih jedinica. Sve tri mogućnosti se zasnivaju na postojanju motornih jedinica koje predstavljaju osnovne elemente rada neuromišićnog sustava. Motorne jedinice mogu biti spore ili brze. Spore motorne jedinice specijalizirane su za produženo korištenje pri relativno niskim brzinama i adaptirane su na aerobne aktivnosti. Brze mišićne jedinice ili motorne jedinice specijalizirane su za relativno kratke aktivnosti koje zahtijevaju ispoljavanje velike brzine i visok stupanj razvoja sile i adaptirane su na eksplozivne anaerobne aktivnosti.

Motorne jedinice funkcioniraju po zakonu „sve ili ništa“ što znači da je u bilo kojem trenutku motorna jedinica ili aktivna ili neaktivna. Najveća brzina skraćivanja brzih mišićnih vlakana četiri puta je veća od sporih mišićnih vlakana (Zatsiorsky i Kraemer, 2009).

Realizacija maksimalne brzine trčanja vezana je za visoku koordinaciju pokreta. Za izvođenje preciznih pokreta motorne jedinice obično ne djeluju istovremeno te je za proizvodnju maksimalne sile, koja je jedna od ključnih faktora maksimalne brzine, potrebna aktivacija najvećeg broja sporih i brzih motornih jedinica, maksimalna frekvencija pražnjenja i istovremeno djelovanje motornih jedinica u periodu maksimalnog voljnog napora.

Nedostatak neuromišićne koordinacije jedan je od limitirajućih faktora brzine, zbog toga što je veća brzina kretanja praćena smanjenom mogućnošću optimalne kontrole kretanja. Što je brzina veća, to je veće odstupanje od idealnog obrasca kretanja. Precizna kontrola kretanja je u nadležnosti malog mozga i informacija koje tamo dopijevaju preko proprioceptora koji se nalaze u zglobnim čahurama i vezivnim elementima mišića. Važnu funkciju u kontroli kretanja imaju i spinalni refleksi mišićno - tetivnog izvora u području leđne moždine. Svaka promjena dužine i napetosti mišića prenosi se po miotatičnom refleksnom luku. Jedan od glavnih problema u motornoj kontroli je uloga mišića agonista i antagonista i njihov neposredni utjecaj na kinematiku i dinamiku pokreta. Razvijanje maksimalne brzine zahtijeva veoma suptilnu međumišićnu koordinaciju mišićnih grupa donjih ekstremiteta. Najvažniju ulogu imaju sljedeći

mišići: *m. gluteus maximus*, *m. tibialis anterior*, *m. soleus*, *m. gastrocnemius*, *m. rectus femoris*, *m. biceps femoris*, *m. vastus lateralis* (Čoh, 2002).

### 1.6. Energetski mehanizmi trčanja na 400 m

Energija potrebna za trčanje utrke na 400 m dobiva se iz anaerobnog (alaktatnog i laktatnog) i aerobnog energetskog mehanizma. Međutim, prema različitim autorima i provedenim istraživanjima, različita su i mišljenja o tome koliki je udio aerobnog, a koliki udio anaerobnog energetskog mehanizma u utrci na 400 m. Provedena istraživanja jako su se razlikovala u dobivenim rezultatima, a to je vjerojatno bilo tako jer ta istraživanja nisu bila jedna drugima slična niti po tome jesu li obuhvaćala samo muškarce ili samo žene, jesu li vodila računa o metodologiji treninga sportaša koji su bili testirani, jesu li vodila računa o tipu trkača (više sprinterski ili više izdržljivi tip) niti jesu li istraživani vrhunski trkači ili trkači nižeg ranga rezultata.

Korištene su različite metode ispitivanja energetskog kapaciteta za utрку 400 m. Tako je provedeno istraživanje na način da je izračunata ukupna potrošnja energije tijekom utrke mjereći vršnu razinu laktata nakon utrke i procjenjujući količinu potrošenog kisika i udio alaktatnog mehanizma na temelju podataka iz ranije literature (Lacour, 1990).

Drugi ispitivači (Weyand i sur., 1993; Nummela, Vuorima i Rusko, 1992; te Spencer i Gatin, 2001) proveli su istraživanje na drugačiji način. Oni su simulirali utрку na 400 m na pokretnom sagu i korištenjem metode koju je uveo Medbo (1988) računali akumulirani deficit kisika. Oni su procijenili utrošak energije na brzini na kojoj je trčano na pokretnom sagu. Efektivni utrošak kisika u tom testiranju predstavljao je aerobnu komponentu, a razlika između procijenjenog utroška i efektivnog utroška kisika predstavljala je akumulirani deficit kisika, odnosno anaerobnu komponentu.

U istraživanju provedenom 1999. godine rađena su mjerenja i na pokretnom sagu i nakon stvarne utrke na 400 m za iste trkače (Hill, 1999). Na sagu je računata potrošnja kisika, a nakon utrke je korišteno mjerenja razine laktata kao mjera anaerobnog mehanizma.

Akumulirani deficit kisika utvrđivan je kod 11 muškaraca i 5 žena koji su trčali utрку na 400 m koristeći Cosmed K4 proceduru testiranja. Također je mjerena razina laktata nakon utrke te su korištene procijenjene vrijednosti utroška energije iz fosfokreatinskih izvora (Duffield, Dawson i Goodman, 2005). Potrebno je naglasiti da udio pojedinog energetskog mehanizma nije isti kod muškaraca i kod žena te da postoje male razlike u zastupljenosti. Tako je Weyand dobio aerobni

udio kod muškaraca 64-67 %, a kod žena 66-70 %. Hill (1999) je dobio aerobni udio kod muškaraca 37 %, a kod žena 38 %, dok je u istraživanju Duffielda i sur. (2005) udio aerobnog mehanizma također veći kod žena i iznosi 45 %, a kod muškaraca 41 %. Očito je da su svi autori dobili iste rezultate u smislu da trkačice na 400 m koriste veći udio aerobnog energetskog mehanizma u odnosu na trkače. Rezultati dobiveni spomenutim istraživanjima prikazani su u Tablici 1.

*Tablica 1. Udio anaerobnog i aerobnog energetskog mehanizma kod trkača i trkačica na 400 m prema raznim autorima*

Autor	Spol	Godina objave	Aerobni udio	Anaerobni udio
Weyand i sur.	M	1994.	64-67%	33-36%
Weyand i sur.	Ž	1994.	66-70%	30-34%
Hill	M	1999.	37%	63%
Hill	M	1999.	38%	63%
Duffield i sur.	M	2005.	41%	59%
Duffield i sur.	Ž	2005.	45%	55%

Postoje jasne razlike i u odnosu na fiziološke osobine samih trkača, odnosno tip trkača (sprinterski ili izdržljivi tip). Sprinterski tip trkača u nešto većem postotku koristi anaerobni mehanizam dobivanja energije, dok izdržljivi tip trkača ima nešto niži anaerobni udio energetskog mehanizma i više ispoljava aerobni mehanizam. Tako je Weyand dobio rezultate da je udio anaerobnog mehanizma dobivanja energije kod sprintera 36 % za muškarce te 34 % za žene. U istom istraživanju udio anaerobnog mehanizma za izdržljivi tip sportaša bio je 33 % za muškarce te 30 % za žene. Rezultati istraživanja Nummele i sur. (1992) razlikuju se od rezultata Weyand i sur. (1993), ali također potvrđuju podatak da sprinteri koriste veći udio anaerobnog energetskog mehanizma. Tablica 2. prikazuje rezultate spomenutih istraživanja.

