



Tehnika veslanja na simulatorju

Tomaž Černe

Dr. Tomaž Černe

Tehnika veslanja na simulatorju

DEBORA

Avgust, 2015

TEHNIKA VESLANJA NA SIMULATORJU

Avtor: dr. Tomaž Černe

Avtor predgovora: Jošt Dolničar

Recenzenti: izr. prof. dr. Gregor Geršak, prof. dr. Roman Kamnik, izr. prof. dr. Peter Fajfar,
izr. prof. dr. Vladimir Meglič

© 2015, DEBORA

Izdala in založila: DEBORA, Ljubljana
Za založbo: Janislav Peter Tacol

Avtor fotografij: Tomaž Černe
Avtor skic, grafov: Tomaž Černe
Lektor: Matevž Caserman

Oblikovalec notranjosti: Tomaž Černe
Oblikovalec naslovnice: Gregor Geršak

Format elektronske knjige: pdf
1. elektronska izdaja

Objavljeno na spletni strani www.debora.si.
Brezplačna elektronska knjiga.

Ljubljana, avgust 2015

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

531.1:797.12(0.034.2)

ČERNE, Tomaž, 1982-

Tehnika veslanja na simulatorju [Elektronski vir] / avtor, avtor fotografij, avtor skic, grafov Tomaž Černe ; avtor predgovora Jošt Dolničar. - 1. elektronska izd. - El. knjiga. - Ljubljana : Debora, 2015

ISBN 978-961-6525-87-9 (pdf)

280938240

Veslanje eden izmed najuspešnejših slovenskih olimpijskih športov. In kakor je veslaški zavesljaj sestavljen iz faz prijema, potega, zaključka in povratka, je tudi uspešnost veslanja v Sloveniji sestavljeno iz štirih neločljivih delov: izkušenih trenerjev, kvalitete veslačev, sistemskih značilnosti rekrutiranja in izbire reprezentantov ter strokovnosti v trenažnem procesu. Dandanes strokovnost v treningu, napredki v veslaški tehniki in optimizacija v biomehaniki veslanja temeljijo na znanstveno-raziskovalnem aspektu veslaškega športa. V nemško govorečih in anglo-saksonskih deželah je znanstveno preučevanje veslanja, običajno v okviru akademskih inštitucij, že historično široko razvito, pri nas pa je ta razvoj šele v porastu.

V preteklosti je Veslaška zveza Slovenije plodno sodelovala s Fakulteto za šport Univerze v Ljubljani. Danes se znanstveno poleg Fakultete za šport z veslanjem ukvarja tudi Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, kjer v okviru biomehanskih raziskav in razvoja merilne instrumentacije za opazovanje dinamike veslanja nastajajo nova znanstvena spoznanja, ki postajajo osnova za boljše odločanje trenerjev in dvig kakovosti slovenskih veslačev. Pričujoča knjiga predstavlja del teh raziskav s področja veslanja na ergometru.

Veslaška zveza Slovenije pozdravlja in podpira sodelovanje kineziološke, medicinske, psihološke in inženirske znanosti z veslanjem, saj to omogoča prihodnji razvoj veslanja in bo omogočilo nadaljevanje slovenskih uspehov na tekmovanjih najvišjega nivoja.

Jošt Dolničar, predsednik Veslaške zveze Slovenije



avgust, 2015

Vsebina

1. Uvod	1
1.1 Kinematični in kinetični parametri veslanja	1
1.2 Merjenje kinetičnih in kinematičnih parametrov veslanja	2
1.3 Modeliranje	2
1.4 Učenje tehnike v športu	3
1.5 Posredovanje celovite povratne informacije	4
1.6 Cilji	4
2. Fiziologija veslanja	7
2.1 Režimi vadbe	7
2.1.1 Aerobna vadba	7
2.1.2 Anaerobna vadba	8
2.1.3 Določanje področja za aerobno in anaerobno vadbo	8
2.1.4 Načini izrabe energije iz različnih virov	10
2.2 Fiziološke lastnosti veslača	11
2.3 Obremenitvena in časovna razporeditev telesne aktivnosti v veslanju	12
2.4 Zaključek	13
3. Analiza kinetičnih in kinematičnih parametrov veslanja	15
3.1 Metode	15
3.1.1 Udeleženci	15
3.1.2 Sistem za merjenje	15
3.1.3 Merilni test	16
3.1.4 Analizirane spremenljivke	16
3.1.5 Obdelava podatkov in statistična analiza	18
3.2 Rezultati in diskusija	20
3.2.1 Dolžina zavesljaja	24
3.2.2 Trajanje faz zavesljaja	25

3.2.3	Sile	25
3.2.4	Delo	28
3.2.5	Gibanje ročaja	28
3.2.6	Naklon trupa	30
3.2.7	Obremenitve v sklepih	31
3.2.8	Analiza lastnih vrednosti	33
3.3	Zaključek	36
4.	Referenčni model tehnike veslanja	39
4.1	Referenčni podatki	39
4.1.1	Odvisnost parametrov	40
4.1.2	Normiranje podatkov	40
4.2	Metode modeliranja	41
4.2.1	Mehka logika	41
4.2.2	Nelinearni dinamični sistemi	43
4.3	Razvoj referenčnega modela	44
4.3.1	Telesna drža	44
4.3.2	Ritem	47
4.3.3	Sile	47
4.3.4	Trajektorija ročaja	48
4.4	Zaključek	48
5.	Sistem za sprotno posredovanje celovite povratne informacije	51
5.1	Metode	52
5.1.1	Tehnika veslanja	52
5.1.2	Modul za posredovanje povratne informacije	53
5.1.3	Udeleženci	59
5.1.4	Protokol poskusa	59
5.2	Rezultati	59
5.3	Diskusija	61
5.4	Zaključek	63
6.	Sistem za merjenje in sprotno analizo	65

6.1	Merilni sistem	66
6.2	Analiza podatkov	68
6.3	Posredovanje podatkov uporabniku	68
7.	Evalvacija učinkovitosti senzorno podprte vadbe veslanja	69
7.1	Metode	69
7.1.1	Udeleženci	69
7.1.2	Protokol študije	69
7.1.3	Inicializacija senzorjev	71
7.1.4	Test	72
7.1.5	Trening	72
7.1.6	Spremenljivke	72
7.1.7	Obdelava podatkov in statistična analiza	72
7.2	Rezultati in diskusija	73
7.2.1	Analiza variance	73
7.2.2	Število zaveslajev	76
7.2.3	Tempo	76
7.2.4	Dolžina zaveslajaja	78
7.2.5	Naklon trupa	78
7.2.6	Telesna drža	80
7.2.7	Ritem	80
7.2.8	Sile	83
7.2.9	Delo	93
7.2.10	Preveslana razdalja in čas veslanja	95
7.2.11	Komentarji udeležencev	97
7.3	Zaključek	98
8.	Zaključek	99
	Literatura	103

Povzetek

Simulator veslanja omogoča učinkovito rekreativno vadbo ljudem vseh starosti. Veslač mora za učinkovito veslanje obvladovati tehniko, ritem in moč. Simulatorji veslanja se nahajajo v večini telovadnic in fitness centrov, vendar večina uporabnikov ni deležna ustrezne predstavitve tehnike veslanja in nadzora vadbe. Študije so pokazale, da veslači začetniki uporabljajo simulatorje s pomembnimi razlikami v tehniki, in opozorile, da lahko nepravilna tehnika pri veslačih povzroči telesne poškodbe. Zato je pomembno, da se začetniki pred uporabo simulatorjev naučijo primerne tehnike.

Cilj pričujočega dela je ponuditi alternativno metodo učenja in nadzora tehnike veslanja, ki dopolnjuje tradicionalno metodo vadbe s trenerjem. Subjekt vesla na simulatorju veslanja, ki je opremljen s senzorji. Na podlagi izmerjenih podatkov se izračunajo biomehanski parametri veslanja, ki se primerjajo z referenčnimi vrednostmi, ki so določene z referenčnim modelom. V sistemu za posredovanje povratne informacije se na podlagi razlik oblikujejo ustrezna navodila, ki se posredujejo subjektu. Na podlagi prejete informacije subjekt prilagaja svoje gibanje, kar postopoma vodi do izboljšanja tehnike veslanja. Medtem ko se morajo trenerji pri ocenjevanju stanja tehnike in napredka veslača zanašati na subjektivne zaznave in izkušnje, senzorno podprti sistemi za vadbo omogočajo objektivno ocenjevanje.

Prvo poglavje je namenjeno splošnemu pregledu področja, zato najprej predstavi kinetične in kinematične parametre veslanja in že razvite sisteme za njihovo merjenje. Podan je pregled metod modeliranja in raziskave s področja modeliranja veslanja. Predstavljene so metode učenja tehnike v športu ter načini posredovanja celovite povratne informacije. Razložen je koncept vadbe na simulatorju veslanja s sprotno povratno informacijo.

V drugem poglavju so predstavljeni režimi vadbe in fiziološke lastnosti veslača. Predstavljena je razlika med aerobno in anaerobno vadbo ter postopki za določanje njunih področij vadbe. Predstavljene so fiziološke lastnosti veslača ter obremenitvena in časovna razporeditev telesne aktivnosti.

V tretjem poglavju je predstavljena analiza tehnike veslanja treh različno izkušenih skupin veslačev. Rezultati kažejo, da elitni veslači uporabljajo podobno in konsistentno tehniko veslanja pri vseh tempih, to je številu izvedenih zavesljajev na minuto. Tehnika klubskih veslačev je prav tako podobna in konsistentna, medtem ko se tehnika veslačev nepoznavalcev spreminja. Parametri, kot so dolžina zavesljaja, trajektorija gibanja ročaja ter drža telesa, se pri elitnih veslačih ne spreminjajo s tempom. Parametri, kot so razmerje faz zavesljaja, maksimalne sile, delo in obremenitve v sklepih so pri elitnih veslačih odvisni od tempa, a ostajajo pri posameznem tempu konstantni. Klubski veslači s tempom spreminjajo tudi dolžino zavesljaja. Pri veslačih nepoznavalcih je mogoče opaziti razlike v gibanju ročaja in telesni drži, njihova dolžina zavesljaja je odvisna od tempa, medtem ko se razmerje faz zavesljaja s tempom ne spreminja. Čeprav so pri veslačih nepoznavalcih razvidni različni vzorci tehnike, ki se spreminjajo s tempom, je posameznikova tehnika pri posameznem tempu konsistentna. Z analizo so bili določeni ključni parametri tehnike veslanja, ki identificirajo

razlike med nepoznavalci in poznavalci, njihova tipična področja vrednosti in odvisnost od tempa veslanja. Parametri, ki določajo primerno tehniko veslanja in identificirajo razlike med nepoznavalci in poznavalci, so primerni za kategorizacijo tehnike in uporabo v referenčnem modelu.

V četrtem poglavju je predstavljen razvoj referenčnega modela primerne tehnike. Modeli so bili razviti na podlagi eksperimentalnih podatkov elitnih veslačev. Za modeliranje naklona trupa, naklona verige in položaja sedeža je bila uporabljena metoda mehke logike, za modeliranje gibanja ročaja so bili uporabljeni nelinearni dinamični modeli. Z enačbami je določena telesna drža in trajanje faz zavesljaja. Referenčno območje določa dolžino zavesljaja, maksimalne vrednosti naklona trupa in maksimalne vrednosti sil. Krivulje sil smo oblikovali z Gaussovimi modeli na posameznih točkah vzorčenja. Ti modeli so bili uporabljeni v sistemu za učenje veslaške tehnike.

V petem poglavju je predstavljen razvoj in evalvacija sistema za sprotno posredovanje celovite povratne informacije veslaču na simulatorju. Pri razvoju sistema smo se osredotočali na uporabnost interakcije med človekom in računalnikom. Sistem veslaču sporoča vizualno povratno informacijo s sprotnimi navodili za izboljšanje tehnike. Osredotoča se na izvedbo in z navideznim ogledalom združuje principa video povratne informacije in video modeliranja. Sistem kot tri najpomembnejše dejavnike tehnike veslanja spremlja telesno držo, ritem in aktivne sile ter podaja povratno informacijo v treh nivojih. Telesna drža ima najvišjo prioriteto in predstavlja osnovni nivo učenja. Ko uporabnik osvoji osnove, napreduje na višji nivo, kjer se podučijo o ritmu in silah. Na vsakem nivoju je trenutno gibanje uporabnika primerjano z referenčnim modelom, na podlagi odstopanj se oblikujejo in posredujejo navodila za izboljšanje. Sistem deluje v realnem času in je povezljiv z drugimi elementi sistema za učenje tehnike veslanja. Virtualno zrcalo v obliki dveh figur podaja informacijo o trenutni držji vadečega in o referenčni držji. Za posredovanje informacije o sili, vrednostih parametrov o dolžini zavesljaja, trajanju faz zavesljaja, tempu, maksimalnih vrednostih sil, delu in naklonu trupa so bili uporabljeni grafični prikazi. Navodila sistem podaja v obliki besedil. Zvočna povratna informacija opozori vadečega na posebne dogodke in velike razlike od primerne tehnike. Za evalvacijo uporabnosti in razumljivosti zasnovane povratne informacije je enaindvajset prostovoljcev uporabilo in preizkusilo sistem v simulacijskem načinu delovanja. Rezultati so pokazali, da uporabniki dobro razumejo prejeto informacijo.

Šesto poglavje predstavi zasnovano in razvoj sistema za merjenje in sprotno analizo kinematičnih in kinetičnih parametrov senzorno podprte vadbe veslanja. Sistem podatke, ki jih izmeri s pomočjo senzorjev merilnega sistema, obdela ter izračuna vrednosti kategorizacijskih parametrov. Na podlagi referenčnega modela določi odstopanja teh parametrov od referenčnih in pripravi povratno informacijo. Analiza poteka sproti, pri čemer del analize poteka v realnem času, del pa po vsakem izvedenem zavesljaju. Pridobljene informacije opisujejo izvedeno veslanje in njegovo odstopanje od primerne tehnike. Sistem uporabniku posreduje povratno informacijo sprotno brez opaznega zamika.

Izvedli smo študijo, ki je predstavljena v sedmem poglavju. S študijo smo ocenili učinkovitost predlagane metode učenja tehnike veslanja s sistemom senzorno podprte vadbe. Pri študiji je sodelovalo 36 prostovoljcev, ki so se prvič srečali z veslanjem na simulatorju. Najprej so vsi prostovoljci opravili začetni test, s katerim smo pridobili podatke o začetnem stanju in je bil sestavljen iz dveh delov. V prvem delu so prostovoljci na simulatorju veslanja veslali dve minuti s ciljnimi tempom 20 zavesljajev na minuto, v drugem delu so poskušali čim hitreje preveslati 500 m dolgo razdaljo. Nato so bili prostovoljci naključno razdeljeni v tri skupine. Vsaka od skupin je opravila trening veslanja trikrat po pet minut. Skupina A je trenirala sama in je predstavljala rekreativce, ki se sami učijo tehnike, skupina S je trenirala z razvitim sistemom senzorno podprte vadbe, skupina T pa je trenirala po tradicionalni metodi z nadzorom trenerja. Po izvedeni seriji treninga so bili prostovoljci ponovno testirani. S primerjavo rezultatov testov smo analizirali razlike v napredku vseh treh skupin, ki so uporabljale različne metode vadbe. Z analizo smo ocenili učinkovitost senzorno podprte vadbe. Rezultati kažejo, da udeleženci brez nadzora s treningom niso napredovali, medtem ko so udeleženci pod nadzorom trenerja ali sistema po opravljenem treningu napredovali in osvojili primerno tehniko veslanja. Pri tem ni bilo opaziti statistično pomembnih razlik v napredku med tema dvema skupinama. Analiza je pokazala, da je učenje primerne telesne drže, torej dolžine zavesljaja in naklona trupa, kvalitetnejše pod nadzorom sistema, ki je kvalitativno ocenjeval biomehanske podatke, kot učenje pod nadzorom trenerja, ki je subjektivno ocenjeval tehniko udeležencev. Na ta način smo pokazali, da smo z razvitim sistemom vadbe uspešno posredovali povratno informacijo uporabniku, ki je navodila uspel pretvoriti v primerno gibanje. Pri ponovljenem testu, ki je sledil čez približno en teden in pri katerem ni bilo nadzora, je bila spremenljivost tehnike večja, a kljub temu manjša kot pri testu pred učenjem. Kljub temu, da je nekaj udeležencev pozabilo na naučeno, kar se kaže predvsem pri ritmu, v splošnem udeleženci niso pozabili naučenega. Študija je pokazala, da je senzorno podprto učenje tehnike veslanja učinkovita alternativna metoda učenja in nadzora tehnike veslanja, ki lahko uspešno dopolnjuje tradicionalno metodo vadbe s trenerjem.

Ključne besede: veslanje, biomehanika, referenčni model primerne tehnike, posredovanje povratne informacije uporabniku, sistem za učenje tehnike.

Abstract

The rowing ergometer enables effective recreation and exercise for people of all ages. For effective rowing, the rower must have a good command of technique, timing, and power. Rowing ergometers can be found in most gyms and fitness centres, but most people who use them receive little or no instruction and supervision of rowing technique. Studies have shown that novice rowers have some potentially important differences in rowing technique and warned that faulty techniques can lead to injuries. It is therefore important that novice rowers learn how to row on ergometers using proper technique. This book describes an alternate method for supervision and learning of proper ergometer rowing technique that could complement the traditional method of learning with a trainer. The trainee rows on a sensorized ergometer. Biomechanical parameters of rowing are calculated from the measured data and compared with the reference values defined in the reference models. Based on the results of this comparison, the feedback information module determines the appropriate instructions and outputs them to the trainee. The trainee uses this feedback to modify his or her movement, gradually improving the rowing technique. While coaches must rely on subjective observation and personal experiences, sensor-based training systems allow objective assessment.

The first chapter focuses on a general review of the background. First, the kinetic and kinematic parameters of rowing as well as previously developed measurement systems for these parameters are presented. Additionally, the modelling methods and research in the field of modelling of rowing are reviewed. Methods for learning techniques in sport and methods of providing comprehensive feedback are also presented, and the concept of exercise on a rowing ergometer with real-time feedback is explained. The thesis concludes with the hypothesis and the main objectives of the thesis.

The second chapter presents regimens of exercise and physiological characteristics of rowers. The difference between aerobic and anaerobic workout is presented and procedures for determining their areas of practice. The physiological properties of the rowers are presented.

The third chapter presents an analysis of the rowing parameters of differently skilled rowers. The results show that elite rowers use a similar, consistent rowing technique at all stroke rates. The technique of junior experienced rowers is also similar and consistent while the technique of non-rowers varies. Elite rowers' stroke length, handle motion and body posture do not change with stroke rate while the ratio of stroke phases, maximum forces, stroke work and joint loadings are constant at the same stroke rate but dependent on stroke rate. Junior rowers also change the stroke length with their stroke rate. Non-rowers exhibit

differences in the handle motion and body posture during the stroke, and their stroke length changes with stroke rate while the ratio of stroke phases stays constant. Although different movement execution is evident and variable with stroke rate, non-rowers demonstrate a consistent pattern at the same stroke rate. Based on these results, we identified the crucial parameters that differentiate elite, junior, and non-rowers as well as their typical values and their dependency on stroke rate. Parameters that define proper rowing technique and identify differences between differently skilled rowers are suitable characterisation of the technique and use in the reference models.

The fourth chapter describes the development of the reference models of the proper rowing technique. The developed models are based on experimental data of the elite rowers. Fuzzy logic was used to model trunk inclination and seat position while nonlinear dynamical systems were used to model periodic handle movement. Mathematical modelling was used to describe joint angles and rowing phase duration, reference interval to define stroke length, maximum forces and maximum trunk inclination. Force curves were created from individual samples using Gaussian models.

The fifth chapter presents the development and evaluation of a real-time feedback system for learning rowing technique on an ergometer. We focused on the usability of the human-computer interaction. The designed system uses video to present the rower with concurrent information about position and error correction strategies. The focus is on performance. Video feedback and video modelling are combined in a virtual mirror approach. The system monitors three important parts of proper rowing technique – body posture, timing, and exerted forces – and gives feedback to the user in a three-tiered learning system. Body posture has the highest priority and is the basic learning level. Once the user masters this level, the system advances through two more tiers: timing and exerted forces. On each level, the current movement of the trainee is compared to reference models and instructions are provided. The feedback system was designed to operate in real time and can be connected to simple transducers that convert the ergometer into a training platform. The virtual mirror is an animation with two figures. The figure closer on the screen represents the current body posture of a trainee. The figure behind it is shaded and represents the reference body posture. Graphs, bars and written instructions are used to provide additional information. Audio feedback alerts the trainee in cases of special events and significant differences from the proper technique. To evaluate the usability of the feedback system, twenty-one volunteers were asked to use the software in a simulation mode. The results show that users intuitively understand and utilize the feedback provided.

