

# FIZIOLOŠKO I BIOMEHANIČKO OPTEREĆENJE BICIKLISTIČKE UTRKE NA 1000 KILOMETARA

---

**Popović, Eugen**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*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:117:223778>

*Rights / Prava:* [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-12**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**KINEZIOLOŠKI FAKULTET**

(studij za stjecanje akademskog naziva: magistar kineziologije)

**Eugen Popović**

**FIZIOLOŠKO I BIOMEHANIČKO**  
**OPTEREĆENJE BICIKLISTIČKE**  
**UTRKE NA 1000 KILOMETARA**

Diplomski rad

**Mentor: doc. dr. sc. Daniel Bok**

Zagreb, rujan, 2021.

Ovim potpisima se potvrđuje da je ovo završena verzija diplomskog rada koja je obranjena pred Povjerenstvom, s unesenim korekcijama koje je Povjerenstvo zahtijevalo na obrani te da je ova tiskana verzija istovjetna elektroničkoj verziji predanoj u Knjižnici.

Mentor:

---

doc. dr. sc. Daniel Bok

Student:

---

Eugen Popović

# FIZIOLOŠKO I BIOMEHANIČKO OPTEREĆENJE BICIKLISTIČKE UTRKE NA 1000 KILOMETARA

## Sažetak

Cilj istraživanja je bio utvrditi opterećenje i natjecateljske zahtjeve tijekom biciklističke utrke na 1000 kilometara podijeljene na 4 etape. 3 rekreativna biciklista dobi:  $37,93 \pm 9,9$  godina; visine:  $182,63 \pm 6,9$  centimetara i tjelesne mase:  $90,44 \pm 8,8$  kilograma su dobrovoljno pristali na sudjelovanje u istraživanju. Glavni parametri za praćenje i analizu podataka su snaga, frekvencija srca i subjektivna procjena opterećenja (SPO). Inicijalnim testiranjem u dijagnostičkom centru Kineziološkog fakulteta u Zagrebu su utvrđene zone intenziteta. Dobivene su vrijednosti aerobnog praga, anaerobnog praga i maksimalnog primitka kisika u varijablama snaga i frekvencija srca. Glavni događaj: biciklistička utrka na 1000 kilometara, započela je 9 dana nakon inicijalnog testiranja. Praćene varijable za vrijeme natjecanja su: snaga, frekvencija srca i SPO. Ispitanici su vozili na osobnom biciklu opremljenim s mjeračem snage i ciklokompjutorom, a oko prsnog koša je nošena traka za mjerenje frekvencije srca. SPO je prikupljan svaka 3 sata pomoću tablice i kemijske olovke od strane ispitanika. Utvrđena je razlika u provedenom vremenu po zonama intenziteta u varijablama snaga i frekvencija srca tijekom etapa. SPO je ostala bez značajnih promjena tijekom etapa. Rezultati pokazuju najviše provedenog vremena u zoni 1 u varijabli snaga, zoni 2 u varijabli frekvencija srca, te u zoni 1 u varijabli SPO. Može se zaključiti kako biciklistička utrka na 1000 kilometara dovodi do progresivnog opadanja prosječne snage i frekvencije srca te neznatnog povećanja SPO-a. S obzirom na karakteristike natjecanja i dobivene rezultate, priprema za ultra dugotrajna natjecanja zahtijeva visok ekstenzitet treninga (30-40 sati tjedno) u kombinaciji s niskim intenzitetom. Potrebno je najviše vremena provoditi u zoni 1 (70%), zoni 2 (25%) i zoni 3 (5%).

**Ključne riječi:** izdržljivost, etape, aerobni prag, anaerobni prag, maksimalni primitak kisika

# PHYSIOLOGICAL AND BIOMECHANICAL LOAD OF BICYCLING RACE ON 1000 KILOMETERS

## **Abstract**

The aim of this study is determine load and competitive requirements during a 1000 kilometers bike race divided into 4 stages. 3 recreational cyclists age:  $37,93 \pm 9,9$  year; height:  $182,63 \pm 6,9$  and body mass:  $90,44 \pm 8,8$  kilograms have voluntarily agreed to participate in the research. The main parameters for data monitoring and analysis are: power, heart rate and rate of perceived exertion (RPE). Initial testing in diagnostic center at Faculty of Kinesiology in Zagreb intensity zones have been identified. Values were obtained at aerobic threshold, anaerobic threshold and maximal oxygen uptake in the variables power and heart rate. Main event: 1000 km bicycle race, began 9 days after initial testing. The variables monitored during the competition are: power, heart rate and RPE. Participants rode a personal bicycle equipped with power meter and a cyclocomputer, and around the chest it was worn heart rate measurement tape. RPE was collected every 3 hours using a spreadsheet and a ballpoint pen by participants. A difference in time spent was found in the variables power and heart rate during the stages. RPE remained without significant changes during the stages. The results show the most time spent in zone 1 in the variable of power, zone 2 in the variable of heart rate and in zone 1 in the RPE variable. It can be concluded how cycling race at 1000 kilometers leads to a progressive decline in average power, heart rate and a slight increase in RPE. Given the characteristics and the results obtained, preparation for ultra long competitions requires high training extent (30-40 hours per week) combined with low intensity. It takes the most time to spend in zone 1 (70%), zone 2 (25%) and zone 3 (5%).

**Key words:** endurance, stages, aerobic threshold, anaerobic threshold, maximal oxygen uptake

## Sadržaj

<b>1. Uvod</b> .....	6
<b>2. Ciljevi i hipoteze</b> .....	18
<b>3. Metode istraživanja</b> .....	19
<b>3.1 Uzorak ispitanika</b> .....	19
<b>3.2 Opis protokola testiranja</b> .....	19
<b>3.3 Opis mjernih instrumenata i varijabli</b> .....	21
<b>3.4 Metode obrade podataka</b> .....	26
<b>4. Rezultati</b> .....	27
<b>5. Rasprava</b> .....	38
<b>6. Zaključak</b> .....	47
<b>7. Literatura</b> .....	48

## 1. Uvod

Pod pojmom biciklizam podrazumijeva se korištenje bicikla kao i svakog drugog sredstva u prijevozu koje je pokretano snagom ljudi. Pojam bicikla vežemo uz 19. stoljeće. Od tada su bicikli vrlo učinkovito prijevozno sredstvo s malim utroškom energije, nisu ovisni o energetske dostupnosti, ne proizvode buku, te ne zagađuju okoliš. Prije svega su prikladni u urbanim sredinama jer se njihovim korištenjem doprinosi smanjenju gužve u prometu, te su izbjegnuti problemi s pronalaskom parkirnog mjesta. Kod utrka u biciklizmu svojstveno je da se održavaju, gotovo po svim vremenskim uvjetima. Ukoliko se procijeni da je situacija izuzetno opasna i nepredvidiva, kao što su na primjer: olujni vjetar, grmljavina, tuča, opasnost od udara groma, suci mogu skratiti stazu ili otkazati utrku. U biciklizmu svrstavamo različite tipove utrka kao što su: klasična cestovna utrka, kriterijska utrka, kronometar, etapna utrka u trajanju do tjedan dana i Grand Tour utrka u koje spadaju Tour de France kao najpoznatija svjetska biciklistička utrka. Druge dvije Grand Tour utrke su: Giro de Italia i Vuelta a Espana. Kad govorimo o pojmu klasična cestovna utrka s konačnim ciljem, mislimo na najčešći oblik natjecanja u biciklizmu, odnosno na natjecanje koje se provodi od točke A do točke B ili kružnoj stazi koja ima start i cilj na istom mjestu. Kod kriterijske utrke svojstveno je da se vozi na određeni broj krugova ili na vrijeme. U kronometarskim utrkama razlikujemo pojedinačni i ekipni kronometar. Glavno obilježje kronometra je da vozači startaju u vremenskom rastojanju s glavnim zadatkom da odvoze stazu pri čemu im se mjeri vrijeme, a iz čega proizlazi da je pobjednik onaj tko u najkraćem vremenskom periodu odvozi zadanu rutu. Kronometar je poznat pod nazivom „Utrka istine“ jer u tom tipu natjecanja nema taktiziranja, nego se temelji isključivo na pripremljenosti natjecatelja. Etapna utrka je višednevna utrka koja se sastoji od klasičnih utrka, te može uključivati i nekoliko kronometara, kao i kriterijskih utrka. Vrijeme ostvareno u svim etapama se zbraja, a pobjednik je onaj koji ostvari najmanje ukupno vrijeme. Specifičnost Grand Tour utrka je trajanje u vremenskom razdoblju od 3 tjedna, a uključuju prolazak kroz planinske predjele (Kresonja, 2011).

Razumijevanje intenziteta u biciklizmu u svrhu planiranja i programiranja treninga je nužno kako bi se ostvario puni potencijal natjecatelja (Padilla, Mujika i Orbananos, 2000). Fiziološka analiza natjecateljskih zahtjeva stoga predstavlja vrlo važan segment ukupnog trenajnog procesa i pripremanja za natjecanje. Manji broj istraživanja je posvećen analizi

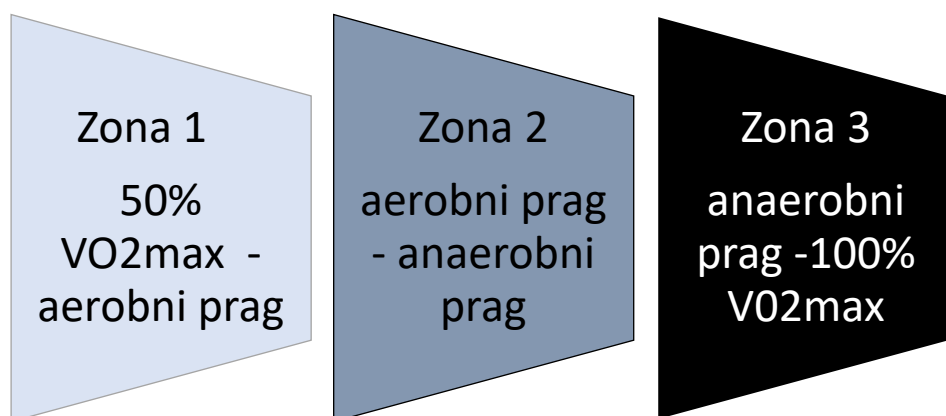
dugotrajnih utrka. Većina istraživanja fiziološkog odgovora u biciklizmu provedena je na olimpijskim disciplinama te disciplinama u kojima postoje službena natjecanja. Utrka na 1000 kilometara predstavlja ultra dugotrajno natjecanje u kojoj je gornja granica završetka postavljena na 75 sati, a sama utrka se odvija u kontinuitetu za razliku od najpopularnijih svjetskih utrka koje se odvijaju po etapama. Analiza fiziološkog odgovora na takvu utrku omogućila bi uvid u veličinu fizioloških zahtjeva utrke te ponudilo informacije o ograničavajućim faktorima utrke, a koji bi onda mogli postati predmet trenažnog rada.

Kad govorimo o uspjehu u cestovnom biciklizmu, bitno je za istaknuti da on uvelike ovisi o nizu faktora kao što su: vremenski uvjeti, uvjeti koji proizlaze iz okoliša, terena, te razrađene strategije i taktike. Temelj uspjeha leži u funkcionalnim sposobnostima, baš kao i kod ostalih sportova izdržljivosti. Najvažnije obilježje uspješnih vozača je izdržljivost, nastavak vožnje unatoč pojavi umora, aerobna snaga te ekonomičnost. Tako na primjer vožnja nizbrdo na uskim cestama čija brzina iznosi do 100 kilometara na sat, podrazumijeva maksimalno fokusiranje, ravnotežu, kočenje te vještinu ulaska u zavoje za razliku od vožnje u peletonu do 200 ljudi koja zahtjeva brzo donošenje odluka u određenoj situaciji, koncentraciju, brzo razmišljanje i reflekse. Ranije navedeni čimbenici svakako traže dugogodišnje iskustvo, vježbanje i vještinu, no uspoređujući biciklizam s ekipnim sportovima, tehnika i vještina su relativno niski, a iz stoga proizlazi da je biciklizam sport koji uvelike ovisi o funkcionalnim sposobnostima (Laursen i Buchheit, 2018). Bitno je za istaknuti da profesionalni biciklisti, uključujući treninge i natjecanja u godini naprave 30000-35000 kilometara. Natjecateljski period započinje sredinom veljače, a završava krajem ljeta odnosno početkom jeseni. Natjecateljska sezona sastoji se od 90-100 natjecateljskih dana, a uključuje: klasične to jest jednodnevne utrke, etapne utrke u trajanju tjedan dana i Grand Tour natjecanja (Lucia, Hoyos i Chicharro, 2001).

Uporaba tehnoloških dostignuća kao što su: mjerač srčane frekvencije, globalni sustav pozicioniranja (GPS) te sustav za mjerenje energetske potrošnje, odnosno razvojem sportsko dijagnostičke tehnologije omogućena je jednostavnija, detaljnija i jeftinija provedba testiranja za procjenu funkcionalnih sposobnosti (Vučetić, 2009). Vučetić, Šentija i Matković (2002) objašnjavaju kako je poznavanje zona intenziteta polazišna osnova u planiranju i programiranju treninga. Za ispravno doziranje i praćenje trenažnog opterećenja u svrhu postizanja željene razine sportske forme, potrebno je prije svega razumjeti raspon kretanja



trenažnih zona kao i njihov utjecaj na ljudski organizam (Vučetić i Šentija, 2005). U sportskoj literaturi postoji više načina podjele zona intenziteta. U modelu podjele na 3 zone (Slika 1), zona 1 je laganog opterećenja te se nalazi ispod prvog ventilacijskog praga. Zona 2 nalazi se između aerobnog i anaerobnog, odnosno drugog ventilacijskog praga i karakterizira ju umjeren intenzitet tjelesne aktivnosti. Povećanje opterećenja iznad drugog ventilacijskog praga vodi u zonu 3 koju opisuje visok intenzitet aktivnosti (Rodriguez i sur, 2003).



Slika 1. Podjela intenziteta na 3 osnovne zone. Modificirano prema Seiler, S. (2010). A three-intensity-zone model based on identification of ventilatory thresholds. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 276-291.

Klasifikacija na 5 trenažnih zona primjerenija je za iskusne sportaše i trenere. Pruža više podataka te omogućuje precizniju raspodjelu opterećenja. U tablici 1. prikazana je podjela na 5 trenažnih zona (Laursen i Buchheit, 2018).

Tablica 1. Podjela intenziteta na 5 zona (modificirano prema Laursen i Buchheit, 2018).

Zone intenziteta	% od maks. frekvencije srca	Laktati (mmol/L)	Subjektivna procjena opterećenja	Efektivno radno vrijeme za pojedinu zonu
1	60-72	0.8-1.5	1-2	1-6 sati
2	72-82	1.5-2.5	2-3	1-3 sati
3	82-87	2.5-4.0	3-4	50-90 minuta
4	88-93	4.0-6.0	4-6	30-60 minuta
5	94-100	6.0-10.0	7≥8	15-30 minuta

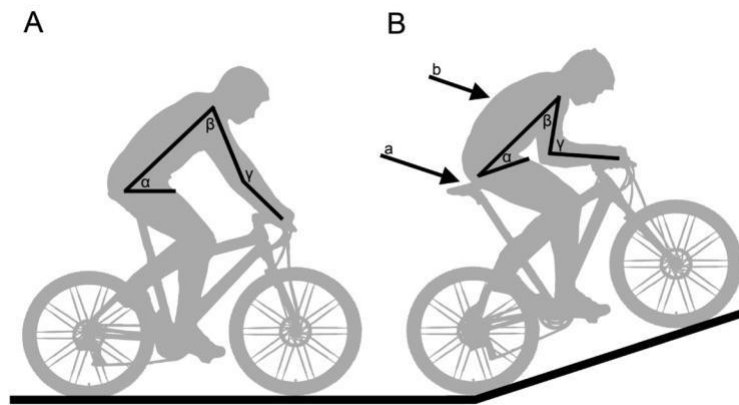
Legenda: Podaci su djelomično preuzeti i prilagođeni iz „Science and Application of high-intensity interval training“, P. Laursen i M. Buchheit, 2018, *Human Kinetics*, str. 173.

Cestovni biciklizam nazvan „ekstremni sport izdržljivosti“ profesionalnim biciklistima na Grand Tour utrka postavlja zahtjeve za savladavanje preko 3500 kilometara u periodu od 21 dan. Profesionalni biciklisti voze različite tipove utrka (brdske i kronometarske) u određenim etapama na intenzitetu preko 90% od maksimalnog primitka kisika kroz prolongirane vremenske periode (Lucia i sur., 2001). U skladu s ranije navedenim, treneri i biciklisti moraju usmjeriti pažnju na razvoj najvažnije sposobnosti, aerobnog kapaciteta. Aerobni i anaerobni prag te maksimalni primitak kisika čine parametre kojima se procjenjuje aerobni kapacitet. Kod aerobnog to jest prvog ventilacijskog praga dolazi do značajnijeg povećanja laktata u krvi (1,5-2 mmol/l). Karakterističnost anaerobnog, odnosno drugog ventilacijskog praga je najveći intenzitet aktivnosti, a da je pritom razina laktata u stabilnom stanju, odnosno uspostavljena je ravnoteža između njihovog stvaranja i razgradnje. Maksimalna količina kisika koju organizam može potrošiti u jednoj minuti je najjednostavnija definicija maksimalnog primitka kisika (Barstow, Casaburi i Wasserman, 1993).

Mnogobrojne nepredvidive varijable koje je gotovo nemoguće kontrolirati, kao što su: okolišni uvjeti, nadmorska visina, brzina i smjer vjetra, te timska taktika imaju ključni utjecaj na profesionalni cestovni biciklizam kao kompleksan sport. Grand Tour utrke poput Tour de Francea sadrže 3 vrste etapa: ravničarske, brdske i kronometarske (Lucia i sur., 2001). Ravničarske etape voze se u 7 ili više dana po 200 kilometara u trajanju 4-5 sati. Većinu vremena natjecatelji voze velikim brzinama unutar grupe od 150-200 vozača. Vožnja u grupi smanjuje otpor zraka, a posljedica je smanjen utrošak energije za 40%, što čini ukupni intenzitet utrke malen do umjerenog stimulusa (McCole, Claney i Conte, 1990). Za ravničarske etape je karakteristično da je najviše vremena provedeno na intenzitetu do 70% u trajanju 70% ukupnog vremena utrke, intenzitet u rasponu od 70% do 90% iziskuje 25% vremena utrke, a najmanje vremena je provedeno na intenzitetu iznad 90% od maksimalnog primitka kisika, odnosno 5% vremena od ukupnog trajanja utrke (Fernández-García, Perez-Landaluce i Rodríguez-Alonso, 2000). Potrebno je istaknuti da sposobnost vještog upravljanja biciklom najviše dolazi do izražaja pri vožnji u grupama pri čemu treba voditi računa o izbjegavanju sudara i padova. Većina vozača završavaju u istom vremenu, bez utjecaja na finalni ishod s pretpostavkom da nije bilo padova za vrijeme utrke. Ravničarske etape profesionalni biciklisti voze brzinom preko 45 kilometara na sat, što iziskuje vožnju na velikim zupčanicima (53 x 12-11). Tijekom najkritičnijih faza natjecanja kao što su brdske i kronometarske etape, nagomilani mišićni umor može značajno ograničiti natjecateljsku izvedbu (Lucía, Carvajal i Chicharro, 1999).