*Tablica 2. Udio anaerobnog i aerobnog energetskog metabolizma u utrci na 400 m ovisno o tipu trkača prema raznim autorima*

Autor	Tip trkača	Godina objave	Aerobni udio	Anaerobni udio
Weyand i sur.	sprinterski tip	1994.	64-66%	34-36%
Weyand i sur.	izdržljivi tip	1994.	67-70%	30-33%
Nummela i Rusko	sprinterski tip	1995.	37.1%	62.9%
Nummela i Rusko	izdržljivi tip	1995.	45.6%	54.4%

Udio korištenja pojedinog energetskeg mehanizma kod sportaša također varira ovisno o kvaliteti samog sportaša, odnosno rezultatu koji postiže u utrci. Tako je dokazano da kod muškaraca udio aerobnog mehanizma raste kako raste i rezultat koji sportaš postiže u utrci, odnosno, što je sportaš sporiji to više koristi aerobni mehanizam dobivanja energije zbog vremenski duljeg trajanja napora. U prvoj fazi utrke sportaši koriste uglavnom anaerobni mehanizam dobivanja energije jer je količina dostupnog kisika limitirana, ali s produljenjem trajanja napora povećava se i iskorištavanje kisika. Tako brži trkači više koriste anaerobni mehanizam dobivanja energije i stvaraju više laktata i nisu niti u prilici povećati aerobni udio dobivanja energije. Suprotno vrijedi za sporije trkače. Zanimljivo je da istraživanja provedena na trkačicama nisu pokazala ovako jasnu povezanost između ostvarenog rezultata i udjela pojedinih energetskeg mehanizama.

*Tablica 3. Udio aerobnog energetskeg mehanizma ovisno o kvaliteti rezultata prema raznim autorima*

<b>Autori i ispitanici</b>	<b>Godina objave</b>	<b>Prosječni rezultat (s)</b>	<b>Udio aerobnog mehanizma</b>
<b>MUŠKARCI</b>			
Lacour i sur.	1990.	45,48-47,46	28,0 %
Hill	1999.	49,3	37,0 %
Spencer i Gastin	2001.	49,3	43,0 %
Nummela i Rusko (izdržljivi tip)	1995.	49,4	45,6 %
Nummela i Rusko (sprinterski tip)	1995.	49,5	37,1 %
Weyand i sur. (sprinterski tip)	1994.	50,5	64,0 %
Reis i Miguel	2007.	50,6	32,0 %
Duffield i sur.	2005.	52,2	41,3 %
Weyand i sur. (izdržljivi tip)	1994.	58,5	67,0 %
<b>ŽENE</b>			
Weyand i sur. (sprinterski tip)	1994.	57,9	66,0 %
Duffield i sur.	2005.	60,2	44,5 %
Weyand i sur. (izdržljivi tip)	1994.	70,6	70,0 %
Hill	1999.	71,2	38,0 %



Provedena istraživanja također su se bavila i potrošnjom kisika tijekom utrke. Zaključeno je da se tijekom utrke nikada ne postiže maksimalni primitak kisika  $VO_{2max}$  te da se vrijednost primitka kisika u završnoj fazi utrke čak i smanjuje. Nummela je mjerio najviše vrijednosti primitka kisika u iznosu 79 %  $VO_{2max}$ , Spencer 89 %  $VO_{2max}$ , Duffield 81.6 %. Nummela je također primijetio da u drugoj polovici utrke vrijednost primitka kisika opada i kod sprinterskog i kod izdržljivog tipa trkača. Uzrok ovakvim rezultatima vjerojatno leži u činjenici da se zbog anaerobnog rada i snižavanja pH vrijednosti u samim mišićima koje se događa tijekom utrke narušava učinkovitost glikolitičkih enzima te da mišićna vlakna tipa II (brza vlakna) zbog dosezanja kritične pH vrijednosti jednostavno više nisu u mogućnosti raditi aerobno.

## 2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj ovoga istraživanja jest utvrditi povezanosti kinematičkih pokazatelja trčanja s ukupnim rezultatom te rezultatima po pojedinim segmentima utrke (0-100 m, 100-200 m, 200-300 m, 300-400 m, 0-200 m, 200-400 m).

## 3. METODE ISTRAŽIVANJA

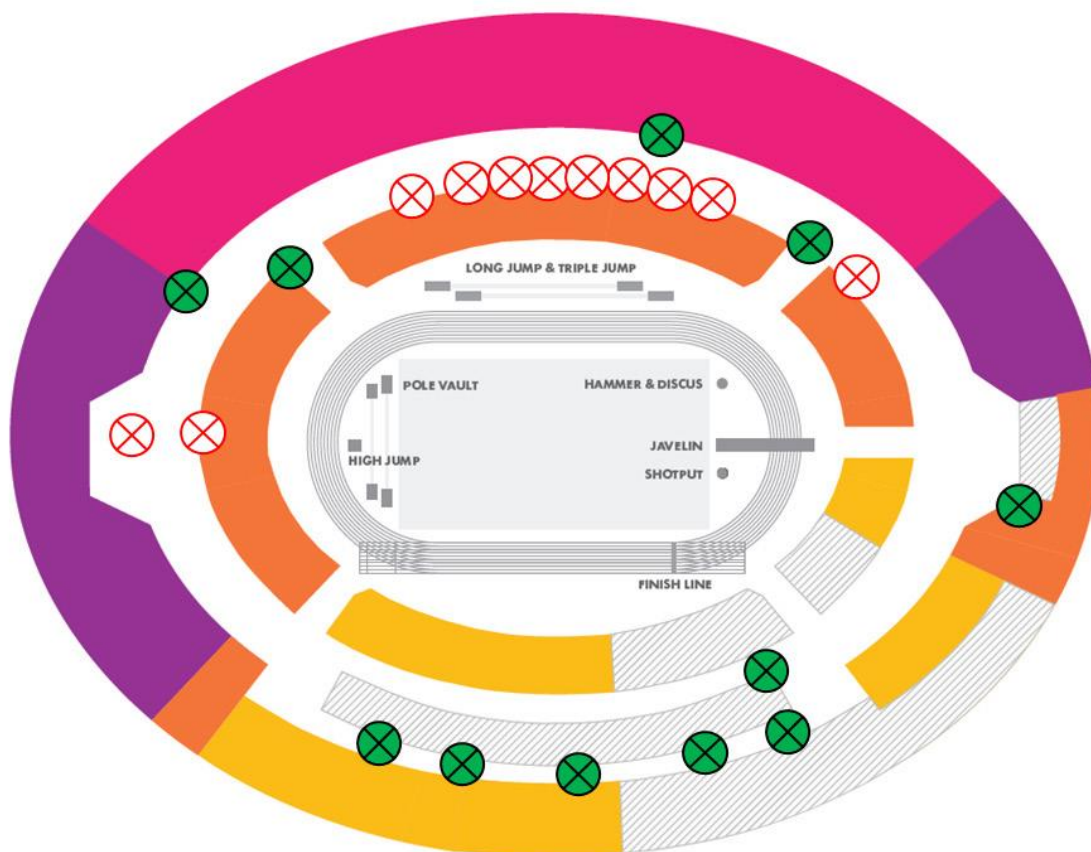
**Uzorak ispitanika:** analizirano je osam atletičarki koje su sudjelovale u finalnoj utrci na 400 m na Svjetskom prvenstvu u atletici u Londonu 2017.