The sixth chapter presents a system for measurement and real-time analysis of kinetic and kinematic parameters of sensor-enhanced ergometer rowing. The system measured data, processed them, calculated the values of the biomechanical parameters, and compared them to reference data defined by the reference models. The analysis is performed in real-time, partially during the stroke and partially after each finished stroke. The obtained information describes the trainee's technique and its deviation from the proper techniques. The system

provides feedback information to the user in real time without any noticeable delay.

The seventh chapter presents the evaluation of the proposed method for learning ergometer rowing technique with the sensor-enhanced system. 36 males, who were introduced to a rowing ergometer for the first time, participated in the study. The initial test consisted of two parts; 2 min of rowing with a target stroke rate of 20 str/min and rowing over a 500 meters distance at top speed. Participants were randomly distributed into three groups of 12 participants each. Training was performed based on the group type: group A trained alone without supervision, group T trained under the supervision of a trainer, and group S used the developed training platform. The training was 3 times for 5 min for all groups. After the training, participants repeated the test.

The effectiveness of the training platform was estimated by analysing the differences in training progress of the three groups. The results show that participants in group without supervision did not make any progress while participants under the supervision of a trainer and using the developed system made progress and achieved proper ergometer rowing technique. There was no statistically significant difference in progress between these two groups. The results show that learning body posture with a training platform has better results due to the advantages of quantitative evaluation of movement and enforcement of body posture as a priority. The evaluation study showed that participants were able to understand the provided feedback and use it to achieve proper movement strategies. After one week, participants in groups T and S performed repeated the test without any supervision. The results show higher variability of the technique; however it was still smaller than at initial test. Although some participants forgot what they had learned, which was mainly reflected in the rhythm, the participants generally did not forget proper technique. The study showed that sensor-enhanced training with a rowing simulator is an effective alternative method of learning and control of rowing techniques and can successfully complement the traditional method of exercise with a trainer.

Key words: rowing, biomechanics, reference models, feedback information, system for learning technique.

1. Uvod

Veslanje je eden izmed najuspešnejših slovenskih športov z odmevnimi rezultati v svetovnem merilu. Vadba veslanja običajno poteka na vodi, ob neprimernih vremenskih pogojih pa na simulatorjih veslanja. Vadba na simulatorju podjetja Concept2 predstavlja v vrhunskem športu uveljavljen način treniranja in izvajanja testiranj [1] ter priljubljeno obliko rekreacije [2]. Simulator veslanja omogoča učinkovito rekreativno vadbo ljudem v vseh starostnih obdobjih [3]. Veslanje na simulatorju je kompleksno ciklično gibanje, pri katerem sodeluje skoraj celotno telo [3]. Veslač mora za pravilno izvedbo vadbe obvladovati tehniko, ritem in moč [1]. Simulatorji veslanja se nahajajo v večini telovadnic in fitness centrov, vendar večina uporabnikov ni deležna ustrezne predstavitve tehnike veslanja in nadzora vadbe. Gibanje pri veslanju je podobno gibanju pri teku ali kolesarjenju, vendar to gibanje ni intuitivno. Študija [4] je pokazala, da tehnika veslačev začetnikov pomembno odstopa od pravilne tehnike in opozorila, da lahko nepravilna tehnika povzroči telesne poškodbe. Poškodbe, ki so posledica nepravilne tehnike, vključujejo težave v spodnjem delu hrbta, rebrih, ramenih, zapestjih in kolenih [5]. Zato je pomembno, da se začetni uporabniki pred resno vadbo na simulatorju naučijo primerne tehnike [5, 6]. Sodobni načini učenja veslanja temeljijo na merjenju biomehanskih parametrov in posredovanju povratne informacije uporabniku [7, 8]. Poznavanje biomehanskih parametrov lahko uspešno pripomore k uspešnemu učenju gibov [9].

1.1 Kinematični in kinetični parametri veslanja

Osnovni biomehanski parametri veslanja so dolžina zavesljaja, trajanje faz potega in povratka, sile na ročaju in opori za noge, moč zavesljaja, trajektorija gibanja ročaja, potek kotov med segmenti telesa in obremenitve v sklepih [1, 10]. Od tempa veslanja je odvisno trajanje potega in povratka [11]. Študija [12], pri kateri so člani študentske ekipe veslali s tremi različnimi tempi, je pokazala, da se dolžina zavesljaja in maksimalna vrednost sile na ročaju bistveno ne spreminjata s tempom. Obenem količina opravljenega dela v zavesljaju upada z naraščanjem tempa, moč zavesljaja se z naraščanjem tempa povečuje. Trenutek delovanja maksimalne sile se z višanjem tempa spreminja glede na čas od začetka zavesljaja, a ostaja na istem mestu glede na položaj ročaja ob zavesljaju. Do sprememb pri naraščanju tempa pride tudi pri rotaciji in obremenitvah v lumbosakralnem sklepu. Primerjava kinematičnih parametrov med prostovoljci, ki še niso veslali, in člani univerzitetne veslaške posadke pri treh različnih tempih je pokazala, da izkušeni veslači razvijejo večje sile in se zaradi večje intenzivnosti med veslanjem bolj utrudijo ter da se pri slednjih lahko opazi večjo obremenitev v ledenem predelu hrbtenice [6].

1.2 Merjenje kinetičnih in kinematičnih parametrov veslanja

Razviti so bili različni merilni sistemi za merjenje in izračun vrednosti biomehanskih parametrov veslanja na simulatorju, kot so:

- sistem za merjenje položaja sedeža, položaja ročaja, kota v kolkih, sil v ročaju ter sil in navorov na opori za noge [13],
- določitev kinematičnih parametrov gibanja segmentov telesa ter sil in moči [14] in
- izračun obremenitev v sklepkih z uporabo inverzne dinamične analize [15].

Omenjeni sistemi omogočajo le naknadno obdelavo podatkov. Sistemi, ki zagotavljajo sprotno informacijo, znani iz literature:

- položaj telesa s sprotnim prikazom v obliki paličaste strukture [16],
- sile na ročaju in usklajenost dvojca na simulatorju [17] ter
- sile na ročaju in opori za noge ter trajektorijo gibanja ročaja [18].

V okviru diplomskega dela [19] je bil razvit merilni sistem za merjenje sil na ročaju in opori za noge, drže telesa z optičnim merilnim sistemom ter izračun obremenitev v sklepkih z uporabo inverzne dinamične analize. Pri delu [20] sta bili namesto optičnega sistema za merjenje naklon trupa in naklona verige uporabljeni inercialni merilni enoti. Nobeden od omenjenih razvitih sistemov ne podaja povratne informacije o pravilnosti izvedbe zaveslaja.

1.3 Modeliranje

Matematično modeliranje gibanja je možno koristno uporabiti v športu za opis gibanja segmentov telesa, izračun obremenitev v sklepkih, iskanje povezav med parametri in optimizacijo. Model kot abstraktni zapis poenostavljeno opisuje bistvene značilnosti realnosti, izkustvene objekte, pojave in fizikalne precese predstavlja na logičen in objektivni način [21]. Natančnost opisa človekovega gibanja se večja s kompleksnostjo modela, po drugi strani pa pretirano kompleksni modeli niso primerni za praktično uporabo, saj so računsko zahtevni [22]. Modeli z mišicami, kot na primer model, ki vključuje 56 mišic človekovega telesa pri veslanju na simulatorju [6], niso primerni za načrtovanje trajektorij gibanja, saj je parametre teh modelov težko določiti [23], zato je smiselno upoštevati le poenostavljen model segmentov telesa. Za opis veslanja so bili razviti modeli, ki opisujejo samo kinematične parametre, kot so koti in hitrosti v sklepkih ter dolžine segmentov telesa [24, 25], in modeli, ki vključujejo tudi pogonske in vztrajnostne sile, s pomočjo katerih je moč določiti sile in momente, ki delujejo na ali v telesu [4, 24]. V ta razred sodijo tudi model vetrnega kolesa simulatorja veslanja [26] in modeli sil na veslih in čolnu [27, 28, 29].

1.4 Učenje tehnike v športu

Tehnika v športu opisuje ustrezno izvedbo giba ali gibanja pri športni aktivnosti, pri čemer je pomemben tako način kot zaporedje izvajanja. Osnovne metode učenja tehnike v športu sledijo načelu, da se uči od lažjega k težjemu in od enostavnega h kompleksnemu. Težje tehnične elemente se lahko uči po delih in nato poveže v celoto, medtem ko se lažje tehnične elemente uči v celoti [30]. Nadzor in spremljanje učenja se običajno izvajata s pomočjo trenerja in sta zato odvisna od njegovih izkušenj in sposobnosti opazovanja, sposobnosti posredovanja navodil in še posebej od časovne razpoložljivosti trenerja.

Vaja je osnovna metoda učenja gibov, pri kateri povratna informacija močno poveča učinek učenja [31]. Potrebno je razlikovati med osredotočenostjo na izvedbo (ang. “knowledge of performance” — KP) in osredotočenostjo na rezultat (ang. “knowledge of results” — KR). Povratna informacija se pri osredotočenosti na rezultat oblikuje glede na skupni rezultat gibanja, medtem ko se pri osredotočenosti na izvedbo oblikuje glede na način, s katerim je bil rezultat dosežen [32]. Razlikovanje med obema osredotočenji ima pomembno vlogo pri pridobivanju in izboljšavi motoričnih spretnosti. Osredotočenost na izvedbo se običajno uporablja pri vadbi s trenerjem v obliki ustnih navodil ali video analize kinematičnih parametrov gibanja. Vizualne informacije se običajno uporablja pri podajanju ponavljajoče povratne informacije, zvočne pri prekinjeni. V primerih, ko je želeno gibanje rezultat interakcije več segmentov, daje povratna informacija, ki je osredotočena na izvedbo, boljše rezultate učenja kot informacija, ki je osredotočena na rezultate [32, 33].

Pomembno je razlikovanje med tehnikama video povratne informacije in video modeliranja, ki se uporabljata za izboljšavo izvedbe. Video povratna informacija je prikazovanje lastnega gibanja in je običajno osredotočena na posamezne segmente izvedbe [34], medtem ko je video modeliranje prikazovanje gibanja izkušenega uporabnika med izvedbo posameznega giba [35, 36, 37, 38]. Pri učenju kompleksnih gibov obeta najboljše rezultate kombinirana uporaba obeh tehnik, torej da vadeči vidi lastno gibanje in gibanje izkušenega uporabnika med izvedbo [35, 39, 40, 41]. Pomembno vprašanje je pogostost podajanja povratne informacije za doseg optimalnega učinka. Vloga frekvence podajanja je odvisna od značilnosti gibanja [42]. Pri preprostih nalogah pridobimo boljše rezultate, če informacije ne podajamo ob vsaki izvedbi [43, 44], medtem ko zmanjšana frekvenca nima pozitivnih vplivov na izvedbo pri kompleksnih gibih [45, 46, 47, 48], oziroma ima lahko celo negativen učinek [49].

Na učenje giba ima vpliv tudi zakasnitev podajanja povratnih informacij [50]. Pri učenju cikličnih gibov sprotno podajanje povratnih informacij izboljša učenje [51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59]. Glavne značilnosti sprotnih povratnih informacij, ki jih generira sistem za korekcijo tehnike pri vadbi, so objektivni kriteriji uspešnosti izvedbe, celostna evalvacija izvedbe, vključevanje informacij, ki bi bile sicer prezrte, in neposredna komunikacija uporabnikov z napravo za usposabljanje [60]. Pomembno je tudi razlikovanje med kratkotrajnimi in trajnimi spremembami, ki so rezultat učenja [44]. Sprotna povratna informacija izboljša izvedbo med samo vadbo, ko je povratna informacija prisotna, vendar ne prispeva nujno k trajnemu

učenju [60, 61]. Pogosta uporaba povratne informacije lahko vzpostavi odvisnost uporabnika od prisotnosti informacije in zavre zmožnosti samozaznavanja napak [50, 62, 63, 64]. Sprotna povratna informacija ima tudi motivacijski učinek [43, 65, 66], vendar ima preveč informacij lahko negativno vlogo na uporabnikovo pozornost in osredotočenost med vadbo [67].

Usmerjanje gibanja človeka s sprotno povratno informacijo je podobno vodenju robotskih mehanizmov. Tudi za vodenje robotov se uporablja učenje gibanja s posnemanjem, ki zajame demonstratorjevo znanje o izvajanju gibov [68]. Glavni cilj učenja robotov je, da kontrolirano izvedejo zahtevano nalogo, pri čemer se oblike učenja delijo glede na obliko nadzora (neposredna ali posredna), metodo učenja in naravo zahtevane naloge [69]. Najbolj običajna metoda je modeliranje gibanja in nato vodenje robota glede na izhodne vrednosti, ki jo podaja model [70]. V model je možno vključiti tudi ekspertno znanje o načinu izvedbe gibanja [69].

1.5 Posredovanje celovite povratne informacije

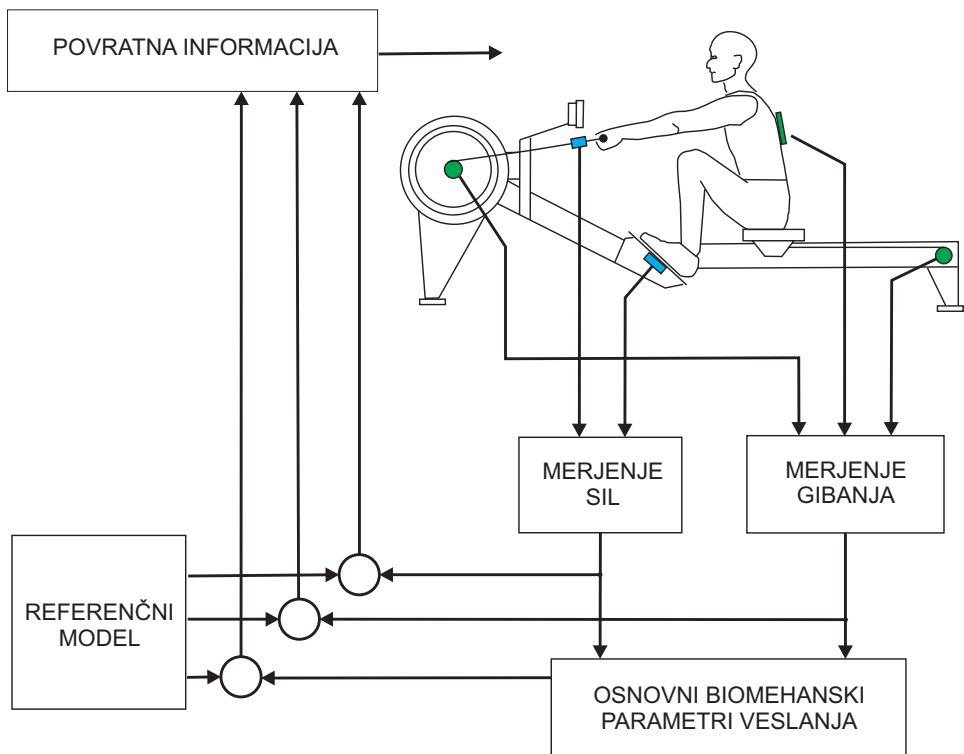
Vizualna in zvočna povratna informacija pripomoreta k izboljšanju izvedbe motoričnih gibov. Povratna informacija je uporabna, ko so novi gibi podobni znanim gibom [71, 72, 73, 74]. Pri koordinacijskih veščinah ima najpomembnejšo vlogo vizualna informacija [75], še boljše rezultate zagotavlja kombinacija vizualnih informacij z verbalnimi navodili, ki se nanašajo na odpravo napak [74, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82]. Za sprotno opazovanje položaja telesa na simulatorju veslači uporabljajo zrcala [1]. Sistem VFS (ang. "The Visual Feedback System") [83] omogoča, da trener pokaže veslaču v čolnu posnetek veslanja v realnem času in mu posreduje govorna navodila. Študija je pokazala, da uporaba sistema s tovrstno povratno informacijo omogoča izboljšanje tehnike [84]. Projekt SPRINT (ang. "Skills Professional Rowing In-door Trainer") [85] razvija večmodalni sistem za trening in optimizacijo tehnike na posebej razvitem simulatorju veslanja. Poleg vizualne in zvočne oblike povratne informacije je uporabljena tudi haptična.

1.6 Cilji

Veslanje je razširjena [2] in učinkovita telesna vadba [3]. Simulator veslanja omogoča učinkovito rekreativno vadbo ljudem v vseh starostnih obdobjih, pri tem je pomembno, da se uporabniki začetniki naučijo primerne tehnike [6], kar omogoča učinkovito vadbo [3] in preprečuje poškodbe [4]. Trenerji običajno v fitness centrih ali privatnih telovadnicah niso navzoči oziroma je njihova razpoložljivost zelo omejena. Razviti sistemi podajajo zgolj povratno informacijo o izvedbi zavesljava, ne pa tudi navodil za izboljšanje izvedbe. Zato se kaže potreba po uporabniku prijaznih metodah, ki nudijo ustrezen nadzor nad izvedbo in naredijo vadbo zanimivo. Medtem ko se morajo trenerji pri ocenjevanju tehnike in napredka veslača zanašati na subjektivne zaznave in izkušnje, senzorno podprti sistemi za vadbo omogočajo objektivno ocenjevanje in tako lahko dopolnjujejo tradicionalno metodo vadbe pod nadzorom trenerja.

Osnovni cilj knjige je predstavitev raziskovalnega dela na področju sinteze in evalvacije gibanja uporabnika z naprednim sistemom za vadbo veslanja, ki je opremljen s senzorji za zajemanje vrednosti kinematičnih in kinetičnih parametrov ter s sistemi za sprotno posredovanje povratnih informacij uporabniku.

Slika 1.1 prikazuje konceptualno shemo sistema za učenje tehnike veslanja. Vadeči vesla na simulatorju veslanja, opremljenem s senzorji. Z njimi se meri sila na ročaju, sila odriva leve noge, oddaljenost ročaja od vetrnega kolesa, položaj sedeža in naklon zgornjega dela hrbta. Na podlagi izmerjenih podatkov se izračunajo biomehanski parametri veslanja. Referenčni model, ki je zgrajen na podlagi eksperimentalnih podatkov elitnih veslačev, ob upoštevanju telesnih značilnosti vadečega določi referenčne vrednosti biomehanskih parametrov. V sistemu za posredovanje povratne informacije se izmerjeni podatki primerjajo z referenčnimi in na podlagi razlik oblikujejo ustrezna navodila, ki se posredujejo vadečemu. Na podlagi prejete informacije vadeči spremeni svoje gibanje, ki postopoma vodi do primerne tehnike veslanja. Sistem ima dva režima vadbe. V prvem režimu sistem sledi veslaču in mu posreduje odstopanja od reference. V drugem režimu pa sistem določa referenco, veslač pa ji poskuša slediti.



Slika 1.1: Konceptualna shema sistema za učenje tehnike veslanja.

2. Fiziologija veslanja

V poglavju so predstavljene vrste telesne aktivnosti oziroma režimi vadbe, metode za njihovo določanje, fiziološke lastnosti veslača ter obremenitvena in časovna razporeditev telesne aktivnosti v veslanju.

2.1 Režimi vadbe

O telesni dejavnosti govorimo, ko so telo in mišice izpostavljeni telesnemu naporu. Če je napor večji kot običajno in je ponavljajoč, je lastnost telesa, da se na napor prilagodi. To pa je osnovni namen vadbe. Telo mišicam med gibanjem neprestano dovaja energijo s pomočjo molekul adenzin trifosfata (ATP), ki se nahajajo v krvi. Za povrnitev energije molekuli ATP skrbita dve skupini procesov. Imenujemo ju aerobni in anaerobni procesi. S katerim procesom telo zagotavlja energijo za telesno vadbo se določa na podlagi koncentracije laktata (mlečne kisline) oz. laktatnega praga in meritev parametra VO_{2max} . Pri telesni aktivnosti je pomembno razmerje med tvorbo in porabo laktata, ki se sprošča pri metabolizmu. Med lažjo aktivnostjo je koncentracija laktata nizka. Telo v tem primeru absorbira laktat hitreje, kot ta nastaja. Ko intenzivnost narašča, pride do točke, v kateri je absorpcija laktata enaka njegovemu nastajanju, kar se imenujemo laktatni prag (ang. lactate threshold - LT). Povečana količina laktata namreč slabo vpliva na pravilno in učinkovito krčenje mišice. Parameter VO_{2max} pa opisuje največjo količino kisika, ki jo lahko posameznik porabi med izvedbo dinamičnih vaj, ki vključujejo velik del celotne mišične mase [86]. Parameter VO_{2max} določa zgornjo mejo vzdržljivosti, saj je merilo velikosti delovnega motorja, laktatni prag pa vpliva na dejanski odstotek, pri katerem se moč motorja lahko stalno uporablja [87]. Parameter VO_{2max} torej predstavlja količino kisika, ki se transportira in uporabi pri celičnem metabolizmu. Meritve omogočajo natančno načrtovanje obremenitev vsakega posameznika, primerjalni testi pa pokažejo napredek v pripravljenosti.