Specifičnost brdskih etapa je vožnja po planinskim prijevojima prosječnog nagiba 5-10%, kojih najčešće bude 3-5, a svaki uspon traje 30-60 minuta. Vozačima kojima su specijalnost brdske etape, prosječna brzina se kreće oko 20 kilometara na sat. Na prosječnu brzinu penjanjem uzbrdo utječu ranije navedeni nagibi brda, te savladavanje sile gravitacije. Stoga je tjelesna masa limitirajući faktor o kojem ovisi uspjeh penjačkih sposobnosti. Brdske etape su dužine oko 200 kilometara, a profesionalnim biciklistima je potrebno 5-6 sati da bi savladali zadanu distancu i visinsku razliku (Swain, 1994). Za uspjeh u profesionalnom cestovnom biciklizmu, nužan preduvjet je proizvodnja snage 6 i više watta po kilogramu tjelesne mase (Padilla, Cuesta i Goiriena, 1999; Lucia, Hoyos i Chicharro, 2000). Otpor kotrljanja nastaje kao sinergija između guma bicikla i površine ceste, a vožnja nižim brzinama u kombinaciji s grubim podlogama znatno utječe na povećanje otpora (Lucía i sur., 2000). Kako bi svladali navedene sile, biciklisti nerijetko mijenjaju pozicije od sjedećeg položaja do stojeće pozicije, stava koji im omogućuje prenošenje više sile na pedale, ali s manjom ekonomičnošću (Lucia, Hoyos i Chicharro, 2001). Specijalisti za brdske etape voze pri intenzitetima oko anaerobnog praga ili na 90% posto od maksimalnog primitka kisika (Lucía i sur., 1999; Padilla, Mujika i Cuesta, 1999). Ovisno o timskoj taktici i ciljevima, svaki vozač ima svoju ulogu pa nisu obvezni dati sve od sebe. Na pojedinim brdskim etapama vozači se penju i do 2000 metara visinske razlike, pa su shodno tome vozači izloženi hipoksičnim uvjetima koji dodatno otežavaju natjecateljske zahtjeve (Wolski, McKenzie i Wenger, 1996). Istraživanja su pokazala kako natjecanja u kombinaciji visokog intenziteta i nadmorske visine dovode do stvaranja intersticijskog plućnog edema (Anholm, Milne i Stark, 1999). Biciklizam je sport koji u sebi sadrži ciklična gibanja u kombinaciji s različitim položajima u raznovrsnim disciplinama (Minetti, Pinkerton i Zamparo, 2001). Ovisno o preferencijama, za vrijeme vožnje biciklisti u svim disciplinama prolaze kroz različite pozicije koje različito utječu na regrutaciju motoričkih jedinica, ali i na biomehaničke i fiziološke zahtjeve (Dorel, Couturier i Hug, 2009). U profesionalnom biciklizmu se pokazalo kako su brdske etape ključne te odlučuju pobjednika (Bertucci, Grappe i Girard, 2005; Hansen i Waldeland, 2008). Svladavanje gravitacijske sile je karakterističnost bicikliranja uzbrdo. Nagib na uzbrdicama nije konstantan, već je promjenjivog nagiba, što dovodi vozače u situaciju da modificiraju poziciju kako ne bi došlo do podizanja prednjeg kotača i klizanja sa sjedala (Fonda i Šarabon, 2012). Vožnja uzbrdo puna je izazova, a jedan od njih je i suočavanje s bolovima u donjem dijelu leđa, zbog specifične pozicije u odnosu na vožnju po ravnom terenu i samim time povećane sile na lumbalne kralješke (Salai, Brosh i Blankstein, 1999). Slika 2 prikazuje

potrebu za adaptacijom tijela prilikom vožnje uzbrdo. Kut kuka ( $\alpha$ ), kut ramena ( $\beta$ ) i kut lakta ( $\gamma$ ) su manji tijekom vožnje uzbrdo. Naglasak je sjedenje na prednjem dijelu sjedala (a), a leđa su zaobljenija (b) (Fonda i Šarabon, 2012).



Slika 2. Razlike u držanju tijela na ravnom (A) i brdovitom (B) terenu. Prerađeno prema Fonda, B. & Šarabon, N. (2012). *Biomechanics and energetics of uphill cycling: a review. Kinesiology, 1, 5-17.*

Frekvencija okretaja pedala (Gaesser i Brooks, 1975), položaj stopala (Disley i Li, 2012), položaj tijela (Ryschon i Stray Gundersen, 1991), te tip mišićnih vlakana (Coyle, Sidossis i Horowitz, 1992) su parametri o kojima ovisi efikasnost biciklističke vožnje kao produkta obavljenog rada i utroška energije. O ekonomičnosti vožnje govorili su Moseley i Jeukendrup (2001) definirajući je kao mjeru potrošnje kisika po jedinici proizvedene snage. Što se tiče ekonomičnosti vožnje, ona je jednaka pri niskim i visokim okretajima, ali postoji razlika između sjedećeg i stojećeg položaja pri vožnji. Prema Harnish, King i Swensen (2007) kod stojeće pozicije je evidentirana veća ventilacija za 6%, a detektirana je i povećana frekvencija disanja za 8%, što se pridodaje koordiniranom procesu kao što je ritmički obrazac disanja i kretanje putem pedaliranja.

Na Grand Tour utrkama tip etape koji se vozi u najmanjem broju je vožnja na Kronometar, koja je od presudne važnosti za plasman u konačnici. Najčešće se voze 3 etape, jedna kraća dužine 5-10 kilometara, te dvije duže, duljine 40-60 kilometara. Kod zadnja dva slučaja najčešće se vozi po ravnom terenu, a na konačan ishod kao glavno obilježje utječe otpor zraka, dok veličina prednjih kotača značajno rješava prethodni problem (Lucía i sur., 2000; Fernandez-Garcia i sur., 2000). Kod borbe za konačan plasman profesionalni biciklisti na Grand Tour utrkama voze prosječnom brzinom oko 50 kilometara na sat, odnosno mogu

držati 1 sat intenzitet na anaerobnom pragu to jest na 90% od maksimalnog primitka kisika (Lucía i sur., 1999). Ključ ostvarivanja vrhunskih rezultata je okretanje velikih zupčanika (54-55 x 12-11) na oko 90 okretaja u minuti kroz prolongirani vremenski period (Padilla, Mujika i Orbananos, 2000), a proizvedena prosječna snaga je veća od 400 watta (Padilla i sur., 1999).

Ultra dugotrajne utrke definiraju se kao natjecanja koja traju minimalno 6 sati (Zaryski i Smith, 2005). S obzirom na popularnost i sve veću zainteresiranost za sudjelovanjem na ultra dugotrajnim utrkama, kao i nužnost adekvatne pripreme, procjenjivanje fizioloških zahtjeva natjecanja te razumijevanje intenziteta vježbanja je prijeko potrebno za ostvarivanje maksimalnih postignuća (Neumayr, Pfister i Mitterbauer, 2004). Gilman (1996) i Gilman i Wells (1993) smatraju kako intenzitet ultra dugotrajnih utrka može biti procijenjen kroz odgovor srčane frekvencije. Neumayr i suradnici (2003) su u svom istraživanju ukazali kako su ultra dugotrajne utrke umjerenog intenziteta. Ispitaniku je za savladati 460 kilometara s 11000 metara visinske razlike bilo potrebno 20 sati i 51 minuta. Čak 99.6 % utrke je odvoženo u aerobnim uvjetima, dok je 0.4 % provedeno iznad anaerobnog praga. Za ostvarivanje vrhunskih rezultata u sportovima izdržljivosti  $VO_{2max}$ , anaerobni prag, ekonomičnost pokreta te  $\%VO_{2max}$  igraju važnu ulogu (Dengel, Flynn i Costill, 1989; Sleivert i Rowlands, 1996), no anaerobni prag se pokazao kao najvažniji prediktor uspjeha u sportovima izdržljivosti (Coyle i sur., 1991; Bishop, Jenkins i Mackinnon, 1998). Kada je riječ o anaerobnom pragu, Rakovac (2011) navodi: „Anaerobni prag se može definirati kao intenzitet rada ili primitak kisika pri kome se prvi put značajnije povećava koncentracija laktata u plazmi, povećava stvaranje i eliminacija  $CO_2$  s istovremenim porastom respiracijskog kvocijenta (RQ) i eksponencijalno se povećava plućna ventilacija. Iznad (odnosno od) točke anaerobnog praga koncentracija laktata počinje eksponencijalno rasti“ (str. 1). Kreider (1991) je u svom radu naveo kako u triatlonu povećanjem dužine utrke termoregulacija te unos tekućine i energije imaju velik utjecaj na sposobnosti i ishod natjecanja. Tijekom utrke je potreban povećan unos tekućine, 1-2 litre svakih sat vremena, kako bi se smanjile smetnje u funkcioniranju srčano žilnog sustava. Čak mala dehidracija može dovesti do povećanja srčane frekvencije i povećanja središnje temperature tijela, dok je potreba za unosom ugljikohidrata 30-60 g/h (Coyle, 1994). Punjenje ugljikohidratima će omogućiti dovoljnu koncentraciju glukoze u krvi, potrebne za proizvodnju energije iz glukoze u krvi i glikogena pohranjenog u mišićima (Cogan i Coyle, 1991; Coyle, Coggan i Hemmert, 1986). Stoga je nadoknada tekućine i ugljikohidrata nužna za ispravan rad srčano žilnog

sustava tijekom ultra dugotrajnih natjecanja (Coyle, 1994). Vrlo je mali broj istraživanja u kojima su analizirane ultra dugotrajne utrke u trajanju od nekoliko desetaka sati ili čak dana. Problem s kojim se suočavaju sportaši tijekom produžene tjelesne aktivnosti, a posebno kod ultra dugotrajnih natjecanja je kardiovaskularni drift, fenomen u kojem se udarni volumen i frekvencija srca nalaze u obrnuto proporcionalnom odnosu, to jest frekvencija srca se povećava smanjenjem udarnog volumena kako bi se održao minutni volumen srca tijekom produžene tjelesne aktivnosti (Shaffrath i Adams, 1984; Grant, Green i Phillips, 1997).

Istraživanje Brayson, Frigiola i Clark (2018) je također pokazalo promjene u kretanju frekvencije srca tijekom natjecanja. Kroz utrku (dužine 4000 km) je zabilježen pad prosječne frekvencije srca, da bi pred kraj natjecanja vrijednosti srčane frekvencije porasle, odnosno krivulja je dobila oblik slova U. Kako je utrka odmicala, svakodnevno su zabilježena progresivna povećanja vršne frekvencije srca, a na sedmi dan ujutro prije natjecanja ispitanik je doživio povećanu frekvenciju srca u mirovanju, započevši utrku, vrijednosti su pale otprilike na normalnu razinu. Frekvencija srca u mirovanju mjerena je svakodnevno 9 dana nakon utrke. U početku je frekvencija srca bila visoka, smanjujući se tijekom vremena, ali nedovoljno da bi došla na početnu razinu prije početka utrke, to jest na 50 otkucaja u minuti. Ultra dugotrajne utrke voze se na manjoj frekvenciji srca zbog ukupnog trajanja natjecanja. Ovaj slučaj prikazuje ispitanika koji je u početku iskusio spomenuti fenomen, ali je odmicanjem utrke u kasnijoj fazi doživio porast frekvencije srca. Na prethodni ishod su utjecali mnogi ekstremni zahtjevi tijekom natjecanja, a daljnji cilj je usredotočiti se na prepoznavanje sličnih reakcija kod ostalih ispitanika, te utvrditi jesu li glavni uzroci promjena, fiziološke, okolišne ili genetske prirode. Knechtle, Bragazzi i Rosemann (2015) su proveli istraživanje u svrhu praćenja performansi tijekom 24 satne utrke s namjerom rušenja svjetskog rekorda u cestovnom biciklizmu. U istraživanju je sudjelovao jedan ispitanik s iskustvom u ultra natjecanjima. U 24 sata, biciklist je odvezio 896.2 kilometara prosječnom brzinom 37, 34 kilometara na sat, prosječnom snagom 250.2 watta. Metoda vožnje „pozitivnim splitom“ se pokazala kao najbolja strategija, tako da su brzina i snaga linearno padale. Barrero, Chaverri i Erola (2014) u svome radu također navode rezultate pada frekvencije srca tijekom natjecanja. Na utrci dugog triatlona, sudjelovalo je 9 muških natjecatelja. Dobiveni podaci ukazuju kako je prosječna frekvencija srca na natjecanju bila najveća na plivanju (149.2 o/min), biciklu (137.1 o/min), a najmanja na trčanju (136.2 o/min). Tijekom biciklističkog i trkačkog segmenta, frekvencija srca je bila ispod prvog ventilacijskog praga. Rodriguez-Marroyo, Gonzalez-Lazaro i Arribas-Cubero (2018) su

analizirali intenzitet natjecateljskog opterećenja tijekom planinskih utrka različitih dužina. U istraživanju je sudjelovalo 7 planinskih trkača, a natjecali su se na vertikalnim utrkama, na utrkama dužine 10-25 kilometara, 25-45 kilometara i preko 45 kilometara. Na temelju ranije dobivenih zona intenziteta, rezultati pokazuju kako se vrijeme provedeno u zoni 1 povećavalo dužinom utrke, dok je na vertikalnim utrkama zabilježen najveći postotak vremena provedenog u zoni 3. Može se zaključiti da je na brdskim utrkama prisutan visok intenzitet i fiziološka opterećenja s kojima su trkači suočeni tijekom natjecanja na različitim distancama.

Leo i suradnici (2021) su u svome radu analizirali opterećenje i natjecateljske zahtjeve tijekom etapne utrke u Alpama između kategorije do 23 godine i profesionalnih cestovnih biciklista. Rezultati pokazuju kako profesionalci provode više vremena u rasponu od 5.0 do 7.9 W/kg. Također, profesionalci su provodili više vremena u zoni 1 i 2, dok je U23 dobna kategorija provodila više vremena u zoni 4 i zoni 5. U23 vozači dolaze brže do umora te moraju poraditi na omjeru proizvedene snage u odnosu na tjelesnu masu. Slično istraživanje proveli su Muriel i suradnici (2021) uspoređujući fiziološke zahtjeve i natjecateljsku izvedbu tijekom Grand Tour utrke između World Tour i Pro Team kategorija. Pokazalo se da World Tour ekipe ostvaruju bolji generalni plasman, veću energetska potrošnju te provode više vremena na anaerobnom pragu i maksimalnom primitku kisika. Bitno je za napomenuti da Pro Team ima različite ciljeve (osvajanje etape) u odnosu na World Tour ekipe (osvajanje Grand Tour-a) koji su mogli utjecati na rezultate. Zanimljivost je da su najbolji vozači Pro Team ostvarili bolje generalne pozicije i proizvedenu relativnu snagu od nekih vozača iz World Tour ekipa, što ukazuje da najviši rang u elitnom biciklizmu ne mora nužno značiti i najbolje vozače. Istraživanje provedeno od strane Sanders, van Erp i de Koning (2019) pokazuje kako postoje razlike između muškaraca i žena u profesionalnom cestovnom biciklizmu. Dobivene vrijednosti pokazuju kako muškarci proizvode veću apsolutnu snagu, voze duže distance, pa su i vremena utrke duža, energetska potrošnja i ukupno opterećenje veće. S druge strane, kod žena je zabilježeno više provedenog vremena u zoni 4 i zoni 5 tijekom utrke, što se pripisuje kraćem trajanju natjecanja u odnosu na muškarce. Uspoređujući muškarce i žene, istraživanje pokazuje kako postoje razlike između ekstenziteta i intenziteta utrka, pa je i sam pristup treniranju drugačiji. Nadalje, Sanders i Heijboer (2019) su analizirali natjecateljsko opterećenje na Grand Tour natjecanju između različitih vrsta etapa, odnosno ravničarskih, polu brdskih, brdskih i kronometarskih etapa. Dobiveni rezultati pokazuju kako je najveći intenzitet aktivnosti zabilježen u kronometarskim etapama. Kratka distanca, dužine oko 20 kilometara omogućuje vozačima vožnju na oko 177 otkucaja u minuti u prosjeku, te vožnju

prosječnom snagom 371 watt. Nadalje, najveće ukupno opterećenje zabilježeno je na brdskim etapama. Intenzitet nije tako visok kao u kronometru, te distanca drugačija nego u ravničarskim i polu brdskim etapama, stoga brdske etape čine kombinaciju intenziteta i ekstenziteta. Brdske etape karakterizira vožnja 167 kilometara na prosječnoj frekvenciji srca od 141 otkucaj u minuti te prosječnom snagom 254 watta. Slijede ravničarske i polu brdske etape. Kod ravničarskih i polu brdskih etapa je zabilježena veća proizvedena snaga u kratkim vremenskim trajanjima (5-30 sekundi – ravničarske etape i 30-120 sekundi – polu brdske etape), dok brdske i kronometarske etape dolaze do izražaja u trajanjima dužim od 10 minuta. Ravničarske i polu brdske etape dužina su preko 190 kilometara, a iziskuju samo 125 otkucaja u minuti, te prosječnu snagu od 200 watta.

U sličnom radu Van Erp, Hoozemans, Foster i Koning (2020) uspoređivali su natjecateljsko opterećenje između Grand Tour natjecanja, odnosno Vuelta a Espana 2015., Giro d Italia 2017., i 2018. te Tour de France 2018. kod jednog elitnog bicikliste. Pokazalo se kako je na sva četiri Grand Tour-a najviše vremena (80%) provedeno u zoni 1, 2 i 3, (10%) u zoni 4, te (10%) u zoni 5. Jedina iznimka bio je Giro d Italia 2018., kada je biciklist proveo manje vremena u zoni 5 u odnosu na ostala Grand Tour natjecanja. Uspoređujući rad (Brayson i sur., 2018) s ranije navedenim radovima, može se zaključiti kako postoje razlike između ultra dugotrajnih natjecanja i profesionalnih biciklističkih utrka, poput Grand Tour natjecanja.