*Tablica 4. Podatci ispitanica*

Atletičarka	Osobni rekord (s)	Visina (cm)	Težina (kg)
Phyllis Francis	49,92	180	71
Salwa Eid Naser	49,08	168	54
Allyson Felix	49,26	168	54
Shaunae Miller-Uibo	48,97	185	69
Shericka Jackson	49,78	173	61
Stephenie Ann McPherson	49,92	173	55
Kabange Mupopo	50,22	170	62
Novlene Williams-Mills	49,63	168	57

**Način prikupljanja podataka:** podatci korišteni za izradu ovog specijalističkog rada preuzeti su sa službenih stranica Svjetske atletske federacije. Mjerenja su provedena za potrebe IAAF-a tijekom Svjetskog prvenstva u atletici u Londonu 2017. godine, a u suradnji s Carnegie School of Sports i Leeds Beckett University.

Na samom stadionu određeno je 11 lokacija na kojima su postavljene kamere za potrebe analize navedenih varijabli trkačica u finalnoj utrci na 400 m.



*Slika 1. Raspored kamera na stadionu (zeleni krugovi označavaju lokacije kamere kojima su snimljene trkačice u utrci na 400 m)*

Šest lokacija nalazilo se duž ciljne ravnine, a ostale su bile strateški raspoređene duž stadiona. Svaka pojedinačna lokacija u ciljnoj ravnini mogla je imati do 5 kamera. Kako bi se osiguralo da ne dođe do pogreške u mjerenjima, dva različita načina kalibracije opreme provodila su se i prije i nakon utrke. Tijekom utrke finala korišteno je ukupno 20 kamera. Pet kamera Sony RX10 M3 postavljeno je strateški duž ciljne ravnine na način da su optičke osi usmjerene okomito na smjer trčanja kako bi zabilježile pokret u sagitalnoj ravnini i omogućile mjerenje prolaznih vremena. Pet kamera Sony PXW-FS7 postavljeno je u označeni segment koji se prostirao od 347. do 355. metra utrke kako bi snimile pokrete trkača i te su kamere bile uparene sa još 5 kamera Sony RX10 M3 koje su služile kao osiguranje za slučaj nezgode ili gubitka podataka sa prethodnih kamera. 5 kamera Canon EOS 700D snimalo je prvih 300 m utrke. Snimke dobivene kamerama analizirane su pomoću SIMI Motion softvera kako bi se dobila prolazna vremena, a DLT algoritam (Direct Linear Transformation) je korišten za rekonstrukciju 3D koordinatnog prostora.

**Obrada podataka:** podatci su obrađeni računalnim programom Statistica koristeći uobičajene metode deskriptivne analize i analize korelacija.

**Varijable:** mjerena su prolazna vremena po segmentima utrke od po 100 i od po 200 metara, broj koraka po segmentima od po 100 m te ukupni broj koraka u utrci, relativna duljina koraka u odnosu na visine trkačica po segmentima utrke te vrijeme kontakta stopala s podlogom. Mjerene varijable prikazane su tablično (Tablica 6.).

*Tablica 5. Varijable korištene za analizu*

Naziv varijable	Kratice varijable
<b>Rezultat (s)</b>	<b>R (s)</b>
<b>Prolazna vremena:</b> Prolaz 0-100 m (s) Prolaz 100-200 m (s) Prolaz 200-300 m (s) Prolaz 300-400 m (s) Prolaz 0-200 m (s) Prolaz 200-400 (s)	<b>PV:</b> PV 0-100 m (s) PV 100-200 m (s) PV 200-300 m (s) PV 300-400 m (s) PV 0-200 m (s) PV 200-400 m (s)
<b>Broj koraka:</b> Broj koraka 0-100 m Broj koraka 100-200 m Broj koraka 200-300 m Broj koraka 300-400 m Ukupni broj koraka	<b>BK:</b> BK 0-100 m BK100-200 m BK 200-300 m BK 300-400 m UBK
<b>Relativna duljina koraka:</b> 0-100 m 100-200 m 200-300 m 300-400 m	<b>RDK:</b> RDK 0-100 m RDK 100-200 m RDK 200-300 m RDK 300-400 m
<b>Kontakt stopala s podlogom (347 – 355 m)</b> Lijevo stopalo (s) Desno stopalo (s)	<b>KS:</b> KSL (s) KSD (s)

Tablica 6. Prikaz svih mjerenih varijabli

	R (s)	PV 0-200m (s)	PV 200-400m (s)	PV 0-100m (s)	PV 100-200m (s)	PV 200-300m (s)	PV 300-400m (s)	RDK 0-100m	RDK 100-200m	RDK 200-300m	RDK 300-400m	BK 0-100m	BK 100-200m	BK 200-300m	BK 300-400m	UBK	KSL (s)	KSD(s)
Francis	49,92	23,11	26,61	11,7	11,41	12,55	14,06	1,23	1,32	1,26	1,19	45,27	42,25	44,13	46,73	178,3	0,14	0,147
Naser	50,06	23,5	26,36	12,01	11,49	12,43	13,93	1,23	1,33	1,27	1,20	48,59	44,56	47,04	49,41	189,6	0,133	0,133
Felix	50,08	22,7	27,2	11,46	11,24	12,76	14,44	1,28	1,42	1,33	1,24	46,67	41,91	44,9	48,19	181,6	0,133	0,133
Miller-Uibo	50,49	22,74	27,59	11,46	11,28	14,46	15,13	1,16	1,28	1,19	1,12	46,47	42,19	45,34	48,17	182,2	0,147	0,16
Jackson	50,76	23,43	27,14	11,91	11,52	12,85	14,29	1,17	1,24	1,16	1,1	49,43	46,82	49,75	52,63	198,6	0,14	0,127
Mcperson	50,86	23,54	27,16	12,05	11,49	12,79	14,37	1,22	1,25	1,24	1,17	47,36	44,64	46,74	49,26	188	0,147	0,14
Mupopo	51,15	23,4	27,57	11,66	11,74	12,86	14,71	1,22	1,26	1,21	1,13	48,24	46,76	48,69	51,97	195,6	0,133	0,133
Williams-Mills	51,48	23,75	27,46	12,16	11,59	12,79	14,67	1,17	1,26	1,16	1,13	50,67	47,42	51,20	52,88	202,7	0,147	0,153

Legenda: R – rezultat na 400 m; PV 0-100 m – vrijeme u prvih 100 m; PV 100-200 m – vrijeme drugih 100 m; PV 200-300 m – vrijeme trećih 100 m; PV 300-400 m – vrijeme četvrtih 100 m; PV 0-200 m - vrijeme prvih 200 m; PV 200-400 m – vrijeme drugih 200 m; RDK 0-100 m – relativna duljina koraka prvih 100 m; RDK 100-200 m – relativna duljina koraka drugih 100 m; RDK 200-300 m – relativna duljina koraka trećih 100 m; RDK 300-400 m – relativna duljina koraka četvrtih 100 m; BK 0-100 m – broj koraka prvih 100 m; BK 100-200 m – broj koraka drugih 100 m; BK 200-300 m – broj koraka trećih 100 m; BK 300-400 m – broj koraka četvrtih 100 m; UBK – ukupan broj koraka; KSL (s) – trajanje kontakta lijevog stopala s podlogom; KSD (s) – trajanje kontakta desnog stopala s podlogom

#### 4. REZULTATI

Pobjednica u finalu utrke na 400 m i svjetska prvakinja postala je Amerikanka Phyllis Francis s rezultatom 49,92 s. Bio je to jedini rezultat brži od 50 sekundi. Srebrnu medalju osvojila je Bahreinka Salwa Eid Naser s rezultatom 50,06 s, dok je brončana bila još jedna Amerikanka Allyson Felix s rezultatom 50,08 s.