2.1.1 Aerobna vadba

Aerobna vadba je enakomerna ritmična telesna aktivnost manjše intenzivnosti, ki je pomembna za izboljšanje dihalnega in srčno-žilnega sistema. Aerobna vadba se imenuje, ker se energija pri tovrstni vadbi proizvaja predvsem z aerobnimi energetskimi procesi. To so procesi pretvorbe glukoze, ki je oblika sladkorja v krvi in se ob prisotnosti kisika tvori z razgradnjo ogljikovih hidratov ali telesnih maščob. Stranski produkt aerobnega procesa, ki ga imenujemo tudi celično dihanje, je ogljikov dioksid, ki ga izdihamo s pljuči. Aerobni proces se šteje kot varčen, saj ena molekula glukoze napolni z energijo 38 molekul ATP [88]. Za

aerobno vadbo je značilna manjša intenzivnost, ki pa lahko traja zelo dolgo. Solidna aerobna pripravljenost je osnova pripravljenosti vsakega športnika.

2.1.2 Anaerobna vadba

Anaerobna vadba je telesna aktivnost ob večji intenzivnosti delovanja mišic. V tem primeru potrebuje mišica več energije veliko hitreje. Med tovrstno aktivnostjo se morajo ogljikovi hidrati zelo hitro spremeniti v energijo, zato se glukoza pretvarja v energijo brez kisika. Proces imenujemo celično vrenje. Na ta način telo namesto običajnih 38 molekul ATP iz vsake molekule glukoze pridobi le dve molekuli ATP [88], glukoza pa se pretvori v mlečno kislino, ki povzroča mišične bolečine in krče. Vadbo, pri kateri se mlečna kislina nabira v mišicah, imenujemo tudi laktatna anaerobna vadba. Da bi telo proizvedlo zadostno količino molekul ATP, mora razgraditi veliko glukoze in zato tovrstna vadba ne more trajati dolgo, običajno največ 90 sekund. Anaerobna vadba je torej vadba z velikimi obremenitvami v razmeroma kratkem času in se zato izvaja v intervalih.

2.1.3 Določanje področja za aerobno in anaerobno vadbo

Obstaja več metod določanja področja vadbe z uporabo monitorja srčnega utripa (*SU*). Metode dajo različne rezultate, kar pri uporabnikih mnogokrat povzroča zmedenost.

Direktna metoda izračuna območij srčnega utripa

Direktna metoda je zasnovana na deležu maksimalnega srčnega utripa (*MSU*) in je najpreprostejši način za izračun aerobnega praga. Metoda omogoča določanje *MSU* brez predhodnega testiranja. *MSU* je določen s preprosto formulo [89]:

$$MSU = 220 - \text{starost v letih} \quad (2.1)$$

Ciljno področje aerobne vadbe 65-80 % *MSU*, kar določa utrip srca:

$$SU = \frac{MSU * 60}{100} \quad (2.2)$$

Ciljno področje anaerobne vadbe je več kot 80 % *MSU*, kar določa utrip srca:

$$SU = \frac{MSU * 80}{100} \quad (2.3)$$

Zaradi upoštevanja individualnih razlik so mnogi strokovnjaki popravili osnovno formulo za določanje *MSU*. Najpogosteje se uporablja popravljena formula za ženske in moške:

$$\text{Ženske : } MSU = 209 - (\text{leta} * 0,7) \quad (2.4)$$

$$\text{Moški : } MSU = 214 - (\text{leta} * 0,8) \quad (2.5)$$

Metoda je primerna za tiste, ki se zgolj rekreirajo zaradi zdravja, izgubljanja telesne teže ali dobrega počutja.

Metoda laktatnega praga

Določanje režima aktivnosti na osnovi praga, pri katerem je proizvodnja laktata (mlečne kisline) hitrejša od njegove porabe, imenujemo metoda laktatnega praga. Mejo v literaturi opisujejo z različnimi imeni kot so anaerobni prag (*AP*), laktatni prag (*LP* ali *LT*), *MLSS* (ang. maximum lactate steady state), *OBLA* (ang. onset of blood lactate accumulation).

Najbolj zanesljiva metoda določanja LP temelji na osnovi merjenja koncentracije mlečne kisline v krvi. Tvrstni test izvajajo usposobljeni strokovnjaki, ki med obremenilnim testom jemljejo vzorce krvi, v katerih določijo koncentracijo mlečne kisline in nato grafično določajo mejo vrednosti *LP*.

LP je največkrat izhodiščna točka za računanje območij treninga pri športnikih. Pri tej metodi se določa samo utrip srca, pri katerem športnik doseže svoj *LP*. Orientacijska vrednost, pri kateri naj bi večina dosegla mejo, je koncentracija 4 mmol/kg laktata v krvi [89]. Vendar pa je meja lahko precej višja, odvisno od pripravljenosti posameznika. *LP* pri neaktivnih ljudeh s prekomerno težo lahko znaša manj kot 65 % *MSU*, pri slabo treniranih je približno 75 % *MSU*, pri odlično pripravljenih pa celo 85-90 % *MSU* ali več.

Eden glavnih ciljev v vzdržljivostnih disciplinah, med katere spada tudi veslanje, je stremirati telo tako, da bo meja *LP* čim bližje *MSU* in da bo na ta način telo sposobno vzdržati čim večjo obremenitev na meji *LP* čim bolj dolgo.

Metoda na osnovi parametra VO_{2max}

Eden izmed pokazateljev stopnje fizične pripravljenosti je tudi parameter VO_{2max} . To je maksimalna količina kisika, izražena v mililitrih na kilogram teže, ki ga je telo sposobno porabiti v eni minuti. Višji kot je parameter VO_{2max} , boljša je kondicijska pripravljenost. Vrhunski športniki dosegajo vrednosti 80 ml/kg/min, dobri rekreativci okrog 55 ml/kg/min, povprečno pripravljeni 40-45 ml/kg/min, netrenirani pa še manj [89].

Parameter VO_{2max} se meri s stopnjevanim testom od zelo umirjene do izčrpavaajoče obremenitve na simulatorju veslanja v laboratorijih športne medicine. Ob postopno naraščajoči obremenitvi se spremljajo številni funkcionalni parametri, ki kažejo učinkovitost delovanja srca, dihalnih in presnovnih funkcij. Za izračun parametra VO_{2max} so potrebni podatki o porabi kisika (VO_2), tvorbi ogljikovega dioksida (VCO_2) in ventilaciji (VE).

V strokovni literaturi je mogoče zaslediti, da so področja vadbe podana v % VO_{2max} . Pri izračunu odstotka obremenitve, absolutna vrednost/velikost VO_{2max} niti ni pomembna,

bolj pomembno je, pri kakšnem odstotku VO_{2max} je treba vaditi za želeni učinek. Tako je zmerna vadba določena v območju od 56 do 64 % VO_{2max} , intenzivna vadba od 70 do 80 % VO_{2max} ter zelo intenzivna vadba nad 83 % VO_{2max} [90].

Metodi z določanjem LP in VO_{2max} sta bolj primerni za športnike s tekmovalnimi ambicijami, saj zahtevata laboratorijske meritve.

2.1.4 Načini izrabe energije iz različnih virov

Kot je razvidno iz metod za določanje aerobnega in anaerobnega območja vadbe, srčni utrip lahko služi kot pokazatelj režima vadbe oz. ali ima telo na voljo dovolj kisika. Na osnovi srčnega utripa pa ni mogoče določiti, na kakšen način se ustvarja oz. porablja energija za zadovoljevanje trenutnih mišičnih potreb glede na stopnjo obremenitve.

Celotne mišične potrebe so poleg trenutne stopnje obremenitve odvisne tudi od trajanja obremenitve in področja, v katerem se obremenitev izvaja [91]. Nekatere obremenitve so zelo intenzivne in kratkotrajne (na primer dvig težkega bremena ali naglo in hitro pospeševanje pri teku in kolesarjenju). Proces, ki so potrebni, da mišice zmorejo tovrstno obremenitev, se morajo odviti v trenutku, saj ni časa čakati, da se dvigne srčni utrip in na ta način zagotovi zadostno količino energije, ki bi se ustvarila aerobno. Ti procesi so večinoma anaerobnega tipa in proizvajajo in porabljajo energijo brez prisotnosti kisika. Naše telo za prav vsako mišično kontrakcijo potrebuje snov ATP. Zaloge molekul ATP v mišicah so minimalne, zado- stujejo za 2 do 3 sekunde aktivnosti, in se morajo zato nenehno obnavljati. Ko je intenzivnost nizka, se zaloge obnavljajo pretežno z izgorevanjem maščobe - torej na aeroben način. Ko začne intenzivnost naraščati, mišice večji delež energije pridobijo iz glikogena, to je polisaha- ridnih molekul. V primeru pomanjkanja kisika pa se začne anaerobna glikoliza. Ko pride do kratkotrajnih, nekaj sekund trajajočih obremenitev, energijo zagotovi vir, ki omogoča najh- itrejšo resintezo (obnovo) snovi ATP. To je kreatin fosfat (CP), a tudi ta je na voljo samo v omejeni količini, in sicer za približno 6 do 8 sekund trajajočo obremenitev. Zatem se mora zaloga CP obnoviti. Telo se za obnovo kreatin fosfata poslužuje različnih virov. Najhitrejšo obnovo zaloga CP zagotavlja glikogen v mišicah, ki pa je tudi precej omejen. Maščoba je dvakrat bolj počasen, a dosti večji vir energije.

Iz navedenega je razvidno, da športne aktivnosti, kot so veslanje, tek, kolesarjenje in tudi vadba z utežmi lahko potekajo v aerobnem ali anaerobnem režimu. Najpomembnejša parametra vadbe sta intenzivnost in čas trajanja posameznih delov vadbe v okviru treninga. Podatki o povprečnem utripu, povprečni hitrosti in potrebnem času za preveslane kilometre ne dajejo realne slike o režimu vadbe.

Uveljavljena je delitev načinov izrabe energije iz različnih energetskega virov glede na čas trajanja obremenitve, ki je predstavljena v tabeli 2.1 [92]. Iz tabele je razvidno, kako so ti načini odvisni od časa trajanja obremenitve. Ko poteče določen čas obremenitve, telo samodejno preide na drugi, ustrežnejši način preskrbe z energijo.

Čas trajanja obremenitve	Vrsta obremenitve	Vrsta energije
1-3 sekunde	anaerobna	ATP (v mišicah)
4-10 sekunde	anaerobna	ATP + CP
10-45 sekund	anaerobna	ATP + CP + glikogen
45-120 sekund	laktatna anaerobna	Glikogen
120-240 sekund	aerobna +	Glikogen
240-600 sekund	aerobna	glikogen + maščobna kislina

Tabela 2.1: Načini izrabe energije iz različnih energetskih virov glede na čas trajanja obremenitve.

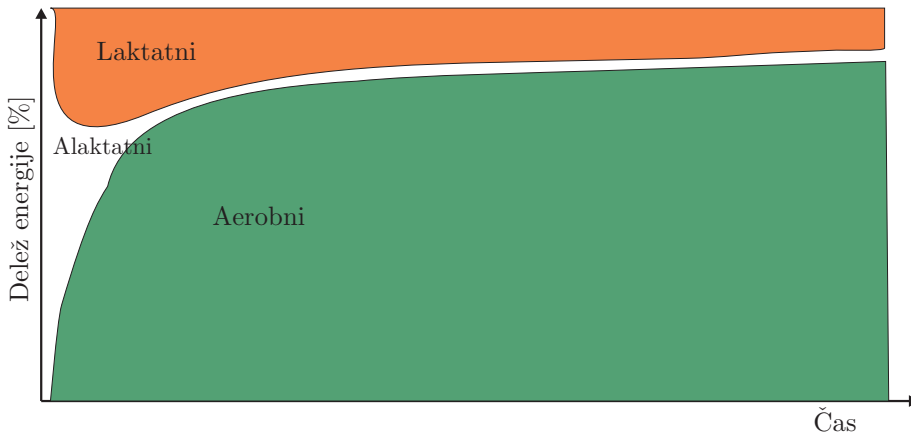
Ko začnemo vaditi, se istočasno vklopijo vsi trije energetski sistemi in delujejo vzporedno. Po preteku določenega časa se izklapljaajo in glede na višino obremenitve se po potrebi ponovno vklapljaajo. Višina obremenitve ali zahtevana hitrost kontrakcije mišic določata, kateri sistem bo dovajal energijo. Tako se vklopi eden od dveh anaerobnih sistemov tudi takrat, ko je na zalogi več kot dovolj kisika, ni pa dovolj časa, da bi potrebno energijo priskrbel na aerobni način.

2.2 Fiziološke lastnosti veslača

Veslaška tekma traja vsaj 5 minut in 30 sekund, povprečna ustvarjena mehanska moč znaša okoli 450 vatov, srčni utrip okoli 190 udarcev na minuto, maksimalna poraba kisika med 6.000 in 6.500 mililitri na minuto, parameter VO_{2max} med 65 in 70 mililitri na kilogram telesne teže, nivo laktata med 16 in 21 milimolih na liter arterijske krvi [1].

Večino potrebne energije v mišicah veslača zagotavljajo aerobni procesi. Za oceno stanja pripravljenosti veslača je treba določiti, koliko energije lahko telo proizvede. Več energije zagotovijo aerobni procesi, boljša je bazična pripravljenost veslača. Najbolj pomemben kriterij za opis aerobne proizvodnje energije je faktor VO_{2max} , ki je podrobneje opisan v poglavju 2.1.

Slika 2.1 prikazuje procese, ki zagotavljajo energijo med šestminutnim testom maksimalne obremenitve. Temno področje predstavlja energijo, ki jo zagotavljajo aerobni procesi. Ti procesi zagotavljajo večji del potrebne energije, kljub temu pa ta ne zadostuje. Primanjkljaj pokrivajo anaerobni procesi. Na začetku - veslači pri startu potrebujejo veliko količino energije in je laktat še nizek - so to predvsem anaerobni procesi, pri katerih se mlečna kislina ne nabira v mišicah in jih imenujemo zato tudi alaktatni anaerobni procesi, nato pa anaerobni laktatni procesi.



Slika 2.1: Prispevek različnih metaboličnih procesov k zagotavljanju potrebne energije.

2.3 Obremenitvena in časovna razporeditev telesne aktivnosti v veslanju

Veslaška tekma poteka na 2.000 metrov dolgi progi, tekmovalci pa zanjo potrebujejo od 5,5 do 7,5 minut, odvisno od pripravljenosti in številčnosti posadke. Ker so aktivnosti, ki trajajo več kot 4 minute, opredeljene kot aerobna aktivnost, pri kateri telo ne porablja maksimalne količine kisika in vsebnost mlečne kisline v krvi ne preseže 4 mmol/l, je pri veslačih pomembna predvsem aerobna vzdržljivost. Ker je tekma časovno le malo nad spodnjo mejo aerobnega področja, njeni odseki pa od organizma zahtevajo tudi anaerobno delovanje, je pomembna tudi anaerobna vzdržljivost. Razmerje med aerobno in anaerobno kapaciteto se giblje med 70 % in 80 % v korist aerobne.

Za določanje obremenitve posameznega veslača se uporablja tabela obremenitev. V njej se posameznemu področju, ki je določeno s tempom (število zaveslajev na minuto), glede na fizično pripravljenost (vsebnost mlečne kisline v krvi) določi pripadajočo hitrost veslanja. Tabela 2.2 prikazuje primer obremenitvene tabele.

Področje	Tempo [zav/min]	Laktat [mmol/kg]	Hitrost [čas/500m]	Tip obremenitve
A0	18-20	<2	1.55,0	Aerobno področje
A1	20-22	2	1.52,0	
A2	22-24	3	1.49,0	
AP	24-26	4	1.46,0	Aerobni prag
AN1	26-28	6	1.43,0	Anaerobno področje
AN2	30-32	8	1.40,0	
R	32-34	/	1.37,0	

Tabela 2.2: Primer tabele obremenitev pri veslanju.

Glavni namen treninga je maksimalna možna obremenitev določenega tipa obremenitve, pri čemer se trening vzdržljivosti, kot glavni element, v enem tednu lahko izvaja največ trikrat, vključno s tekmovanji in testi.

Veslaška sezona se v grobem razdeli na dve obdobji. Prvo je pripravljalo obdobje, ki traja od oktobra do aprila, v njem pa prevladuje trening aerobne vzdržljivosti. Drugo je tekmovalno obdobje, ki traja od maja do avgusta, v njem pa prevladuje trening anaerobne vzdržljivosti. Tema obdobjema rečemo tudi makrociklusa. Vsak makrociklus sestavlja več mezociklusov, ki navadno zajemajo 3 ali 4 tedne, odvisno od vrste treninga ali razmika med pomembnimi tekmami. Tedne, ki sestavljajo mezociklus, imenujemo mikrociklus, ki ima za vsak dan točno določen trening.

2.4 Zaključek

V tem poglavju je predstavljena razlika med aerobno in anaerobno vadbo ter metode za določanje režima vadbe. Iz fizioloških lastnosti veslača sledi, da je večji del potrebne energije pri veslanju zagotavljajo aerobni procesi. Ker pa ta energija ne zadostuje, primanjkljaj pokrivajo anaerobni procesi. Glavni namen treninga veslanja je zato povečanje vzdržljivosti, seveda ob ustrezni tehniki veslanja.

3. Analiza kinetičnih in kinematičnih parametrov veslanja

V poglavju je predstavljena statistična analiza osnovnih parametrov veslanja: dolžine zavesljaja, trajanja faz zavesljaja, sil posameznega zavesljaja na ročaju in opori za noge, opravljenega dela, trajektorije gibanja ročaja, naklona trupa in obremenitev v kolenu ter lumbosakralnem sklepu.

Z analizo vrednosti parametrov, konsistentnosti parametrov, statistično analizo in analizo lastnih vrednosti so bili določeni glavni parametri tehnike veslanja, kjer nastajajo razlike med nepoznavalci in poznavalci, njihova tipična področja vrednosti in odvisnost od tempa veslanja. Parametri, ki določajo primerno tehniko veslanja in ugotavljajo razlike med nepoznavalci in poznavalci, so primerni za kategorizacijo tehnike in uporabo v referenčnem modelu.

3.1 Metode

3.1.1 Udeleženci

Analiza je bila opravljena na izmerjenih podatkih 15 prostovoljcev (belci, moški) različnih ravni znanja veslanja iz študij [19, 20]: a) petih elitnih veslačev (starost od 22 do 38 let, povprečje je 30,4 leta; višina od 1,86 do 1,97 metra, povprečje je 1,92 metra; masa od 84 do 100 kilogramov, povprečje je 89 kilogramov), ki so člani veslaške reprezentance Slovenije in nosilci medalj s svetovnih prvenstev ali olimpijskih iger, b) petih klubskih veslačev (starost od 15 do 18 let, povprečje je 16,7 let; višina od 1,79 do 1,88 metra, povprečje je 1,83 metra; masa od 75 do 100 kilogramov, povprečje je 82 kilogramov), ki trenirajo in tekmujejo na klubski ravni, in c) petih nepoznavalcev (starost od 25 do 32 let, povprečje je 28 let; višina od 1,71 do 1,88 metra, povprečje je 1,83 metra; masa od 76 do 100 kilogramov, povprečje je 85 kilogramov), ki so se prvič srečali z veslanjem na simulatorju. Nepoznavalci predstavljajo skupino uporabnikov, ki začenjajo z veslanjem na simulatorju kot obliko rekreacije brez strokovnega nadzora.

3.1.2 Sistem za merjenje

Podatki so bili pridobljeni z instrumentaliziranim simulatorjem veslanja Laboratorija za robotiko Fakultete za elektrotehniko Univerze v Ljubljani [93]. Osnovni deli simulatorja so premikajoči se sedež, opora za noge, držalo, ki je z verigo povezano z vetrnim kolesom, in prikazovalnik hitrosti ter tempa veslanja. Simulator veslanja znamke Concept2 je opremljen

s senzorjem za merjenje sile potega z rokami, šestdimenzionalnim senzorjem sile JR3 za merjenje sile odnosa z nogami, z optičnim kodirnikom na osi vetrnega kolesa za merjenje dolžine potega verige in žičnim kodirnikom na sedežu za merjenje položaja sedeža. Za merjenje kinematike gibanja veslača so bili uporabljeni optični sistem Optotrak Certus in 14 merilnih markerjev. Obremenitve v gležnjih, kolenih, kolkah, lumbosakralnem sklepu in ramenih so bile izračunane z Newton-Eulerjevo inverzno dinamično analizo [94, 95, 96, 97]. V merilni sistem je bila vključena video kamera za vizualni zajem gibanja veslača. Slika 3.1 prikazuje udeleženca študije med izvajanjem meritve.