Analizirajući dostupna istraživanja može se zaključiti kako postoje razlike između ultra dugotrajnih natjecanja i profesionalnih biciklističkih utrka, poput Grand Tour natjecanja. Postoje različite dužine ultra dugotrajnih natjecanja, od 24 sata do više povezanih dana (Knechtle i sur., 2015; Brayson i sur., 2018), dok Grand Tour utrke uključuju 21 etapu prosječnog trajanja 4-5 sati dnevno, s 2 dana odmora nakon svakog tjedna (Lucia i sur., 2001). U ranije spomenutom radu Sanders i Heijboer (2019) utvrđene su razlike između etapa na Grand Tour natjecanju (Tablica 2). S druge strane, u radu Braysona i suradnika (2018) analizirana je ultra dugotrajna utrka dužine 4000 kilometara. Zanimljivo je da utrka traje čak 10000 minuta duže od najduže etape na Grand Tour-u. Također, interesantna stvar je prosječna frekvencija srca od 134 otkucaja kroz cijelo natjecanje. U odnosu na analizirani Grand Tour, ravničarske i polu brdske etape su vožene na manjoj prosječnoj frekvenciji srca, dok je na brdskim etapama, frekvencija srca bila veća. Još jedna zanimljivost je postignuta maksimalna frekvencija srca od 207 otkucaja u desetom danu natjecanja, a kronometarska od



svih ranije spomenutih etapa, konkurira s 184 otkucaja. Znatna razlika je prisutna u prosječnoj snazi. Na utrci na 4000 kilometara, biciklist je vozio u prosjeku 109 watta, što je čak 260 watta manje u odnosu na kronometarsku etapu. Do izražaja dolazi i prosječna brzina od 23,1 kilometar na sat na koju je utjecalo 36147 metara visinske razlike, dok je ravničarska etapa vožena prosjekom 40,5 kilometara na sat. U radovima u kojima su analizirani profesionalni biciklisti nisu navedeni podaci o kardiovaskularnom driftu i deprivaciji sna, dok su u radu (Brayson i sur., 2018) navedena oba problema s kojima se suočavao ispitanik tijekom natjecanja. Može se primijetiti kako postoje sličnosti i razlike u fiziološkim zahtjevima između ultra dugotrajnih natjecanja i etapa na Grand Tour natjecanju, dok distanca i vremensko trajanje utječu na manju prosječnu snagu i frekvenciju srca (Tablica 3).

Tablica 2. Varijable različitih etapa na Grand Tour natjecanju i ultra dugotrajnoj utrci.

VRSTA UTRKE	TRAJANJE (min)	DISTANCA (km)	BRZINA (km/h)	VISINSKA RAZLIKA (m)	PROSJEČNA FREKVENCIJA SRCA (otk/min)	MAKSIMALNA FREKVENCIJA SRCA (otk/min)	PROSJEČNA SNAGA (W)
KRONOMETARSKE ETAPE	38±24	21±15	36,5±12,9	377±388	177±10	184±12	371±47
RAVNIČARSKE ETAPE	277±21	189±15	40,5±1,26	849±684	125±9	177±10	196±29
POLU BRDSKE ETAPE	311±35	214±23	40,6±1,9	1772±784	128±4	173±4	217±20
BRDSKE ETAPE	311±66	167±33	32,1±3,4	3814±996	141±10	177±11	254±19
ULTRADUGOTRAJNA UTRKA*	10423	3978,7	23,1	36147	134	207	109

Legenda: Podaci su djelomično preuzeti i prilagođeni iz „Dynamic heart rate response to multi-day unsupported ultra-endurance cycle racing: A case report“, Brayson, D., Frigiola, A., Clark, E-J, 2018, *Experimental physiology*, 104(2): 174-179; „Physical demands and power profile of different stage types within a cycling grand tour“, Sanders, D., Heijboer, M, 2018, *European journal of sport science*, 19(6).

\* ne sadrži ± jer je u pitanju 1 ispitanik

Tablica 3. Varijable prosječne frekvencije srca i snage po etapama na Grand Tour natjecanju

Vrijeme i snaga provedene u pojedinim zonama tijekom različitih etapa GT utrke	Z1	Z2	Z3
	Ravničarske Fs: 93,7±5,4% W: 79,5±5,5%	Kronometarske: Fs: 12,5±5,9% W: 20,2±21%	Kronometarske: Fs: 83,3±11,8% W: 64,1±24,6%
	Polubrdske Fs: 96,2±5,9% W: 75,8±5,7%	Brdske Fs: 11,3±11% W: 12,7±2,9%	
	Brdske: Fs: 86,9±13,1% W: 68,6±9,3%		

Legenda: Podaci su djelomično preuzeti i prilagođeni iz „Physical demands and power profile of different stage types within a cycling grand tour“, D. Sanders i M. Heijboer, 2019, European Journal of Sport Science, 19(6), 5.

## **2. Ciljevi i hipoteze**

Cilj istraživanja je utvrditi fiziološko opterećenje organizma na biciklističku utrku na 1000 kilometara. Fiziološki odgovor na utrku analiziran je po etapama utrke kako bi se dobio uvid u dinamiku fiziološke reakcije i opterećenje aktivnosti tijekom utrke.

H1: Biciklistička utrka na 1000 kilometara rezultirati će statistički značajnim padom snage i frekvencije srca, te povećanjem subjektivne procjene opterećenja tijekom 4 etape i cjelokupnog natjecanja.

### **3. Metode istraživanja**

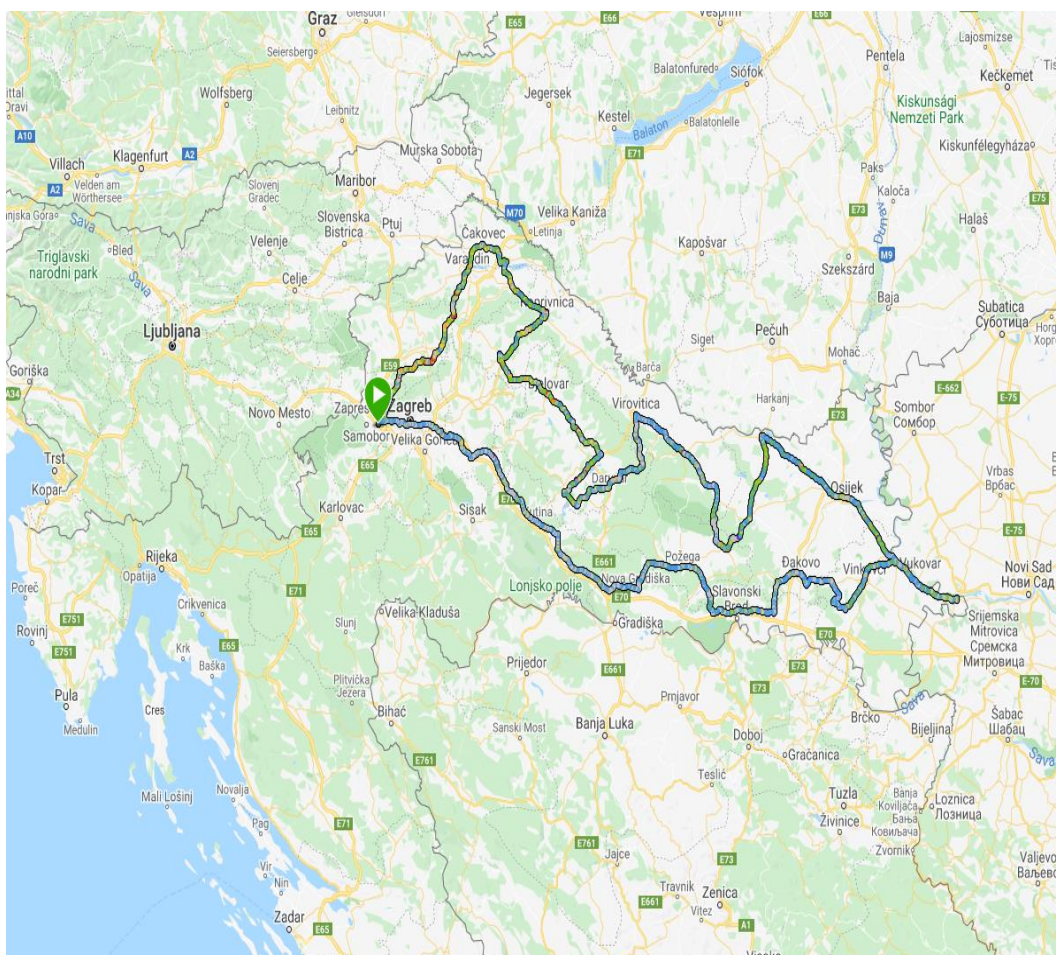
#### **3.1 Uzorak ispitanika**

Uzorak ispitanika činilo je 3 muška biciklista dobi  $37,93 \pm 9,9$  godina, visine  $182,63 \pm 6,9$  centimetara i težine  $90,44 \pm 8,8$  kilograma. Uzorak ispitanika čine biciklisti koji se natječu na nacionalnoj razini. Ispitanici imaju preko 3 godine trenažnog i natjecateljskog iskustva, a u prosjeku voze 300 kilometara tjedno kroz 4-5 treninga. Za vrijeme natjecateljskog perioda, 1-2 mjesečno sudjeluju na ultra dugotrajnim natjecanjima različitih dužina. Proces prikupljanja podataka je proveden bez značajnih opasnosti za ispitanike, rizika od ozljeda ili bolesti. Ispitanici su potpisali izjave o *Pristanku odrasle osobe za sudjelovanje u istraživanju*. Izjava je sadržavala podatke o procedurama za vrijeme istraživanja, aktivnostima ispitanika, koristima ispitanika, te, procijenjenim rizicima ispitanika. Provedba istraživanja odobrena je od strane etičkog povjerenstva Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

#### **3.2 Opis protokola testiranja**

Istraživanje je provedeno sredinom petog mjeseca 2021. godine, a provedeno je u 2 dijela. Prvi dio istraživanja uključivao je laboratorijsko testiranje na Kineziološkom fakultetu u Zagrebu, dok je drugi dio istraživanja uključivao biciklističku utrku na 1000 kilometara. Laboratorijsko testiranje se sastojalo od 2 dijela. Dolaskom u dijagnostički centar, ispitanici su ispunili anketu s osobnim podacima nakon koje slijedi definiranje morfološkog statusa ispitanika, te neposredno nakon, biciklistički progresivni test opterećenja s ciljem utvrđivanja frekvencije srca i snage na prvom i drugom ventilacijskom pragu te na  $VO_{2max}$ . Nakon realizacije početnog testiranja 11.5.2021. u sportsko dijagnostičkom centru Kineziološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, ispitanici su imali 9 dana odmora i laganih treninga do početka Biciklističke utrke na 1000 kilometara. Zadatak za ispitanike od početka do kraja utrke je bilo praćenje frekvencije srca i snage pomoću ciklokompjutora, trake za mjerenje frekvencije srca i mjerača snage te bilježenje subjektivne procjene opterećenja svaka 3 sata u upitnik koji su dobili prije starta. Istraživanje je koncipirano na način da je dobivenim podacima o frekvenciji srca, snazi i SPO praćena dinamika fiziološkog odgovora kroz utrku podijeljenu na 4 vremenski jednake etape. Mjesto starta je bilo smješteno kod sportskog

centra Sveta Nedjelja. Startalo se u četvrtak u 9 ujutro, a završetak je bio predviđen u nedjelju u 12 navečer na istoj lokaciji. Staza je duga 1020 kilometara s 5700 metara visinske razlike. Gornja granica za završetak je postavljena na 75 sati. Prije starta sudionici su dobili kontrolni karton s postavljenih 11 kontrolnih točaka (Sveta Nedjelja, Čakovec, Koprivnica, Križevci, Garešnica, Virovitica, Kutjevo, Donji Miholjac, Ilok, Cerna, Požega, Kutina, Sveta Nedjelja) koje je potrebno upisati u dobiveni karton, te plan puta koji su ispitanici unijeli u svoj ciklokompjutor kako bi pratili zadanu rutu (Slika 3). Vozi se neovisno o vremenskim uvjetima i dobu dana. Ispitanici su samostalno tempirali vrijeme stajanja kako bi jeli, presvlačili odjeću, obavljali nuždu i spavali. Inicijalnim testiranjem u laboratorijskim uvjetima krenulo je 3 ispitanika, a isti su završili natjecanje unutar limita, bez ozljeda i po ranije utvrđenim kriterijima (memoriranje podataka o frekvenciji srca, snazi i subjektivne procjene opterećenja).



*Slika 3. Prikaz staze kojom je vožena biciklistička utrka na 1000 kilometara*

### 3.3 Opis mjernih instrumenata i varijabli

#### 3.3.1 Morfološke karakteristike

Mjerama longitudinalne dimenzioniranosti skeleta, voluminoznosti i mase tijela, te analizom sastava tijela i potkožnog masnog tkiva, dobivena su morfološka obilježja ispitanika. Longitudinalna dimenzioniranost skeleta mjerena je pomoću antropometrijskog seta za mjerenje morfoloških karakteristika ispitanika (GPM, Švicarska), uz preciznost 0,1 cm. Vrijednosti tjelesne mase dobivene su mehaničkom, decimalnom medicinskom vagom, uz preciznost 0,1 kg, dok su rezultati potkožnog masnog tkiva i sastava tijela dobiveni pomoću analizatora za sastav tijela (TANITA - BC418).

*Varijable longitudinalne dimenzioniranosti skeleta te voluminoznosti i mase tijela:*

- Visina tijela (cm)
- Težina tijela (kg)

*Varijable sastava tijela:*

- Ukupno % masti

#### 3.3.2 Progresivni kontinuirani test opterećenja na bicikl ergometru

Prije testiranja, ispitanici su ispunili upitnik s osobnim podacima, životnim navikama i zdravstvenim problemima. Laboratorijski uvjeti za testiranje bili su adekvatni, prozračena prostorija temperature 20°C, te provjerena i kalibrirana mjerna oprema prije svakog mjerenja. Definiranjem kinantropometrijskih mjera uslijedio je test na biciklističkom ergometru CompTrainerProLab (CompuTrainer, USA) i PC-a s programskom podrškom softvera CompCS (CompuTrainer, USA). Nakon podešavanja osobnog bicikla na ergometar ispitanicima su navedene finalne upute o testu. Provedenim zagrijavanjem 5 minuta na 50W, započinje test s 1 minutom mirovanja sa svrhom praćenja ventilacijskih i metaboličkih parametara. Početno opterećenje bilo je postavljeno na 50W, povećavajući se svake minute za 20W. Frekvencija pedaliranja je 90 okretaja u minuti, a podaci su se pratili na postavljenom zaslonu ispred ispitanika. Podaci o frekvenciji srca, snazi i okretajima su praćeni pomoću ciklokompjutora marke Garmin 520 Edge (Njemačka) u kombinaciji s garminovim powermetrom Vector 2 na pedalama te Soft strap premium heart rate trakom za

mjerenje frekvencije srca obavijenom oko prsnog koša. Test se izvodi do iscrpljenja, to jest, do maksimalnih postignutih watta, a da pritom više nije moguće pedalirati zadanim okretajima. Završetkom testa, ispitanici su 90 sekundi nastavili voziti opterećenjem 50W. Praćenjem parametara za vrijeme progresivnog testa opterećenja, dobivene su vrijednosti frekvencije srca i snage na prvom i drugom ventilacijskom pragu te maksimalnom primitku kisika od strane stručnjaka s dugogodišnjim iskustvom u provedbi laboratorijskih testova. Praćenje ventilacijskih parametara dobiveno je pomoću maske za nos i usta te računalnog sustava Quark b<sup>2</sup> (Cosmed, Italija) u svrhu prikupljanja, prikaza, pohrane te analize željenih podataka. Prvi i drugi ventilacijski pragovi dobiveni su na temelju neproporcionalnog porasta izdahnutog ugljičnog dioksida u odnosu na udahnuti kisik ( $VCO_2/VO_2$ ). Progresivni test opterećenja proveden je u sportsko dijagnostičkom centru na Kineziološkom fakultetu.



*Slika 4. Zagrijavanje prije progresivnog testa opterećenja u dijagnostičkom centru Kineziološkog fakulteta u Zagrebu*

*Varijable frekvencije srca:*

- FS na aerobnom pragu
- FS na anaerobnom pragu
- FS na maksimalnom primitku kisika

*Varijable snage:*

- Snaga na aerobnom pragu
- Snaga na anaerobnom pragu
- Snaga na maksimalnom primitku kisika

### 3.3.3. Biciklistička utrka na 1000 kilometara

Utrka na 1000 kilometara predstavlja ultra dugotrajno natjecanje u kojoj je gornja granica završetka postavljena na 75 sati. Tijekom istraživanja praćene su vrijednosti frekvencije srca, snage i subjektivne procjene opterećenja. Subjektivnu procjenu opterećenja (SPO) razvio je švedski istraživač Gunnar Borg (Borg, 1982). Skala s ponuđenim ocjenama je koristan alat za mjerenje opterećenja pojedinca tijekom tjelesne aktivnosti. Jednostavna metoda koja u kombinaciji s povećanom frekvencijom srca, povećanom frekvencijom disanja, pojačanim znojenjem i zamorom mišića, predočava kako se osoba osjeća s obzirom na opterećenje u datom trenutku. Jednostavnost metode proizlazi iz činjenice da je sportašima dovoljno objasniti kako skala djeluje te ih u željenom trenutku pitati kako se osjećaju, te zabilježiti podatke (Foster, Daniels i Hector, 1996). Bok (2021) objašnjava kako SPO sadrži informacije o opterećenju srčano-žilnog, živčano-mišićnog, mišićno-koštanog sustava, ali i o mentalnom opterećenju to jest ukupnom umoru. Raspon ocjena omjerno-kategorijske skale, kreće se od 0 do 10, te je uz svaku ocjenu navedena opisna kategorija.



Tablica 4. Skala subjektivne procjene opterećenja

Ocjena	Opisna kategorija
0	Odmor
1	Jako, jako lagano
2	Lagano
3	Umjeren
4	Donekle teško
5	Teško
6	
7	Jako teško
8	
9	
10	Maksimalno

Legenda: Podaci su djelomično preuzeti i prilagođeni iz „Dinamika akutnog fiziološkog odgovora na različita opterećenja“, D. Bok, 2021. Zbornik radova 19. godišnje međunarodne konferencije Kondicijska priprema sportaša, str. 36.

