

Примљено: 11-12-2022			
Орг.јед.	Број	Прилог	Број лист
02	100/22		5

UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET SPORTA I FIZIČKOG VASPITANJA
Beograd, 11. 02. 2022. god.

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU FAKULTETA

Odlukom Nastavno-naučnog veća Fakulteta na **četvrtoj** sednici održanoj 21. januara 2022. godine (akt 02-br. 100/22-3), a u skladu sa članom 40. Pravilnika o doktorskim akademskim studijama – prečišćen tekst (02-br. 893/20-3 od 17. juna 2020. Godine) i članom 41-43. Statuta Univerziteta u Beogradu – Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja – prečišćen tekst 02-br. 896/20-2 od 16. Jula 2020. godine, na predlog Veća doktorskih akademskih studija (02-br. 2406/21-6 od 29. decembra 2021. godine), na predlog Veća doktorskih akademskih studija donelo je odluku za formiranje Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije studenta **Stefana Markovića**, pod naslovom:

„MERENJE PERFORMANSI U SPORTU PRIMENOM KINEMATIČKIH SENZORA“

u sledećem sastavu:

1. Dr Aleksandar Nedeljković, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu - Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, predsednik komisije;
2. Dr Dragan Mirkov, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu - Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja, član;
3. Dr Anton Kos, vanredni profesor, Univerzitet u Ljubljani - Elektrotehnički fakultet, član;

Nakon pregledane finalne verzije doktorske disertacije, biografije kandidata i spiska objavljenih radova, Komisija podnosi Nastavno-naučnom veću Fakulteta sledeći

REFERAT

UVOD

Kandidat Stefan Marković je finalnu verziju doktorske disertacije pod naslovom: **MERENJE PERFORMANSI U SPORTU PRIMENOM KINEMATIČKIH SENZORA**, predao arhivi fakulteta dana 19.01.2022. godine. Doktorska disertacija je predata u mekom povezu sa obimom od 81 strane. Doktorska disertacija je urađena u potpunosti u skladu sa Pravilnikom o doktorskim studijama Fakulteta sporta i fizičkog vaspitanja, kao i sa Uputstvom o formiranju repozitorijuma doktorskih disertacija koji je usvojio Senat Univerziteta u Beogradu. Disertacija je rezultat dosledno realizovanog projekta predviđenog u okviru elaborata teme doktorske disertacije.

Dana 21. 01. 2022. godine započet je postupak provere originalnosti podnete doktorske disertacije njenim slanjem Univerzitetskoj biblioteci Svetozar Marković. Međutim, provera originalnosti podnete doktorske disertacije još uvek nije završena, jer postoji zastoj u proceduri zbog privremene nemogućnosti softverske provere. Na osnovu dopisa br. 612-2179/1-20 od 01.07.2020. godine upućenog dekanima fakulteta od strane tadašnje rektorke univerziteta prof. dr Ivanke Popović, u ovakvim slučajevima se primenjuje tzv. proceduralna korekcija kojom se ne sprečava postupak ocenjivanja disertacije, pisanje izveštaja komisije za ocenu doktorske disertacije, stavljanja na uvid javnosti, donošenja odluke o usvajanju izveštaja komisije za ocenu doktorske disertacije i o imenovanju komisije za odbranu. Ocena izveštaja o proveru (na osnovu provere uz pomoć specijalizovanog softvera) svakako je obavezna za davanje saglasnosti odgovarajućeg veća naučne oblasti.

BIOGRAFIJA KANDIDATA

Osnovni podaci

Stefan Marković je rođen u Beogradu 25.06.1985. godine, gde je završio osnovnu i srednju školu – Elektrotehničku školu “Nikola Tesla”.

Obrazovanje

Nakon završetka srednje škole 2009. godine, upisao je Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja Univerziteta u Beogradu, gde 2016. godine završava osnovne akademske studije završnim radom na temu „Fizičko vaspitanje u obrazovno-vaspitanom sistemu Srbije i Evrope“, prosečnom ocenom 8,98. Zatim, upisao je master akademske studije na istom fakultetu, koje je završio u roku, 2017. godine, odbranom master rada na temu „Promene karakteristika mišićne sile različitih mišićnih grupa kod džudista kadetskog uzrasta nakon takmičarskog mezociklusa“, prosečnom ocenom 9,89. Odmah posle navedenog, upisao doktorske akademske studije, na istom Fakultetu.

Pedagoške i ostale aktivnosti

Tokom doktorskih akademskih studija bio je demonstrator na predmetima Analitika i dijagnostika u sportu (2018/2019 i 2019/2020) i Analitika i dijagnostika u sportu i fizičkom vaspitanju (2019/2020). Tokom školske 2019/2020 bio je uključen u Erasmus + internacionalni program mobilnosti studenata doktorskih studija, u okviru koga je vršio naučno-istraživački rad na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Ljubljani.

Naučna produkcija i kompetencija kandidata

Kandidat Stefan Marković je do sada kao autor ili koautor publikovao 30 (trideset) naučno-istraživačkih radova i učestvovao je u radu nacionalnog naučnog projekta Republike Srbije pod nazivom “Efekti primenjene fizičke aktivnosti na lokomotorni, metabolički, psihomotorni i socijalni status populacije Republike Srbije”, broj III47015, istraživačkog programa Republike Slovenije ICT4QoL-Information and Communications Technologies for Quality of Life (research core funding no. P2-0246) i programa bilateralne saradnje Republike Slovenije i Republike Srbije pod nazivom “Sensor technologies as support systems for the detection and selection of talents in sport and monitoring the performance of athletes” (research core funding no. BI-RS/20-21-023):

1. radovi u indeksiranim časopisima sa WoS liste – 10 (deset),
2. radovi u časopisima nacionalnog značaja – 8 (osam),
3. radovi prezentovani na kongresima međunarodnog značaja a publikovani u zbornicima – 8 (osam),
4. radovi prezentovani na kongresima međunarodnog značaja a publikovani u zbornicima kao sažetak – 4 (četiri).