Slika 3.1: Veslač med izvajanjem meritve.

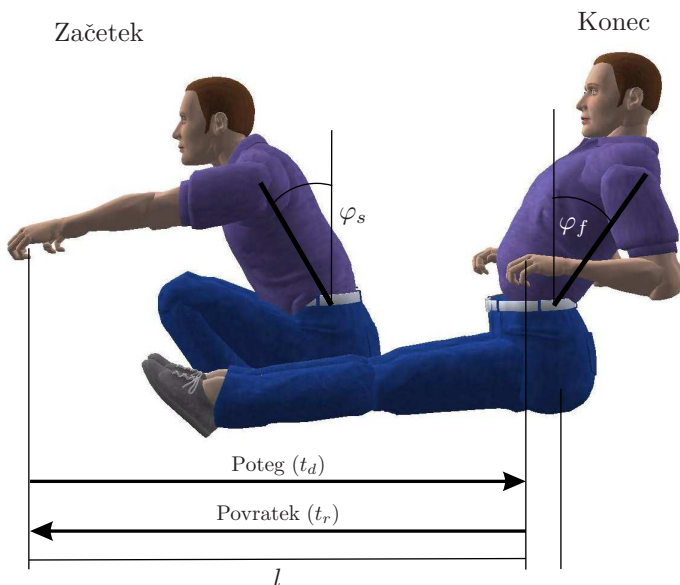
3.1.3 Merilni test

Merilni test, ki ga je opravil vsak prostovoljec, je trajal dve minuti in je bil sestavljen iz treh aktivnosti, od katerih je imela vsaka določen tempo veslanja: ena minuta z 20 zavesljaji/minuto pri aerobni aktivnosti, pol minute s 26 zavesljaji/minuto pri aerobnem pragu in pol minute s 34 zavesljaji/minuto pri tekmovalnem ritmu.

3.1.4 Analizirane spremenljivke

Predpostavili smo simetrijo veslanja na simulatorju in analizirali veslanje v sredinski (sagitalni) ravnini [4, 6, 12, 14, 16, 24, 98].

Veslač na simulatorju izvaja gibe, ki so podobni gibom pri veslanju. Z vlečenjem verige preko zobnikov, ki poganjajo kolo, na katerem so nameščene lopatice, se ustvari zračni upor, ki v zadostni meri simulira upor čolna na vodi. Veslaški zavesljaj je sestavljen iz štirih faz: začetka, potega, konca in povratka. Posebno pomembna je drža telesa v posamezni fazi [1]. Slika 3.2 prikazuje držo telesa ob začetku in koncu zavesljaja. Pri fazi potega se ročaj oddaljuje od vetrnega kolesa, pri fazi povratka pa približuje.

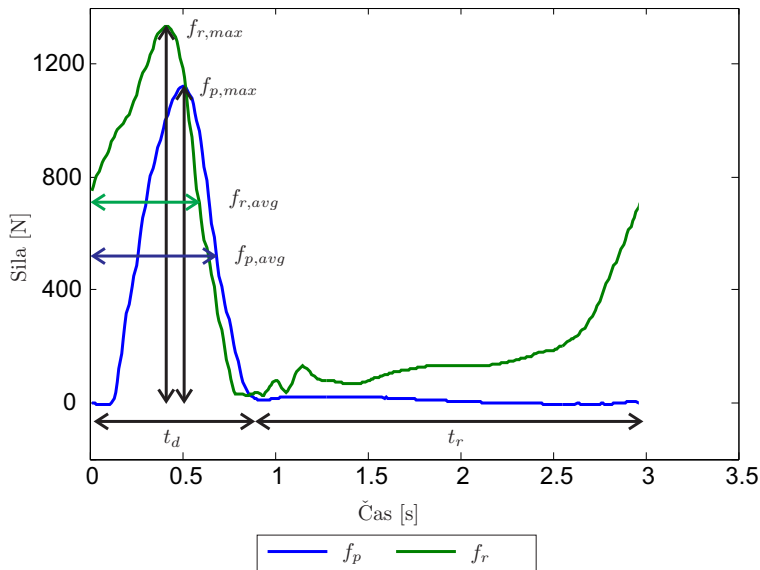


Slika 3.2: Drža telesa ob začetku in koncu zavesljaja.

Analizirane so bile naslednje spremenljivke, ki definirajo zavesljaj: dolžina zavesljaja, normirana dolžina zavesljaja, trajanje faz zavesljaja (poteg in povratak) in njuno razmerje, največja vrednost sil na ročaju in opori za noge, povprečna vrednost sil na ročaju in opori za noge med fazo potega, razmerja sil, trenutek nastanka največjih sil, delo zavesljaja, tirnice gibanja ročaja, naklon trupa in obremenitve v sklepih.

Dolžina zavesljaja l je opredeljena kot razlika med največjo in najmanjšo vrednostjo premika ročaja v posameznem zavesljaju. Normirana dolžina zavesljaja l_r je določena kot povprečna dolžina zavesljaja l deljena z višino veslača. Razmerje med trajanjem faz zavesljaja r pomeni razmerje med trajanjem faze potega t_d in faze povratka t_r . Naklon trupa φ je definiran kot kót med trupom, ki ga določata merilna markerja M10 (nameščen na kolk) in M11 (nameščen na ramo), in čelno (koronarno) ravnino.

Parametri sil so prikazani na sliki 3.3. Največja vrednost sile na ročaju $f_{p,max}$ pomeni največjo vrednost sile, izmerjene na ročaju, med posameznim zavesljajem. Povprečna vrednost sile na ročaju med fazo potega $f_{p,avg}$ pomeni povprečje izmerjene sile na ročaju med fazo potega. Razmerje med povprečno in največjo silo na ročaju $f_{p,r}$ je količnik med $f_{p,avg}$ in $f_{p,max}$. Največja vrednost sile na opori za noge $f_{r,max}$ je največja vrednost velikosti sile, izmerjene na opori za noge, med posameznim zavesljajem. Povprečna vrednost sile na opori za noge med fazo potega $f_{r,avg}$ je povprečje velikosti izmerjene sile na opori za noge med fazo potega. Razmerje med povprečno in največjo silo na opori za noge $f_{r,r}$ je količnik med $f_{r,avg}$ in $f_{r,max}$. Razmerje največjih sil $f_{r,m}$ je količnik med $f_{p,max}$ in $f_{r,max}$, razmerje povprečnih sil $f_{r,a}$ pa je količnik med $f_{p,avg}$ in $f_{r,avg}$.



Slika 3.3: Parametri sil.

Delo zavesljaja A je vsota produktov sile na ročaju in premika ročaja med fazo potega po enačbi 3.1, kjer je N število vzorcev posameznega zavesljaja, $F_p(i)$ trenutna vrednost sile na ročaju, $s(i)$ trenutna in $s(i-1)$ predhodna vrednost pozicije ročaja med zavesljajem.

$$A = \sum_{i=1}^N F_p(i) \cdot (s(i) - s(i-1)) \quad (3.1)$$

Trajektorija gibanja ročaja je izmerjena z merjenjem položaja merilnega markerja na ročaju. Navor okoli prečne (transverzalne) osi je najpomembnejši parameter obremenitev v sklepkih, saj prispeva h gibanju v sredinski (mediana) ravnini. Za boljšo primerjavo so podatki normalizirani glede na vzdolžni premik ročaja. Začetek zavesljaja je predstavljen z vrednostjo -100 , konec potega in začetek povratka z vrednostjo 0 in konec povratka z vrednostjo 100 . Spremenljivka M_z pomeni največjo vrednost navora posameznega zavesljaja, M_h pa njegovo mesto nastanka glede na položaj ročaja.

3.1.5 Obdelava podatkov in statistična analiza

Za analizo so bili uporabljeni podatki desetih zaporednih zavesljev pri posameznem tempu vsakega udeleženca. Za obdelavo podatkov je bil uporabljen programski paket Matlab (The MathWorks (Ver. 7.10), Natick, MA). Začetek veslanja je bil definiran kot začetek faze potega, faza povratka pa je predstavljala drugi del celotnega zavesljaja.

Vrednotenje gibanja ročaja je bilo ocenjeno z izračunom ponovljivosti trajektorije merilnega markerja na ročaju RT_p v skladu s standardom ISO 9283 (1998), ki se uporablja za testiranje gibanja industrijskih robotov. Ponovljivosti trajektorije v posamezni točki RT_{pi} je

opredeljena kot polmer kroga, ki vsebuje vse izmerjene trajektorije v tej točki. Ponovljivost za celotno trajektorijo RT_p je opredeljena kot največja vrednost RT_{pi} .

Podatki desetih zaporednih zaveslajev pri posameznem tempu vsakega udeleženca, so bili povprečeni in analizirani s programom SPSS (IBM (Ver. 17,0), Armonk, NY). Tempo veslanja je povezan z obremenitvijo in tehniko veslanja. Ker nas je zanimal vpliv tempa na navedene spremenljivke pri različno usposobljenih skupinah veslačev, smo najprej izvedli enosmerno analizo variance za ponovljene meritve (ang. “one-way repeated-measures ANOVA”) s tremi tempi veslanja za vsako spremenljivko. Iz analize variance smo izluščili delno eta kvadratno vrednost η^2 (ang. “partial eta-squared value”) in p vrednost učinka tempa na posamezno spremenljivko za vsako skupino veslačev posebej. Delna eta kvadratna vrednost pomeni delež celotne variabilnosti, ki jo je mogoče pripisati preučevanemu dejavniku (v tem primeru tempu veslanja), če izvzamemo druge dejavnike, ki vplivajo na variacijo [99]. Delna eta kvadratna vrednost se zato lahko uporabi kot merilo vpliva dejavnika na biomehanske parametre [100]. Ker so nas zanimale razlike med skupinami veslačev, smo izvedli dvosmerno analizo variance mešanega tipa (ang. “two-way mixed-design ANOVA”) s tempom veslanja kot parametrom znotraj skupine udeležencev (ang. “within-subject factor”) in tipom usposobljenosti udeleženca kot parametrom razlikovanja med udeleženci (ang. “between-subjects factor”). Iz te analize smo dobili η^2 in p vrednost učinka tipa veslača (elitni veslač, klubski veslač, veslač nepoznavalec) na posamezno spremenljivko. V vseh primerih je bil prag statistične značilnosti določen s $p = 0,05$.

Koeficient variacije KV (ang. “coefficient of variation”) je bil uporabljen kot statistični kazalnik, ki prikazuje razpršitev okoli aritmetične sredine. Definiran je kot razmerje med standardnim odklonom in povprečjem. Ker gre za relativni statistični kazalnik, ga je mogoče uporabiti za primerjavo razpršenosti različnih spremenljivk. Vrednost KV pod 0,05 pomeni neznatno spremenljivost.

Analizo glavnih komponent (ang. “principal component analysis” – PCA) smo uporabili za analizo razlik med udeleženci. Analiza glavnih komponent je statistična tehnika, ki poišče največjo varianco spremenljivk [101]. Osnovni nabor spremenljivk se preslika v množico novih spremenljivk, ki se imenujejo glavne komponente. Te so med seboj neodvisne. Prva glavna komponenta pojasnjuje največji del celotne variance osnovnih spremenljivk. Vsaka naslednja glavna komponenta je določena tako, da je neodvisna od prejšnjih in pojasni kar se da velik del še nepojasnjene variance. Analiza glavnih komponent je bila izvedena v fazi potega zaveslajaja za signale sile na ročaju, sile na opori za noge in naklonu trupa kot osnovnemu parametru telesne drže. Za pravilno primerjavo so bili vsi signali prevzorčeni na enako število vzorcev in sile normirane glede na njihovo največjo vrednost. Glavne komponente oziroma lastni vektorji so bili določeni z razgradnjo kovariančne matrike z lastnimi vrednostmi za vse signale glede na eksperimentalne podatke elitnih veslačev. Nato so bili vsi signali preslikani v PCA-podprostor. Za primerjavo udeležencev so bili lastni vektorji normirani z obratno vrednostjo kvadratnega korena ustreznih lastnih vrednosti.

3.2 Rezultati in diskusija

Povprečne vrednosti in standardni odkloni za dolžino zavesljaja l , normirano dolžino zavesljaja l_r , trajanje faze potega t_d , trajanje faze povratka t_r , razmerje faz zavesljaja r , največja vrednost sile na opori za noge $f_{r,max}$, povprečna vrednost sile na opori za noge med fazo potega $f_{r,avg}$, razmerje med povprečno in največjo silo na opori za noge $f_{r,r}$, največja vrednost sile na ročaju $f_{p,max}$, povprečna vrednost sile na ročaju med fazo potega $f_{p,avg}$, razmerje med povprečno in največjo silo na ročaju $f_{p,r}$, razmerje največjih sil $f_{r,m}$, razmerje povprečnih sil $f_{r,a}$, delo zavesljaja A in ponovljivost za celotno trajektorijo ročaja RT_p so prikazani v tabeli 3.1 za elitne veslače, tabeli 3.2 za klubske veslače in tabeli 3.3 za veslače nepoznavalce. V tabelah so prikazane tudi povprečne vrednosti in standardni odkloni za posamezno skupino veslačev.

Rezultati enosmerne analize variance s tremi tempi in rezultati dvosmerne analize variance mešanega tipa s tempom veslanja kot parametrom znotraj skupine udeležencev in tipom usposobljenosti udeleženca kot parametrom razlikovanja med udeleženci so predstavljeni v tabeli 3.4. Dvosmerna analiza variance je bila izvedena ločeno za elitne veslače in veslače nepoznavalce (tip E-N), elitne in klubske veslače (tip E-J) in elitne, klubske veslače ter veslače nepoznavalce (tip E-J-N). Prve tri vrstice tabele opisujejo vpliv tempa na navedene spremenljivke. Zvezdica pomeni, da je vsaj 95-odstotno zaupanje statistične verjetnosti, da razlike pri spremenljivki niso naključne, ampak so posledica spremembe tempa. Vrednosti predstavljajo velikost vpliva tempa na spremenljivko, pri čemer $\eta^2 > 0,7$ pomeni velik vpliv. Četrta, peta in šesta vrstica opisujejo vpliv tipa veslačev oziroma izkušnost veslačev na navedene spremenljivke. Zvezdica pomeni, da je vsaj 95-odstotno zaupanje statistične verjetnosti, da razlike pri spremenljivki niso naključne, ampak so posledica tipa veslačev. To pomeni, da je spremenljivko mogoče uporabiti za ugotovitev tipa veslača in opisuje razlikovanje tehnike veslanja na simulatorju. Večja vrednost pomeni večje razlikovanje.

Oseba	Tempo [zav/min]	l [m]	l_n	t_d [s]	t_r [s]	r	$f_{r,max}$ [N]	$f_{r,avg}$ [N]	$f_{r,r}$	$f_{p,max}$ [N]	$f_{p,avg}$ [N]	$f_{p,r}$	$f_{r,m}$	$f_{r,a}$	A [J]	RT_p [m]
E1	20	1,611 (0,015)	0,85	0,91 (0,01)	2,07 (0,03)	1:2,25	1337 (40)	744 (20)	0,56	1123 (35)	497 (18)	0,44	0,84	0,67	929 (37)	0,025
	26	1,631 (0,011)	0,86	0,85 (0,02)	1,48 (0,02)	1:1,74	1347 (16)	771 (15)	0,57	1165 (16)	508 (13)	0,44	0,86	0,66	962 (21)	0,025
	34	1,632 (0,006)	0,86	0,79 (0,01)	1,11 (0,02)	1:1,41	1339 (18)	783 (8)	0,58	1153 (13)	513 (11)	0,44	0,86	0,65	982 (17)	0,026
E2	20	1,606 (0,003)	0,82	0,93 (0,02)	1,88 (0,11)	1:2,02	1189 (22)	638 (12)	0,54	1091 (46)	467 (26)	0,43	0,92	0,73	883 (37)	0,039
	26	1,631 (0,001)	0,83	0,85 (0,02)	1,35 (0,07)	1:1,58	1195 (20)	663 (17)	0,55	1167 (26)	485 (14)	0,42	0,98	0,73	950 (23)	0,044
	34	1,603 (0,014)	0,82	0,72 (0,01)	0,87 (0,02)	1:1,20	1235 (12)	742 (8)	0,60	1204 (13)	536 (8)	0,45	0,97	0,72	1030 (17)	0,038
E3	20	1,603 (0,001)	0,81	0,98 (0,01)	1,94 (0,05)	1:1,97	1365 (42)	671 (14)	0,49	974 (27)	443 (16)	0,45	0,71	0,66	839 (29)	0,042
	26	1,615 (0,002)	0,82	0,92 (0,02)	1,50 (0,03)	1:1,63	1348 (49)	662 (27)	0,49	1031 (48)	455 (25)	0,44	0,77	0,69	897 (50)	0,042
	34	1,600 (0,010)	0,81	0,73 (0,01)	0,95 (0,03)	1:1,29	1432 (39)	825 (14)	0,58	1303 (17)	597 (11)	0,46	0,91	0,73	1153 (21)	0,044
E4	20	1,638 (0,023)	0,87	0,99 (0,01)	1,83 (0,07)	1:1,85	1123 (42)	635 (17)	0,57	960 (38)	390 (14)	0,41	0,85	0,61	786 (31)	0,058
	26	1,667 (0,010)	0,88	0,91 (0,02)	1,50 (0,04)	1:1,64	1187 (17)	675 (20)	0,57	1041 (29)	422 (14)	0,41	0,88	0,62	864 (27)	0,065
	34	1,642 (0,007)	0,87	0,80 (0,01)	1,00 (0,02)	1:1,25	1194 (17)	713 (18)	0,60	1057 (16)	488 (11)	0,46	0,89	0,63	908 (26)	0,026
E5	20	1,509 (0,001)	0,81	0,92 (0,01)	1,93 (0,06)	1:2,09	1182 (43)	668 (17)	0,57	986 (38)	423 (15)	0,43	0,83	0,63	799 (21)	0,025
	26	1,486 (0,012)	0,80	0,85 (0,02)	1,47 (0,06)	1:1,71	1226 (46)	674 (24)	0,55	1062 (28)	444 (27)	0,42	0,87	0,66	847 (35)	0,049
	34	1,457 (0,024)	0,78	0,78 (0,02)	1,08 (0,04)	1:1,40	1297 (32)	706 (17)	0,54	1105 (13)	461 (9)	0,42	0,85	0,65	870 (15)	0,056
Povprečje skupine	20	1,593 (0,049)	0,83 (0,02)	0,95 (0,04)	1,93 (0,09)	1:2,04 (0,16)	1239 (106)	671 (44)	0,54 (0,03)	1027 (75)	444 (41)	0,43 (0,02)	0,83 (0,08)	0,66 (0,05)	847 (59)	0,038 (0,014)
	26	1,606 (0,070)	0,84 (0,03)	0,88 (0,04)	1,46 (0,06)	1:1,67 (0,07)	1261 (81)	689 (46)	0,55 (0,03)	1093 (67)	463 (34)	0,42 (0,01)	0,87 (0,07)	0,67 (0,04)	904 (51)	0,045 (0,014)
	34	1,587 (0,075)	0,83 (0,04)	0,76 (0,04)	1,00 (0,10)	1:1,31 (0,08)	1299 (93)	754 (50)	0,58 (0,02)	1164 (95)	519 (52)	0,45 (0,02)	0,90 (0,05)	0,68 (0,05)	989 (111)	0,038 (0,013)

Tabela 3.1: Povprečne vrednosti in standardni odkloni kinematičnih in kinetičnih parametrov elitnih veslačev.