U svrhu istraživanja, dinamika opterećenja je praćena kroz cijelo natjecanje, odnosno kroz 4 jednake vremenske etape. Progresivnim testom opterećenja definirana je FS i snaga na prvom i drugom ventilacijskom pragu te  $VO_{2max}$ , to jest, opterećenje je podijeljeno na 3 zone intenziteta. Zona 1 je ispod prvog ventilacijskog praga, zona 2 između prvog i drugog ventilacijskog praga, te zona 3 iznad drugog ventilacijskog praga. Na temelju 3 zone intenziteta, dobiveno je ukupno vrijeme utrke te vrijeme po etapama s FS i snagom ispod aerobnog praga, ukupno vrijeme utrke, te vrijeme po etapama s FS i snagom između aerobnog i anaerobnog praga, ukupno vrijeme utrke, te vrijeme po etapama s FS i snagom iznad anaerobnog praga, prosječna i vršna FS i snage cijele utrke, prosječna i vršna FS i snage po etapama (4 etape po 25% cjelokupne utrke), te postotak ukupnog vremena za cijelu utrku i po etapama. Također, ispitanici su tijekom cijelog natjecanja, svaka 3 sata, bilježili u upitnik subjektivnu procjenu opterećenja, pa su na temelju podataka svih ispitanika dobivene vrijednosti SPO-a tijekom cijelog natjecanja i za vrijeme sve četiri etape. Svaki ispitanik je vozio na osobnom biciklu s prilagođenim pozicijama prema individualnim karakteristikama. Ispitanici su koristili različite proizvođače mjerača snage, traka za mjerenje frekvencije srca, te ciklokomputore. Mjerači snage bili su: Assioma, Garmin, te 4iiii. Trake za mjerenje frekvencije srca bile su: Garmin, Sigma i Wahoo, a ciklokomputori: Garmin Edge 530 i 1030, te Wahoo Element Bolt. Za praćenje SPO ispitanici su koristili tablicu i kemijsku olovku.

*Varijable za vrijeme cijele utrke i 4 etape :*

- Vrijeme provedeno u zoni 1 izraženo u % - Snaga
- Vrijeme provedeno u zoni 2 izraženo u % - Snaga
- Vrijeme provedeno u zoni 3 izraženo u % - Snaga
  
- Prosječna snaga u zoni 1
- Prosječna snaga u zoni 2
- Prosječna snaga u zoni 3
  
- Vrijeme provedeno u minutama u zoni 1 – snaga
- Vrijeme provedeno u minutama u zoni 2 – snaga
- Vrijeme provedeno u minutama u zoni 3 – snaga
  
- Vrijeme provedeno u zoni 1 izraženo u % - Frekvencija srca
- Vrijeme provedeno u zoni 2 izraženo u % - Frekvencija srca
- Vrijeme provedeno u zoni 3 izraženo u % - Frekvencija srca
  
- Prosječna frekvencija srca u zoni 1
- Prosječna frekvencija srca u zoni 2
- Prosječna frekvencija srca u zoni 3
  
- Vrijeme provedeno u minutama u zoni 1 – Frekvencija srca
- Vrijeme provedeno u minutama u zoni 2 – Frekvencija srca
- Vrijeme provedeno u minutama u zoni 3 – Frekvencija srca
  
- Prosječna snaga
- Vršna snaga

- Prosječna frekvencija srca
- Vršna frekvencija srca
  
- Prosječna subjektivna procjena opterećenja
- Ukupno trajanje utrke
- Trajanje etapa

### **3.4 Metode obrade podataka**

Obrada podataka provedena je u programima Microsoft Excel i Statistica. Za sve varijable su izračunati osnovni statistički pokazatelji: aritmetička sredina i standardna devijacija. Za utvrđivanje statistički značajne razlike između prikupljenih varijabli po etapama utrke koristila se univarijatna analiza varijance (ANOVA) za ponovljena mjerenja. Statistička značajnost postavljena je na  $p < 0.05$ .

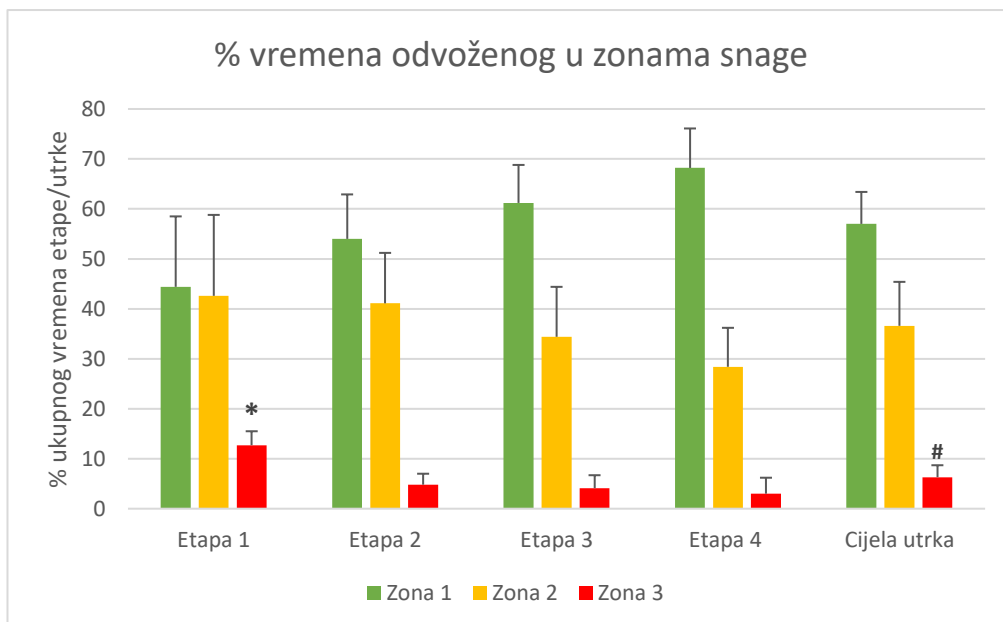
## 4. Rezultati

U tablicama i slikama prikazane su vrijednosti dobivene deskriptivnom statistikom u programu Microsoft Excel: aritmetička sredina (AS) i standardna devijacija (SD).

Tablica 5. Varijable snage i frekvencije srca dobivene progresivnim kontinuiranim testom opterećenja na bicikl ergometru

Snaga na aerobnom pragu (Watts)	156,7±18,9
Snaga na anaerobnom pragu (Watts)	256,7±24,9
Snaga na maksimalnom primitku kisika (Watts)	310±28,3
Fs na aerobnom pragu (otk/min)	130,3±9,3
Fs na anaerobnom pragu (otk/min)	162,3±6,9
Fs na maksimalnom primitku kisika (otk/min)	180,3±1,2

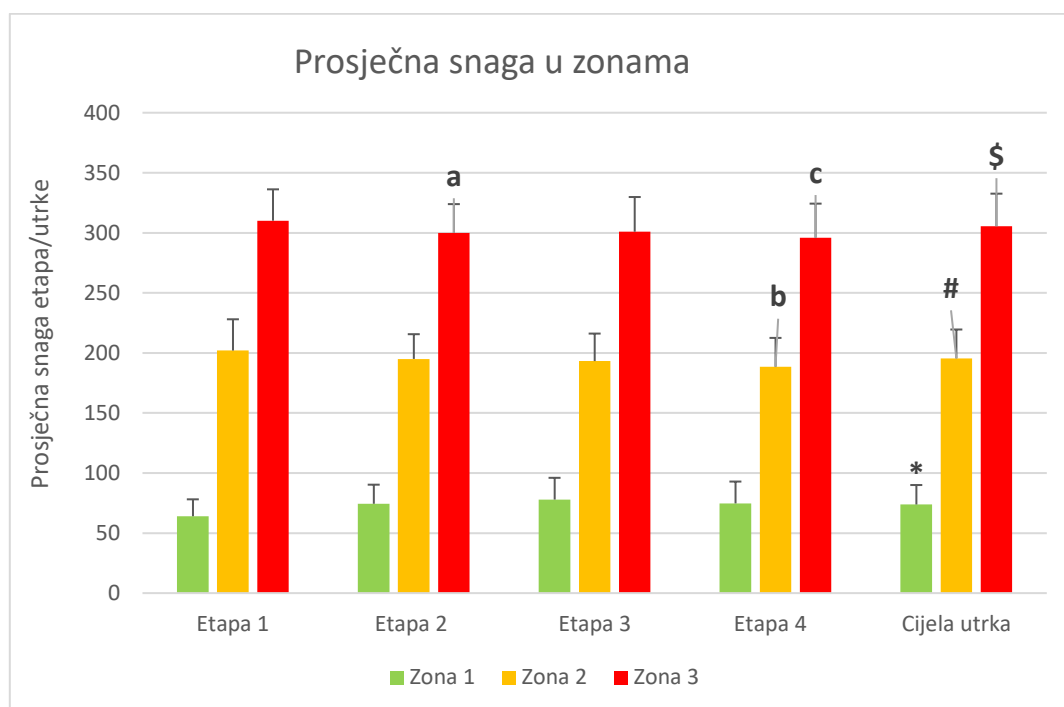
Postotak vremena provedenog u zoni 1 je rastao tijekom utrke, dok su vrijednosti u zoni 2 i zoni 3 padale. Utvrđeno je da je postotak vremena provedenog u zoni 3 u etapi 1 statistički značajno drugačiji od postotka vremena provedenog u zoni 3 u etapama 2, 3 i 4. Također je utvrđeno kako je postotak vremena provedenog u zoni 3 tijekom cijele utrke značajno manji od postotka provedenog u zonama 1 i 2 (Grafikon 1).



Grafikon 1. Postotak vremena odvoženog u zonama snage

Legenda: \* - % vremena provedenog u zoni 3 u etapi 1 je statistički značajno drugačiji od % vremena provedenog u zoni 3 u etapama 2, 3 i 4. # - % vremena provedenog u zoni 3 tijekom cijele utrke je značajno manji od % vremena provedenog u zonama 1 i 2.

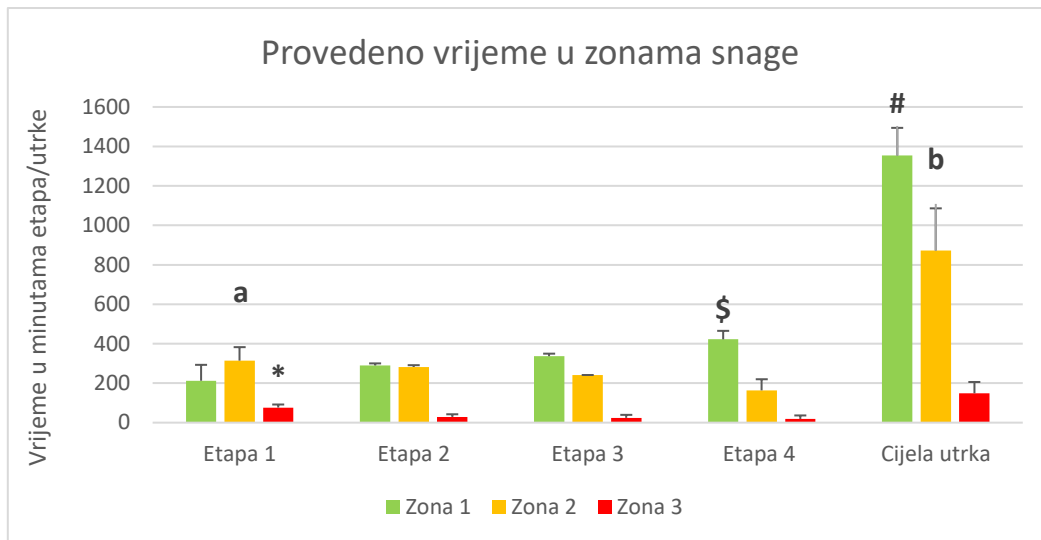
Prosječna snaga u zoni 1 se povećavala do etape 4. Kod zone 2 je zabilježen pad prosječne snage kroz etape, dok je prosječna snaga u zoni 3 padala kroz etapu 1 i 2, u etapi 3 porasla i ponovno pala u etapi 4. Prosječna snaga u zoni 2 u etapi 4 je statistički značajno niža od etape 1. Dobiveni rezultati ukazuju kako je prosječna snaga u zoni 3 statistički značajno drugačija između etape 1 i etape 2, ali i etape 1 i etape 4. Osim toga, prosječna snaga između zone 1, 2 i 3 je statistički značajno različita tijekom cijele utrke (Grafikon 2).



*Grafikon 2. Prosječna snaga u zonama*

Legenda: **b** - prosječna snaga u zoni 2 u etapi 4 je statistički značajno niža od etape 1. **a** - prosječna snaga u zoni 3 je statistički značajno drugačija između etape 1 i etape 2. **c** – prosječna snaga u zoni 3 je statistički značajno drugačija između etape 1 i etape 4. \* # \$ - prosječna snaga između zone 1, 2 i 3 je statistički značajno različita tijekom cijele utrke.

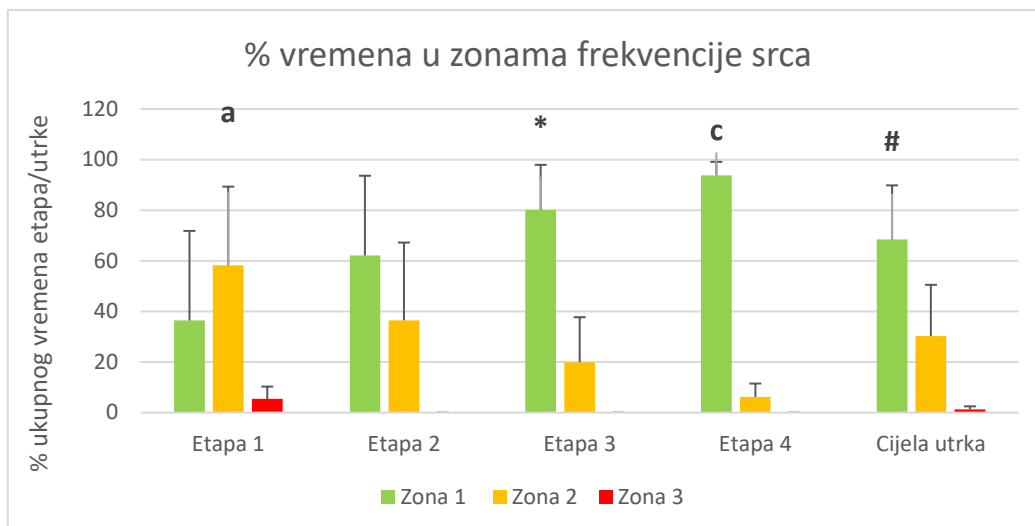
Provedeno vrijeme u zoni 1 se povećavalo kroz etape, dok se provedeno vrijeme u zoni 2 i 3 smanjivalo kroz etape. Utvrđeno je kako se u zoni 1 i zoni 2 etapa 1 i etapa 4 statistički značajno razlikuju u provedenom vremenu, uz to je ustanovljena statistički značajna razlika u zoni 3 etape 1 i svih ostalih etapa. Također je primjetna statistički značajna razlika između zone 1 i zone 3, te zone 2 i zone 3 tijekom cijele utrke (Grafikon 3).



*Grafikon 3. Provedeno vrijeme u zonama snage*

Legenda: \$ - provedeno vrijeme u zonama snage u zoni 1 između prve i četvrte etape je statistički značajno različito. **a** - provedeno vrijeme u zonama snage u zoni 2 između prve i četvrte etape je statistički značajno različito. \* - provedeno vrijeme u zonama snage u zoni 3 između etape 1 i svih ostalih etapa je statistički značajno različito. # - provedeno vrijeme u zonama snage između 1 i 3 zone tijekom cijele utrke je statistički značajno različito. **b** - provedeno vrijeme u zonama snage između 2 i 3 zone tijekom cijele utrke je statistički značajno različito.

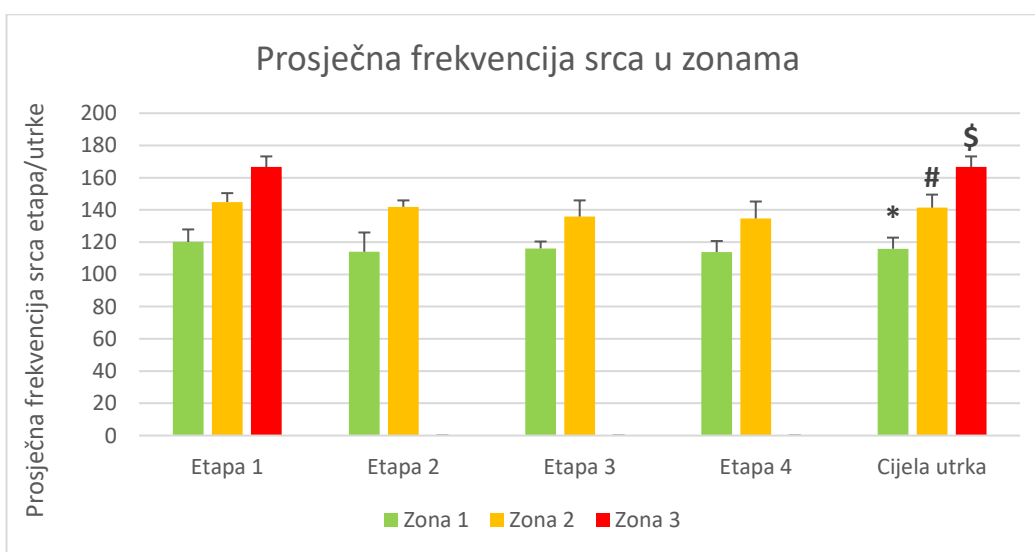
Postotak vremena u zoni 1 frekvencije srca je rastao tijekom utrke, dok je u zoni 2 frekvencija srca padala, a postotak vremena u zoni 3 je zabilježen samo u etapi 1. Utvrđena je statistički značajna razlika provedenog vremena u zoni 1 između etape 1 i etape 3, te između etape 1 i etape 4. U zoni 2 je također utvrđena statistički značajna razlika između etape 1 i etape 4. Osim toga, postotak vremena provedenog u zoni 1 tijekom cijele utrke je statistički značajno različit u odnosu na postotak vremena provedenog u zoni 3 (Grafikon 4).