*Tablica 7. Prikaz poretka i rezultata atletičarki u finalnoj utrci*

Atletičarka	Poredak	Rezultat (s)
Phyllis Francis	1	49,92
Salwa Eid Naser	2	50,06
Allyson Felix	3	50,08
Shaunae Miller-Uibo	4	50,49
Shericka Jackson	5	50,76
Stephenie Ann McPherson	6	50,86
Kabange Mupopo	7	51,15
Novlene Williams-Mills	8	51,48

#### 4.1. Deskriptivna analiza

U Tablici 8. analizirane su varijable za 8 trkačica koje su sudjelovale u finalnoj utrci na 400 m na Svjetskom prvenstvu u Londonu 2017.

Pobjednički rezultat iznosio je 49,92 s, a rezultat osmoplasirane trkačice iznosio je 51,48 s. Prosjek rezultata istrčanih u ovoj utrci je 50,60 s uz SD 0,56.

Analizom prolaznih vremena na svakih 100 m utrke jasno je vidljivo da je drugih 100 m najbrži segment utrke. Prolazna vremena iznosila su prosječno 11,80 s na prvih 100 m, 11,47 na drugih 100 m, 12,69 s na trećih 100 m te 14,45 s za zadnjih 100 m utrke. U zadnjih 100 m utrke primijećen je uvjerljivo najveći raspon rezultata koji je iznosio 1,2 s dok je najmanji raspon bio u segmentu 100-200 m utrke i iznosio je 0,50. Drugih 100 m utrke je svim trkačicama, osim sedmoplasiranoj Kabange Mupopo, bio najbrži segment utrke.

Prosječni rezultat istrčan na prvih 200 m utrke iznosio je 23,27 s uz najbržih 22,70 s i najsporijih 23,75 s uz SD 0,38. Prolaz na drugih 200 m utrke (200-400 m) iznosio je prosječnih 27,13 s uz najbržih 26,36 s i najsporijih 27,59 s uz SD 0,44.

Prosječne RDK na svakih pojedinih 100 m utrke iznosile su redom 1,21 za prvih 100 m, 1,30 za drugih 100 m, 1,22 za trećih 100 m te 1,16 na posljednjih 100 m utrke.

Broj koraka na svakih 100 m utrke iznosio je prosječno redom 47,82 za prvih 100 m, 44,57 za drugih 100 m, 47,21 za trećih 100 m te 49,90 na posljednjih 100 m utrke. Prosječan ukupni broj koraka u cijeloj utrci iznosio je 189,51 uz minimum od 178,30 i maksimum od 202,20 koraka uz SD 8,66.

Prosječna vremena kontakta s podlogom lijevog i desnog stopala su jednaka i iznose 0,14 s.

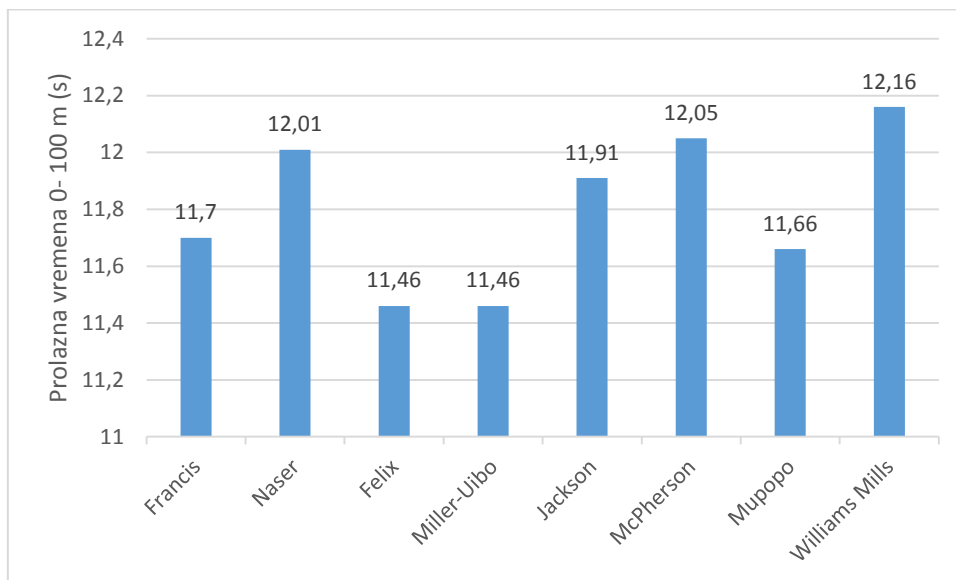
Tablica 8. Prikaz podataka dobivenih metodama deskriptivne analize

Varijabla	N	AS	MIN	MAX	S.D.
R (s)	8	50,60	49,92	51,48	0,56
PV 0-100 m (s)	8	11,80	11,46	12,16	0,26
PV 100-200 m (s)	8	11,47	11,24	11,74	0,16
PV 200-300 m (s)	8	12,68	12,43	12,86	0,17
PV 200-300 m (s)(s)	8	14,45	13,93	15,13	0,38
PV 0-200 m (s)	8	23,27	22,70	23,75	0,38
PV 200-400 m (s)	8	27,13	26,36	27,59	0,44
RDK 0-100 m	8	1,21	1,16	1,28	0,04
RDK 100-200 m	8	1,30	1,24	1,42	0,05
RDK 200-300 m	8	1,22	1,16	1,33	0,05
RDK 300-400 m	8	1,16	1,10	1,24	0,04
BK 0-100 m	8	47,82	45,22	50,67	1,75
BK 100-200 m	8	44,56	41,91	47,42	2,27
BK 200-300 m	8	47,21	44,13	51,20	2,47
BK 300-400 m	8	49,90	46,73	52,88	2,31
UBK	8	189,51	178,30	202,20	8,65
KSL (s)	8	0,14	0,13	0,14	0,01
KSD (s)	8	0,14	0,12	0,16	0,01

Legenda: R – rezultat na 400 m; PV 0-100 m – vrijeme u prvih 100 m; PV 100-200 m – vrijeme drugih 100 m ; PV 200-300 m – vrijeme trećih 100 m; PV 200-300 m – vrijeme četvrtih 100 m; PV 0-200 m - vrijeme prvih 200 m; PV 200-400 m – vrijeme drugih 200 m; RDK 0-100 m – relativna duljina koraka prvih 100 m; RDK 100-200 m – relativna duljina koraka drugih 100 m; RDK 200-300 m – relativna duljina koraka trećih 100 m; RDK 300-400 m – relativna duljina koraka četvrtih 100 m; BK 0-100 m – broj koraka prvih 100 m; BK 100-200 m – broj koraka drugih 100 m; BK 200-300 m – broj koraka trećih 100 m; BK 300-400 m – broj koraka četvrtih 100 m; UBK – ukupan broj koraka; KSL (s) – trajanje kontakta lijevog stopala s podlogom; KSD (s) – trajanje kontakta desnog stopala s podlogom