Oseba	Tempo [zav/min]	l [m]	l_n	t_d [s]	t_r [s]	r	$f_{r,max}$ [N]	$f_{r,avg}$ [N]	$f_{r,r}$	$f_{p,max}$ [N]	$f_{p,avg}$ [N]	$f_{p,r}$	$f_{r,m}$	$f_{r,a}$	A [J]	RT_p [m]
J1	20	1,579 (0,012)	0,86	1,00 (0,03)	1,97 (0,06)	1:1,98	1195 (93)	641 (18)	0,54	879 (66)	394 (12)	0,45	0,74	0,61	733 (59)	0,040
	26	1,596 (0,012)	0,89	0,92 (0,01)	1,42 (0,03)	1:1,54	1224 (43)	649 (9)	0,53	931 (20)	401 (9)	0,43	0,76	0,62	762 (19)	0,028
	34	1,541 (0,009)	0,86	0,82 (0,01)	0,97 (0,03)	1:1,18	1175 (30)	646 (22)	0,55	971 (38)	401 (17)	0,41	0,82	0,62	734 (27)	0,040
J2	20	1,559 (0,013)	0,83	1,05 (0,03)	1,88 (0,06)	1:1,78	855 (75)	563 (20)	0,66	820 (37)	369 (22)	0,45	0,96	0,66	706 (41)	0,050
	26	1,566 (0,018)	0,83	0,96 (0,01)	1,27 (0,03)	1:1,32	866 (40)	557 (14)	0,64	858 (23)	375 (10)	0,44	0,99	0,67	724 (23)	0,041
	34	1,527 (0,015)	0,82	0,84 (0,01)	0,92 (0,04)	1:1,10	1015 (36)	644 (24)	0,63	940 (52)	435 (30)	0,46	0,93	0,67	820 (63)	0,037
J3	20	1,699 (0,019)	0,90	1,20 (0,02)	1,69 (0,07)	1:1,41	912 (37)	445 (18)	0,49	760 (42)	288 (15)	0,38	0,83	0,65	604 (35)	0,027
	26	1,708 (0,007)	0,91	1,04 (0,01)	1,30 (0,04)	1:1,26	989 (33)	502 (15)	0,51	898 (39)	338 (12)	0,38	0,91	0,67	688 (28)	0,041
	34	1,681 (0,009)	0,89	0,91 (0,01)	0,92 (0,03)	1:1,01	1009 (17)	565 (15)	0,56	976 (27)	375 (10)	0,38	0,96	0,66	759 (21)	0,037
J4	20	1,558 (0,006)	0,86	0,97 (0,02)	1,92 (0,05)	1:1,97	998 (58)	568 (23)	0,57	821 (41)	396 (20)	0,48	0,82	0,70	714 (32)	0,046
	26	1,574 (0,012)	0,87	0,89 (0,03)	1,35 (0,05)	1:1,51	1143 (55)	623 (65)	0,55	888 (67)	405 (42)	0,46	0,77	0,65	749 (73)	0,063
	34	1,566 (0,007)	0,87	0,78 (0,01)	0,93 (0,02)	1:1,19	1286 (26)	701 (16)	0,55	954 (34)	446 (24)	0,47	0,74	0,63	809 (38)	0,036
J5	20	1,578 (0,016)	0,88	0,94 (0,01)	2,05 (0,10)	1:2,19	1196 (63)	730 (18)	0,61	927 (26)	434 (16)	0,47	0,77	0,59	849 (33)	0,111
	26	1,581 (0,014)	0,89	0,85 (0,02)	1,39 (0,06)	1:1,64	1220 (59)	726 (20)	0,60	982 (28)	441 (12)	0,45	0,81	0,60	862 (23)	0,046
	34	1,560 (0,007)	0,88	0,76 (0,01)	1,00 (0,03)	1:1,31	1227 (28)	771 (10)	0,63	1021 (26)	439 (8)	0,43	0,83	0,57	829 (15)	0,166
Povprečje skupine	20	1,595 (0,059)	0,87 (0,03)	1,03 (0,10)	1,90 (0,13)	1:1,84 (0,29)	1031 (158)	589 (105)	0,57 (0,07)	841 (63)	376 (54)	0,45 (0,04)	0,82 (0,08)	0,64 (0,04)	721 (87)	0,056 (0,032)
	26	1,605 (0,059)	0,88 (0,03)	0,93 (0,07)	1,35 (0,06)	1:1,44 (0,16)	1088 (156)	611 (86)	0,56 (0,05)	911 (47)	392 (38)	0,43 (0,03)	0,85 (0,10)	0,64 (0,03)	757 (65)	0,048 (0,014)
	34	1,575 (0,061)	0,86 (0,03)	0,82 (0,06)	0,95 (0,04)	1:1,15 (0,11)	1142 (125)	665 (76)	0,58 (0,04)	972 (30)	419 (30)	0,43 (0,03)	0,86 (0,09)	0,63 (0,04)	790 (41)	0,064 (0,057)

Tabela 3.2: Povprečne vrednosti in standardni odkloni kinematičnih in kinetičnih parametrov klubskih veslačev.

Oseba	Tempo [zav/min]	l [m]	l_n	t_d [s]	t_r [s]	r	$f_{r,max}$ [N]	$f_{r,avg}$ [N]	$f_{r,r}$	$f_{p,max}$ [N]	$f_{p,avg}$ [N]	$f_{p,r}$	$f_{r,m}$	$f_{r,a}$	A [J]	RT_p [m]
N1	20	0,859 (0,025)	0,46	1,48 (0,03)	1,48 (0,02)	1:1,00	354 (21)	191 (11)	0,54	71 (16)	26 (5)	0,37	0,20	0,14	48 (6)	0,063
	26	0,932 (0,027)	0,50	1,17 (0,03)	1,18 (0,05)	1:1,01	592 (28)	248 (23)	0,42	163 (47)	50 (19)	0,31	0,27	0,20	94 (23)	0,093
	34	0,914 (0,026)	0,49	0,87 (0,02)	0,96 (0,03)	1:1,10	832 (38)	394 (34)	0,47	332 (69)	93 (24)	0,28	0,40	0,24	165 (27)	0,074
N2	20	1,129 (0,016)	0,66	1,12 (0,03)	1,42 (0,15)	1:1,27	600 (100)	371 (30)	0,62	465 (80)	141 (21)	0,30	0,78	0,38	213 (30)	0,075
	26	1,240 (0,050)	0,73	1,11 (0,02)	1,29 (0,05)	1:1,16	752 (99)	439 (31)	0,58	528 (79)	166 (27)	0,31	0,70	0,38	278 (53)	0,062
	34	1,352 (0,023)	0,79	0,89 (0,03)	0,94 (0,02)	1:1,06	924 (64)	548 (21)	0,59	703 (59)	243 (20)	0,35	0,76	0,44	432 (32)	0,070
N3	20	1,171 (0,037)	0,64	1,55 (0,05)	1,20 (0,07)	1:0,77	511 (34)	210 (14)	0,41	91 (25)	33 (10)	0,36	0,18	0,16	93 (11)	0,090
	26	1,151 (0,022)	0,63	1,23 (0,03)	0,99 (0,05)	1:0,81	531 (42)	254 (16)	0,48	140 (30)	51 (12)	0,36	0,26	0,20	133 (15)	0,062
	34	1,241 (0,029)	0,68	0,92 (0,02)	0,88 (0,03)	1:0,95	813 (23)	415 (22)	0,51	353 (46)	137 (16)	0,39	0,43	0,33	293 (30)	0,049
N4	20	0,827 (0,048)	0,45	1,52 (0,07)	1,44 (0,32)	1:0,94	363 (26)	200 (7)	0,55	69 (17)	27 (8)	0,39	0,19	0,14	49 (8)	0,034
	26	1,099 (0,033)	0,59	1,11 (0,04)	1,14 (0,17)	1:1,02	723 (62)	326 (30)	0,45	221 (33)	77 (15)	0,35	0,31	0,24	166 (26)	0,046
	34	1,278 (0,029)	0,69	0,87 (0,01)	0,95 (0,02)	1:1,09	970 (80)	568 (39)	0,59	627 (47)	233 (19)	0,37	0,65	0,41	468 (30)	0,071
N5	20	0,893 (0,033)	0,48	1,39 (0,05)	1,50 (0,06)	1:1,08	485 (14)	267 (20)	0,55	101 (26)	39 (10)	0,39	0,21	0,15	61 (12)	0,086
	26	1,018 (0,056)	0,54	1,15 (0,05)	1,16 (0,04)	1:1,01	585 (12)	298 (20)	0,51	178 (34)	66 (11)	0,37	0,31	0,22	124 (17)	0,108
	34	1,019 (0,024)	0,54	0,91 (0,02)	0,94 (0,06)	1:1,02	735 (31)	364 (40)	0,50	280 (54)	101 (27)	0,36	0,38	0,28	186 (35)	0,084
Povprečje skupine	20	0,976 (0,161)	0,54	1,41 (0,17)	1,41 (0,12)	1:1,00	463 (104)	248 (75)	0,53 (0,08)	159 (171)	53 (49)	0,36 (0,04)	0,31 (0,26)	0,19 (0,11)	93 (70)	0,070 (0,023)
	26	1,088 (0,119)	0,60	1,15 (0,05)	1,15 (0,11)	1:1,00	637 (96)	313 (77)	0,49 (0,06)	246 (160)	82 (48)	0,34 (0,03)	0,37 (0,19)	0,25 (0,07)	159 (71)	0,074 (0,025)
	34	1,161 (0,186)	0,64	0,89 (0,02)	0,93 (0,03)	1:1,05	855 (93)	458 (94)	0,53 (0,05)	459 (192)	161 (72)	0,35 (0,04)	0,52 (0,17)	0,34 (0,09)	309 (138)	0,070 (0,013)

Tabela 3.3: Povprečne vrednosti in standardni odkloni kinematičnih in kinetičnih parametrov veslačev nepoznavalcev.

Tip	l_n	r	A	RT_p	φ_s	φ_f
E	0,33	0,99*	0,65*	0,53	0,58	0,69*
J	0,70*	0,94*	0,44	0,11	0,07	0,03
N	0,60*	0,08	0,79*	0,03	0,14	0,10
E-N	0,78*	0,92*	0,97*	0,57*	0,70*	0,37
E-J	0,34	0,31	0,68*	0,07	0,05	0,20
E-J-N	0,84*	0,83*	0,96*	0,29	0,53*	0,48*

Tip	$M_{z,k}$	$M_{h,k}$	$M_{z,ls}$	$M_{h,ls}$
E	0,36	0,77*	0,57	0,04
J	0,14	0,23	0,53	0,78*
N	0,84*	0,03	0,75*	0,72*
E-N	0,70*	0,01	0,93*	0,47*
E-J	0,07*	0,00	0,78*	0,16
E-J-N	0,70*	0,01	0,91*	0,35

Tip	$f_{r,max}$	$f_{r,avg}$	$f_{r,r}$	$f_{p,max}$	$f_{p,avg}$	$f_{p,r}$	$f_{r,m}$	$f_{r,a}$
E	0,62*	0,69*	0,52	0,58	0,60	0,56	0,43	0,20
J	0,45	0,69*	0,24	0,86*	0,60	0,33	0,15	0,11
N	0,87*	0,85*	0,27	0,83*	0,80*	0,16	0,66*	0,79*
E-N	0,95*	0,93*	0,23	0,93*	0,95*	0,80*	0,76*	0,93*
E-J	0,42*	0,32	0,04	0,80*	0,55*	0,01	0,03	0,17
E-J-N	0,89*	0,87*	0,24	0,93*	0,95*	0,72*	0,78*	0,93*

Tabela 3.4: Analize variance za različne parametre.

3.2.1 Dolžina zavesljaja

Kot je razvidno iz tabele 3.1, je dolžina zavesljaja elitnih veslačev konsistentna ne glede na tempo veslanja, saj je povprečna standardna deviacija (SD) manj kot 1 centimeter. Dolžina zavesljaja se je ob povečanju tempa zmanjšala zgolj pri osebi E5. Normirana dolžina zavesljaja se uporablja za medsebojno primerjavo oseb. Povprečna normirana dolžina zavesljaja elitnih veslačev je pri vseh tempih 0,83 ($SD = 0,03$). Vrednost $KV = 0,04$ je zanemarljiva. Dolžina zavesljaja klubskih veslačev se spreminja s tempom (glej tabelo 3.2). Vse osebe so podaljšale dolžino zavesljaja pri tempu 26 zavesljajev/minuto in jo nato skrajšale pri tempu 34 zavesljajev/minuto. Vse osebe z izjemo J4 so pri tempu 34 zavesljajev/minuto veslale z najkrajšo dolžino zavesljaja. Povprečna normirana dolžina zavesljaja klubskih veslačev je 0,87 ($SD = 0,03$) in je tako daljša od elitnih veslačev. Vrednost $KV = 0,03$ je zanemarljiva. Dolžina zavesljaja veslačev nepoznavalcev se precej razlikuje (glej tabelo 3.3). Njihova normirana dolžina je krajša od klubskih in elitnih veslačev in se povečuje z višanjem tempa (0,54

($SD = 0,10$) pri 20 zavesljajih/minuto, 0,60 ($SD = 0,09$) pri 26 zavesljajih/minuto, 0,64 ($SD = 0,12$) pri 34 zavesljajih/minuto). Video analiza je pokazala, da je krajša dolžina zavesljaja posledica manjšega naklona trupa in pokrčenja kolen na začetku zavesljaja in krajšanja zavesljaja na koncu faze potega, kjer nepoznavalci ne povlečejo ročaja vse do trebuha. Povprečna SD dolžine zavesljaja pri istem tempu je manj kot 3 centimetre, kar pomeni, da nepoznavalci kljub vsemu veslajo s konsistentno dolžino zavesljaja pri posameznem tempu. Na podlagi rezultatov lahko sklenemo, da je dolžina zavesljaja elitnih veslačev konsistentna in ni odvisna od tempa veslanja ($p = 0,21$), medtem ko je dolžina zavesljaja klubskih veslačev in nepoznavalcev konsistentna znotraj posameznega tempa. Pri povišanju tempa veslači nepoznavalci dolžino zavesljaja podaljšajo ($p = 0,04$), klubski veslači pa jo najprej podaljšajo in nato skrajšajo ($p = 0,03$).

3.2.2 Trajanje faz zavesljaja

Rezultati iz tabel 3.1 in 3.2 kažejo, da elitni in klubski veslači veslajo z vzorcem hitrega potega in počasnega povratka. Razmerje med fazama zavesljaja se z višanjem tempa zmanjšuje ($p < 0,01$). To pomeni, da ima trajanje faze povratka večji vpliv na tempo kot trajanje faze potega. Razmerje faz zavesljaja klubskih veslačev je v povprečju 10 % manjše kot pri elitnih veslačih. To je povezano s silami, saj močnejši veslači porabijo manj časa za izvedbo zavesljaja v fazi potega. Razmerje veslačev nepoznavalcev je manjše (okoli 1:1) in se z višanjem tempa pomembno ne spreminja ($p = 0,60$; glej tabelo 3.4). To pomeni, da porabijo enako časa za izvedbo obeh faz. Sklenemo lahko, da je razmerje med fazama zavesljaja pri elitnih in klubskih veslačih odvisno od tempa, vendar konstantno pri posameznem tempu, medtem ko se razmerje med fazama zavesljaja veslačev nepoznavalcev ne spreminja.

3.2.3 Sile

Iz tabele 3.1 je razvidno, da so vrednosti največjih sil na opori za noge $f_{r,max}$ elitnih veslačev med 1123 N in 1432 N in povprečne vrednosti sile na opori za noge med fazo potega $f_{r,avg}$ med 635 N in 825 N. Sile na opori za noge so pri vseh udeležencih izmerjene pod levo nogo, zato predstavljajo polovico celotne sil nog. Rezultati kažejo, da je povprečna $f_{r,max}$ pri tempu 34 zavesljajev/minuto 4,7 % večja kot pri tempu 20 zavesljajev/minuto, medtem ko je $f_{r,avg}$ večja za 12,4 %. Čeprav gre za razmeroma majhno povečanje, pa je mogoče zaznati trend ($f_{r,max}$: $p = 0,02$, $f_{r,avg}$: $p = 0,03$). Vrednost razmerja med povprečno in največjo silo na opori za noge $f_{r,r}$ se razlikuje med veslači, in sicer od 0,49 (E3 pri 20 in 26 zavesljajih/minuto) do 0,60 (E2 in E4 pri 34 zavesljajih/minuto). Kljub vsemu se povečuje z višanjem tempa pri vseh elitnih veslačih, z izjemo veslača E5. Rezultati kažejo, da sta povprečna KV pri $f_{r,max}$ in $f_{r,avg}$ pri posameznem tempu 0,02 in ju lahko štejemo za neznatna.

Vrednosti največjih vrednosti sil na ročaju $f_{p,max}$ elitnih veslačev znašajo med 960 N in 1107 N, povprečne vrednosti sile na ročaju med fazo potega $f_{p,avg}$ med 390 N in 597 N. Rezultati kažejo, da je povprečna $f_{p,max}$ pri tempu 34 zavesljajev/minuto 11,8 % večja kot pri

tempu 20 zavesljajev/minuto, medtem ko je $f_{p,avg}$ večja za 16,9 %. Trend povečanja $f_{p,max}$ in $f_{p,avg}$ pri povišanju tempa je razviden pri vseh elitnih veslačih ($f_{p,max}$: $p = 0,07$, $f_{p,avg}$: $p = 0,06$). Vrednost razmerja med povprečno in največjo silo na opori za noge $f_{p,r}$ se razlikuje med veslači, in sicer od 0,41 (E4 pri 20 in 26 zavesljajih/minuto) do 0,46 (E3 in E4 pri 34 zavesljajih/minuto). Pri veslaču E1 se $f_{p,r}$ ne spreminja s tempom; pri veslačih E2, E3 in E5 je razmerje pri tempu 26 zavesljajev/minuto manjše kot pri tempu 20 zavesljajev/minuto; pri veslačih E2, E3 in E4 se razmerje nato poveča pri tempu 34 zavesljajev/minuto. Rezultati kažejo, da sta povprečna KV pri $f_{r,max}$ in $f_{r,avg}$ pri posameznem tempu 0,03 in ju lahko štejemo za neznatna, kar pomeni da imajo elitni veslači nespremenljive maksimalne in povprečne vrednosti sil na opori za noge.

Razmerje največjih sil $f_{r,m}$ in razmerje povprečnih sil med fazo potega $f_{r,a}$ se pri elitnih veslačih razlikujeta. Spremenljivka $f_{r,m}$ veslača E1 se ne spreminja s tempom, medtem ko se pri veslaču E3 spremeni izrazito. Spremenljivka $f_{r,a}$ veslačev E1 in E2 se pri povišanju tempa zmanjša, medtem ko se pri preostalih elitnih veslačih poveča. To nakazuje na razlike v tehniki med elitnimi veslači in bi lahko bilo predmet nadaljnjih raziskav.

Iz tabele 3.2 je razvidno, da so vrednosti največjih sil na opori za noge $f_{r,max}$ klubskih veslačev med 855 N in 1286 N in v povprečju 12,4 % manjše od vrednosti elitnih veslačev. Iz rezultatov je razvidno, da je povprečen $f_{r,max}$ pri tempu 26 zavesljajev/minuto večji za 5,5 % kot pri tempu 20 zavesljajev/minuto, pri tempu 34 zavesljajev/minuto pa za 10,8 %. Trend večanja $f_{r,max}$ je razviden pri vseh klubskih veslačih z izjemo veslača J1, ki je imel pri tempu 34 zavesljajev/minuto najnižje vrednosti. Povprečne vrednosti sile na opori za noge med fazo potega $f_{r,avg}$ pri klubskih veslačih se gibljejo med 445 N in 771 N in so v povprečju 11,8 % manjše od vrednosti elitnih veslačev. Vrednost spremenljivke $f_{r,avg}$ se z višanjem tempa poveča pri veslačih J2, J3 in J4, medtem ko je pri veslačih J1 in J5 spreminjajoča. Rezultati kažejo, da je povprečen KV pri $f_{r,max}$ pri posameznem tempu 0,04 in 0,03 pri $f_{r,avg}$. Štejemo ju za neznatna. Vrednost $f_{r,r}$ je spreminjajoča pri klubskih veslačih med 0,49 (J3 pri 20 zavesljajih/minuto) in 0,66 (J2 pri 20 zavesljajih/minuto), vendar pri tem ni mogoče zaslediti opazne razlike do elitnih veslačev.

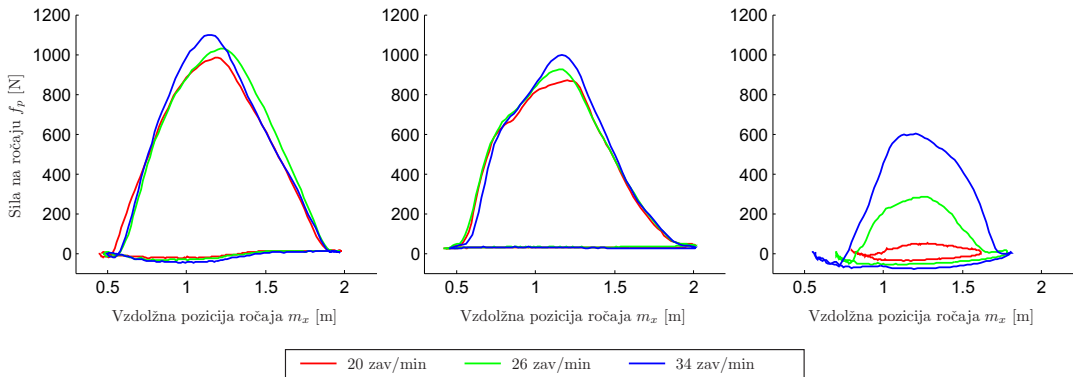
Vrednosti največjih sil na ročaju $f_{p,max}$ klubskih veslačev znašajo med 760 N in 1021 N in so v povprečju za 17,1 % manjše od vrednosti elitnih veslačev. Iz rezultatov je razvidno, da je povprečna $f_{p,max}$ pri tempu 26 zavesljajev/minuto večja za 8,3 % kot pri tempu 20 zavesljajev/minuto, pri tempu 34 zavesljajev/minuto pa za 15,9 %. Trend večanja $f_{p,max}$ je razviden pri vseh klubskih veslačih ($p < 0,01$). Povprečne vrednosti sile na ročaju med fazo potega $f_{p,avg}$ pri klubskih veslačih se gibljejo med 288 N in 446 N in so v povprečju 16,6 % manjše od vrednosti elitnih veslačev. Vrednost spremenljivke $f_{p,avg}$ se z višanjem tempa poveča pri vseh klubskih veslačih z izjemo veslača J5 ($p = 0,07$). Rezultati kažejo, da sta povprečna KV pri $f_{p,max}$ in $f_{p,avg}$ pri posameznem tempu 0,04 in ju lahko štejemo za neznatna. Vrednost $f_{p,r}$ je spreminjajoča pri klubskih veslačih med 0,38 (J3 pri vseh tempih) in 0,47 (J4 pri 34 zavesljajih/minuto in J5 pri 20 zavesljajih/minuto).