*Grafikon 4. Postotak vremena odvoženog u zonama frekvencije srca*

Legenda: \* - postotak vremena provedenog u zoni 1 između etape 1 i etape 3 je statistički značajno različit. **c** – postotak vremena provedenog u zoni 1 između etape 1 i etape 4 je statistički značajno različit. **a** - postotak vremena provedenog u zoni 2 između etape 1 i etape 4 je statistički značajno različit. **#** - postotak vremena provedenog u zoni 1 tijekom cijele utrke je statistički značajno različit u odnosu na postotak vremena provedenog u zoni 3.

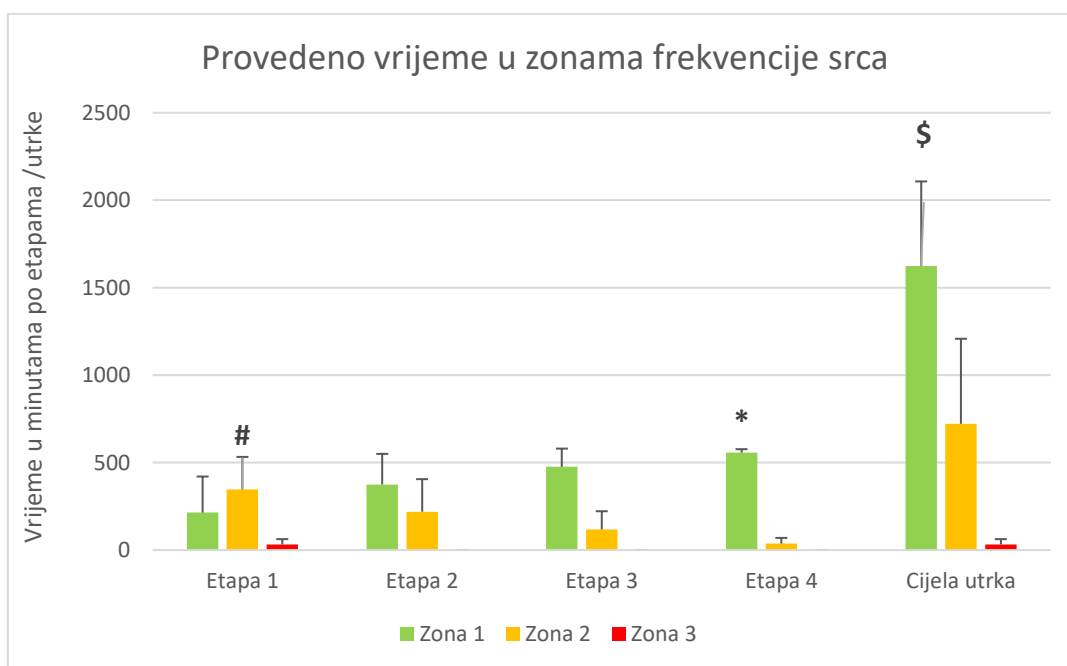
Prosječna frekvencija srca u zoni 1 padala je do etape 3, to jest dolazi do blagog povećanja prosječne frekvencije srca, te u etapi 4 do ponovnog pada. Kod zone 2 zabilježen je pad prosječne frekvencije srca kroz cijelu utrku. Prosječna frekvencija srca u zoni 3 zabilježena je samo u etapi 1. Utvrđena je statistički značajna razlika prosječne frekvencije srca između zone 1, 2 i 3 tijekom cijele utrke (Grafikon 5).



*Grafikon 5. Prosječna frekvencija srca u zonama*

Legenda: \* - prosječna frekvencija srca između zone 1, 2 i 3 je statistički različita tijekom cijele utrke

Vrijeme u zoni 1 se povećavalo tijekom utrke, dok je u zoni 2 zabilježen pad provedenog vremena tijekom utrke. Kao i u ranije navedenim grafovima, provedeno vrijeme u zoni 3 zabilježeno je samo u etapi 1. Utvrđena je statistička razlika u zoni 1 i zoni 2 između etape 1 i etape 4, a također je dobivena statistički značajna razlika između zone 1 i zone 3 tijekom cijele utrke. S obzirom da su u grafikonu 4 i grafikonu 5 vrijednosti zone 3 dobivene samo u etapi 1, ni ovdje nije drugačiji ishod (Grafikon 6).

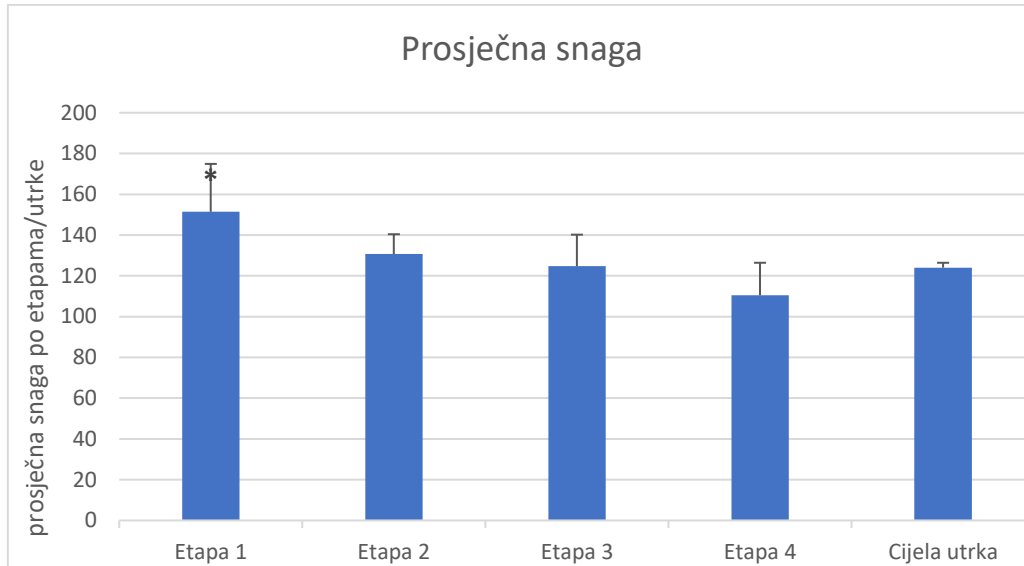


*Grafikon 6. Provedeno vrijeme u zonama frekvencije srca*

Legenda: \* - provedeno vrijeme u zonama frekvencije srca u zoni 1 je statistički različito između etape 1 i etape 4. # - provedeno vrijeme u zonama frekvencije srca u zoni 2 je statistički različito između etape 1 i etape 4. \$ - provedeno vrijeme u zoni 1 je statistički značajno različito u odnosu na zonu 3 tijekom cijele utrke.



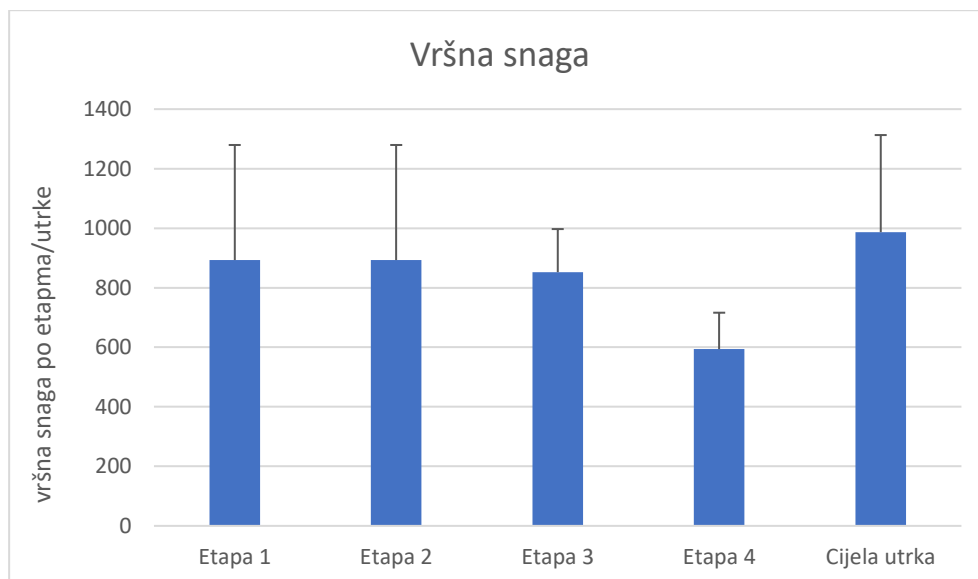
Zabilježen je pad u prosječnoj snazi tijekom cijele utrke, a utvrđena je statistička značajna razlika u prosječnoj snazi između etape 1 i etape 4 (Grafikon 7).



*Grafikon 7. Ukupna prosječna snaga svih zona intenziteta*

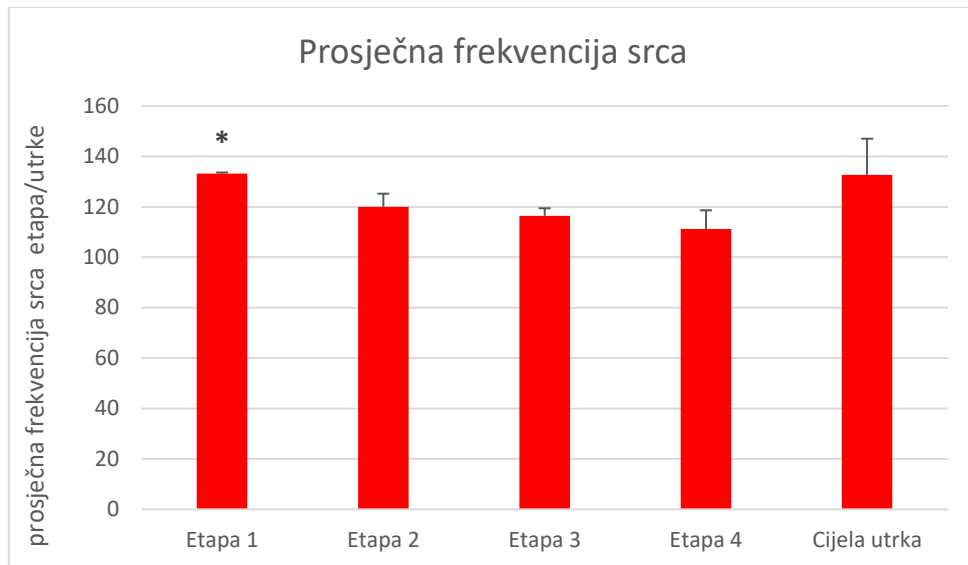
Legenda: \* - utvrđena je statistički značajna razlika u prosječnoj snazi između etape 1 i etape 4.

U etapi 1 i etapi 2 dobivene su jednake vrijednosti vršne snage, dok u etapi 3 i etapi 4 dolazi do njenog opadanja (Grafikon 8).



*Grafikon 8. Vršna snaga*

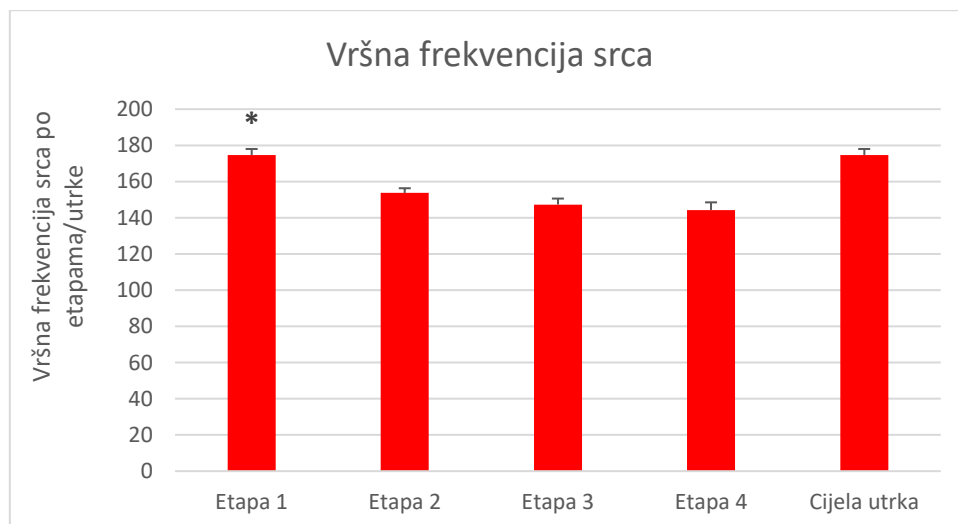
Zabilježen je pad prosječne frekvencije srca tijekom cijele utrke, te je utvrđena statistički značajna razlika u prosječnoj frekvenciji srca između etape 1 i prosječne frekvencije srca etape 2, etape 3 i etape 4 (Grafikon 9).



Grafikon 9. Ukupna prosječna frekvencija srca svih zona intenziteta

Legenda: \* - utvrđena je statistički značajna razlika u prosječnoj frekvenciji srca između etape 1 i prosječne frekvencije srca etape 2, etape 3 i etape 4.

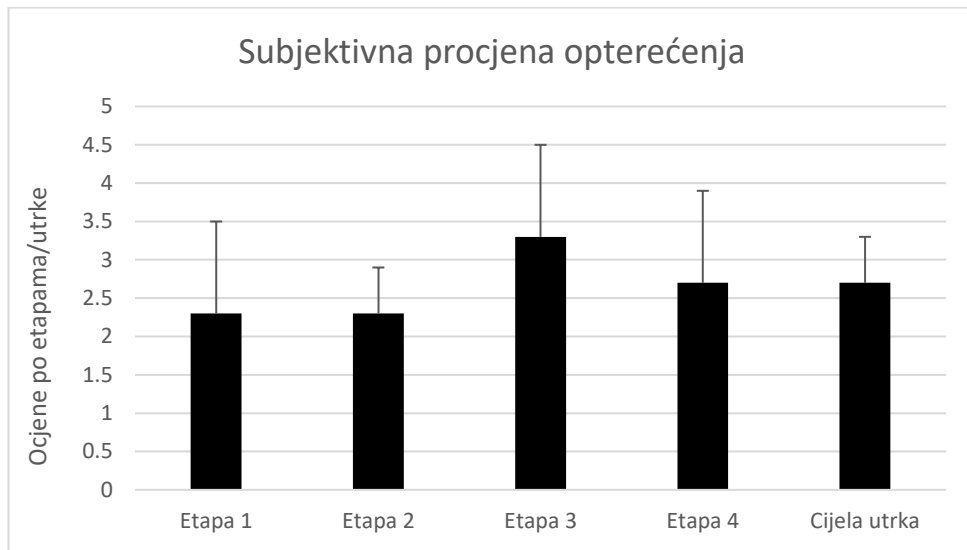
Zabilježen je pad vršne frekvencije srca tijekom cijele utrke, a utvrđena je statistički značajna razlika u vršnoj frekvenciji srca između etape 1 i vršne frekvencije srca etape 2, etape 3 i etape 4 (Grafikon 10).



Grafikon 10. Vršna frekvencija srca

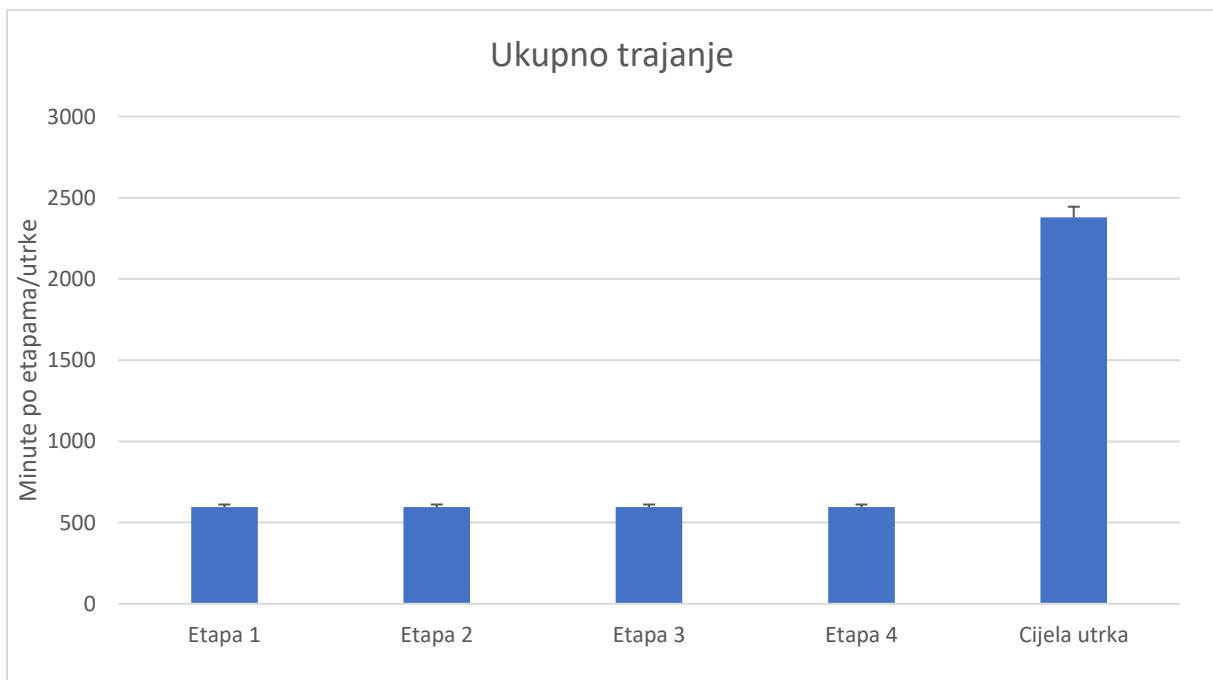
Legenda: \* - utvrđena je statistički značajna razlika u vršnoj frekvenciji srca između etape 1 i vršne frekvencije srca etape 2, etape 3 i etape 4.

U etapi 1 i etapi 2 dobivene su jednake vrijednosti SPO, dok u etapi 3 dolazi do povećanja SPO, da bi vrijednosti u etapi 4 pale, ali iznad razine od prve dvije etape (Grafikon 11).