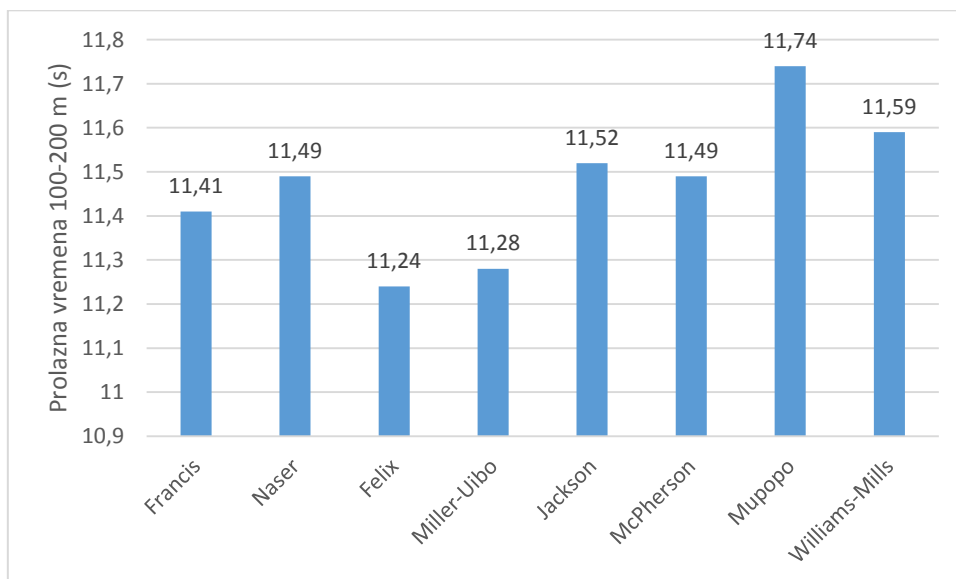


U prvih 100 m utrke najbrži prolaz imale su Felix i Miller-Uibo s 11,46 s dok je najsporija bila Williams-Mills s 12,16 s.



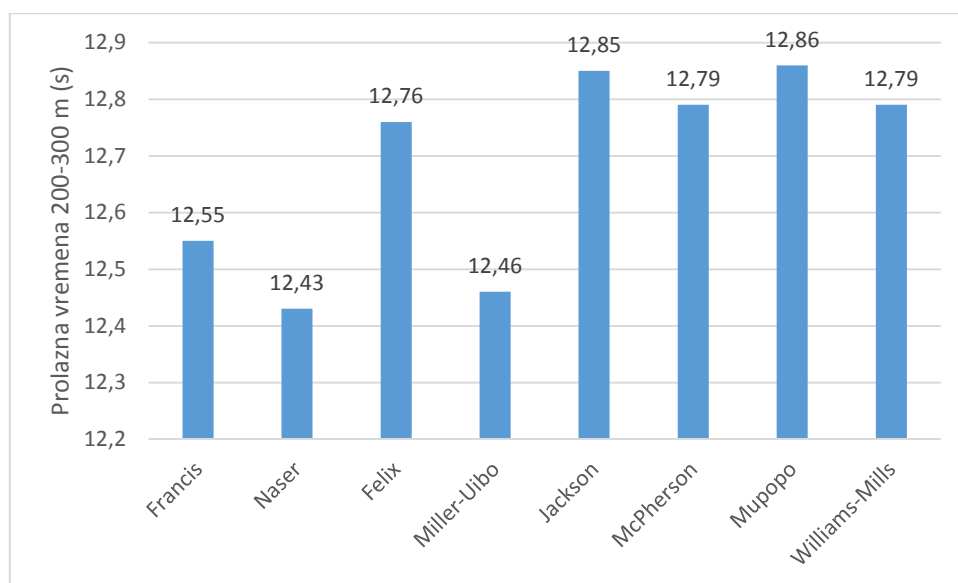
Slika 2. Prolazna vremena 0-100 m (s)

Kod 7 trkačica prolaz na drugih 100 m brži je od prolaza na prvih 100 m. Sporija je bila jedino Mupopo i to za samo 0,08 s.



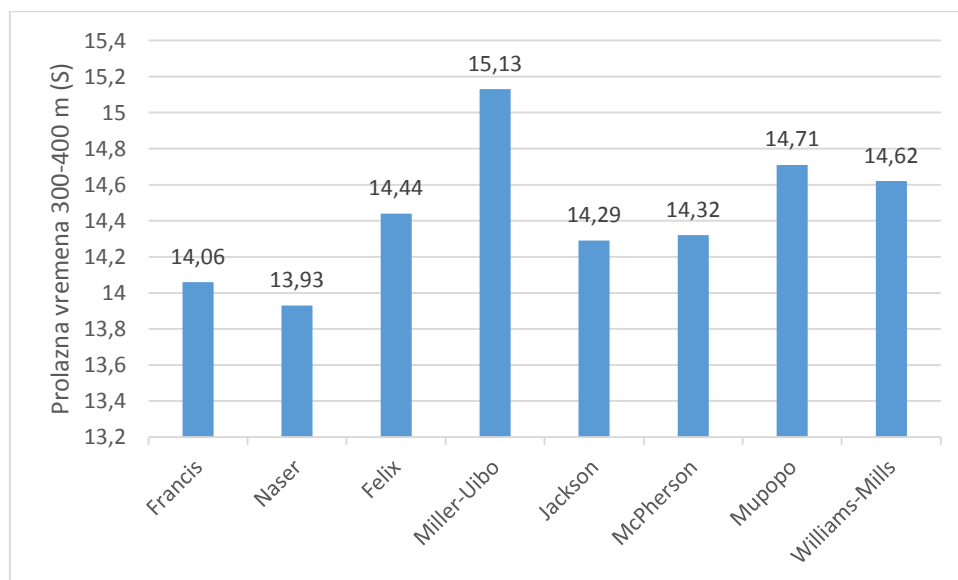
Slika 3. Prolazna vremena 100-200 m (s)

U segmentu 200-300 m nije primijećena velika varijabilnost u brzini kretanja među trkačicama.



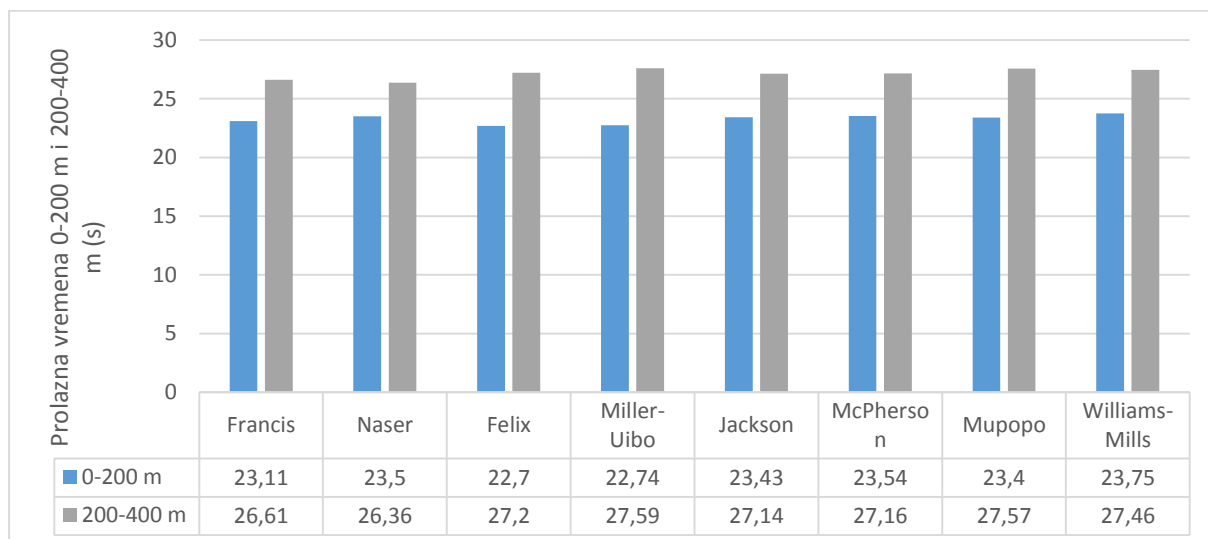
Slika 4. Prolazna vremena 200-300 m (s)

U zadnjih 100 m utrke vidljiva je najveća varijabilnost u brzini kretanja. Najbrže istrčanih zadnjih 100 m utrke imala je Naser dok je najsporije vrijeme na zadnjih 100 m imala Miller-Uibo. Ona je jedina trkačica koja je istrčala zadnjih 100 m sporije od 15 sekundi.