Spisak radova koje je kandidat publikovao su sledeći:

M21

1. Vuković, V., Dopsaj, M., Koropanovski, N., **Marković, S.**, Kos, A., & Umek, A. (2021). Metrical Characteristics and the Reliability of Kinematic Sensor Devices Applied in Different Modalities of Reverse Punch in Karate Athletes. *Measurement*, 177, 109315. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109315>, WoS IF 2020 – 3.927, naučni bodovi – 8.
2. **Marković, S.**, Kos, A., Vuković, V., Dopsaj, M., Koropanovski, N., & Umek, A. (2021). Use of IMU in Differential Analysis of the Reverse Punch Temporal Structure in Relation to the Achieved Maximal Hand Velocity. *Sensors*, 21(12), 4148. <https://doi.org/10.3390/s21124148>, WoS IF 2020 – 3.576, naučni bodovi – 8.

M22

3. **Marković, S.**, Dopsaj, M., Tomažič, S., Kos, A., Nedeljković, A., & Umek, A. (2021). Can IMU Provide an Accurate Vertical Jump Height Estimate? *Applied Sciences*, 11(24). <https://doi.org/10.3390/app112412025>, WoS IF 2020 – 2.679, naučni bodovi – 5.

M23

4. **Marković, S.**, Dopsaj, M., Tomažič, S., & Umek, A. (2020). Potential of IMU-Based Systems in Measuring Single Rapid Movement Variables in Females with Different Training Backgrounds and Specialization. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2020, Article ID 7919514. <https://doi.org/10.1155/2020/7919514>, WoS IF 2020 – 1.781, naučni bodovi – 4.
5. **Marković, S.**, Dopsaj, M., Umek, A., Prebeg, G., & Kos, A. (2020). The Relationship of Pistol Movement Measured by a Kinematic Sensor, Shooting Performance and Handgrip Strength. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 20(6). <https://doi.org/10.1080/24748668.2020.1833624>, WoS IF 2020 – 1.950, naučni bodovi – 4.
6. **Marković, S.**, Dopsaj, M., & Veljković, V. (2020). Reliability of Sports Medical Solutions Handgrip and Jamar Handgrip Dynamometer. *Measurement Science Review*, 20(2), 59–64. <https://doi.org/10.2478/msr-2020-0008>, WoS IF 2020 – 1.319, naučni bodovi – 4.
7. Majstorovic, N., Nesic, G., Grbic, V., Savic, Z., Zivkovic, M., Anicic, Z., **Markovic, S.**, & Dopsaj, M. (2020). Reliability of a Simple Novel Field Test for the Measurement of Plantar Flexor Muscle Strength. *Revista Brasileira de Medicina Do Esporte*, 27(1), 98–102. https://doi.org/10.1590/1517-8692202127012019_0002, WoS IF 2020 – 0.589, naučni bodovi – 4.

M24

8. Lakićević, M., Dopsaj, M., **Marković, S.**, Matić, M., & Klisarić, D. (2021). Reliability of specific tests of strength of sports arm wrestling. *Facta Universitatis, Series: Physical Education and Sport*, 19(1), 97–107. <https://doi.org/10.22190/FUPES210606013L>, naučni bodovi – 4.
9. **Marković, S.**, Dopsaj, M., Koprivica, V., & Kasum, G. (2018). Qualitative and Quantitative Evaluation of the Characteristics of the Isometric Muscle Force of Different Muscle Groups in Cadet Judo Athletes: A Gender-Based Multidimensional Model. *Facta Universitatis, Series: Physical Education and Sport*, 16(2), 245–260. <https://doi.org/10.22190/FUPES180219022M>, naučni bodovi – 4.
10. **Marković, S.**, Valdevit, Z., Bon, M., Pavlović, Lj., Ivanović, J., & Dopsaj, M. (2019). Differences in Visual Reaction Characteristics in National Level Cadet and Junior Female Handball Players. *Facta Universitatis, Series: Physical Education and Sport*, 17(1), 69–78. <https://doi.org/10.22190/FUPES190310009M>, naučni bodovi – 4.
11. Kos, A., Umek, A., **Marković, S.**, & Dopsaj, M. (2019). Sensor System for Precision Shooting Evaluation and Real-time Biofeedback. *Procedia Computer Science*, 147, 319–323. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.228>, naučni bodovi – 4.
12. Dopsaj, M., Djordjević-Nikić, M., Khafizova, A., Eminović, F., **Marković, S.**, Yanchik, E., & Dopsaj, V. (2020). Structural Body Composition Profile and Obesity Prevalence at Female Students of the University of Belgrade Measured by Multichannel Bioimpedance Protocol. *Human. Sport. Medicine*, 20(2), 53–62. <https://doi.org/10.14529/hsm200207>, naučni bodovi – 4.
13. Dopsaj, M., Nenasheva, A., Tretiakova, T. N., Syromiatnikova, Y. A., Surina-Marysheva, E. F., **Marković, S.**, & Dopsaj, V. (2019). Handgrip Muscle Force Characteristics with General Reference Values at Chelyabinsk and Belgrade Students. *Human. Sport. Medicine*, 19(2), 27–36. <https://doi.org/10.14529/hsm190204>, naučni bodovi – 4.
14. Dopsaj, M., **Marković, S.**, Umek, A., Prebeg, G., & Kos, A. (2019). Mathematical Model of Short Distance Pistol Shooting Performance in Experienced Shooters of Both Gender. *Nauka, Bezbednost, Policija*, 24(3), 3–13. <https://doi.org/10.5937/nabepo24-23287>, naučni bodovi – 4.