Razmerje največjih sil $f_{r,m}$ in razmerje povprečnih sil $f_{r,a}$ sta pri klubskih veslačih spreminjajoča in ni mogoče zaznati skupnih značilnosti. Medtem ko se $f_{r,m}$ pri veslačih J1, J3 in J5 z višanjem tempa poveča, se pri veslaču J4 zmanjša. Vrednost $f_{r,a}$ se pri veslačih J1, J2 in J3 ne spreminja s tempom, pri veslaču J4 pa se spremeni izrazito.

Sile, ki jih razvijejo veslači nepoznavalci, so občutno manjše od sil klubskih in elitnih veslačev. Najbolj očitna razlika je razvidna pri tempu 20 zavesljajev/minuto, pri katerem nepoznavalci (z izjemo N2) komaj razvijejo silo na ročaju. Spremenljivke $f_{p,max}$, $f_{r,max}$, $f_{p,avg}$ in $f_{r,avg}$ se znatno povečajo z zvišanjem tempa. Pri veslaču N4 se $f_{r,max}$ poveča 2,6-krat, $f_{p,max}$ pa kar za desetkrat. Spremenljivka $f_{r,avg}$ se v povprečju poveča za 26 % pri tempu 26 zavesljajev/minuto in 85 % pri tempu 34 zavesljajev/minuto, medtem ko se $f_{p,avg}$ skoraj podvoji pri tempu 26 zavesljajev/minuto in potroji pri tempu 34 zavesljajev/minuto. Pri tempu 34 zavesljajev/minuto veslači nepoznavalci razvijejo približno dve tretjini sile na opori za noge elitnih veslačev, vendar pa je niso sposobni prenesti na ročaj, kjer njihova sila doseže približno tretjino sile elitnih veslačev. Izjema sta nepoznavalca N2 in N4, ki razvijeta približno polovico $f_{p,max}$ elitnih veslačev. Razmerja sil veslačev nepoznavalcev so spreminjajoča in manjša od razmerij elitnih veslačev, razen razmerje $f_{r,r}$, ki se ne razlikuje od tistega pri klubskih in elitnih veslačih.

Slika 3.4 prikazuje silo na ročaju enega zavesljaja pri različnih tempih glede na dolžinski položaj ročaja. Prikazani so rezultati za tipičnega predstavnika svoje skupine. Sila na ročaju med potegom najprej strmo narašča, doseže največjo vrednost in nato upade. Sile med fazo povratka so neznatne. Krivulje sile na ročaju na levi strani slike 3.4 prikazujejo, kako se pri veslaču E5 vrh krivulje z višanjem tempa dvigne, vendar pa sama oblika krivulje ostane nespremenjena. Ker je trajanje zavesljaja pri višjem tempu krajše, je krivulja sile izvedena hitreje. Izsledki ne sovpadajo z ugotovitvami [12], ki navaajo, da se z višanjem tempa največja vrednost zmanjša in se spremeni oblika krivulje. Iz krivulj, ki so prikazane v sredinskem delu slike 3.4, je razvidno, kako veslač J1 poveča največjo vrednost sile in spremeni obliko krivulje pri višjem tempu. Oblika krivulje klubskega veslača J1 se tudi razlikuje od oblike pri elitnem veslaču E5. Krivulje, ki so prikazane na desni strani slike 3.4, prikazujejo, kako se krivulja veslača nepoznavalca N4 spremeni pri različnih tempih.

Na podlagi analize sil lahko sklenemo, da so največje vrednosti sil na ročaju klubskih in elitnih veslačev konstantne pri posameznem tempu, a se malenkostno povečajo z višanjem tempa. Razmerje sil se razlikuje med veslači in je odvisno od njihove osebne tehnike. Razvidno je tudi, da se oblika krivulje sile na ročaju glede na položaj ročaja ne spremeni pri elitnih veslačih, medtem ko se pri klubskih veslačih to zgodi. Največje sile klubskih veslačev so manjše od elitnih veslačev, največje sile veslačev nepoznavalcev pa občutno manjše od klubskih in so izrazito odvisne od tempa veslanja ($p < 0,01$).



Slika 3.4: Sila na ročaju f_p enega zavesljava pri različnih tempih: elitni veslač E5 (levo), klubski veslač J1 (sredina) in nepoznavalec N4 (desno).

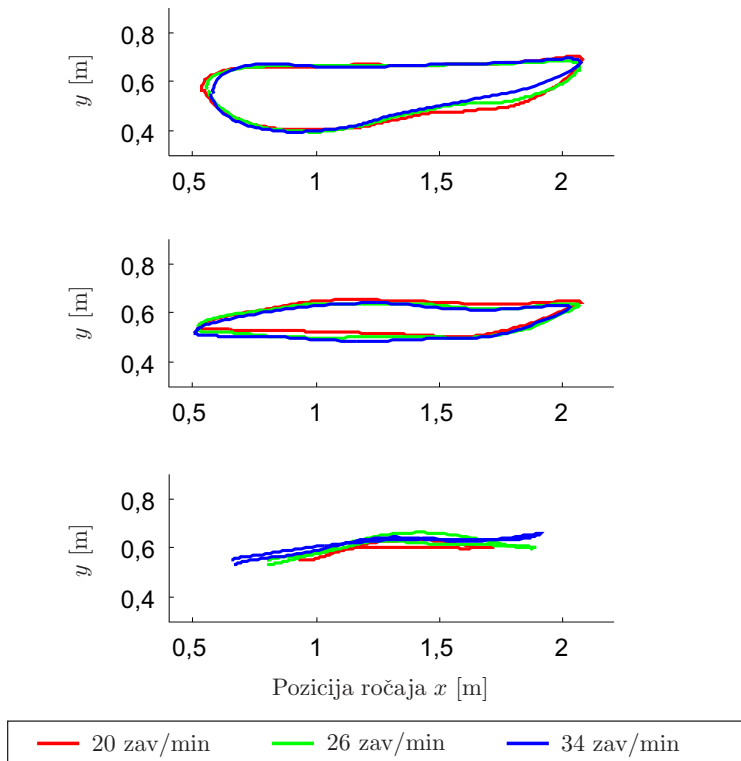
3.2.4 Delo

Opravljenost dela zavesljava veslačev nepoznavalcev je veliko manjše od opravljenega dela zavesljava klubskih veslačev, ki je manjše od opravljenega dela elitnih veslačev. Opravljenost dela se poveča z višanjem tempa pri vseh elitnih veslačih in nepoznavalcih ($p < 0,05$). Pri klubskih veslačih je opravljenost dela pri veslačih J1 in J5 pri tempu 34 zavesljavaev/minuto manjše kot pri tempu 26 zavesljavaev/minuto. Povečanje dela pri tempu 34 zavesljavaev/minuto glede na delo pri tempu 20 zavesljavaev/minuto je pri veslaču E1 5-odstotno, 9-odstotno pri veslaču E4, 13-odstotno pri veslaču J4, približno 16-odstotno pri veslačih E2, E4 in J2, 25-odstotno pri veslaču J3 ter 37-odstotno pri veslaču E3, medtem ko ni bilo povečanja pri veslaču J1, pri veslaču J5 pa je prišlo do zmanjšanja za 2 %. Če primerjamo relativno povečanje dela, lahko iz tabel 3.1 in 3.3 razberemo, da je povečanje veliko večje pri veslačih nepoznavalcih. Nepoznavalec N2 je pri tempu 34 zavesljavaev/minuto opravil dvakrat toliko dela kot pri tempu 20 zavesljavaev/minuto, nepoznavalec N1, N3 in N5 trikrat toliko, nepoznavalec N4 pa več kot devetkrat toliko. Sprememba tempa tako izrazito vpliva na spremembo opravljenega dela, kljub temu pa opravljenost dela pri posameznem tempu ni spreminjajoče. Elitni veslači imajo približno $KV = 0,03$ in klubski veslači $KV = 0,05$ ter ju lahko štejemo za neznatna. Sklep je, da je delo konstantno pri posameznem tempu, pri elitnih veslačih in nepoznavalcih se poveča z višanjem tempa, pri klubskih veslačih pa so razvidno različni vzorci.

3.2.5 Gibanje ročaja

Slika 3.5 prikazuje gibanje ročaja v sredinski (sagitalni) ravnini (koordinata x predstavlja vodoravno smer, y navpično) za iste zavesljavae, kot so prikazani na sliki 3.4. Ročaj se ob začetku zavesljava med fazo potega giblje po zgornjem delu krivulje v smeri naraščanja x do konca potega. Med fazo povratka se ročaj elitnih veslačev giblje po spodnji krivulji do začetka novega zavesljava. Kot je razvidno iz slike 3.5 in statističnih rezultatov v tabeli 3.4,

ni zaslediti razlik v gibanju ročaja pri različnih tempih za elitne veslače ($p = 0,73$), klubske veslače ($p = 0,53$) in med tema dvema skupinama ($p = 0,44$). Prehod ročaja med fazama potega in povratka se zgodi z nenadnim potiskom ročaja navzdol, kar simulira dvig vesel iz vode, sledi vodoravna vrnitev na izhodiščni položaj in priprava na nov zavesljaj. Krivulje gibanja ročaja veslačev nepoznavalcev so različne pri različnih tempih. Pri njih ni razvidnega krožnega gibanja, ki je značilen za elitne veslače. Slika 3.5 tudi razločno prikazuje krajšo dolžino zavesljaja veslačev nepoznavalcev. Izračunani parametri ponovljivosti, ki so zbrani v tabelah 3.1, 3.2 in 3.3, pomenijo kvantitativno oceno ponovljivosti trajektorije ročaja. Iz rezultatov je razvidno, da je ponovljivost gibanja ročaja elitnih in klubskih veslačev podobna, medtem ko je pri veslačih nepoznavalcih dvakrat bolj razpršena. Na podlagi rezultatov lahko sklenemo, da ni razlik pri gibanju ročaja elitnih in klubskih veslačev pri različnih tempih. Gibanje ročaja nepoznavalcev nakazuje na pomanjkanje znanja tehnike.

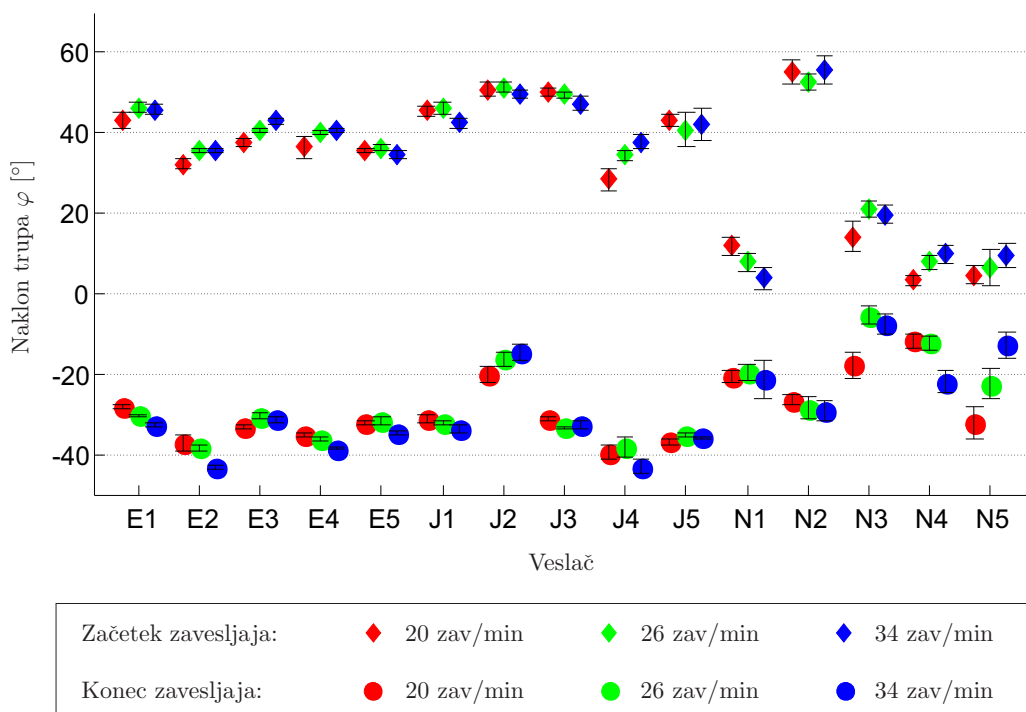


Slika 3.5: Gibanje ročaja v sredinski (sagitalni) ravnini: elitni veslač E5 (zgoraj), klubski veslač J1 (sredina) in nepoznavalec N4 (spodaj).

3.2.6 Naklon trupa

Naklon trupa je eden najpomembnejših parametrov drže telesa med zavesljamem [1, 102]. Podrobneje smo preučili naklon trupa na začetku in koncu zavesljava. Slika 3.6 prikazuje kot naklona trupa vseh analiziranih zavesljavaev v trenutku začetka in konca faze potega za elitne, klubske veslače in nepoznavalce. Simboli prikazujejo povprečne vrednosti, črta pa standardno deviacijo. Iz rezultatov je razvidno, da je povprečen naklon elitnih veslačev $-34,3^\circ$ ($SD = 3,9^\circ$) na začetku faze potega in $38,9^\circ$ ($SD = 4,3^\circ$) na koncu. Klubski veslači imajo podoben naklon trupa kot elitni veslači, z izjemo veslača J2, ki se manj nagne naprej na začetku potega, in veslača J3, ki se manj nagne nazaj na koncu potega. Povprečen naklon trupa klubskih veslačev je $-31,6^\circ$ ($SD = 8,3^\circ$) na začetku potega in $44,0^\circ$ ($SD = 6,6^\circ$) na koncu. Veslači nepoznavalci se nagibajo s trupom manj kot izkušeni veslači. V primerjavi z elitnimi veslači se samo nepoznavalec N2 na koncu zavesljava nagne bolj nazaj. Povprečen naklon trupa nepoznavalcev je $-19,4^\circ$ ($SD = 8,2^\circ$) na začetku potega in $18,9^\circ$ ($SD = 18,7^\circ$) na koncu potega. Iz rezultatov statistične analize ni razvidnega vpliva tempa na naklon trupa ($p > 0,05$), z izjemo naklona elitnih veslačev na koncu potega ($p = 0,02$). Kljub vsemu nismo zasledili nobenega vzorca odvisnosti od tempa. Na podlagi rezultatov lahko sklenemo,

da se naklon trupa na začetku in koncu faze potega ne spreminja s tempom za vse skupine veslačev. Elitni in klubski veslači imajo podobno območje gibanja trupa, medtem ko imajo nepoznavalci manjše območje.

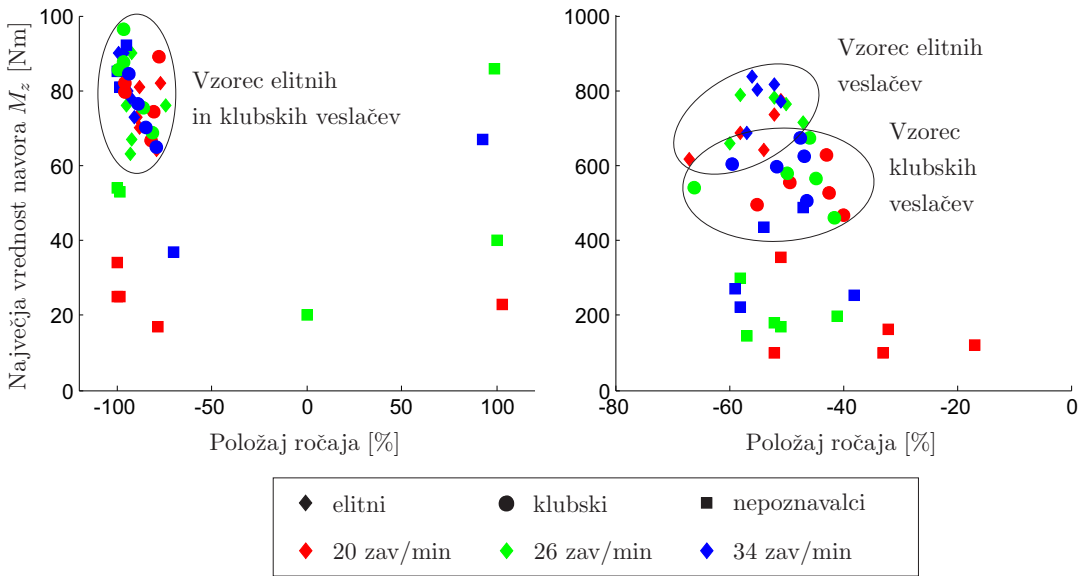


Slika 3.6: Naklon trupa na začetku in koncu zavesljaja pri elitnih veslačih (E), klubskih veslačih (J) in nepoznavalcih (N).

3.2.7 Obremenitve v sklepih

Pri obremenitvah v sklepih smo podrobneje analizirali rezultate Newton-Eulerjeve inverzne dinamične analize za koleno in lumbosakralni sklep. Koleno je sklep, ki prenaša silo iz opore za noge prek spodnjih okončin, medtem ko je lumbosakralni sklep tisti, pri katerem so poškodbe najpogostejše. Slika 3.7 prikazuje največje vrednosti navorov v kolenu (levo) in lumbosakralnem sklepu (desno) glede na trenutek njihovega nastopa, gledano na položaj ročaja, za vse tempe in vse udeležence. Začetek zavesljaja je predstavljen z vrednostjo -100% , konec potega in začetek povratka z vrednostjo 0% in konec povratka z vrednostjo 100% .

Ker klubski in elitni veslači proizvedejo večje sile, so tudi njihove obremenitve večje kot pri nepoznavalcih, kar je razvidno iz slike 3.7. Prav tako je razvidno, da imajo vsi elitni in klubski veslači podoben vzorec nastopa največjih obremenitev v kolenu, ki je zgoščen okoli -89% ($SD = 7\%$ za elitne veslače, $SD = 8\%$ za klubske veslače) položaja ročaja med zavesljajem. Nastanki največjih obremenitev nepoznavalcev so raztreseni. Povprečna vrednost največjega navora v kolenu je pri elitnih veslačih 74 Nm ($SD = 8\text{ Nm}$) pri 20



Slika 3.7: Največje vrednosti navorov M_z v kolenu (levo) in lumbosakralnem sklepu (desno) glede na trenutek njihovega nastopa gledano na relativen položaj ročaja.

zavesljajih/minuto, 74 Nm ($SD = 10$ Nm) pri 26 zavesljajih/minuto in 82 Nm ($SD = 8$ Nm) pri 34 zavesljajih/minuto. Povprečna vrednost največjega navora v kolenu klubskih veslačev je 79 Nm ($SD = 8$ Nm) pri 20 zavesljajih/minuto, 83 Nm ($SD = 11$ Nm) pri 26 zavesljajih/minuto in 81 Nm ($SD = 17$ Nm) pri 34 zavesljajih/minuto. Povprečna vrednost največjega navora v kolenu nepoznavalcev se povečuje od 25 Nm ($SD = 6$ Nm) pri 20 zavesljajih/minuto prek 51 Nm ($SD = 24$ Nm) pri 26 zavesljajih/minuto do 72 Nm ($SD = 22$ Nm) pri 34 zavesljajih/minuto.