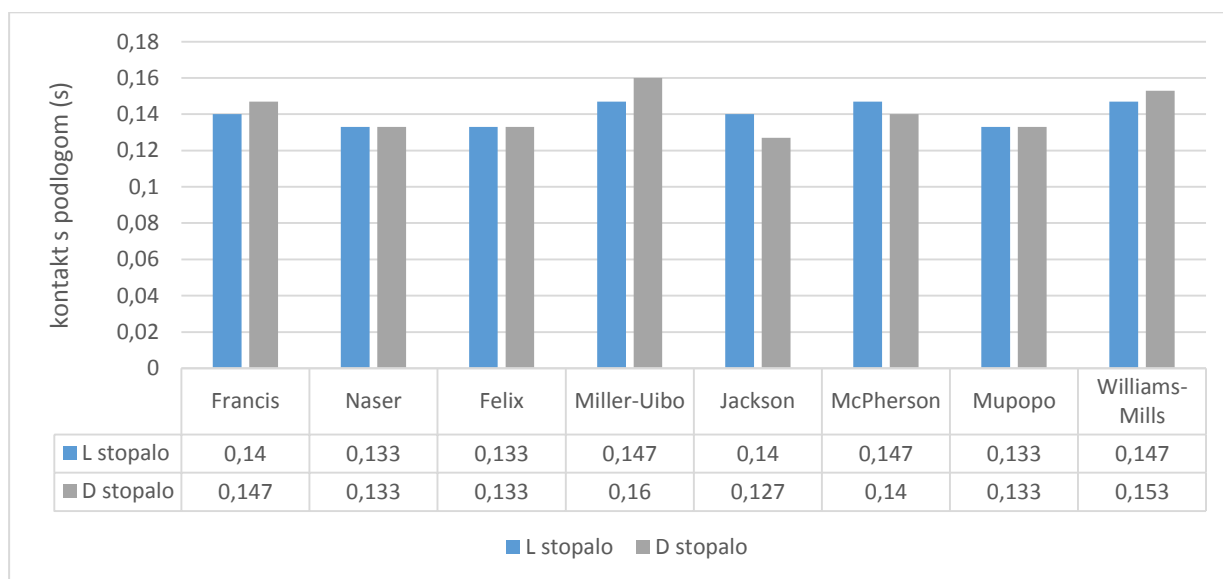
Slika 5. Prolazna vremena 300-400 m (s)

U ovom grafičkom prikazu jasno je vidljivo da su prvih 200 m utrke najbrže istrčale trkačice Felix i Miller-Uibo koje su na kraju utrke završile na 3. i 4. mjestu. Drugih 200 m utrke najbrže su istrčale dvije prvoplasirane trkačice Francis i Naser.



Slika 6. Prolazna vremena 0-200 m i 200-400 m (s)

Vrijeme kontakta s podlogom ne razlikuju se značajno među trkačicama.



Slika 7. Vrijeme kontakta stopala s podlogom (s)

## 4.2. Analiza korelacija

Tablica 9. Prikaz korelacija svih varijabli

Varijable	Korelacije; crveno označene korelacije za $p < ,05000$ , $N=8$																	
	R (s)	PV 0-200m (s)	PV 200-400m (s)	PV 0-100m (s)	PV 100-200m (s)	PV 200-300m (s)	PV 300-400m (s)	RDK 0-100m	RDK 100-200m	RDK 200-300m	RDK 300-400m	BK 0-100m	BK 100-200m	BK 200-300m	BK 300-400m	UBK	KSL (s)	KSD (s)
R (s)	1,00																	
PV 0-200m (s)	0,62	1,00																
PV 200-400m (s)	0,70	-0,13	1,00															
PV 0-100m (s)	0,46	0,94	-0,27	1,00														
PV 100-200m (s)	0,69	0,81	0,14	0,55	1,00													
PV 200-300m (s)	0,66	0,35	0,52	0,21	0,49	1,00												
PV 300-400m (s)	0,51	-0,31	0,92	-0,40	-0,06	0,14	1,00											
RDK 0-100m	-0,56	-0,31	-0,42	-0,29	-0,25	0,01	-0,49	1,00										
RDK 100-200m	-0,71	-0,59	-0,37	-0,44	-0,67	-0,27	-0,30	0,85	1,00									
RDK 200-300m	-0,74	-0,48	-0,49	-0,38	-0,50	-0,26	-0,45	0,95	0,94	1,00								
RDK 300-400m	-0,69	-0,35	-0,56	-0,21	-0,49	-0,28	-0,51	0,91	0,94	0,97	1,00							
BK 0-100m	0,73	0,75	0,22	0,70	0,62	0,44	0,05	-0,46	-0,52	-0,61	-0,49	1,00						
BK 100-200m	0,82	0,85	0,26	0,68	0,87	0,61	0,02	-0,46	-0,72	-0,68	-0,62	0,90	1,00					
BK 200-300m	0,84	0,77	0,35	0,66	0,73	0,57	0,14	-0,54	-0,68	-0,73	-0,64	0,97	0,96	1,00				
BK 300-400m	0,83	0,69	0,42	0,53	0,75	0,65	0,18	-0,49	-0,66	-0,70	-0,66	0,93	0,96	0,98	1,00			
UBK	0,82	0,78	0,33	0,65	0,76	0,59	0,11	-0,50	-0,66	-0,70	-0,62	0,96	0,98	1,00	0,99	1,00		
KSL (s)	0,42	0,17	0,37	0,31	-0,10	-0,01	0,44	-0,68	-0,48	-0,58	-0,48	0,10	0,07	0,17	0,05	0,10	1,00	
KSD (s)	0,13	-0,20	0,32	-0,11	-0,29	-0,43	0,57	-0,48	-0,17	-0,30	-0,22	-0,20	-0,29	-0,16	-0,28	-0,24	0,72	1,00

Legenda: R – rezultat na 400 m; PV 0-100 m – vrijeme u prvih 100 m; PV 100-200 m – vrijeme drugih 100 m; PV 200-300 m – vrijeme trećih 100 m; PV 300-400 m – vrijeme četvrtih 100 m; PV 0-200 m - vrijeme prvih 200 m; PV 200-400 m – vrijeme drugih 200 m; RDK 0-100 m – relativna duljina koraka prvih 100 m; RDK 100-200 m – relativna duljina koraka drugih 100 m; RDK 200-300 m – relativna duljina koraka trećih 100 m; RDK 300-400 m – relativna duljina koraka četvrtih 100 m; BK 0-100 m – broj koraka prvih 100 m; BK 100-200 m – broj koraka drugih 100 m; BK 200-300 m – broj koraka trećih 100 m; BK 300-400 m – broj koraka četvrtih 100 m; UBK – ukupan broj koraka; KSL (s) – trajanje kontakta lijevog stopala s podlogom; KSD (s) – trajanje kontakta desnog stopala s podlogom

Analiza korelacije nije pokazala statistički značajnu povezanost prolaznih vremena na svakih pojedinih 100 m utrke i ukupnog rezultata na kraju utrke.

Povezanost prolaznog vremena na prvih 200 m i na drugih 200 m utrke i rezultata utrke pokazala je veći koeficijent korelacije prolaznog vremena 200-400 m utrke s ukupnim rezultatom utrke.