M51

15. **Marković, S.**, Vučković, G., & Janković, R. (2019). Simple Visual Reaction Time in Students of Academy of Criminalistic and Police Studies. *Bezbednost*, 61(1), 25–39. <https://doi.org/10.5937/bezbednost1901025M>, naučni bodovi – 3.
16. Dopsaj, M., **Marković, S.**, Jovanović, J., Vuković, V., Maksimović, M., Miljuš, D., Tomanić, M., Aničić, Z., Tomić, L. D., & Stanković, A. (2018). BMI: Analysis of the Population Indicators in Working Population of the Republic of Serbia in Relation to Gender and Age. *Fizička Kultura*, 72(2), 148–160. <https://doi.org/10.5937/fizkul1802148D>, naučni bodovi – 3.
17. **Marković, S.**, Dopsaj, M., Jovanović, S., Rusovac, T., & Cvetkovski, N. (2018). Explosive Isometric Muscle Force of Different Muscle Groups of Cadet Judo Athletes in Function of Gender. *Fizička Kultura*, 72(1), 57–70. <https://doi.org/10.5937/fizkul1801057M>, naučni bodovi – 3.

M54

18. **Marković, S.**, Vuković, V., Koropanovski, N., & Majstorović, N. (2021). Differences in Reaction Time Capabilities in Physically Active Subjects of Different Age. *Serbian Journal of Sport Science*, 12(1), 25–30, naučni bodovi – 0.2.

M33

19. Dopsaj, M., Aničić, Z., **Marković, S.**, Majstorović, N., & Nešić, G. (2018). Generic Model of Optimal Body Composition Prediction of Elite Male Volleyball. In M. Kocić (Ed.), *FIS Communications 2018 Book of Proceedings* (pp. 98–104). University of Niš, Faculty of Sport and Physical Education. M33, naučni bodovi – 1.
20. Dopsaj, M., **Marković, S.**, & Jovanović, S. (2017). Multidimensional Model of General Contractile Potential Estimation of Basic Muscle Groups in Cadet Judo Athletes. In S. Pantelić (Ed.), *FIS Communications 2017 Book of Proceedings* (pp. 55–61). University of Niš, Faculty of Sport and Physical Education. M33, naučni bodovi – 1.
21. **Marković, S.**, & Dopsaj, M. (2018). Simple Visual Reaction Time: Differences in Relation to Gender and Level of Physical Activity in Serbian Young Adults – Pilot Study. In M. Kocić (Ed.), *FIS Communications 2018 Book of Proceedings* (pp. 221–227). University of Niš, Faculty of Sport and Physical Education. M33, naučni bodovi – 1.
22. **Marković, S.**, Dopsaj, M., Jovanović, S., & Vuković, M. (2017). Descriptive Profile of Contractile and Ballast Tissue in Body Composition of Cadet and Junior Judo Athletes Partialized on Longitudinal Basis: Pilot Research. In S. Pantelić (Ed.), *FIS Communications 2017 Book of Proceedings* (pp. 34–39). University of Niš, Faculty of Sport and Physical Education. M33, naučni bodovi – 1.
23. **Marković, S.**, Dopsaj, M., Vuković, V., Majstorović, N., Koropanovski, N., & Umek, A. (2019). Differences in Visual Reaction Time in Children and Adolescents Involved in Open Skill Sports. In N. Stojiljković (Ed.), *FIS Communications 2019 Book of Proceedings* (pp. 247–253). University of Niš, Faculty of Sport and Physical Education. M33, naučni bodovi – 1.
24. Vuković, V., Koropanovski, N., **Marković, S.**, & Umek, A. (2019). Descriptive Profile of the Reverse Punch (Gyako Tsuki) Kinematic Characteristics Measured by IMU Sensor Technology. In N. Stojiljković (Ed.), *FIS Communications 2019 Book of Proceedings* (pp. 40–44). University of Niš, Faculty of Sport and Physical Education. M33, naučni bodovi – 1.
25. **Marković, S.**, Dopsaj, M., Valdevit, Z., Petronijević, M., & Bon, M. (2018). Differences in Simple Visual Reaction Characteristics in National Level Cadet and Junior Female Handball Players [Abstract]. In M. Doupona Topić (Ed.), *Youth Sport: Abstract book of the 9th Conference for youth sport in Ljubljana* (p. 32). University of Ljubljana, Faculty of Sport. M33, naučni bodovi – 1.
26. Kos, A., Dopsaj, M., **Marković, S.**, & Umek, A. (2019). Augmented Real-time Biofeedback Application for Precision Shooting Practice Support. In M. Trajanović, Z. Konjević, & M. Zdravković

(Eds.), *ICIST 2019 Proceedings* (Vol. 1, pp. 107–110). Society for Information Systems and Computer Networks. <http://www.eventiotic.com/eventiotic/library/paper/460>. M33, naučni bodovi – 1.

M34

27. Dopsaj, M., Koropanovski, N., Majstorović, N., **Marković, S.**, & Ćopić, N. (2017). Basic Characteristics of Body and Contractile Status of Boys Aged 13 and 14 Years in Function of Selection in Sports System of R Serbia [Abstract]. In M. Plevnik, T. Volmut, B. Šimunič, & R. Pišot (Eds.), *The 9th International Scientific and Professional Conference "Child in Motion" Book of Abstract* (p. 60). Science and Research Centre Koper. M34, naučni bodovi – 0.5.
28. Dopsaj, M., Kos, A., **Marković, S.**, Tomažič, S., & Umek, A. (2019). Relation Between Freestyle Body Roll Angle Measured by Imu Sensors and Swimming Velocity at Young Swimmers [Abstract]. In T. Volmut & K. Koren (Eds.), *The 10th International Scientific and Professional Conference "Child in Motion" Book of Abstract* (pp. 71–72). Science and Research Centre Koper. M34, naučni bodovi – 0.5.
29. Valdevit, Z., Simić, M., Dopsaj, M., **Marković, S.**, & Petronijević, M. (2018). The Differences in the Efficiency of the Shot from the Pivot and Wing Position in the Function of the Final Placement of the Teams at the World Handball Championships for Women in 2015 and 2017 [Abstract]. In D. Suzović, N. Janković, G. Prebeg, & M. Ćosić (Eds.), *International Scientific Conference Effects of Applying Physical Activity on Anthropological Status of Children, Adolescents and Adults Book of Abstracts* (p. 173). University of Belgrade, Faculty of Sport and Physical Education. M34, naučni bodovi – 0.5.
30. Vuković, V., **Marković, S.**, Koropanovski, N., Umek, T., & Dopsaj, M. (2019). Reaction Time in Young Karate Athletes in Relation to Gender and Level of Training [Abstract]. In T. Volmut & K. Koren (Eds.), *The 10th International Scientific and Professional Conference "Child in Motion" Book of Abstract* (p. 108). Science and Research Centre Koper. M34, naučni bodovi – 0.5.