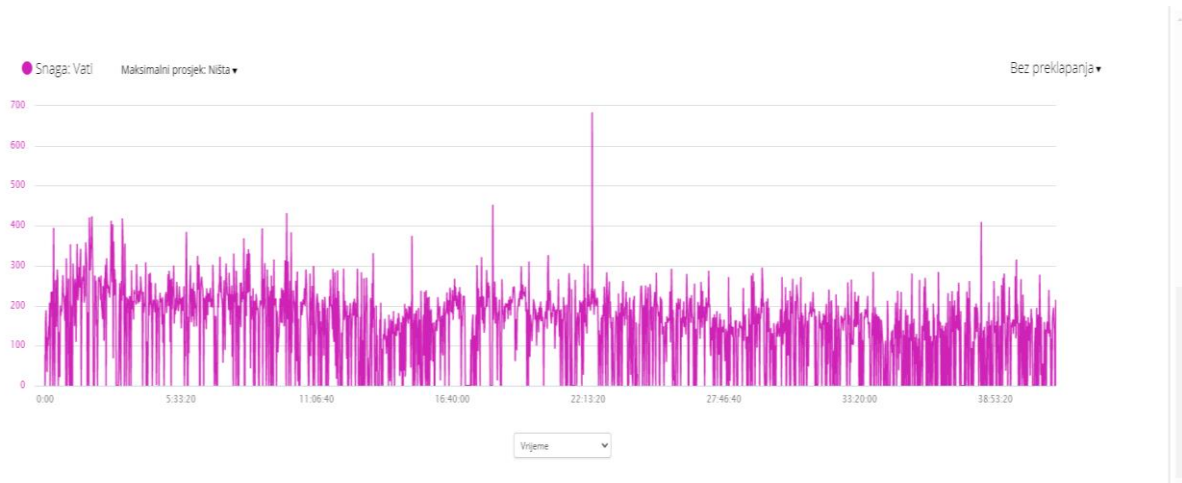
*Grafikon 11. Subjektivna procjena opterećenja*

Sve etape su jednakog vremenskog trajanja, pošto su bile podijeljene na 4 dijela. Prosječno vrijeme etape trajalo je 594, 6 minuta, dok je cijela utrka trajala 2378, 4 minute (Grafikon 12).



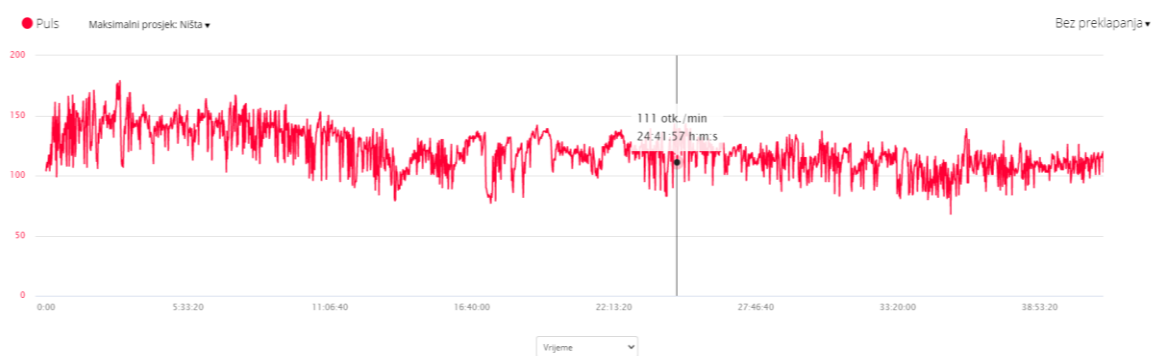
*Grafikon 12. Ukupno trajanje biciklističke utrke na 1000 kilometara*

Na slici 5 je prikazano kretanje snage tijekom natjecanja. U počecima su primjetne veće vrijednosti snage, da bi došlo do blagog opadanja s približavanjem kraja natjecanja. Također se mogu uočiti odstupanja vršne vrijednosti snage na sredini utrke.



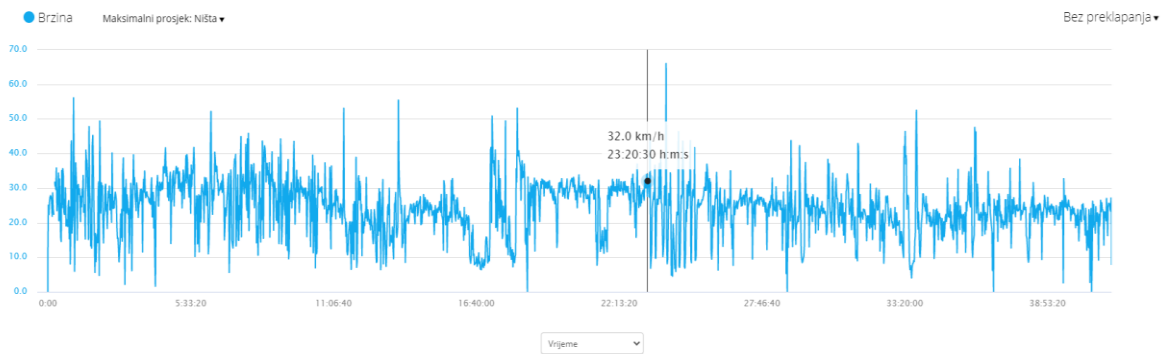
*Slika 5. Prikaz snage tijekom biciklističke utrke na 1000 kilometara*

Na slici 6 je prikazano kretanje frekvencije srca tijekom natjecanja. Mogu se zamijetiti veće vrijednosti frekvencije srca u prvom dijelu natjecanja s blagim opadanjem s približavanjem kraja natjecanja.



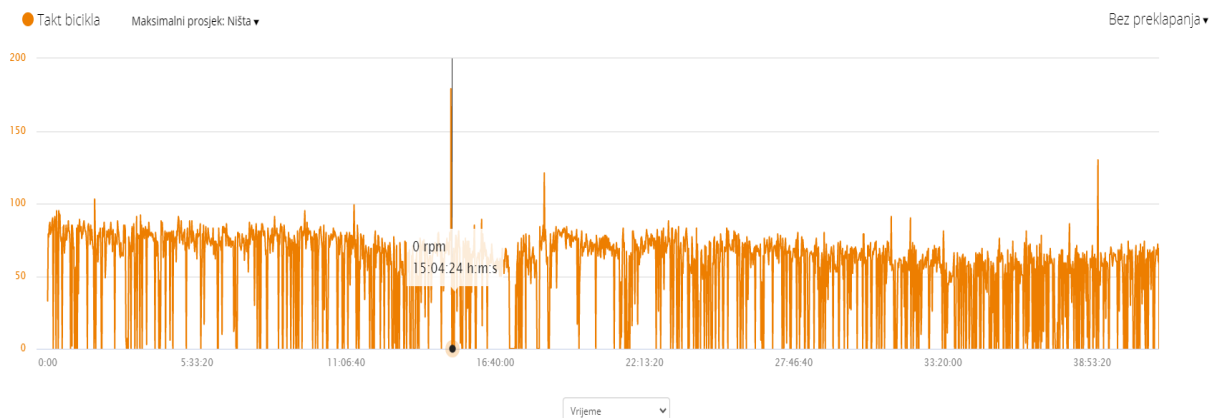
*Slika 6. Prikaz frekvencije srca tijekom biciklističke utrke na 1000 kilometara*

Slika 7 prikazuje kretanje brzine tijekom natjecanja. Dobivene su vrijednosti od 24,5 km/h prosječne brzine te 66 km/h maksimalne brzine kretanja.



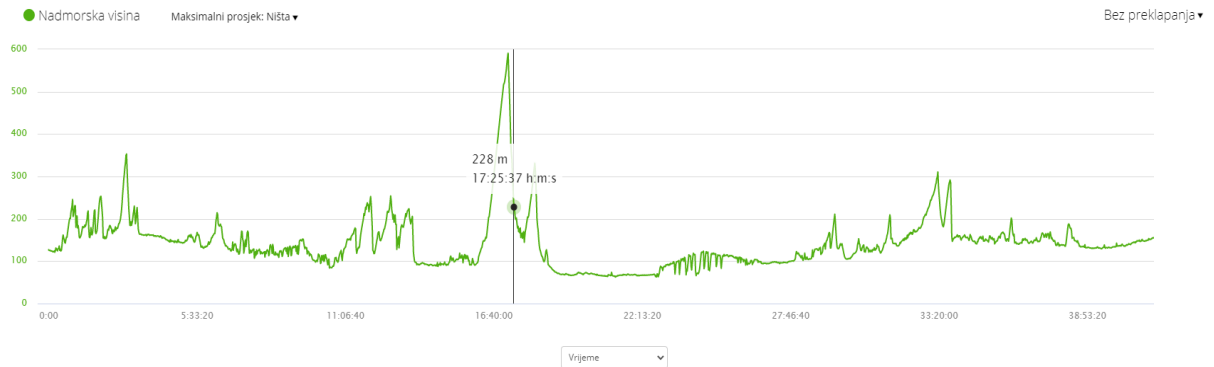
*Slika 7. Prikaz brzine kretanja tijekom biciklističke utrke na 1000 kilometara*

Slika 8 prikazuje kretanje frekvencije pedaliranja kroz natjecanje. Može se primijetiti kako je od polovice utrke frekvencija pedaliranja počela blago opadati. Maksimalna zabilježena vrijednost iznosila je 179 okr/min, dok je prosječna vrijednost iznosila 66 okr/min.



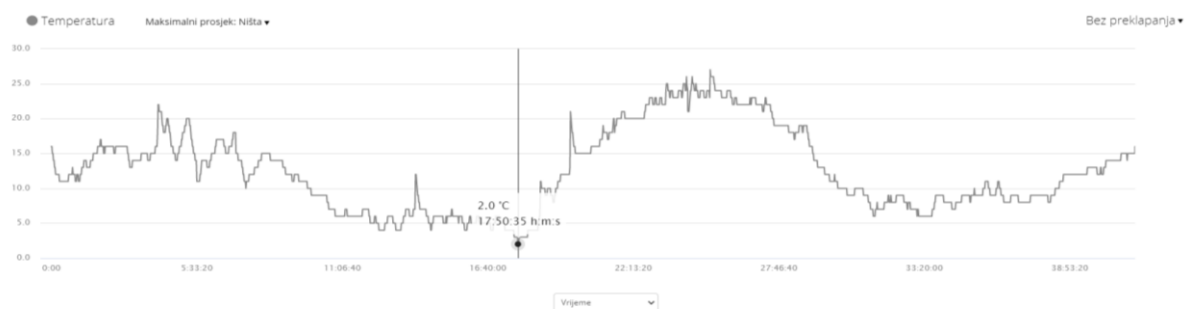
*Slika 8. Prikaz frekvencije pedaliranja tijekom biciklističke utrke na 1000 kilometara*

Na slici 9 je prikazano variranje visinske razlike kroz čitavu dionicu. U prvom djelu utrke staza je pretežito ravnog terena, na sredini se dostiže maksimalna vrijednost od 591 m, a od sredine se ponovno vozi po ravnijem dijelu staze.



*Slika 9. Prikaz nadmorske visine tijekom biciklističke utrke na 1000 kilometara*

Na slici 10 je prikazano variranje temperature zraka kroz dane i noći. U prvom danu temperatura zraka je bila niža u odnosu na drugi dan. Na slici se može primijetiti pad temperature preko noći (minimalna 2°C) te progresivno podizanje tijekom idućeg dana (maksimalna 26°C).



*Slika 10. Prikaz temperature zraka tijekom biciklističke utrke na 1000 kilometara*

## 5. Rasprava

Cilj ovog rada je bio analizirati opterećenje i natjecateljske zahtjeve tijekom biciklističke utrke na 1000 kilometara podijeljene na 4 etape. Glavni parametri za praćenje i analizu podataka su snaga, frekvencija srca i subjektivna procjena opterećenja (SPO). U istraživanju je kao u većini radova provedeno inicijalno testiranje sa svrhom određivanja 3 trenažne zone koje su ranije opisane, kako bi se pratilo kretanje snage i frekvencije srca tijekom natjecanja. Utvrđena je razlika u rezultatima snage i frekvencije srca, a SPO je ostao bez značajnih promjena tijekom 4 etape i cijele utrke.

Analizom podataka u grafikonu 1 vidljiv je trend porasta postotka vremena u zoni 1 kako je utrka odmicala te smanjenje postotka vremena u zoni 2 i zoni 3, što sugerira kako u ultra dugotrajnoj utrci na 1000 kilometara dominantno prevladava nizak intenzitet aktivnosti, a ponajviše u zadnjim fazama natjecanja. Najveći intenzitet je zabilježen u etapi 1 s najvišim postotkom vremena u zoni 2 i zoni 3 u odnosu na ostale etape, a razlog se može pripisati činjenici kako su natjecatelji bili fizički i mentalno odmorni, odnosno odmoreno tijelo u kombinaciji s visokom motivacijom u početnoj fazi utrke je kulminiralo dobivenim podacima. Koliko je poznato, ovo je prvo istraživanje vezano za biciklističko ultra dugotrajno natjecanje podijeljeno po vremenskim etapama i usporedbom etapa u pojedinim zonama i različitim varijablama snage i frekvencije srca. Akumulirani umor kroz etape je ostavio trag na performanse u ostalim etapama što se osjetilo u daljnjim fazama natjecanja, a ponajviše na mišiće nogu, respiratorne mišiće i srčani mišić, što je u sinergiji definitivno utjecalo na daljnji ishod utrke, odnosno značajnu pojavu umora i značajan pad performansi kroz etape i postotak vremena u pojedinim zonama.

Naime, prema (Zaryski i Smith, 2005) definirano je kako ultra dugotrajna natjecanja traju preko 6 sati, a vremensko trajanje analizirane utrke definitivno potvrđuje da se radi o ultra natjecanju. S obzirom da se radi o ultra utrci, bilo je za očekivati ovakav rasplet. Uspoređujući dobivene rezultate s podacima iz tablice 2 i tablice 3, za primijetiti je kako najduža brdska etapa na Grand Tour-u traje 311 minuta, a vozi se prosječnom snagom 254 Watta, s druge strane najkraća etapa, kronometar, traje u prosjeku 38 minuta s proizvedenom prosječnom snagom 371 Watt. Na temelju podataka je vidljivo kako dužina natjecanja utječe na proizvedenu prosječnu snagu. Ekstenzitet i intenzitet se nalaze u obrnuto proporcionalnom odnosu, to jest povećanje jednog utječe na smanjenje drugog i obratno.

Klasifikacija prosječne snage u tri zone intenziteta pokazana je u grafikonu 2. Na dobivene rezultate vjerojatno je pogodovao potrošnja glikogenskih rezervi, to jest prebacivanje s glikogena pohranjenog u jetri i mišićima na masti kao dominantan izvor dobivanja energije. Drugi razlog je deficit u energetske unosu tijekom vožnje i izvan nje odnosno ukupna unesena količina energije kroz dan s naglaskom na ugljikohidrate. Naime, ispitanici nisu navodili podatke o unesenoj vrsti i količini energije te stanju hidratiziranosti kroz natjecanje. Uz prehranu su vjerojatno bili prisutni problemi u zadržavanju željenog tempa kroz utrku, koji također ovisi o osobnim mogućnostima i sposobnostima natjecatelja, a ponajviše o iskustvu natjecatelja. Kroz rad je navedeno kako u biciklizmu postoji više tipova biciklističkih natjecanja s obzirom na karakteristike i zahtjeve pojedine utrke, pa je samim time i tempiranje intenziteta tijekom utrka drugačije. Utrka u trajanju preko 48 sati predstavlja natjecanje u kojemu se mora poklopiti više čimbenika (prilagodba na okolišne uvjete, prolazak kroz različita mentalna stanja, prehrana i probavne tegobe te deprivacija sna) koji će utjecati na sportaševe performanse, ali i željena odnosno predviđena zbiljanja tijekom natjecanja.

Dobiveni rezultati se mogu pripisati pojavi mišićnog zamora, odnosno u nemogućnosti održavanja željene ili potrebne snage (Gibson i Edwards, 1985). Hautier i suradnici (2000) navode kako produžen period biciklističke vožnje uzrokuje pad mišićne jakosti što dovodi do promjena u živčanim svojstvima ekstenzora nogu. Pfeiffer, Harder, Landis i Barber (1993) su dokazali kako su visoke vrijednosti  $VO_{2max}$  dobar indikator biciklističke uspješnosti na etapnoj utrci u trajanju 14 dana kod profesionalnih biciklistica. S druge strane, u istraživanju (Costill, Thomason i Roberts, 1973) je objašnjeno kako izolirani  $VO_{2max}$  od ostalih parametara nije dobar pokazatelj uspjeha kada su uspoređivani biciklisti s dobivenim sličnim vrijednostima, dok se rad na visokom postotku anaerobnog praga pokazao kao prednost kod uspona u trajanju 30-60 minuta (Padilla i sur., 1999; Lucía, Carvajal, Calderon, Alfonso i Chicharro, 1999).

Na grafikonu 3 prikazano je provedeno vrijeme u zonama snage. Mogući uzrok pada sposobnosti kroz etape (povećanje provedenog vremena u zoni 1 te smanjenje u zoni 2 i zoni 3) može se pripisati utjecaju okolišnih uvjeta. Naime, u radu Brysona i suradnika (2018) je objašnjeno kako je na utrci na 4000 kilometara došlo do opadanja snage. Razlog je što tijekom tjelesne aktivnosti toplina daje poticaj za povećanje broja otkucaja srca kao kompenzacijski mehanizam za povećanu potrebu uzrokovanu vazodilatacijskim odgovorom na preusmjeravanje protoka krvi iz mišića i središnjih organa u kožu, kako bi se olakšao



gubitak topline u okoliš (Gonzales-Alonso, Crandall i Johnson, 2008) što će posljedično rezultirati smanjenom isporukom kisika mišićima, odnosno bržom pojavom umora (Gonzalez-Alonso i Calbet, 2003). Uz okolišne čimbenike, deprivacija sna se pokazala kao otegotna okolnost jer može doći do povećane aktivacije simpatikusa što će rezultirati povećanjem otkucaja srca i krvnog tlaka (Meerlo, Sgoifo i Suchecki, 2008; Slomko i sur., 2018).

Fiziološki gledano, navedenim tvrdnjama može se pripisati zamor centralnog živčanog sustava (Meeusen i Meirleir, 1995), a također se mogu pripisati mogući mehanizmi povećanja serotonina (5-HT) u kombinaciji s iscrpljivanjem kateholamina (Davis i Bailey, 1997; Davis, 2000). Psihološki gledano, u istraživanju (Gibson, Schabort i Noakes, 2001) opisano je kako postoji naučeni podsvjesni anticipacijsko/regulacijski sustav, odnosno, teleočekivanje pohranjeno u centralnom živčanom sustavu. Ulmer (1996) objašnjava kako ovaj podsvjesni mehanizam povratne sprege utječe na biciklističku vožnju na način da je biciklist svjestan svoje pripremljenosti i mogućnosti, ali i svojih slabih strana naučenih iskustvom kroz prijašnja natjecanja. Drugim riječima, natjecatelji su kroz utrke naučili koliko dugo i kojim intenzitetom mogu tolerirati zadano opterećenje, a u svrhu izbjegavanja preranog mišićnog zamora. Biciklisti si samostalno postavljaju gornje granice na određenu vrstu opterećenja.