Analiza korelacije RDK na svakih 100 m utrke i rezultata utrke pokazala je statistički značajnu negativnu povezanost RDK koja je ostvarena između 100 m i 300 m utrke uz koeficijente korelacije -0,71 i -0,74. Analiza korelacije broja koraka po svim segmentima utrke i rezultata utrke pokazala je statistički značajnu povezanost po svim segmentima.

Povezanost ukupnog broja koraka u utrci i rezultata utrke statistički je značajna uz visoki koeficijent korelacije od 0,82.

Vrijeme kontakta stopala s podlogom nije u značajnoj korelaciji s rezultatom utrke.

## 5. RASPRAVA

Prema službenim rezultatima, utrku je završilo svih osam natjecateljica. Pobjednički rezultat iznosio je 49,92 s, dok je najsporija trkačica dionicu istrčala za 51,48 s. Samim time vidljivo je da je utrka istrčana u rasponu rezultata od 1,56 s. Prosjek rezultata istrčanih na prvih 200 m utrke iznosio 23,27 s uz najbržih 22,70 s i najsporijih 23,75 s uz SD 0,38. Prolaz na drugih 200 m utrke (200-400 m) iznosio je prosječnih 27,13 s uz najbržih 26,36 s i najsporijih 27,59 s uz SD 0,44. Najmanju razliku između dvije dionice od 200 m imala je drugoplasirana Naser i ona je jedina uspjela drugih 200 m istrčati unutar 3 s razlike u odnosu na prvih. Tako je u drugoj polovici utrke bila brža od prvoplasirane Francis, ali nedovoljno da bi nadoknadila razliku od 4 desetinke brže prve dionice od 200 m koju je istrčala Francis. Najbržih prvih 200 m istrčala je Felix i vrlo blizu njoj Miller-Uibo, međutim zbog velikog pada u drugoj polovici utrke završile su na trećem i četvrtom mjestu. Njih dvije su jedine istrčale prvih 200 m brže od 23 sekunde, ali su u drugih 200 m bile više od 4,5 s sporije od prvih. Jedino su Francis i Naser, zlatna i srebrna, uspjele taj drugi prolaz istrčati brže od 27 sekundi.

Analizom prolaznih vremena na svakih 100 m utrke jasno je vidljivo da je drugih 100 m najbrži segment utrke što je dokazano i ranijim istraživanjima (Brueggemann, 1997). Prolazna vremena iznosila su prosječno 11,80 s na prvih 100 m, 11,47 s na drugih 100 m, 12,69 s na trećih 100 m te 14,45 s za zadnjih 100 m utrke. Drugih 100 m utrke je svim trkačicama, osim sedmoplasiranoj Mupopo, bio najbrži segment utrke, a i njoj je bio samo 8 stotinki sporiji od prvih 100 m. Iz ove analize nameće se zaključak o taktičkom pristupu trčanju na 400 m i ako promatramo utrku po segmentima od po 100 m onda je jasno vidljivo da je drugih 100 m najbrži segment utrke. Ovo je vjerojatno zato što je drugih 100 m leteća dionica, nema startnog bloka i startnog ubrzanja pa se može zaključiti da je cilj ustvari zadržati jednaku brzinu kretanja koja je postignuta na prvih 100 m. Nakon toga slijedi ulazak u drugi zavoj i primjetna je tendencija da trećih 100 m ima što manji pad u odnosu na prvih 100 m. Iz dobivenih rezultata vidljivo je da je 6 trkačica uspjelo trećih 100 m istrčati unutar jedne sekunde razlike u odnosu na prvih 100 m. Izlaskom na ciljnu ravninu i ulaskom u zadnjih 100 m utrke ispoljava se brzinska izdržljivost trkačica. Zanimljivo je, promatrajući vrijeme kontakta s podlogom, da je na 350. metru Felix imala najkraće vrijeme kontakta, a istrčala je zadnjih 100 m najsporije od osvajačica medalja. Dok je kratko vrijeme kontakta s podlogom značajno u kratkom sprintu, u utrci na 400 m se ne preporučuje jer prekratko trajanje ispoljavanja sile na podlogu u uvjetima jakog zamora smanjuje horizontalnu brzinu kretanja i povećava vertikalni otklon težišta. Ovi rezultati u

skladu su s istraživanjem (Nummela i sur., 1993) u kojem je dokazano da već tijekom prvih 200 m utrke dolazi do zamora mišića, ali je tijelo sposobno kompenzirati i održati brzinu kretanja. Što više utrka napreduje, to su veće metaboličke promjene i porast vrijednosti laktata koji utječu na sportsku izvedbu ponajviše u smislu smanjenja snage (Arcelli, 1995; Lacour, Bouvat i Barthelemy, 1990) te će bolji biti oni trkači koji usprkos ovim promjenama mogu zadržati kvalitetnu razinu izvedbe. Tako se dolazi do zaključka da je brzinska izdržljivost ključni element za postizanje dobrog rezultata (Nummela, 1993). Za pad brzine kretanja ključni su događaji u samom mišiću, a ne zamor središnjeg živčanog sustava (Bates i Haven, 1992).

Kada promatramo relativne duljine koraka po segmentima utrke vidimo da je RDK najveća u drugih 100 m utrke što je u skladu sa ranije navedenom činjenicom da je to i najbržih 100 m utrke. Prosječne RDK na svakih pojedinih 100 m utrke iznosile su redom 1,21 za prvih 100 m, 1,30 za drugih 100 m, 1,22 za trećih 100 m te 1,16 na posljednjih 100 m utrke. Smanjenje duljine koraka utječe na veliki pad u brzini kretanja u ciljnoj ravnini (Hanon i Gajer, 2009). Također je vidljivo da je RDK u trećih 100 m slična onoj u prvih 100 m što opet potvrđuje tendenciju da se trećih 100 m istrči što sličnije prvih 100 m.

RDK i broj koraka u utrci su povezane varijable. U ovoj utrci broj koraka na svakih 100 m utrke iznosio je prosječno redom 47,82 za prvih 100 m, 44,57 za drugih 100 m, 47,21 za trećih 100 m te 49,90 na posljednjih 100 m utrke. I ovdje je jasno vidljivo da je broj koraka najmanji u drugih 100 m utrke (Gajer, 2007) te da je broj koraka na trećih 100 m vrlo sličan onome na prvih 100 m. Ovaj obrazac prisutan je kod svih trkačica koje su sudjelovale u ovoj utrci. Najveća varijabilnost u broju koraka vidljiva je u zadnjih 100 m utrke.

Analize korelacije pokazale su statistički značajnu povezanost RDK na drugih i trećih 100 m utrke s rezultatom utrke, a korelacije broja koraka s rezultatom utrke statistički su značajne po svim segmentima utrke uz najveći koeficijent korelacije u trećih 100 m utrke (200-300 m) te nakon njega na zadnjih 100 m. Uzimajući u obzir činjenicu da su analize korelacija pokazale veću povezanost prolaznog vremena na drugih 200 m utrke (200-400 m) s rezultatom utrke nameće se zaključak da je trećih 100 m vjerojatno prijelomni dio utrke i najznačajnija za postizanje optimalnog rezultata.