U dosadašnjem naučnom radu kandidat Stefan Marković je ostvario naučnu kompetenciju na nivou od 84.2 naučnih bodova, i indeksa međunarodnog uticaja od WoS IF (Naučni bodovi = $2*8 + 5 + 11*4 + 3*3 + 8*1 + 4*0.5 + 0.2 = 84.2$); WoS IF = $3.927 + 3.576 + 2.679 + 1.781 + 1.95 + 1.319 + 0.589 = 15.821$).

Iz uže oblasti teme doktorske disertacije (primena kinematičkih senzora u sportu), kandidat je publikovao deset (10) radova /1, 2, 3, 4, 5, 11, 14, 24, 26, 28/, dok je u odnosu na širu oblast (merenje performansi u sportu) koja je na bazičnom nivou tematski povezana ispitivanjem performansi i fizičkih sposobnosti sportista, kandidat je publikovao još trinaest (13) radova /6, 7, 8, 9, 10, 17, 19, 20, 22, 23, 25, 29, 30/.

STRUKTURA DOKTORSKE DISERTACIJE

UVOD: U obrazloženju teme, autor se na početku bavi problemima istraživanja sa teoretskog aspekta, osvrćući se razdvojeno na činjenicu da sportisti moraju razvijati svoje veštine i motoričke sposobnosti do najvišeg mogućeg nivoa u cilju ostvarivanja najboljih rezultata. Ovo se postiže kroz proces adaptacije koji je pokrenut ponovljenim izlaganjem fiziološkom i fizičkom stresu uzrokovanim sistematskom manipulacijom komponenti trenažnog opterećenja. Periodizacija se koristi da bi se u potpunosti iskoristila sumacija različitih trenažnih efekata u cilju stimulacije željenih adaptacija. Ona formira bazu za dugoročno upravljanje treningom koje se u velikoj meri oslanja na relevantne i pravovremene informacije dobijene periodičnim i permanenentnim praćenjem treninga i izvođenja. Kvantifikacija veština i sposobnosti od interesa se vrši korišćenjem laboratorijskih testiranja, praćenjem trenažnih efekata i analizom izvođenja. S druge strane, kratkoročno upravljanje treningom ima koristi od povećanog nivoa povratne sprege informacija. U oba slučaja, uvid u kinematičke karakteristike ljudskog kretanja se može postići sredstvima kvantitativne biomehničke analize korišćenjem adekvatne opreme. Dalje, autor daje sažetak najrelevantnijih činjenica vezanih za kinematičke senzore. Naime, tehnološki napredak je dozvolio razvoj mikro-elektro-mehaničkih sistema (MEMS) koji kombinuju električne i mehaničke komponente na mikro nivou. MEMS akcelerator i

žiroskop su inercijalni senzori koji koriste mehanizme detekcije sile da bi kvantifikovali promene akceleracije i ugaone brzine, respektivno. Ova dva senzora se često kombinuju u kinematički merni uređaj, sa mogućim dodatkom magnetometra. Da bi dali bolji merni rezultat oba senzora se moraju kalibrisati. Matematička obrada dobijenih senzorskih signala daje dodatne izvedene veličine među kojima su one koje se najčešće koriste orijentacija i brzina. Ipak, ovaj proces uvodi uvećanje greške senzora na rezultat, što predstavlja ograničenje koje se ne može u potpunosti poništiti. Tačniji rezultati merenja se dobijaju kombinovanjem i filtriranjem signala dobijenih sa različitih senzora. U odnosu na primenu u sferi sporta sistemi različite kompleksnosti zasnovani na kinematičkim sensorima se koriste za kvantifikaciju kinematičkih karakteristika ljudskog kretanja.

DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA: U ovom poglavlju autor detaljno sintetizuje dosadašnja saznanja u odnosu na problematiku istraživanja. Autor daje analizu prethodnih istraživanja sa aspekta datog problema. Na osnovu ove analize, autor zaključuje da raznovrsnost primene kinematičkih senzora i uređaja zasnovanih na njima korišćenih u specifičnim sportskim situacijama potvrđuje činjenicu da su ovi sistemi veoma svestran alat koji se može koristiti u kontekstu različitih problema i situacija. Dodatno, izvođenje kinematičkih parametara ili drugih relevantnih rezultata može se vršiti velikim brojem tehnika analize kako je to pogodno u odnosu na pojedinačni zadatak što dalje povećava njihovu primenljivost. Dalje, autor prezentuje dosadašnja istraživanja koja su imla direktan uticaj na konceptualizaciju i utemeljenje pojedinačnih studija dalje prezentovanih u okviru disertacije.

Na kraju zaključuje da prezentovana oblast nije dovoljno istraživana, te ukazuje na značaj istraživanja, kako u generalnom smislu, tako i u odnosu na primenu kinematičkih senzora u kontekstu specifičnih sportskih zadataka.