Podaci o postotku vremena odvoženog u zonama frekvencije srca prikazani u grafikonu 4 impliciraju kako je na ultra dugotrajnim biciklističkim natjecanjima, dominantna sposobnost izdržljivost pri nižim opterećenjima to jest održavanje zadanog intenziteta i brzine kroz određeni vremenski period. Jedino je u etapi 1 zabilježen postotak vremena u zoni 3, što ukazuje kako su zahtjevi za visokim intenzitetom na ovakvom tipu utrka mali. U istraživanju Knechtle i suradnika (2015) navedeno je kako je ispitanik na utrci trajanja 24 sata, zadnjih 80 minuta uspio voziti prosječnom brzinom od 44 km/h u odnosu na prosječnu brzinu cijele utrke od 37 km/h pa postoji vjerojatnost da je ispitanik vozio određeni postotak vremena u zoni 3 za razliku od ovog rada u kojem je postotak vremena u zoni 3 primjetan samo u etapi 1. Okolišni čimbenici poput nadmorske visine (vožnja u brdo u odnosu na vožnju po ravnom terenu) te smjer i brzina vjetera su mogli utjecati na intenzitet aktivnosti. Ukoliko se desio slučaj kombinacije brdovitog terena s direktnim vjetrom „u prsa“, postoji mogućnost da su zahtjevi tjelesne aktivnosti, ispitanicima neovisno o njihovoj trenutnoj motivaciji rezultirali povećanjem frekvencije srca i provedenim vremenom u zoni 3. Razlog zašto je došlo do ovakvih promjena tijekom etapa leži u mogućnosti da respiratorni mišići mogu doseći granicu svojih sposobnosti tijekom intenzivnog ili dugotrajnog vježbanja, to jest inspiracijski mišići se opisuju kao potencijalno mjesto u ograničenju sportske izvedbe (Romer, McConnell i

Jones, 2002). Drugi mogući razlog je pojava akutne pretreniranosti. Uusitalo, Tahvanainen, Uusitalo i Rusko (1996) su opisali kako uslijed simpatičke pretreniranosti dolazi do povećanja frekvencije srca, dok se varijabilnost srčane frekvencije smanjuje, s druge strane, parasimpatička pretreniranost uzrokuje smanjenje frekvencije srca, a isto tako i varijabilnost frekvencije srca.

Grafikon 5 prikazuje kretanje prosječne frekvencije srca tijekom utrke. Iako promjene nisu bile značajne u zoni 3, dobivene vrijednosti se mogu pripisati nakupljenom umoru kroz produženi vremenski period, stoga je kardiorespiratorni napor relativno malen u odnosu na natjecanja kraćih vremenskih trajanja i distanci. S obzirom da ispitanici imaju višegodišnjeg trenažnog i natjecateljskog iskustva u ovakvom tipu natjecanja, postoji mogućnost da je s vremenom došlo do adaptacije na ovakvu vrstu opterećenja, odnosno kako je ranije navedeno, ispitanici su kroz natjecanja naučili postaviti psihološke, a samim time i fiziološke granice na određenu vrstu opterećenja.

Navedeni podaci pokazuju kako je zapravo jako malo vremena provedeno u zoni 3, za razliku od natjecanja u brdskom biciklizmu. Uspoređujući brdski biciklizam sa Grand Tour natjecanjima, pokazano je kako je intenzitet naglašeniji u brdskom biciklizmu (Lucia i sur., 2001; Mujika i Padilla, 2001), a razlog tomu je što cestovne utrke u prosjeku traju 4-6 sati (McCole i sur., 1990). Također, tijekom cestovnih utrka vozači se voze u peletonu i na taj način smanjuju utrošak energije. Iznimka su kronometarske etape u kojima se vozi pojedinačno kroz vremenske razlike između vozača, a pogotovo kod vozača koji se bore za generalni plasman, pa imaju odgovornost dati sve od sebe (Lucía i sur., 1999).

Za razliku od Grand Tour natjecanja, a pogotovo u odnosu na ultra dugotrajna natjecanja, u radovima (Impellizzeri, Sassi, Rodriguez-Alonso, Mognoni i Marcora, 2002; Stapelfeldt, Schwirtz, Schumacher i Hillebrecht, 2004) je zabilježena maksimalna frekvencija srca od samog početka utrke. Razlog jest što svi vozači startaju zajedno, pa je potrebno odmah na početku izboriti dobru poziciju kako sporiji vozači ne bi usporavali brže od sebe. Nakon starta i izborne pozicije dolazi do stabilizacije frekvencije srca, te njenog pada s povećanjem broja krugova. Wingo i suradnici (2004) su u svom istraživanju na simuliranoj utrci također pokazali pad intenziteta kroz krugove. Vozila su se 3 kruga dužine 10 milja s odmorom 8 minuta između svakog kruga, te je mjerena koncentracija laktata u krvi. Rezultati pokazuju kako su nakon prvog kruga zabilježene vrijednosti između 8.1-9.1 mmol/L, da bi u zadnjem krugu vrijednosti pale na 5.7-6.0 mmol/L. Dal Monte i Faina (1999) su dobili slične rezultate.

Mjereni su brdski biciklist na utrci u trajanju 145 minuta. Nakon prvih 45 minuta vrijednosti laktata su bile 10-11 mmol/L, a zadnjih 20 minuta su pale na razinu od 4-4.5 mmol/L.

Grafikon 6 prikazuje provedeno vrijeme u zonama frekvencije srca. Na temelju ranije pojašnjenih rezultata u grafikonima može se zaključiti kako tijekom ultra dugotrajne biciklističke utrke dužine 1000 kilometara utječe velik broj vanjskih i unutarnjih distraktora: prehrana (praćenje kalorijskog unosa, raspodjela makronutrijenata, hidratacija i probavne smetnje), deprivacija sna, okolišni uvjeti (brzina i smjer vjetera, temperatura zraka, vlaga zraka i visinska razlika), psihološka stanja (pojava kriza i različitih emocija).

Rezultati su u skladu s istraživanjem (Rodriguez-Marroyo i sur., 2018) u kojem je analiziran intenzitet 4 utrke različitih dužina. Rezultati pokazuju kako se vrijeme u zoni 1 povećavalo proporcionalno s dužinom utrke, dok se vrijeme provedeno u zoni 3 smanjivalo povećanjem trajanja utrke. Slične rezultate dobili su (Barrero i sur., 2014). Na utrci dugog triatlona kroz sportove je zabilježen progresivni pad frekvencije srca. Natjecatelji su biciklistički (7 sati) i trkački segment odradili ispod prvog ventilacijskog praga, dok je na utrci na 1000 kilometara prosječna frekvencija srca cijele utrke bila samo 2 otkucaja od prvog ventilacijskog praga.

Grafikon 7 prikazuje prosječnu snagu. Zabilježen je pad u prosječnoj snazi tijekom cijele utrke, a utvrđena je statistička značajna razlika u prosječnoj snazi između etape 1 i etape 4. Dobivene rezultate potvrđuje istraživanje koje su proveli (Knechtle i sur., 2015). Naime, rezultati dobiveni na utrci na 24 sata pokazuju kako je ispitanik krenuo s većim vrijednostima snage i prosječne brzine, da bi, kako je utrka odmicala, te vrijednosti padale. Prosječna snaga je iznosila 250.2 watta, dok je u ovom radu prosječna snaga tijekom natjecanja bila 124 watta. Treba se uzeti u obzir da je ispitanik vozio 24 sata, dok su u ovom radu ispitanici vozili 40 sati, što je znatno više utjecalo na akumulirani umor i proizvodnju snage tijekom natjecanja. Potrebno je naglasiti da je na natjecanju na 24 sata sudjelovao profesionalni biciklist, a na utrci na 1000 kilometara, rekreativni biciklisti.

Ranije spomenuti linearni padovi u vrijednostima snage, definiraju se kao način vožnje „pozitivnim splitom“. Stapelfeldt i suradnici (2004) su analizirali natjecateljske zahtjeve u brdskom biciklizmu kroz 15 utrka u varijablama frekvencije srca i snage. Tijekom utrka je zabilježena prosječna frekvencija srca od 91% od maksimalne, te prosječna snaga 246 watta, to jest 3,5 watta po kilogramu. Također, zabilježene su velike oscilacije u snazi tijekom utrke, što upućuje da su natjecanja u brdskom biciklizmu kombinacija isprekidanog i visokog

intenziteta. Slične rezultate kod frekvencije srca dobili su Impellizzeri i suradnici (2002). Pet ispitanika je sudjelovalo na 4 brdsko biciklističke utrke prosječnog trajanja 147 minuta i prosječne visinske razlike od 1430 m. Na temelju ranije provedenog inicijalnog testiranja, rezultati s utrka pokazuju prosječnu frekvenciju srca na 90% od maksimalne.

Grafikon 8 prikazuje vršnu snagu. U etapi 1 i etapi 2 dobivene su jednake vrijednosti, dok u etapi 3 i etapi 4 dolazi do pada vršne snage. S obzirom da je u prosječnoj snazi i prosječnoj frekvenciji srca narušena izvedba kroz etape, pravo je iznenađenje postignuta vršna snaga u etapi 1 i etapi 2 jednakih vrijednosti. U etapi 3, a pogotovo u etapi 4 primjetna je velika oscilacija. Jedan od potencijalnih razloga može se pripisati kako su osobe s visokim udjelom brzih mišićnih vlakana podložnije umoru nego osobe s većim postotkom sporih mišićnih vlakana (Colliander, Dudley i Tesch, 1988).

Uspoređujući vrijednosti vršne snage u cestovnom i brdskom biciklizmu, Laursen i Buchheit (2018) objašnjavaju kako su elitni cestovni biciklisti u stanju nakon 3-7 sati utrkiivanja, na kraju utrke držati sprint u trajanju 10-15 sekundi intenzitetom preko 17 W/kg. Naravno, radi se o biciklistima kojima je sprint specijalnost. Druga bitna stvar je suradnja i taktika unutar tima jer, ukoliko se radi o ravničarskoj etapi, neminovno je da ukoliko ne dođe do padova, da će utrka završiti sprintom. S obzirom na navedeno, potrebno je sačuvati što više energije vožnjom u peletonu, te uz pomoć timskih kolega, kada je to potrebno, doći na početak peletona. S druge strane, Impellizzeri i Marcora (2007) tvrde kako je skupina 6 brdskih biciklista u laboratorijskim uvjetima testiranja postigla vrijednosti vršne snage od 14.2 W/kg.

Grafikon 9 prikazuje kretanje prosječne frekvencije srca. Zabilježen je pad prosječne frekvencije srca tijekom cijele utrke, te je utvrđena statistički značajna razlika u prosječnoj frekvenciji srca između etape 1 i prosječne frekvencije srca etape 2, etape 3 i etape 4. Rezultati su u skladu s istraživanjem (Brayson i sur., 2018) u kojem se pokazalo kako ultra dugotrajna utrka na 4000 kilometara kao i u ovom radu dovodi do opadanja srčane frekvencije. Međutim, glavna razlika je njeno ponovno povećanje kako se bližio kraj natjecanja, to jest dolazi do fenomena kardiovaskularnog drifta u kasnijem djelu natjecanja, što nije bio slučaj u ovom radu. Nadalje, istraživanje provedeno na utrci na 460 kilometara je pokazalo kako je 0,4% ukupnog vremena frekvencije srca provedeno iznad drugog ventilacijskog praga (Neumayr i sur., 2003), dok evidentirani podaci na utrci na 1000 kilometara ukazuju kako je 1,3% provedeno iznad drugog ventilacijskog praga.

Grafikon 10 prikazuje kretanje vršne frekvencije srca. Zabilježen je pad vršne frekvencije srca tijekom cijele utrke, a utvrđena je statistički značajna razlika u vršnoj frekvenciji srca između etape 1 i vršne frekvencije srca etape 2, etape 3 i etape 4. Lucía, Muñoz Hoyos, Santalla i Earnest (2003) su ukazali kako je na Grand Tour natjecanjima u trajanju 3 tjedna najbolji znak pretreniranosti i umora smanjenje maksimalne frekvencije srca. Također, biciklisti koji su iskusili „teške noge“ tijekom trenažnog procesa pokazuju sindrom pretreniranosti, ali i smanjenog glikogena u mišićima (Faria, Parker i Faria, 2005). U tom kontekstu, (Lindsay i sur., 1996; Stromme, Ingjer i Meen, 1977) objašnjavaju kako na Grand Tour natjecanjima biciklisti dnevno unose 60% od ukupnih kalorija iz ugljikohidrata. Kroz 24 sata unesu oko 800 grama ugljikohidrata, odnosno 12-13 grama po kilogramu tjelesne mase.

Grafikon 11 prikazuje subjektivnu procjenu opterećenja. U etapi 1 i etapi 2 dobivene su jednake vrijednosti, dok u etapi 3 dolazi do povećanja SPO, da bi vrijednosti u etapi 4 pale, ali iznad razine od prve dvije etape. Kroz ranije navedene grafove je naveden pad prosječne snage i frekvencije srca kroz zone intenziteta kako su etape odmicala, dok je kod SPO situacija obratna, u kasnijim etapama su zabilježene veće vrijednosti nego u počecima. U prvoj etapi je bio najveći intenzitet u varijabli snaga i varijabli frekvencije srca, a ocjena SPO najmanja, što pokazuje kako je kroz etape uz akumulirani fiziološki umor, prisutna i mentalna komponenta koja je također uz fiziološka opterećenja sastavnica SPO (Bok, 2021). Prema tome, SPO je odličan alat za praćenje opterećenja, jer uz fiziološke promjene, biciklisti su prolazili kroz različita mentalna stanja, pa SPO daje ukupnu ocjenu fizičkog i mentalnog opterećenja natjecanja.

Točan razlog zbog kojeg je u zadnjoj etapi manja ocjena u odnosu na treću etapu je nejasan. Jedan od mogućih razloga je da su ispitanici podsvjesno „znali“ kako se bliži kraj utrke pa im je bilo „lakše“, što je kasnije utjecalo na manju ocjenu. Lucía i suradnici (2003) objašnjavaju kako na Grand Tour natjecanjima vrhunski biciklisti nikada ne dostignu maksimalne vrijednosti kroz dva uzastopna dana iz razloga što je njihova podsvijest bila vrlo dobro pripremljena na granice koje treba izbjegavati, a u svrhu ostvarenja uspjeha slijedeći dan. Fiziološki gledano, „neuralni upravitelj“ ograničava povećanje minutnog volumena regulirajući skeletne mišiće kako se približavaju metaboličke granice (Noakes, Peltonen i Rusko, 2001).

Sanders, Myers i Akubat (2018) su u svom radu koristili Borgovu omjerno-kategorijsku skalu: Zona 1 (1-4), Zona 2 (5-6), Zona 3 (7-10). U ovom istraživanju su utvrđene umjerene do vrlo velike razlike u raspodjeli intenziteta treninga kategoriziranog subjektivnom

procjenom opterećenja u usporedbi sa frekvencijom srca i snagom, što sugerira da uz fizičko opterećenje, važnu ulogu igraju ostali pokazatelji poput mentalnog stanja. Prosječna ocjena 2,7 cijele utrke na 1000 kilometara svrstava opterećenje u zonu 1, uspoređujući ocjene na Borgovoj skali unutar raspodjele zona intenziteta.

Grafikon 12 prikazuje ukupno trajanje utrke. Sve etape su jednakog vremenskog trajanja, pošto su bile podijeljene na 4 jednaka dijela. Također se treba uzeti u obzir da su u pitanju rekreativni biciklisti, stoga je i pitanje motivacije drugačije u odnosu na profesionalne bicikliste to jest cilj je rekreativnim biciklistima samo odvoziti zadanu distancu, neovisno o brzini i ukupnom vremenu, dok s druge strane profesionalnim biciklistima je cilj ostvariti što bolji plasman, prosječnu brzinu ili svladanu distancu u određenom vremenskom razdoblju. U tablici 2 su navedene varijable i glavne razlike između utrka i etapa. Najduža etapa na Grand Tour natjecanju traje čak 10 000 minuta manje nego ultra natjecanje na 4000 kilometara, dok je na najintenzivnijoj Grand Tour etapi prosječna snaga veća za 260 Watta, a prosječna frekvencija za 43 otkucaja u minuti. Također (Leo i sur., 2021) su u svojim radovima naveli kako postoje razlike između vozača unutar ekipa. Rezultati potvrđuju hipoteze u varijablama snage i frekvencije srca, dok kod SPO nije došlo do značajnih razlika. U skladu s dobivenim zonama na temelju testiranja na progresivnom testu opterećenja, utrka je vožena u zoni 1 u varijabli snaga, zoni 2 u varijabli frekvencija srca, te u odnosu na rad (Sanders i sur., 2018), u zoni 1 u varijabli SPO.

Cestovni biciklizam je sport u kojem dominantnu ulogu igraju funkcionalne sposobnosti, dok tehnička pripremljenost pozitivno utječe na ekonomičnost vožnje i smanjen rizik od padova (Laursen i Buchheit, 2018). Fiziološka analiza natjecateljskih zahtjeva stoga predstavlja vrlo važan segment ukupnog trenažnog procesa i pripremanja za natjecanje. Poznavanje fiziološkog opterećenja natjecateljske aktivnosti omogućuje kvalitetnije programiranje treninga. Analiza fiziološkog odgovora na ovakvim utrkama, omogućila bi uvid u veličinu fizioloških zahtjeva utrke te ponudilo informacije o ograničavajućim faktorima utrke, a koji bi onda mogli postati predmet trenažnog rada.

Potencijalni radovi mogu biti zasnovani na temama vezanim oko odgovarajućeg intenziteta aktivnosti ovisno o dužini i trajanju natjecanja, razlikama između muškaraca i žena, tipovima vozača s obzirom na vrstu mišićnih vlakana i antropometrijske karakteristike, prehranu tijekom natjecanja, te također uzeti u obzir iskustvo, povijest bavljenja prethodnim sportovima i dob ispitanika. Ograničavajući čimbenici ovog istraživanja su različiti mjerni

uređaji snage, trake za mjerenje frekvencije srca i ciklokompjutori. Ispitanici nisu naveli jesu li kalibrirali mjerač snage svaki dan prije početka vožnje, također, postoji mogućnost potrošnje baterija. Nadalje, ispitanici su sami zapisivali podatke o SPO tijekom natjecanja. Bilo je potrebno točno svaka 3 sata upisati ocjenu s obzirom na trenutno stanje ispitanika, a ne može se potvrditi jesu li upisali ocjenu istog trenutka ili par sati kasnije kada je moglo doći do zaborava prethodne ocjene. U budućnosti je potreban veći tim ljudi koji će mjeriti i voditi evidenciju podataka tijekom natjecanja.