## 6. ZAKLJUČAK

Nakon analize i obrade podataka, vidljivo je da kod vrhunskih atletičarki postoji obrazac trčanja utrke na 400 m. Utrka se trči na način da nakon starta i startnog ubrzanja trkačice ubrzavaju do postizanja optimalne brzine kretanja u drugoj polovici prvog zavoja. Nakon toga slijedi održavanje brzine kretanja kroz drugih 100 m utrke koja, zato što je leteća, mjeriteljski ispada nešto brža od prvih 100 m. Slijedi ulazak u drugi zavoj u kojem je cilj što manje pasti u brzini kretanja, odnosno istrčati trećih 100 m rezultatski što sličnije prvih 100 m. Izlaskom na ciljnu ravninu do izražaja dolazi individualna brzinska izdržljivost trkačica, pad brzine kretanja i razlike u mjerenim varijablama su veće. Spoznaje dobivene ovim istraživanjem mogu se uzeti u obzir kod planiranja i programiranja trenažnog procesa trkača na 400 m na način da se u trenažnom procesu posebna pozornost posveti razvoju brzinske izdržljivosti sportaša. Isto tako, treba koristiti treninge za uvježbavanje ritmizacije kroz pojedine segmente utrke. Veliku važnost treba posvetiti samoj tehnici trčanja koja je vrlo često zanemarena u ovoj disciplini u usporedbi sa razvojem tehnike kod kratkog sprinta. Uvjet za postizanje vrhunskog rezultata svakako je dobra tehnika trčanja i sposobnost zadržavanja dobre tehnike usprkos zamoru koji nastaje kroz utрку kako bi se što više smanjila varijabilnost kroz pojedine segmente utrke.



## 7. LITERATURA

1. Arcelli, E. (1995). Acido Lattico e Prestazione-Quello che l'allenatore deve sapere..Pavia. Coop Dante.
2. Babić, V. (2010). Atletika hodanja i trčanja. Zagreb 2010. Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
3. Bates, B. & Haven, B (1992). Changes in force production, blood lactate and EMG activity in the 400 m sprint. *J Sports Sci.*, 217-28.
4. Blažević, I., Babić, V. & Antekolović, Lj. (2011). Sprintersko trčanje djece mlade školske dobi. 6th FIEP European Congress of Physical Education, Poreč, Croatia.
5. Brueggemann, et al (1997). Report of the IAAF Biomechanical Research Project Athens, Monaco:International Athletic Foundation, Meyer & Meyer Sport 2.1 54-62
6. Čoh, M. (2002). Application of biomechanics in track and field. Ljubljana, Faculty of Sport, Institute of Kinesiology.
7. Dohert, K. (2007). Track and Field Omnibook (5<sup>th</sup> ed). Mountain View Calif., Tafnews press.
8. Duffield, R., Dawson, B. & Goodman, C. (2005). Energy system contribution to 400 metre track running. *J. Sport Sci.* 23, 299-307.
9. Gagua, E. D. (2001). Trenirovka sprintera. Moskva: Olimpijha Pres, Tera-Sport.
10. Hanon, C. & Gajer, B. (2009). Velocity and stride parameters of world-class 400-meter athletes compared with less experienced runners. *J. Strength Cond. Res.* 23(2):524-31.
11. Hill, D. W. (1999). Energy system contributors in middle distance running events. *Journal of Sports Sciences*, 17, 477-483.
12. Hirvonen, J., Nummela, A., Rusko, H., Rehunen, S., Härkönen, M. (1992). Fatigue and changes of ATP, creatine phosphate, and lactate during the 400-m sprint. *Can J Sport Sci.* 17(2):141-4.
13. Pollit, L., Walker, J., Tucker, C. & Bissas, A. (2017). Biomechanical report for the IAAF World Championships 400 m womens. Carnegie School of Sport. <https://www.iaaf.org/about-iaaf/documents/research>.
14. Jacobs, R. & Ingen Schenau, G. (1992). Intermuscular Coordination in a Sprint Push-off. *Journal of Biomechanics*; 25 (9), 953-965.
15. Jovović, V. (2005). Biomehanika sporta. Nikšić, Filozofski fakultet.
16. Kuitunen, S., Komi, P. & Kyrolainen, H. (2002). Knee and ankle joint stiffness in sprint running. *Medicine & science in sport & exercise*, 34 (1), 166-173.

17. Kyrolainen, H., Belli, A. & Komi, P. (2001). Biomechanical factors affecting running economy. *Medicine & Science in sport & exercise*. 8, 1330-1337.
18. Lacour, J. R., Bouvat, E. & Barthelemy, JC. (1990). Post-competition blood lactate concentrations as indicators of anaerobic energy expenditure during 400m and 800m races. *Eur J Appl Physiol*. 61:172-176.
19. Luhtanen, P. & Komi, P. (1980). Force, power and elasticity relationship in walking, running and jumping. *European Journal of Applied Physiology*. 44 (3), 279-289.
20. Mann, R. & Sprague, P. (1980). A kinetic analysis of ground leg during sprint running. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 51, 334-348.
21. Mero, A., Komi, P. & Gregor, R. (1992). Biomechanics of sprinting running. *Sport medicine*. 13 (6): 376-392.
22. Neuhoff, C. (1978). 400 metre anaerobic power development. *Track and Field Quarterly Review*. 86 (4), 5-7.
23. Nummela, A., Vuorimaa, T. & Rusko, H. (1992). Changes in force production, blood lactate and EMG activity in the 400-m sprint. *J Sports Sci*. 10(3):217-28.
24. Orešćuk, S. A. (1993). *Biomehaničeskije osnovi tehniki bega*. Harkov. Učebnoe posebie.
25. Quercetani, RL. (2005). A world history of the one-lap race 1850-2004: „The killer sprint“ 400m and 400m relay-men and women. Milan: SEP Editrice Srl.
26. Spencer, M. R. & Gastin, P. B. (2001). Energy system contribution during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33, 157-162.
27. Šesterova, L. E. & Šuteeva T.N. (2006). *Osobnosti tehniko-taktičejskoj dejatelnosti begunov na 400m*. Harkovsk: Plan NIR katedri legkoj atletiki, HGAFK.
28. Weyand, P. G., Cureton, K., Conley, D. S. & Sloniger, M. A. (1993). Percentage anaerobic energy utilized during track running events. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 25, S105.
29. Zatskiorsky, V. & Kraemer, W. (2009). *Nauka i praksa u treningu snage*. Beograd: data status.

## 8. PRILOZI

### 8.1. Popis tablica

Tablica 1. Udio anaerobnog i aerobnog energetskeg mehanizma kod trkača i trkačica na 400 m prema raznim autorima .....	14
Tablica 2. Udio anaerobnog i aerobnog energetskeg metabolizma u utrci na 400 m ovisno o tipu trkača prema raznim autorima.....	14
Tablica 3. Udio aerobnog energetskeg mehanizma ovisno o kvaliteti rezultata prema raznim autorima.....	15
Tablica 4. Podatci ispitanica.....	17
Tablica 5. Varijable korištene za analizu .....	19
Tablica 6. Prikaz svih mjerenih varijabli .....	20
Tablica 7. Prikaz poretka i rezultata atletičarki u finalnoj utrci .....	21
Tablica 8. Prikaz podataka dobivenih metodama deskriptivne analize .....	23
Tablica 9. Prikaz korelacija svih varijabli .....	27

### 8.2. Popis slika

Slika 1. Raspored kamera na stadionu (zeleni kružići označavaju kamere kojima su snimljene trkačice u utrci na 400 m).....	18
Slika 2. Prolazna vremena 0-100 m (s) .....	24
Slika 3. Prolazna vremena 100-200 m (s) .....	24
Slika 4. Prolazna vremena 200-300 m (s) .....	25
Slika 5. Prolazna vremena 300-400 m (s) .....	25
Slika 6. Prolazna vremena 0-200 m i 200-400 m (s).....	26
Slika 7. Vrijeme kontakta stopala s podlogom (s) .....	26