PROBLEM, PREDMETI, CILJEVI I ZADACI ISTRAŽIVANJA: Problem istraživanja je primena kinematičkih senzora za merenje i evaluaciju performansi u sportu u četiri različite kategorije zadataka. Odabrani pojedinačni zadaci predstavljaju primere brzog pokreta, preciznog motoričkog zadatka, kompleksnog motoričnog zadatka kao i testa fizičke, odnosno bio-motičke sposobnosti. Obzirom na to da su ovi zadaci nesrodni, autor ih obrađuje u četiri potpuno odvojene studije.

Predmet istraživanja prve studije je selekcija i kategorizacija sportista na osnovu kinematičkih varijabli dobijenih u nespecifičnom testu taping rukom. **Predmet istraživanja druge studije** je praćenje kinematike kretanja oružja tokom preciznog pucanja. **Predmet istraživanja treće studije** je praćenje kinematike kretanja gyaku zuki karate udarca i odnos maksimalne brzine udarca sa njegovom vremenskom strukturom. **Predmet istraživanja četvrte studije** je mogućnost procene visine vertikalnog skoka primenom kinematičkog senzora na metatarzalnom delu stopala sportiste.

Cilj prve studije je da se utvrdi potencijal sistema zasnovanog na kinematičkim sensorima za diskriminaciju različitih grupa odbojkašica i kontrolne grupe u odnosu na kinematiku kretanja u nespecifičnom zadatku brzog pokreta rukom. **Cilj druge studije** je da se utvrdi odnos između tačnosti i preciznosti, kao relevantnih mera performanse gađanja iz pištolja, i kinematike oružja tokom fazi nišanja i okidanja hica primenom kinematičkih senzora. **Cilj treće studije** je da se utvrde razlike vremenske strukture gyaku zuki karate udarca, mereno sa dva kinematička senzora, u odnosu na postignutu maksimalnu brzinu ruke. **Cilj četvrte studije** je da se utvrdi da li kinematički senzor postavljen na metatarzalnom delu stopala može dati validne i pouzdane podatke u odnosu na tačnu procenu visine vertikalnog skoka koristeći metod merenja vremena.

Zadaci istraživanja se sastoje u praktičnoj organizaciji pojedinačnih istraživanja u smislu:

1. formiranja grupa ispitanika na osnovu definisanih kriterijuma;

2. merenja kinematike kretanja ruke u zadatku taping rukom primenom kinematičkih senzora (**Studija #1**);
3. merenja kinematike kretanja pištolja primenom kinematičkih senzora kao i parametra uspešnosti gađanja (**Studija #2**);
4. merenja kinematike udarca gyaku zuki primenom dva kinematička senzora (**Studija #3**);
5. merenja kinematike vertikalnog skoka i procena visine primenom kinematičkog senzora na stopalu ispitanika (**Studija #4**);
6. statističke obrada podataka;
7. prikazivanja i interpretacije dobijenih rezultata;

Komisija smatra da su generalni problem, kao i predmet, ciljevi i zadaci pojedinačnih istraživanja metodološki korektno postavljeni i napisani, tako da su u funkciji unapređenja tehnologije merenja i evaluacije performansi u sportu.

HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA: Na osnovu dosadašnjih istraživanja, predmeta i cilja istraživanja, kandidat je formulisao sledeću glavnu hipotezu:

H_g – Validna i pouzdana kvantifikacija kinematičkih karakteristika ljudskog kretanja se može izvršiti korišćenjem mikroelektromehaničkih kinematičkih senzora;

U odnosu na pomoćne hipoteze kandidat je formulisao sledećih četiri hipoteze:

H₁ – Hipoteza u odnosu na diskriminativni potencijal sistema zasnovanog na kinematičkim sensorima za merenje nespecifičnih brzih pokreta rukom (**Studija #1**) je da će dobijeni podaci poslužiti kao baza za validnu klasifikaciju u odnosu na nivo performanse;

H₂ – Hipoteza u odnosu na merenje kinematike gađanja iz pištolja (**Studija #2**) je da su i tačnost i preciznost visoko korelirani sa kinematikom kretanja oružja, merenom kinematičkim sensorom;

H₃ – Hipoteza u odnosu na sinhronizaciju pokreta u gyaku zuki karate udarcu (**Studija #3**) je da postoje razlike u redosledu detektovanih događaja među udarcima klasifikovanim u različite grupe u odnosu na postignutu maksimalnu brzinu šake;

H₄ – Hipoteza u odnosu na procenu visine vertikalnog skoka korišćenjem kinematičkog senzora na metatarzalnom delu stopala (**Studija #4**) je da će ovakav system datai validne i ponovljive rezultate u odnosu na računanje visine vertikalnog skoka u zadacima skoka sa počučnjem i skoka sa čučnjem u poređenju sa platformom sile kao referentnim uređajem;

Komisija se generalno slaže sa postavljenim hipotezama.

METODE: Sve četiri studije prezentovane u okviru rada predstavljaju istraživanja eksperimentalnog tipa pri čemu je kao osnovna tehnika istraživanja korišćeno merenje primenom laboratorijske i terenske metode u odnosu na prostor kinematike kretanja u različitim motoričkim zadacima.

U nastavku, autor prezentuje relevantne podatke o opremi i metodologiji istraživanja na generalnom nivou, da bi dalje za svaku od četiri studije precizno definisao sve karakteristike uzorka ispitanika, kao i procedure testiranja, te primenjenu metodologiju sa tehnološkog aspekta.

Na generalnom nivou, merenje kinematike kretanja kod različitih zadataka je izvršeno korišćenjem sistema posebno razvijenog u LabView softverskom okruženju, a koji obuhvata glavnu aplikaciju i promenljiv broj senzorskih jedinica. Glavna aplikacija omogućava akviziciju signala sa jedne ili više senzorskih jedinica kao i kontrolu i sinhronizaciju u realnom vremenu u slučaju korišćenja više senzorskih jedinica. Za komunikaciju sa senzorskim jedinicama se koristi UDP komunikacioni protokol. U okviru istraživanja korišćena su dva tipa kinematičkih senzora i to STM LSM6DS33 Bosch BNO055, oba motirana na Adafruit Feather M0 Wi-Fi mikrokontroler. Autor daje detaljnje karakteristike mernog sistema i komponenti.