## 6. Zaključak

Istraživanje fiziološke reakcije organizma na biciklističku utrku na 1000 kilometara rezultira značajnim padom snage i frekvencije srca kroz 4 etape i cijelu utrku, dok u promjenama subjektivne procjene opterećenja nije došlo do značajnih razlika tijekom natjecanja. U varijablama snage, najviše vremena je provedeno u zoni 1, dok je u varijabli frekvencije srca, najviše vremena provedeno u zoni 2. U obje varijable je najmanje vremena provedeno u zoni 3, osobito u varijabli frekvencije srca. Rezultati se mogu iskoristiti u istraživanjima vezanim za ultra dugotrajna natjecanja, ali i u srodnim biciklističkim disciplinama radi usporedbe fizioloških zahtjeva. Može se zaključiti kako biciklistička utrka na 1000 kilometara dovodi do progresivnog opadanja prosječne snage i frekvencije srca te neznatnog povećanja SPO. S obzirom na karakteristike natjecanja i dobivene rezultate, priprema za ultra dugotrajna natjecanja zahtijeva visok ekstenzitet treninga (30-40 sati tjedno) u kombinaciji s niskim intenzitetom. Potrebno je najviše vremena provoditi u zoni 1 (70%), zoni 2 (25%) i zoni 3 (5%).



## 7. Literatura

- Anholm, J. D., Milne, E. N., Stark, P., Bourne, P. S. i Friedman, P. (1999). Radiographic evidence of interstitial pulmonary edema after exercise at altitude. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 86(2), 503-9.
- Barrero, A., Chaverri, D., Erola, P., Iglesias, X. i Rodriguez, A. F. (2014). Intensity profile during an ultra-endurance triathlon in relation to testing and performance. *International journal of sports medicine*, 35(14), 1170-1178.
- Barstow, T. J., Casaburi, R. i Wasserman, K. (1993). O<sub>2</sub> uptake kinetics and the O<sub>2</sub> deficit as related to exercise intensity and blood lactate. *Journal of applied physiology*, 75(2), 755-62.
- Bertucci, W., Grappe, F., Girard, A., Betik, A. i Rouillon, J. D. (2005). Effects on the crank torque profile when changing pedalling cadence in level ground and uphill road cycling. *Journal of biomechanics*, 38(5), 1003-10.
- Bishop, D., Jenkins, D. G., Mackinnon, L. T. (1998). The relationship between plasma lactate parameters, W<sub>peak</sub> and 1-h cycling performance in women. *Medicine and science in sports and exercise*, 30(8), 1270-5.
- Bok, D. (2021). Dinamika akutnog fiziološkog odgovora na različita opterećenja. U L. Milanović i V. Wertheimer (ur.), *Zbornik radova 19. godišnje međunarodne konferencije "Kondicijska priprema sportaša"* (str. 35-46). Zagreb: Kineziološki fakultet.
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and science in sports and exercise*, 14(5), 377-381.
- Brayson, D., Frigiola, A. i Clark, J. E. (2018). Dynamic heart rate response to multi-day unsupported ultra-endurance cycle racing: A case report. *Experimental physiology*, 104(2), 174-179.

- Coggan, A. R. i Coyle, E. F. (1991). Carbohydrate ingestion during prolonged exercise: effects on metabolism and performance. *Exercise and sport sciences reviews*, 19, 1-40.
- Colliander, E. B., Dudley, G. A. i Tesch, P. A. (1988). Skeletal muscle fiber type composition and performance during repeated bouts of maximal, concentric contractions. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 58(1-2), 81-6.
- Costill, D. L., Thomason, H. i Roberts, E. (1973). Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Medicine and Science in Sports*, 5(4), 248-52.
- Coyle, E. F. (1994). Fluid and carbohydrate replacement during exercise: how much and why? *Sports science exchange*, 7, 3, 50.
- Coyle, E. F., Coggan, A. R., Hemmert, M. K. i Ivy, J. L. (1986). Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.)*, 61(1), 165-72.
- Coyle, E. F., Feltner, M. E., Kautz, S. A., Hamilton, M. T., Montain, S. J., Baylor, A. M., ... Petrek, G. W. (1991). Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 23(1), 93-107.
- Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Horowitz, J. F. i Beltz, J. D. (1992). Cycling efficiency is related to the percentage of type I muscle fibers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(7), 782-788.
- Dal Monte, A. i Faina, M. (1999). *Valutazione dell'atleta (in Italian)*. Torino: UTET.
- Davis, J. M. i Bailey, S.P. (1997). Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 29(1), 45-57.
- Davis, J. M., Alderson, N. L. i Welsh, R. S. (2000). Serotonin and central nervous system fatigue: nutritional considerations. *The American journal of clinical nutrition*, 72(2 Suppl), 573S-8S.

- Dengel, D. R., Flynn, M. G., Costill, D. L. i Kirwan, J. P. (1989). Determinants of success during triathlon competition. *Research quarterly for exercise and sport*, 60(3), 234-8.
- Disley, B. X. i Li, F. X. (2012). The effect of Q Factor on gross mechanical efficiency and muscular activation in cycling. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(1), 117-21.
- Dorel, S., Couturier, A., i Hug, F. (2009). Influence of different racing positions on mechanical and electromyographic patterns during pedalling. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 19(1), 44-54.
- Faria, E. W., Parker, D. L. i Faria, I. E. (2005). The Science of Cycling. *Sports Medicine*, 35(4), 313-337.
- Fernandez, G. B., Perez, L. J., Rodriguez, A. M. i Terrados, N (2000). Intensity of exercise during road race pro-cycling competition. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(5), 1002-6.
- Fonda, B. i Šarabon, N. (2012). Biomechanics and energetics of uphill cycling: a review. *Kinesiology*, 1, 5-17.
- Foster, C., Boulosa, D., McGuigan, M., Fusco, A., Cortis, C., Arney, BE., ... Porcari, JP. (2021). 25 years of session rating of perceived exertion: historical perspective and development. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(5), 612-621.
- Foster, C., Daniels, E., Hector, L. i Snyder, A. C. (1996). Athletic performance in relation to training load. *Wisconsin medical journal*, 95(6), 370-374.
- Foster, C., Florhaug, J. A., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., Doleshal, P. i Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *Journal of strength and conditioning research*, 15(1), 109-115.

- Gaesser, G. A. i Brooks, G. A. (1975). Muscular efficiency during steady-rate exercise: Effects of speed and work rate. *Journal of Applied Physiology*, 38(6), 1132-9.
- Gibson, A. St., Schabert, E. J. i Noakes T. D. (2001). Reduced neuromuscular activity and force generation during prolonged cycling. *American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology*, 281(1), R187-96.
- Gibson, H., Edwards, R. H. (1985). Muscular exercise and fatigue. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 2(2), 120-32.
- Gilman, M. B. (1996). The use of heart rate to monitor the intensity of endurance training. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 21(2), 73-9.
- Gilman, M. B. i Wells, C. L. (1993). The use of heart rates to monitor exercise intensity in relation to metabolic variables. *International journal of sports medicine*, 14(6), 339-44.
- Gonzalez-Alonso, J. i Calbet, J. A. L. (2003). Reductions in systemic and skeletal muscle blood flow and oxygen delivery limit maximal aerobic capacity in humans. *Circulation*, 107(6), 824-30.
- Gonzalez-Alonso, J., Crandall, C. G. i Johnson, J. M. (2008). The cardiovascular challenge of exercising in the heat. *The Journal of Physiology*, 586(Pt 1), 45–53.
- Grant, S. M., Green, H. J., Phillips, S. M. i Sutton, J. R. (1997). Effects of acute expansion of plasma volume on cardiovascular and thermal function during prolonged exercise. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 76(4), 356-62.
- Hansen, E. A. i Waldeland, Harry. (2008). Seated versus standing position for maximization of performance during intense uphill cycling. *Journal of Sports Sciences*, 26(9), 977-84.
- Harnish, C., King, D. i Swensen, T. (2007). Effect of cycling position on oxygen uptake and preferred cadence in trained cyclists during hill climbing at various power outputs. *European journal of applied physiology*, 99(4), 387-91.

- Hautier, C. A., Arzac, L. M., Deghdegh, K., Souquet, J., Belli, A. i Lacour, J. R. (2000). Influence of fatigue on EMG/force ratio and cocontraction in cycling. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(4), 839-43.
- Impellizzeri, F. M. i Marcora, S.M. (2007). Physiology of mountain biking. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 37(1), 59-71.
- Impellizzeri, F., Sassi, A., Rodriguez-Alonso, M., Mognoni, P. i Marcora, S. (2002). Exercise intensity during off-road cycling competitions. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(11), 1808-13.
- Knechtle, B., Bragazzi, N. L., Rosemann, T. i Rüst, C. A. (2015). Pacing in a self-paced world record attempt in 24-h road cycling. *Springerplus*, 4(1).
- Kreider, R. B. (1991). Physiological considerations of ultraendurance performance. *International journal of sport nutrition*, 1(1), 3-27.
- Kresonja, J. (2011). *Biciklistički priručnik*. Zagreb: Vlastita naklada.
- Laursen, P. i Buchheit, M. (2018). *Science and Application of high-intensity interval training*. United States of America: Human Kinetics.
- Leo, P., Spragg, J., Mujika, I., Giorgi, A., Lorang, D., Simon, D. i Lawley, J. S. (2021). Power profiling, workload characteristics, and race performance of U23 and professional cyclists during the multistage race tour of the alps. *International journal of sports physiology and performance*, 31, 1-7.
- Lindsay, F. H., Hawley, J. A., Myburgh, K. H., Schomer, H. H., Noakes, T. D. i Dennis, S. C. (1996). Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training. *Medicine and science in sports and exercise*, 28(11), 1427-34.
- Lucía, A., Carvajal, A., Calderon, F. J., Alfonso, A. i Chicharro, J. L. (1999). Breathing pattern in highly competitive cyclists during incremental exercise. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 79(6), 512-21.

- Lucía, A., Hoyos, J. C. i L. Jose (2001). Physiology of Professional Road Cycling. *Sports Medicine*, 31(5), 325-337.
- Lucía, A., Hoyos, J. i Chicharro, J. L. (2000). Physiological response to professional road cycling: Climbers vs. Time trialists. *International journal of sports medicine*, 21(7), 505-12.
- Lucía, A., Hoyos, J. i Chicharro, J. L. (2001). Preferred pedalling cadence in professional cycling. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(8), 1361-6.
- Lucía, A., Hoyos, J., Carvajal, A. i Chicharro, J. L. (1999). Heart rate response to professional road cycling: the Tour de France. *International journal of sports medicine*, 20(3), 167-72.
- Lucía, A., Muñoz Hoyos, J. J., Santalla, A. i Earnest, C. P. (2003). Tour de France versus Vuelta a España: Which Is Harder? *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(5), 872-8.
- McCole, S. D., Clancy, K., Conte, J. C., Anderson, R. i Hagberg, J. M. (1990). Energy expenditure during bicycling. *Journal of applied physiology*, 68(2), 748-53.
- Meerlo, P., Sgoifo, A. i Suchecki, D. (2008). Restricted and disrupted sleep: effects on autonomic function, neuroendocrine stress systems and stress responsivity. *Sleep medicine reviews*, 12(3), 197-210.
- Meeusen, R. i Meirleir, K. De. (1995). Exercise and brain neurotransmission. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 20(3), 160-88.
- Minetti, A. E., Pinkerton, J. i Zamparo, P. (2001). From bipedalism to bicyclism: evolution in energetics and biomechanics of historic bicycles. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 268(1474), 1351-1360.
- Moseley, L. i Jeukendrup, A. E. (2001). The reliability of cycling efficiency. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(4), 621-7.

- Mujika, I. i Padilla, S. (2001). Physiological and performance characteristics of male professional road cyclists. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 31(7), 479-87.
- Muriel, X., Valenzuela, P. L., Mateo-March, M., Pallares, J. G., Lucía, A. i Barranco-Gil, D. (2021). Physical demands and performance indicators in male professional cyclists during a grand tour: worldtour versus proteam category. *International journal of sports physiology and performance*, 3, 1-9.
- Neumayr, G., Pfister, R., Mitterbauer, G., Gaenzer, H., Sturm, W. i Hoertnagl, H. (2003). Heart rate response to ultraendurance cycling, *British journal of sports medicine*, 37(1), 89-90.
- Neumayr, G., Pfister, R., Mitterbauer, G., Maurer, A. i Hoertnagl., H. (2004). Effect of ultramarathon cycling on the heart rate in elite cyclists. *British journal of sports medicine*, 38(1), 55-59.
- Noakes, T. D., Peltonen, J. E. i Rusko, H. K. (2001). Evidence that a central governor regulates exercise performance during acute hypoxia and hyperoxia. *The Journal of experimental biology*, 204(Pt 18), 3225-34.
- Padilla, S., Mujika, I., Cuesta, G i Goiriena, J. J. (1999). Level ground and uphill cycling ability in professional road cycling. *Medicine and science in sports and exercise*, 31(6), 878-85.
- Padilla, S., Mujika, I., Orbananos, J. i Angulo, F. (2000). Exercise intensity during competition time trials in professional road cycling. *Medicine and Science in sports and exercise*, 32(4), 850-6.
- Pfeiffer, R., Harder, B. P., Landis, D. i Barber, D. (1993). Correlating indices of aerobic capacity with performance in elite women road cyclists. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 7(4).
- Rakovac, M. (2011). *Središnja temperatura tijela u procjeni anaerobnog praga pri progresivnom testu opterećenja* (doktorska disertacija). Medicinski fakultet, Zagreb.

- Rodriguez-Marroyo, J. A., Garcia Lopez, J., Avila, C., Jimenez, F., Cordova, A. i Villa Vicente, J. G. (2003). Intensity of exercise according to topography in professional cyclists. *Medicine and science in sports and exercise*, 35(7), 1209-15.
- Rodriguez-Marroyo, J. A., Gonzalez-Lazaro, J., Arribas-Cubero, H. F. i Villa, J. G. (2018). Physiological demands of mountain running races. *Kinesiology*, 1, 60-66.
- Romer, L. M., McConnell, A. K. i Jones, D. A. (2002). Inspiratory muscle fatigue in trained cyclists: effects of inspiratory muscle training. *Medicine and science in sports and exercise*, 34, 785-792.
- Ryschon, T. W. i Stray-Gundersen, J. (1991). The effect of body position on the energy cost of cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(8), 949-953.
- Salai, M., Brosh, T., Blankstein, A., Oran, A. i Chechik, A. (1999). Effect of changing the saddle angle on the incidence of low back pain in recreational bicyclists. *British journal of sports medicine*, 33(6), 398-400.
- Sanders, D. i Heijboer, M. (2019). Physical demands and power profile of different stage types within a cycling grand tour. *European journal of sport science*, 19(6).
- Sanders, D., Myers, T. i Akubat, I. (2017). Training – intensity distribution in road cyclists: objective versus subjective measures. *International journal of sports physiology and performance*, 12(9), 1232-1237.
- Sanders, D., Van Erp, T. i J de Koning, J. (2019). Intensity and load characteristics of professional road cycling: Differences between men's and women's races. *International journal of sports physiology and performance*, 14(3), 296-302.
- Seiler, S. (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *International journal of sports physiology and performance*, 5(3), 276-91.



- Shaffrath, J. D. i Adams, W. C. (1984). Effects of airflow and work load on cardiovascular drift and skin blood flow. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 56(5), 1411-7.
- Sleivert, G. G. i Rowlands, D. S. (1996). Physical and physiological factors associated with success in the triathlon. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 22(1), 8-18.
- Slomko, J., Zawadka-Kunikowska, M., Klawe, J. J., Tafil-Klawe, M., Newton, J. i Zalewski, P. (2018). Cardiovascular regulation and body temperature: evidence from a nap vs. sleep deprivation randomized controlled trial. *Physiological research*, 67, 687– 693.
- Stapelfeldt, B., Schwirtz, A., Schumacher, Y. O. i Hillebrecht, M. (2004). Workload demands in mountain bike racing. *International journal of sports medicine*, 25(4), 294-300.
- Stromme, S. B., Ingjer, F. i Meen, H. D. (1977). Assessment of maximal aerobic power in specifically trained athletes. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 42(6), 833-7.
- Swain, D. P. (1994). The influence of body mass in endurance bicycling. *Medicine and science in sports and exercise*, 26(1), 58-63.
- Uusitalo, A. L., Tahvanainen, K. U., Uusitalo, A. J. i Rusko, H. K. (1996). Non-invasive evaluation of sympathovagal balance in athletes by time and frequency domain analyses of heart rate and blood pressure variability. *Clinical physiology (Oxford, England)*, 16(6), 575-88.
- Van Erp, T., Hoozemans, M., Foster, C., i J de Koning, Jos. (2019). Case report: Load, intensity and performance characteristics in multiple grand tours. *Medicine and science in sports and exercise*, 52(4), 868-875.
- Vučetić, V. (2009). Dijagnostički postupci za procjenu energetske kapaciteta sportaša. U Jukić, I., Milanović, D., Šalaj, S. i Gregov, C. (ur.), *7. godišnja međunarodna konferencija Kondicijska priprema sportaša 2009 „Trening izdržljivosti“*. Zagreb: Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

- Vučetić, V. i Šentija, D. (2005). Dijagnostika funkcionalnih sposobnosti – zašto, kada i kako testirati sportaše? *Kondicijski trening : stručni časopis za teoriju i metodiku kondicijske pripreme*, 2, 8-14.
- Vučetić, V., Šentija, D. i Matković, B. (2002). Doziranje i kontrola intenziteta treninga u sportovima dugotrajne izdržljivosti. U D. Milanović (ur.), *Zbornik radova 11. Zagrebačkog sajma sporta i nautike* (str. 29-37). Zagreb: Kineziološki fakultet.
- Wingo, J. E., Casa, D. J., Berger, E. M., Dellis, W. O., Knight, J. C. i McClung, J. M. (2004). Influence of a pre-exercise glycerol hydration beverage on performance and physiologic function during mountain-bike races in the heat. *Journal of athletic training*, 39(2), 169–175.
- Wolski, L. A., McKenzie, D. C. i Wenger, H. A. (1996). Altitude training for improvements in sea level performance. Is the scientific evidence of benefit? *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 22(4), 251-63.
- Zaryski, C. i Smith, J. D. (2005). Training principles and issues for ultra-endurance athletes. *Current sports medicine reports*, 4(3), 165-170.