Pri elitnih in klubskih veslačih je podoben vzorec nastanka največjih obremenitev v lumbosakralnem sklepu. Ta je zgoščen okoli -55% ($SD = 5\%$) položaja ročaja med zavesljajem za elitne veslače in okoli -48% ($SD = 7\%$) za klubske veslače. Nastanki največjih obremenitev nepoznavalcev so raztreseni, vendar so vsi v fazi potega. Povprečna vrednost največjega navora v lumbosakralnem sklepu je za elitne veslače 692 Nm ($SD = 65$ Nm) pri 20 zavesljajih/minuto, 742 Nm ($SD = 55$ Nm) pri 26 zavesljajih/minuto in 783 Nm ($SD = 59$ Nm) pri 34 zavesljajih/minuto, za klubske veslače je 537 Nm ($SD = 62$ Nm) pri 20 zavesljajih/minuto, 567 Nm ($SD = 77$ Nm) pri 26 zavesljajih/minuto in 604 Nm ($SD = 61$ Nm) pri 34 zavesljajih/minuto, medtem ko se pri nepoznavalcih povečuje od 167 Nm ($SD = 107$ Nm) pri 20 zavesljajih/minuto prek 198 Nm ($SD = 60$ Nm) pri 26 zavesljajih/minuto do 334 Nm ($SD = 120$ Nm) pri 34 zavesljajih/minuto. Iz rezultatov je razvidno, da obremenitev v kolenu doseže največjo vrednost prej kot obremenitev v lumbosakralnem sklepu in da so obremenitve v lumbosakralnem sklepu večje. Na podlagi rezultatov lahko sklenemo, da obremenitve v kolenu in lumbosakralnem sklepu pri klubskih in elitnih veslačih naraščajo s povišanjem tempa, medtem ko se trenutek nastopa največjih obremenitev ne spreminja in

ima značilne vzorce. Obremenitve klubskih veslačev so manjše od elitnih. Pri nepoznavalcih ni mogoče zaslediti tipičnih vzorcev pri obremenitvah v sklepkih.

3.2.8 Analiza lastnih vrednosti

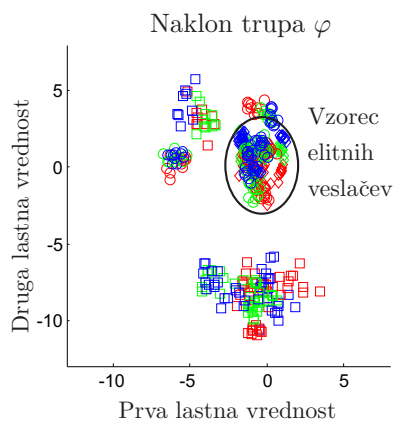
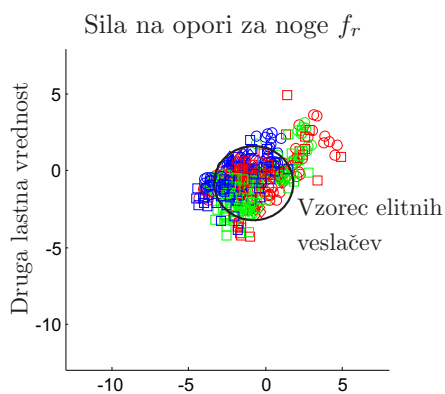
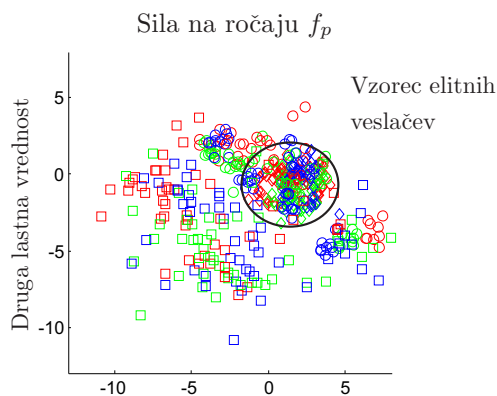
Naklon trupa, sila na ročaju in sila na opori za nogi so spremenljivke, pri katerih niso pomembne zgolj posamezne vrednosti, ampak tudi njihove krivulje med samim zavesljamem. Za primerjavo krivulj spremenljivk v fazi potega in za to, da bi poiskali največje možne razlike med njimi, smo uporabili matematično transformacijo analize lastnih vrednosti. S transformacijo se izgubi fizikalni pomen, prikazano je samo merilo spremenljivosti. Prva lastna vrednost je največja možna varianca med zavesljami, izračunana na podlagi kovariance krivulj, in prikazuje največjo možno spremenljivost podatkov. Prvih pet lastnih vrednosti vsebuje več kot 95 % informacije (sila na ročaju 97,1 %, pri čemer je delež med prvimi petimi lastnimi vrednostmi porazdeljen [59,1; 18,5; 12,0; 5,5; 1,9], sila na opori za noge 95,3 % [41,9; 33,2; 13,8; 4,2; 2,3] in naklon trupa 99,4 % [74,6; 20,6; 2,2; 1,5; 0,5]). Spremenljivosti osnovnih komponent za silo na ročaju, silo na opori za noge in naklon trupa med udeleženci istega tipa so prikazane v tabeli 3.5.

Tip	Signal	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
E	f_r	1,11	0,98	1,05	1,06	1,01
	f_p	1,21	1,02	1,10	1,04	0,99
	φ	0,94	1,06	1,14	1,39	1,12
J	f_r	2,39	1,43	1,43	1,50	1,94
	f_p	3,20	2,42	2,41	2,38	2,35
	φ	2,29	1,64	1,74	1,61	1,65
N	f_r	1,74	1,61	1,56	2,29	2,05
	f_p	4,37	2,8	2,74	2,85	2,96
	φ	2,12	4,99	5,01	5,88	5,43

Tabela 3.5: Spremenljivosti osnovnih komponent za silo na ročaju, silo na opori za noge in naklon trupa med člani skupine istega tipa.

Za primerjavo elitnih, klubskih veslačev in nepoznavalcev smo uporabili prvi dve lastni vrednosti, saj pomenita 75–95 % spremenljivosti. Čeprav sledeče komponente vsebujejo majhen odstotek informacije, pa lahko pri natančni in usmerjeni analizi posameznih skupin veslačev razkrijejo pomembne informacije o finih razlikah v tehniki veslanja med posamezniki. Rezultati prvih dveh komponent analize lastnih vrednosti so prikazani na grafu na sliki 3.8. Abscisna os predstavlja prvo lastno vrednost, ordinatna os pa drugo. Iz predstavljenih rezultatov je mogoče razbrati, da ni velike spremenljivosti med elitnimi veslači pri krivuljah vseh treh analiziranih spremenljivk. To potrjuje, da lahko skupino zgolj petih elitnih veslačev uporabimo za določitev referenčnih vrednosti in potekov spremenljivk. Rezultati klubskih veslačev za silo na ročaju so 2,6-krat bolj raztreseni od rezultatov elitnih

veslačev, kar pomeni, da pri njih nastopa spremenljivost v obliki krivulj in da se te oblike razlikujejo od elitnih. Pri sili na opori za noge je raztros 1,7-krat večji. Komponente naklona trupa štirih klubskih veslačev sovpadajo z vzorcem elitnih veslačev, medtem ko en klubski veslač izrazito izstopa. Osnovni komponenti sile na ročaju nepoznavalcev sta 3,2-krat bolj raztreseni od elitnih, medtem ko komponente sile na opori za noge sovpadajo s komponentami klubskih veslačev. Pri naklonu trupa nepoznavalcev so razvidni grozdi komponent, pri čemer ti ustrezajo posameznim osebam. To pomeni, da nepoznavalci veslajo s konsistentnimi vzorci, vendar se ti razlikujejo od vzorcev elitnih veslačev.



◇ elitni	○ klubski	□ nepoznavalci
◇ 20 zav/min	◇ 26 zav/min	◇ 34 zav/min

Slika 3.8: Prvi dve lastni komponenti v fazi potega za silo na ročaju f_p (zgoraj), silo na opori za noge f_r (sredina) in naklon trupa φ (spodaj).

3.3 Zaključek

V tem poglavju je predstavljena analiza biomehanskih parametrov veslanja na simulatorju. Primerjali smo tehniko treh skupin različno usposobljenih veslačev in analizirali njeno odvisnost od tempa veslanja.

Rezultati kažejo, da elitni veslači uporabljajo podobno in konsistentno tehniko veslanja pri vseh tempih, tehnika klubskih veslačev jim je načeloma podobna, tehnika veslačev nepoznavalcev pa se razlikuje in spreminja.

Analiza je pokazala, da se tehnika elitnih veslačev ne spreminja s tempom. Ob predpostavki, da elitni veslači veslajo s primerno tehniko, se lahko odstopanja od njihovih parametrov uporabi za opis nepravilnosti v tehnikah veslanja na simulatorju, ki se izražajo v slabi izvedbi. Klubski veslači se od elitnih veslačev razlikujejo v parametrih, ki so povezani z močjo in posledično intenzivnostjo veslanja: največja in povprečna sila na opori za nogi, največja in povprečna sila na ročaju, delo, obremenitve v sklepih so po vrednostih manjši kot pri elitnih veslačev. Prav tako se njihova oblika krivulje sile na ročaju, ki je pogonska sila veslanja, razlikuje od elitne. Tehnika veslačev nepoznavalcev se razlikuje in spreminja. Dolžina zavesljaja je krajša, sile so manjše, gibanje ročaja in telesna drža sta drugačna. Čeprav se dolžina zavesljaja spreminja glede na tempo, je pri posameznem tempu konstantna. Veslači nepoznavalci ne spreminjajo razmerja faz zavesljaja, največje in povprečne sile pa se povečajo ob povišanju tempa. Čeprav je pri nepoznavalcih razvidna pomanjkljiva tehnika in različni vzorci ter da tehniko spreminjajo s tempom, pa je pri posameznem tempu posameznikova tehnika konsistentna.

Pri tej analizi so sodelovali samo prostovoljci moškega spola omejenega obsega let. Potrebna je previdnost ob morebitnem posploševanju rezultatov in sklepov, ki so pridobljeni pri tej skupini, na oba spola in vsa starostna obdobja.

Glavna pomanjkljivost analize je upoštevanje trupa kot en segment. Ta poenostavitev se lahko odraža v napaki naklona trupa in izračunu obremenitev v lumbosakralnem sklepu. Pri klubskih veslačih smo pri izvajanju meritev namestili dodatni merilni marker in trup upoštevali kot dva segmenta. Ugotovljena napaka pri izračunu obremenitev v lumbosakralnem sklepu je bila manj kot 3 % največjega navora v prečni smeri. Zaradi poenostavitve trupa z enim segmentom se izgubi tudi informacija o upogibu hrbtenice. Ta informacija je pomembna za pravilno vodenje drže telesa, zato bi bilo smiselno spremeniti merilni sistem za uporabo v sistemu za vadbo na simulatorju veslanja s sprotno povratno informacijo. Rezultati, pridobljeni v tej analizi, jasno kažejo vzorce gibanja in razlike v naklonu trupa in obremenitvah v lumbosakralnem sklepu med skupinami različno izkušenih veslačev.

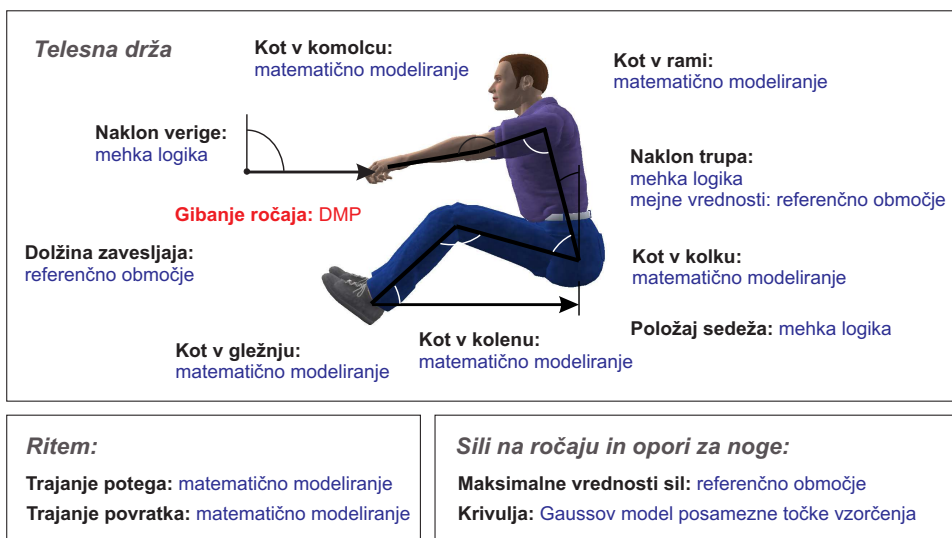
Prepoznani parametri, ki so odvisni od tempa veslanja (trajanje faz zavesljaja, največje in povprečne sile na opori za noge ter ročaju, delo, največje obremenitve v kolenu in lumbosakralnem sklepu), parametrov, ki so konstantni ne glede na tempo veslanja (dolžina zavesljaja, gibanje ročaja, naklon trupa, oblika krivulje sile na ročaju, trenutek nastopa največjih obre-

menitve v kolenu in lumbosakralnem sklepu) ter določajo tip izkušenosti veslača, imajo potencial, da se uporabijo v referenčnem modelu načrtovanega sistema za vadbo na simulatorju veslanja s sprotno povratno informacijo.

4. Referenčni model tehnike veslanja

V poglavju je predstavljen razvoj referenčnega modela primerne tehnike veslanja. Z različnimi tehnikami modeliranja in postopkom optimizacije so bili določeni referenčni modeli, ki določajo ključne parametre veslanja in so namenjeni uporabi v sistemu za učenje veslaške tehnike za sprotno generiranje referenčnih podatkov. Metoda mehke logike je bila uporabljena za modeliranje naklona trupa, kota verige in položaja sedeža, nelinearni dinamični modeli za modeliranje gibanja ročaja, enačbe za določanje telesne drže in trajanje faz zavesljava, referenčno območje za dolžino zavesljava, maksimalne vrednosti naklona trupa in maksimalne vrednosti sil ter Gaussov model posamezne točke vzorčenja za obliko krivulje sil.

Modeliranje je bilo izvedeno na podlagi eksperimentalnih podatkov, pri čemer smo upoštevali značilnosti posameznega parametra in uporabili ustrezno metodo. Slika 4.1 prikazuje pregled modeliranih parametrov in uporabljene metode.



Slika 4.1: Pregled modeliranih parametrov referenčnega modela in uporabljene metode.

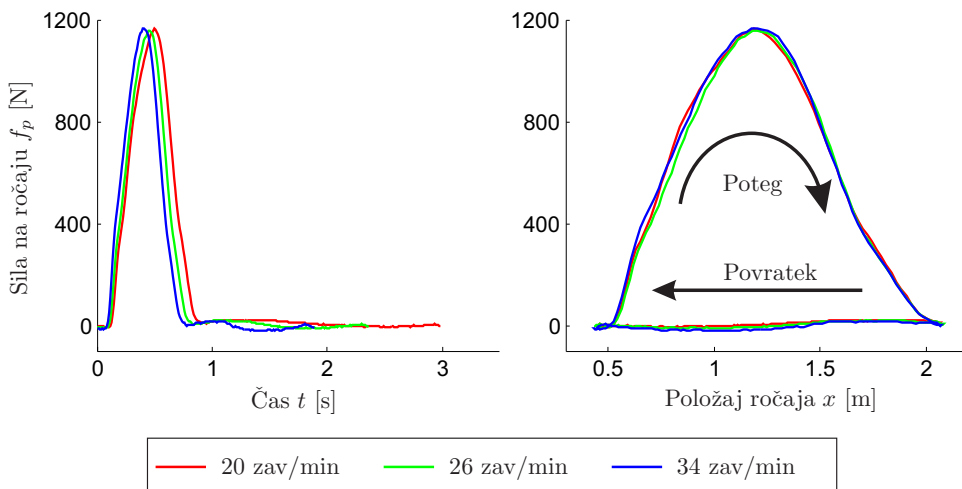
4.1 Referenčni podatki

Za referenčne podatke, na katerih so zgrajeni referenčni modeli, so bili uporabljeni eksperimentalni podatki o položaju ročaja in sedeža, silah na ročaju in opori za noge ter kotih med posameznimi segmenti telesa petih elitnih veslačev [19] (starost od 22 do 38 let, povprečje je 30,4 let; višina od 1,86 do 1,97 metra, povprečje je 1,91 metra; masa od 84 do 100 kilo-

gramov, povprečje je 89 kilogramov). Eksperimentalni podatki, ki so vzorčeni s frekvenco 100 Hz, vsebujejo 60 sekund veslanja s tempom 20 zaveslajev/minuto, 30 sekund s tempom 26 in 30 sekund s tempom 34 zaveslajev/minuto. Pri pripravi referenčnih modelov je bilo uporabljenih 52.885 vzorcev podatkov.

4.1.1 Odvisnost parametrov

Eksperimentalni podatki so izmerjeni glede na čas. Trajanje posameznega zaveslaja je odvisno od tempa, saj višji tempo pomeni, da mora veslač zaveslaj izvesti v krajšem času, pri čemer se posamezne faze zaveslaja ne spreminjajo proporcionalno. Razmerje trajanja potega in povratka je eden izmed pomembnih parametrov pravilnosti dinamike izvedbe zaveslaja in se spreminja s tempom. Tempo se določi šele po izvedenem zaveslaju, saj je odvisen od trajanja zaveslaja. Kolikor bi želeli modelirati referenčne parametre kot funkcijo časa, bi jih torej morali modelirati kot funkcijo časa in tempa, pri čemer pa slednji ni eksplicitno določen med samim zaveslajem. Ugotovili smo, da lahko parametre predstavimo kot funkcijo položaja ročaja. Slika 4.2 kot primer prikazuje silo na ročaju enega zaveslaja istega veslača pri treh različnih tempih, pri čemer je na levi strani prikazana v odvisnosti od časa, na desni pa v odvisnosti od položaja ročaja.



Slika 4.2: Sila na ročaju v odvisnosti od časa (levo) in v odvisnosti od položaja ročaja (desno).

Z zapisom parametrov v obliku funkcije položaja ročaja, so ti neodvisni od tempa in časa ter so odvisni samo od položaja ročaja in faze zaveslaja.

4.1.2 Normiranje podatkov

Telesni proporci veslača vplivajo na območje gibanja ročaja in sedeža. Izmerjene podatke o položaju ročaja veslačev reprezentantov višin 1,86, 1,89, 1,90, 1,96 in 1,97 metra smo

normirali glede na maksimalni odmik sedeža. Maksimalni odmik sedeža je položaj sedeža, ko so noge veslača popolnoma iztegnjene, in je povezan s telesno višino veslača.

Povprečna normirana dolžina zavesljaja vseh petih veslačev glede na maksimalno oddaljenost sedeža znaša 1,80, pri čemer je standardna deviacija 0,08 in največje odstopanje 6,6 %.

4.2 Metode modeliranja

Za dolžino zavesljaja, maksimalne vrednosti naklona trupa in maksimalne vrednosti sil smo določili območje (interval) referenčnih vrednosti. Z enačbami smo zapisali trajanje faz zavesljaja. Z upoštevanjem geometrijskih relacij smo zapisali enačbe med segmenti telesa, ki določajo telesno držo. Obliko krivulj sil smo zapisali z Gaussovovim modelom v posamezni točki vzorčenja. Metodo mehke logike smo uporabili za modeliranje naklona trupa, kota verige in položaja sedeža. Gibanje ročaja smo modelirali z nelinearnimi dinamičnimi modeli.

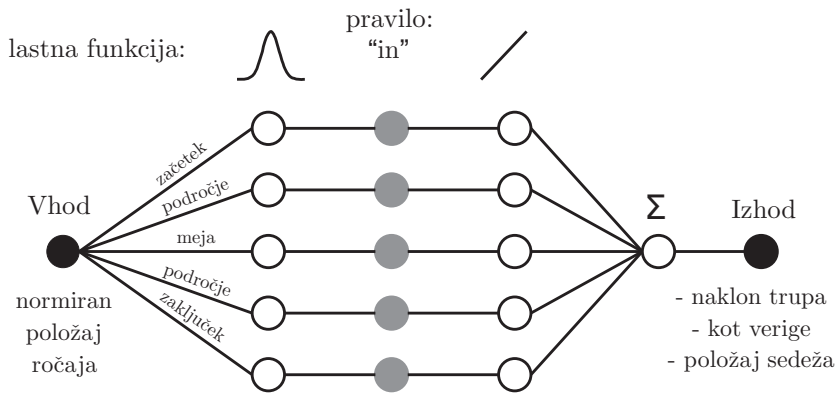
4.2.1 Mehka logika

Za izgradnjo referenčnega modela položaja sedeža, naklona trupa in kota verige ročaja smo uporabili metodo mehke logike [25]. Učenje ima stabilno konvergenco in temelji na iterativnem določanju parametrov vnaprej definiranih lastnih funkcij z optimizacijo na podlagi učne množice in kriterijske funkcije. Metodo mehke logike smo izbrali, ker omogoča upoštevanje izkušenj in s tem prenos poznavanja sistema v model. Pri tem ni potreben zapleten matematični model, sam sistem pa je neobčutljiv na morebitno nekonsistentno podana pravila. Na mejah med fazami zavesljaja je vrednosti parametrov namreč težko eksplicitno določiti. Obenem metoda zagotavlja majhno kompleksnost modela, saj želimo, da bo model deloval v realnem času in tako sproti podajal referenčne vrednosti glede na izmerjene vrednosti. Za modeliranje smo uporabili programski paket Matlab in orodje Fuzzy Logic (The MathWorks, Natick, MA).