U prvoj studiji (**Studija #1**) uzorak ispitanika je činilo 70 ženskih učesnika, pri čemu je ukupan uzorak bio podeljenu 3 podgrupe ($N_1 = 22$; $N_2 = 17$; $N_3 = 31$), u odnosu na nivo fizičke aktivnosti, uzrast i takmičarski nivo. Autor daje relevantne uzrasne i morfološke karakteristike uzoraka. U odnosu na kinematičke karakteristike brzog pokreta rukom, ovom studijom obuhvaćeno je 6 varijabli dobijenih obradom signala akceleracije ruke. To su:

1. t_1 [s] – Vreme od početka kretanja ruke do prvog kontakta;
2. t_2 [s] – Vreme od prvog do drugog kontakta ruke;
3. A_1 [g_0] – Maksimalna akceleracija;
4. A_2 [g_0] – Maksimalna deceleracija;
5. GA_1 [$g_0 \cdot s^{-1}$] – Maksimalni prirast akceleracije;
6. GA_2 [$g_0 \cdot s^{-1}$] – Maksimalni prirast deceleracije;

U ovoj studiji, autor je primenio deskriptivnu statističku analizu, neparametrijski Kolmogorov-Smirnov test normaliteta raspodele rezultata i diskriminantnu analizu. Nivo statističke značajnosti je izračunat za 95% verovatnoću i vrednost $p \leq 0.05$. Statistička obrada je urađena u programima MS Excel 2013 i IBM SPSS 23.

U drugoj studiji (**Studija #2**) uzorak ispitanika je činilo 35 ispitanika, muškog pola, u kategoriji iskusnih strelaca, u sa iskustvom od 6.2 ± 3.7 godina. Autor daje relevantne uzrasne i morfološke karakteristike uzoraka. U odnosu na uspešnost korišćenja oružja, odnosno performansu gađanja, ovom studijom su obuhvaćene sledeće varijable:

1. Veličina grupe od 4 hica definisana njihovom prosečnom udaljenošću od centra grupe pogodaka, tj. preciznost (G_RAD), izražena u centimetrima (cm);
2. Suma rezultata na meti za posmatranu grupu hitaca, tj. (SUM_R), izražena kao suma rezultata odnosno bodova na meti za sva četiri hica;

U odnosu na kinematiku kretanja oružja odnosno pištolja sve varijable su izračunate u odnosu na sve 3 ose (X, Y, Z) kao i u odnosu na faze nišanja i okidanja, koje odgovaraju vremenskim intervalima 1.0-0.1 i 0.1-0.0 sekundi pre opaljenja. Korišćene su sledeće varijable:

1. Standardna devijacija akceleracije ($SDacc$), izražena u g_0 (9.81 ms^{-2});
2. Standardna devijacija ugaone brzine ($SDgyr$), izražena u stepenima po sekundi (deg/s);

U ovoj studiji, primenjena je deskriptivna statistička analiza, neparametrijski Kolmogorov-Smirnov test normaliteta raspodele rezultata i Pirsonov produkt-moment koeficijent korelacije u odnosu na povezanost kretanja oružja i performansu. Nivo statističke značajnosti je izračunat za 95% verovatnoću i vrednost $p \leq 0.05$. Statistička obrada je urađena u programima MS Excel 2013 i IBM SPSS 23.

U trećoj studiji (**Studija #3**) uzorak ispitanika je činilo 14 karatista, muškog pola, elitnog i nacionalnog takmičarskog nivoa. Autor daje relevantne uzrasne i morfološke karakteristike uzoraka. Za potrebe studije korišćeno je ukupno 165 senzorskih zapisa udaraca gyako zuki. U odnosu na kinematiku kretanja, ovom studijom su obuhvaćene sledeće varijable:

1. V_A_D – Generalni početak kretanja [rang];
2. H_A_S – Početak kretanja ruke u dominantnoj osi [rang];
3. V_nA_S – Početak vertikalnog pomeranja tela [rang];

4. B_R_S – Početak rotacije karlice [rang];
5. B_A_S – Početak frontalne akceleracije [rang];
6. B_nA_M – Maksimalna akceleracija tela u smeru suprotnom udarcu [rang];
7. V_nA_M – Maksimalna akceleracija tela u popuštajućoj fazi [rang];
8. B_A_M – Maksimalna akceleracija tela u smeru udarca [rang];
9. V_nV_M – Maksimalna negativna vertikalna brzina [rang];
10. B_RS_M – Maksimalna brzina rotacije karlice [rang];
11. H_A_M – Maksimalna akceleracija ruke u smeru udarca [rang];
12. B_V_M – Maksimalna akceleracija tela u smeru udarca [rang];
13. H_RS_M – Maksimalna brzina rotacije podlaktak [rang];
14. V_A_M – Maksimalna vertikalna akceleracija tela [rang];
15. H_V_M – Maksimalna brzina ruke [rang];
16. V_V_M – Maksimalna vertikalna brzina tela [rang];
17. MaxHandVel – Maksimalna brzina ruke [m/s];

U ovoj studiji, primenjena je deskriptivna statistička analiza, Shapiro-Wilk test normaliteta raspodele rezultata, statističko skaliranje sa rang transformacijom rezultata, neparametrijski Kruskal-Wallis i Mann-Whitney testovi. Na generalnom nivou vrednost $p \leq 0.05$ je smatrana statistički značajnom, dok je za posthok testove nivo statističke značajnosti bio $p \leq 0.01$. Statistička obrada je urađena u programu Python3, korišćenjem Pandas i SciPy biblioteka.

U četvrtoj studiji (**Studija #4**) uzorak ispitanika je činilo 13 odbojkašica, elitnog nivoa. Autor daje relevantne uzrasne i morfološke karakteristike uzoraka. U odnosu na procenu visine vertikalnog skoka metodom vremena leta korišćene su sledeće varijable:

1. CMJ_FP – visina skoka sa počučnjem po vremenu merenom sa signala platforme sile, izražno u centimetrima [cm];
2. CMJ_KIN – visina skoka sa počučnjem po vremenu merenom sa kinematičkog senzora, izražno u centimetrima [cm];
3. SQJ_FP – visina skoka iz polučučnja po vremenu merenom sa signala platform sile, izražno u centimetrima [cm];
4. SQJ_KIN – visina skoka iz polučučnja po vremenu merenom sa kinematičkog senzora, izražno u centimetrima [cm];

U ovoj studiji primenjena je deskriptivna statistička analiza, Shapiro-Wilk test normaliteta raspodele rezultata, t-test zavisnih uzoraka, inraklas korelacioni koeficijent (ICC) i Bland-Altman analiza saglasnosti rezultata. Nivo statističke značajnosti je izračunat za 95% verovatnoću i vrednost $p \leq 0.05$. Statistička obrada je urađena u programima IBM SPSS 23 Python3, korišćenjem Pandas i SciPy biblioteka.

REZULTATI: U odnosu na rezultate prve studije (**Studija #1**) diskriminantna analiza je identifikovala dve funkcije DF1 i DF2 koje objašnjavaju 91.1 i 8.1% varijanse, redom. Razlike između ispitivanih poduzoraka potiču iz varijabli gupisanih u DF1, koje su statistički značajne na nivou $p \leq 0.000$. U odnosu na ovu funkciju centroidna pozicija ispitivane grupa odbojkašica nacionalnog tima je pomerena -1.108 i -1.968 vrednosti standardne devijacije u odnosu na kontrolnu grupu i odbojkašice mlade reprezentacije. Razlike između kontrolne grupe i mladih odbojkašica su -0.860 vrednosti standardne devijacije. Faktori sa najvećim diskriminativnim potencijalom među grupama predstavljaju vremenske karakteristike brzih pokreta rukom, tj. vreme između početka kretanja prvog i drugog kontakta. Dati rezultati potvrđuju hipotezu H_1 .

U odnosu na rezultate druge studije (**Studija #2**) utvrđene su umerene korelacije jačine stiska šake i performance gađanja iz pištolja ($r > 0.388$, $p < 0.05$). U intervalu 1.0–0.1 s pre opaljenja utvrđene su umerene korelacije akceleracije oružja i tačnosti i preciznosti pogotka na nivou ($r > 0.310$, $p < 0.05$) za distancu od 6 m. Umerene korelacije preciznosti i ugaone brzine su utvrđene za distancu gađanja od 15 m za isti vremenski interval ($r > 0.413$, $p < 0.05$). Umerene korelacije tačnosti, preciznosti i kinematike kretanja oružja su utvrđene za obe distance gađanja ($r > 0.405$, $p < 0.05$) u intervalu 0.1–0.0 s pre opaljenja. Korelacije performanse gađanja i ugaone brzine ukazuju na jak uticaj rotacione komponente kretanja oružja na rezultat. Dati rezultati potvrđuju hipotezu H_2 .

U odnosu na treću studiju (**Studija #3**), utvrđena je maksimalna brzina ruke od 6.64 ± 1.02 m/s kod izvođenja udarca gyako zuki. Rezultati Kruskal-Wallis testa su pokazali postojanje statistički značajnih generalnih razlika u odnosu na redosled početka akceleracije ruke ($\chi^2 = 10.31$, $p = 0.006$), maksimalnu brzinu ruke ($\chi^2 = 8.64$, $p = 0.013$), maksimalnu brzinu tela ($\chi^2 = 10.37$, $p = 0.006$), maksimalnu akceleraciju tela ($\chi^2 = 7.25$, $p = 0.027$) i početak vertikalnog kretanja tela ($\chi^2 = 0.45$, $p = 0.009$) među grupama u odnosu na maksimalnu brzinu ruke. Na osnovu rezultata Man-Whitney testa utvrđene su statistički značajne razlike u odnosu na varijable H_A_S ($U = 1012$, $p = 0.001$), H_V_M ($U = 1079.50$, $p = 0.004$), B_V_M ($U = 1136.00$, $p = 0.010$) i H_A_M ($U = 1029.50$, $p = 0.002$) između grupa FST i SLW, dok su između grupa FST i AVG utvrđene razlike u odnosu na varijable V_A_D ($U = 1238.00$, $p = 0.006$) and B_A_M ($U = 1099.50$, $p = 0.005$). Na osnovu prikazanih rezultata može se tvrditi da je ova studija utvrdila razlike u vremenskoj strukturi gyaku zuki karate udarca u odnosu na maksimalnu brzinu ruke kao pokazatelj uspešnosti izvođenja. Dati rezultati potvrđuju hipotezu H_3 .

U odnosu na četvrtu studiju (**Studija #4**) prezentovani rezultati potvrđuju visok nivo konkurentne validnosti kinematičkih senzora u odnosu na platformu sile u smislu procene postignute visine vertikalnog (CMJ) $t = 0.897$, $p = 0.379$; ICC = 0.975; SQJ $t = -0.564$, $p = 0.578$; ICC = 0.921) kao i visok nivo ponovljivosti rezultata (ICC > 0.872) mereno kinematičkim senzorom. Prokazani metod procene visine vertikalnog skoka primenom kinematičkog senzora postavljeneog na stopalu ispitanika daje tačne rezultate u funkciji terenske procene visine skoka ako alternativa drugim mernim sistemima. Dati rezultati potvrđuju hipotezu H_4 .

ZAKLJUČAK: Glavni cilj rada je utvrđivanje potencijala kinematičkih senzora u odnosu na procenu biomotoričkih sposobnosti i merenje kinematike kretanja u preciznim, brzim i kompleksnim motoričkim zadacima, što je sprovedeno kroz četiri posebne studije. Prva studija se bavila problemom mogućnosti selekcije i kategorizacije ispitanika na osnovu podataka dobijenih u nespecifičnom testu taping rukom. Druga studija se bavila problemom povezanosti kinematike kretanja oružja tokom gađanja iz pištolja sa tačnošću i preciznošću pogodaka kao merom performanse. Treća studija se bavi problemom praćenja sinhronizacije u odnosu na vremensku strukturu kretanja kod gyaku zuki karate udarca, kao i odnosom maksimalne brzine udarca i njegove utvrđene vremenske strukture. Četvrta studija se bavi temom procene visine vertikalnog skoka korišćenjem podataka dobijenih sa kinematičkog senzora postavljenog na metatarzalnom delu stopala.

U skladu sa postavljenim hipotezama istraživanja, kao i metodološki definisanim i postavljenim predmetom, problemom i ciljem istraživanja, a na osnovu analize dobijenih rezultata navedenih studija može se zaključiti sledeće:

U odnosu na generalnu hipotezu H_g koja glasi – Validna i pouzdana kvantifikacija kinematičkih karakteristika ljudskog kretanja se može izvršiti korišćenjem mikroelektromehaničkih kinematičkih senzora – na osnovu potvrđenih pojedinačnih potpornih hipoteza može se zaključiti da je generalna hipoteza u potpunosti potvrđena.

U odnosu na hipotezu H_1 koja glasi – dobijeni podaci na osnovu sistema zasnovanog na kinematičkim senzorima za merenje nespecifičnih brzih pokreta rukom je mogu poslužiti kao baza za validnu klasifikaciju u odnosu na nivo performanse – može se zaključiti da je hipoteza u potpunosti potvrđena.

U odnosu na hipotezu H_2 koja glasi - da su i tačnost i preciznost visoko korelirani sa kinematikom kretanja oružja, merenom kinematičkim senzorom – može se zaključiti da je hipoteza u potpunosti potvrđena.

U odnosu na hipotezu H_3 koja glasi – da postoje razlike u redosledu detektovanih događaja među udarcima klasifikovanim u različite grupe u odnosu na postignutu maksimalnu brzinu šake – može se zaključiti da je hipoteza u potpunosti potvrđena.

U odnosu na hipotezu H_4 koja glasi - procena visine vertikalnog skoka korišćenjem kinematičkog senzora na metatarzalnom delu stopala daće validne i ponovljive rezultate u odnosu na računanje visine vertikalnog skoka u zadacima skoka sa počućem i skoka sa čućem u poređenju sa platformom sile kao referentnim uređajem – može se zaključiti da je hipoteza u potpunosti potvrđena.

Na generalnom nivou, može se zaključiti da je ovaj rad pokazao primenljivost kinematičkih senzora za merenje performanse u različitim zadacima u sportu.

LITERATURA: Na osnovu analize korišćene literature može se zaključiti da je prezentovana obimom od 177 referentnih jedinica, od kojih je 169 (95.49%) iz inostranih izvora sa Anglo-Saksonskog govornog područja, dok je 8 (4.51%) iz domaće bibliografije. Od ukupnog broja referenci student Stefan Marković je kao autor ili ko-autor učestvovao u izradi 8 (4.51%) bibliografskih jedinica. Podatak da je kandidat do sada iz oblasti teme projekta doktorske disertacije publikovao, odnosno neposredno citirao osam (8) referentnih jedinica tj. naučnih radova upućuje na zaključak o motivisanoj i već značajno naučno-istraživački afirmisanoj osobi.

ZAKLJUČAK I PREDLOG KOMISIJE

Student STEFAN MARKOVIĆ je ispunio sve Zakonom predviđene uslove za sticanje prava za odbranu doktorske disertacije. Njegovi profesionalni i značajni naučno-istraživački rezultati, a naročito u odnosu na fenomenologiju merenja performansi u sportu u celini ga preporučuju kao adekvatnog kandidata u odnosu na datu oblast. Kandidat se u okviru akademskog i naučnog usavršavanja opredelio ka kontinuitetu usavršavanja u datoj oblasti.

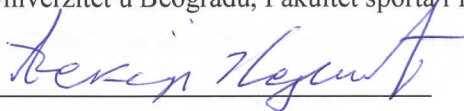
Komisija je jednoglasna u oceni da doktorska disertacija ima značajan doprinos u odnosu na istraživanja koja se bave problematikom aplikativne primene kinematičkih senzora u merenju performansi u sportu. Ovom disertacijom se obezbeđuje kontinuitet usavršavanja sa aspekta date problematike, te komisija smatra da će dobijeni rezultati sumarno doprineti poboljšanju primene kinematičkih senzora u sportsko specifičnim zadacima na generalnom nivou.

Na osnovu ukupne kvalitativne i kvantitativne analize sadržaja doktorske disertacije, stručnog, naučnog i praktičnog rada kandidata, Komisija je jednoglasna u oceni da je student Stefan Marković ispunio sve zakonske i naučne zahteve koji se od njega u smislu pisanja doktorske disertacije traže, te istu, pod nazivom: „**MERENJE PERFORMANSI U SPORTU PRIMENOM KINEMATIČKIH SENZORA**“ dostavlja Nastavno – naučnom veću fakulteta *na usvajanje* i prosleđivanje u dalju proceduru.

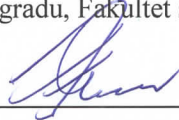
U Beogradu, 11.02.2022.

Članovi Komisije

Predsednik komisije, Dr Aleksandar Nedeljković, redovni profesor,
Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja



Član komisije, Dr Dragan Mirkov, redovni profesor,
Univerzitet u Beogradu, Fakultet sporta i fizičkog vaspitanja



Član komisije, Dr Anton Kos, vanredni profesor,
Univerzitet u Ljubljani, Elektrotehnički fakultet