Modeliranje posamezne izhodne veličine smo izvedli z dvostopenjskim modelom, ki je prikazan na sliki 4.3. Prva stopnja je vsebovala Gaussove pripadnostne funkcije, druga linearne funkcije, med seboj pa sta bili povezani s funkcijo "in". Izhodna vrednost modela je vsota izhodov druge stopnje. Model je vseboval 5 lingvističnih spremenljivk, in sicer začetek faze, področje med začetkom in mejo (ko so noge iztegnjene in se gibljejo samo roke), meja, področje med mejo in zaključkom, zaključek faze. Začetne vrednosti parametrov pripadnostnih funkcij prve stopnje smo določili tako, da so le-te ustrezale značilnim točkam zavesljaja.

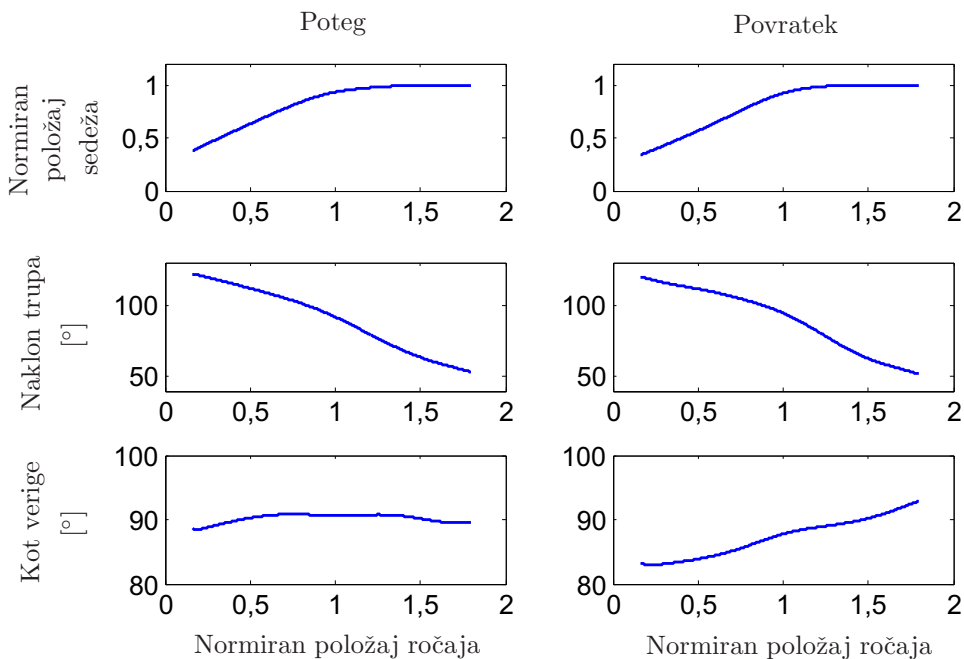
Za določanje stanj modela smo izbrali metodo nadzorovanega učenja, kjer vsakemu vhodnemu podatku določimo zeleno izhodno vrednost, na osnovi česar se v postopku minimiziranja kriterijske funkcije spreminjajo vrednosti spremenljivk mreže.

Razvili smo ločene modele za poteg in povratek, pri čemer je bil vsak podatek uporabljen



Slika 4.3: Shema referenčnega modela z uporabo mehke logike.

samo v eni množici. Učna množica je obsegala 42.880 vzorcev (poteg 15.413, povratek 27.467 vzorcev), testna množica pa 10.005 vzorcev (poteg 3.434, povratek 6.571 vzorcev). Modeli so imeli za vhodno spremenljivko normiran položaj ročaja, za izhodno spremenljivko pa enega od referenčnih parametrov, to je kot trupa γ , kot verige ε in normiran položaj sedeža d . Vrednosti izhodnih spremenljivk prikazuje slika 4.4. Na levi strani so prikazane vrednosti za fazo potega, na desni strani pa za fazo povratka.



Slika 4.4: Referenčni modeli z uporabo mehke logike.

4.2.2 Nelinearni dinamični sistemi

Veslanje je ciklično gibanje, kjer posamezen zavesljaj predstavlja eno periodo. Za opis trajektorije periodičnih gibov se v robotiki pogosto uporabljajo nelinearni dinamični sistemi [103, 104, 105, 106]. Trajektorija je predstavljena kot vsota dinamičnega odziva sistema drugega reda ter nelinearne funkcije. Pozitivne lastnosti nelinearnih dinamičnih sistemov so kompaktnost zapisa, računska nezahtevnost in enostavnost modificiranja.

Modeliranje trajektorije je razdeljeno na učenje in ponavljanje oziroma rekonstrukcijo [103]. Učenje poteka dvonivojsko. Prvi nivo predstavlja kanonični dinamični sistem (ang. “Canonical Dynamical System”), ki iz vhodnega signala izlušči osnovno frekvenco Ω in fazo oscilatorja pri osnovni frekvenci Φ . Pri tem parameter M določa število oscilatorjev, ki so potrebni, da sistem določi osnovno frekvenco. Uporabili smo vrednost $M = 5$, saj se izkaže, da pet oscilatorjev uspešno določi osnovno frekvenco veslanja. Drugi nivo je izhodni dinamični sistem (ang. “Output dynamical system”), ki se nauči oblike trajektorije, kar pomeni, da na podlagi Ω in vhodnega signala določi vektor uteži w , ki določa obliko periodičnih zvončastih jedrnih funkcij (ang. “Gaussian-like periodic kernel function”) Ψ . N je število funkcij Ψ_i , ki ustrezajo enačbi (4.1) in so po časovnem prostoru enakomerno porazdeljene, tako da N teh funkcij pokrije eno periodo signala.

$$\Psi_i = \exp(2,5 \cdot N \cdot (\cos(\Phi - c_i) - 1)) \quad (4.1)$$

$$c_i \in [0, 2\pi] \quad (4.2)$$

Pri rekonstrukciji signala se na podlagi enačb (4.3) in (4.4) določi izhodni signal y .

$$\dot{z} = \Omega \left(\alpha(\beta(g - y) - z) + \frac{\sum_{i=1}^N \Psi_i w_i r}{\sum_{i=1}^N \Psi_i} \right) \quad (4.3)$$

$$\dot{y} = \Omega z \quad (4.4)$$

Na izhodni signal najbolj vpliva vsota produktov funkcij Ψ_i z lastnimi utežmi w_i . Parametra α in β sta vnaprej določeni pozitivni konstanti. Parametra g in r se lahko uporabi za moduliranje izhodnega signala, saj g določa odmik od ničelne vrednosti, r pa skalira amplitudo. V našem primeru smo uporabili $\alpha = 8$ in $\beta = 2$, saj razmerje 4:1 določa kritično dušenje sistema [103], ter $g = 0$ in $r = 1$, tako da smo rekonstruirali naučen signal. Na rekonstruiran signal tako vplivata le vhodna frekvenca Ω in vektor uteži \mathbf{w} .

Lastnost uporabljene metode je, da so trajektorije, ki so si topološko podobne, v modelih predstavljene s podobnimi vektorji uteži \mathbf{w} [107]. To pomeni, da lahko za izračun podobnosti modelov dveh trajektorij uporabimo korelacijo ρ , katero izračunamo kot kosinus kota med vektorjema uteži teh dveh modelov po enačbi (4.5) [103].

$$\rho = \frac{\mathbf{w}_1^T \mathbf{w}_2}{\|\mathbf{w}_1\| \|\mathbf{w}_2\|} \quad (4.5)$$

4.3 Razvoj referenčnega modela

V tem poglavju je opisan razvoj referenčnega modela ključnih parametrov veslanja. Pregled parametrov in uporabljenih metod je prikazan na sliki 4.1.

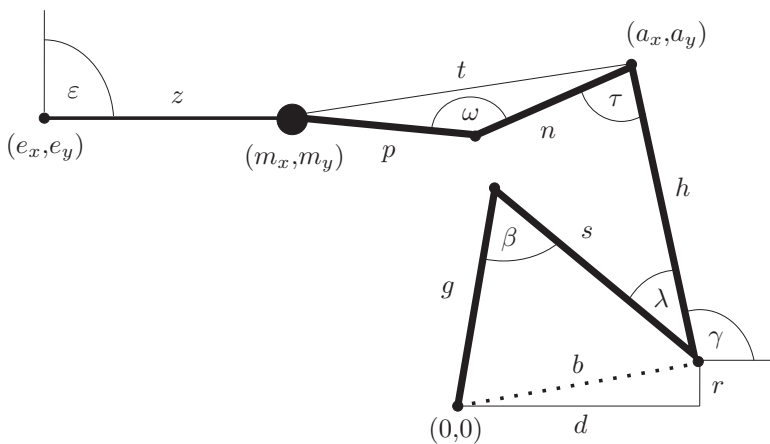
4.3.1 Telesna drža

Telesna drža je določena s koti med segmenti telesa veslača. Za modeliranje telesne drža je bil razvit kinematični model, ki eksplicitno določa telesno držo v vsakem trenutku. Za vrednotenje dovoljenega odstopanja smo določili referenčno območje vrednosti naklona trupa na začetku in koncu zavesljaja.

S telesno držo sta povezana tudi dolžina zavesljaja in gibanje ročaja. Modeliranje dolžine zavesljaja je podano v tem poglavju, gibanje ročaja pa v samostojnem poglavju 4.3.4.

Kinematični model veslača

Kinematični model veslača je sestavljen iz petih segmentov v ravnini, ki so povezani z rotacijski sklepi, kot je prikazano na sliki 4.5. Kinematični parametri telesa veslača so določeni z znanim položajem sedeža d , znanega položaja ročaja (m_x, m_y) in znanega naklona trupa γ . Enačba (4.6) opisuje izračun položaja ročaja (m_x, m_y) , enačba (4.7) razdaljo med gležnjem in kolkom b , enačba (4.8) kot v kolku λ , enačba (4.9) kot v kolenu β , enačba (4.10) položaj rame (a_x, a_y) , enačba (4.11) razdaljo med ramo in zapestjem t , enačba (4.12) kot v komolcu ω ter enačba (4.13) kot v rami τ . Iz konstrukcije simulatorja sledi $r = 0,09$ m, $e_x = -0,72$ m in $e_y = 0,36$ m glede na koordinatni sistem $(0,0)$. Poenostavili smo, da je kot $\varepsilon = 90^\circ$.



Slika 4.5: Kinematični parametri veslača.

$$m_x = z \cdot \sin \varepsilon + e_x \quad m_y = z \cdot \cos \varepsilon + e_y \quad (4.6)$$

$$b = \sqrt{d^2 + r^2} \quad (4.7)$$

$$\lambda = \frac{3}{2}\pi - \gamma - \arccos \frac{s^2 + b^2 - g^2}{2 \cdot s \cdot b} - \arctan \frac{d}{r} \quad (4.8)$$

$$\beta = \arccos \frac{g^2 + s^2 - b^2}{2 \cdot g \cdot s} \quad (4.9)$$

$$a_x = d + h \cdot \cos \gamma \quad a_y = r + h \cdot \sin \gamma \quad (4.10)$$

$$t = \sqrt{(a_x - m_x)^2 + (a_y - m_y)^2} \quad (4.11)$$

$$\omega = \arccos \frac{p^2 + n^2 - t^2}{2 \cdot p \cdot n} \quad (4.12)$$

$$\tau = \gamma - \arctan \frac{a_x - m_x}{a_y - m_y} - \arccos \frac{t^2 + n^2 - p^2}{2 \cdot t \cdot n} \quad (4.13)$$

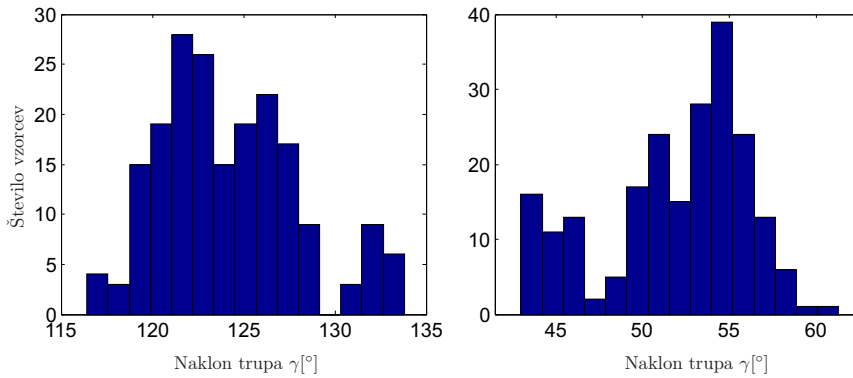
Ob upoštevanju antropometričnih podatkov človeškega telesa [108] in višine veslača se dejanski položaj segmentov telesa veslača določi z naslednjimi koraki:

1. žični kodirnik določa pozicijo sedeža d ;
2. senzor na hrbtu določa naklon trupa γ ;
3. iz izmerjenega podatka optičnega kodirnika na osi vetrnega kolesa o dolžini potega verige z in naklona verige ε se določi pozicija ročaja (m_x, m_y) po enačbi (4.6);
4. ob upoštevanju antropometričnih podatkov za dolžino goleni g , stegna s , hrbta h , nadlahti n in podlahti p se izračuna:
 - kot v kolku λ po enačbi (4.8);
 - kot v kolenu β po enačbi (4.9);
 - kot v komolcu ω po enačbi (4.12);
 - kot v rami τ po enačbi (4.13).

Koti β , λ , τ in ω ter premik d so vhodni podatki za animacijo dejanskega položaja veslača. Referenčni položaj segmentov telesa veslača se določi po enakem postopku, le da je izmerjena samo dolžina potega verige z , referenčni model zgrajen po metodi mehke logike pa določa odmik sedeža d , kot trupa γ in naklon verige ε .

Naklon trupa na začetku in koncu zavesljaja

Na sliki 4.6 je prikazan histogram vrednosti naklona trupa γ na začetku zavesljaja (levo) in koncu zavesljaja (desno). Referenčno območje vrednosti naklona trupa na začetku in koncu zavesljaja je bilo določeno tako, da obsega vse vrednosti elitnih veslačev. Za začetek zavesljaja je tako referenčno območje $\gamma_s = [116^\circ; 133^\circ]$, za konec zavesljaja pa $\gamma_f = [43^\circ; 61^\circ]$.

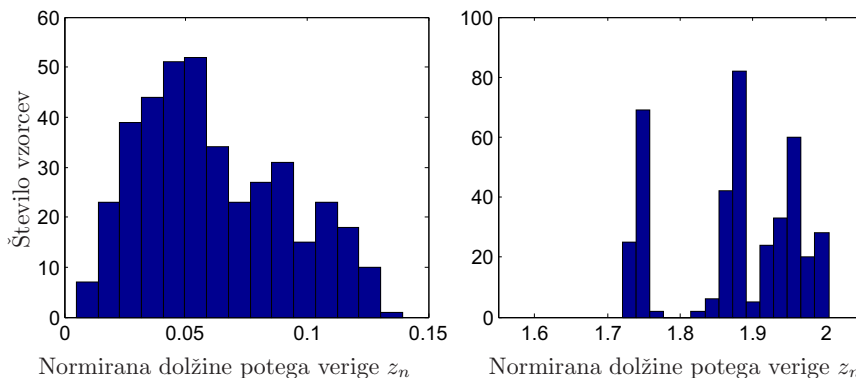


Slika 4.6: Histogram vrednosti naklona trupa γ na začetku zavesljaja (levo) in koncu zavesljaja (desno).

Dolžina zavesljaja

Referenčni model drže telesa določa položaj glede na položaj ročaja, ne poda pa informacije o tem ali veslač ročaj giblje po celotnem pričakovanem območju oziroma ali izkoristi celotno dolžino zavesljaja. Zato je v tem poglavju določena tudi referenčna dolžina zavesljaja oziroma ustrezen položaj ročaja na začetku in koncu zavesljaja. Na sliki 4.7 je prikazan histogram vrednosti normirane dolžine potega verige z_n na začetku zavesljaja (levo) in koncu zavesljaja (desno).

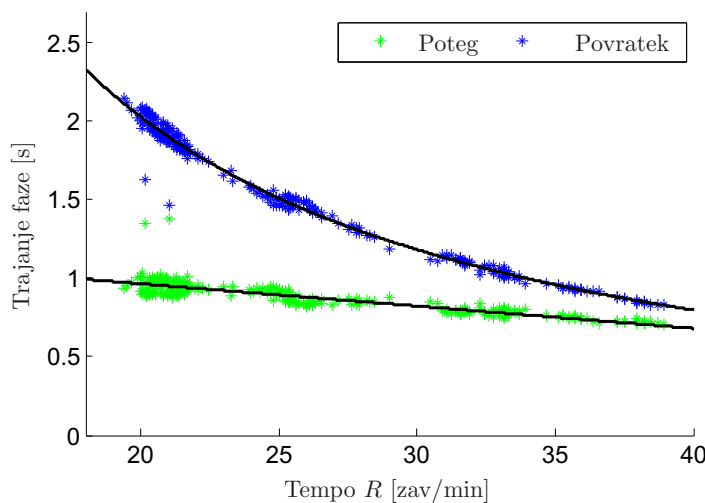
Referenčno območje vrednosti normirane dolžine potega verige na začetku in koncu zavesljaja je bilo določeno tako, da obsega vse vrednosti elitnih veslačev. Za začetek zavesljaja je tako referenčno območje normirane dolžine potega verige $z_{n,s} = [0,01; 0,14]$, za konec zavesljaja pa $z_{n,f} = [1,72; 2,00]$.



Slika 4.7: Histogram vrednosti normirane dolžine potega verige z_n na začetku zavesljaja (levo) in koncu zavesljaja (desno).

4.3.2 Ritem

Ritem je določen s trajanjem faz zavesljaja in njunem razmerju. Trajanje zavesljaja določa tempo, to je število izvedenih zavesljajev v minuti, oziroma če obrnemo: tempo določa trajanje posameznih faz zavesljaja. Slika 4.8 prikazuje graf odvisnosti trajanja potega t_d in povratka t_r od tempa R . Iz podatkov je razvidno, da se trajanje potega t_d spreminja linearno, povratka t_r pa potenčno. Z metodo prileganja smo zapisali ustrezni enačbi (4.14) in (4.15) in izračunali koren povprečne kvadratne napake RMSE.



Slika 4.8: Odvisnost trajanja potega t_d in povratka t_r od tempa R .

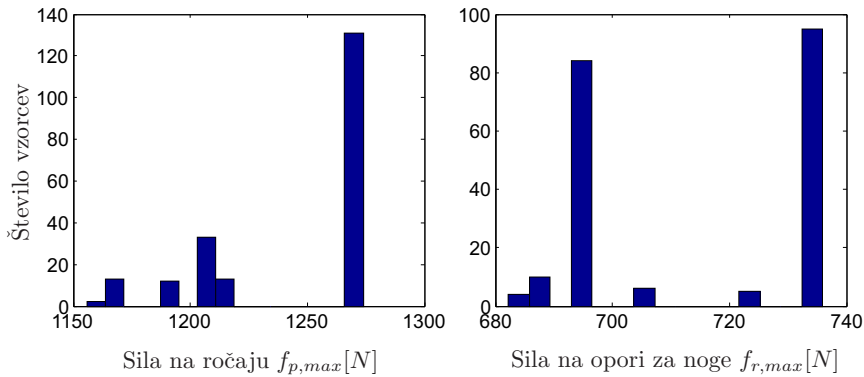
$$t_d = -0,014 \cdot R + 125; \quad RMSE = 0,05 \quad (4.14)$$

$$t_r = 94,56 \cdot R^{-1,27} - 0,07; \quad RMSE = 0,05 \quad (4.15)$$

Po izvedem zavesljaju, se določi tempo veslanja in na podlagi dejanskega tempa se glede na enačbi (4.14) in (4.15) določi ustrezno trajanje faz zavesljaja. Dovoljeno odstopanje od referenčne vrednosti trajanja je določeno na 10 %.

4.3.3 Sile

Pri silah na ročaju in opori za noge sta pomembna njuni maksimalni vrednosti in obliki poteka krivulj. Na sliki 4.9 je prikazan histogram maksimalne vrednosti sile na ročaju $f_{p,max}$ (levo) in sile na opori za noge $f_{r,max}$ (desno). Vrednosti sile na opori za noge so izmerjene na levi nogi in tako ob predpostavljani simetriji predstavljajo polovico celotne vrednosti sile nog.



Slika 4.9: Histogram maksimalne vrednosti sile na ročaju $f_{p,max}$ (levo) in sile na opori za noge $f_{r,max}$ (desno).

Referenčno območje maksimalne vrednosti sil je bilo določeno tako, da obsega vse vrednosti elitnih veslačev. Za sile na ročaju je tako referenčno območje $f_{p,max} = [1160 \text{ N}; 1270 \text{ N}]$, za silo na opori za noge pa $f_{r,max} = [685 \text{ N}; 735 \text{ N}]$.

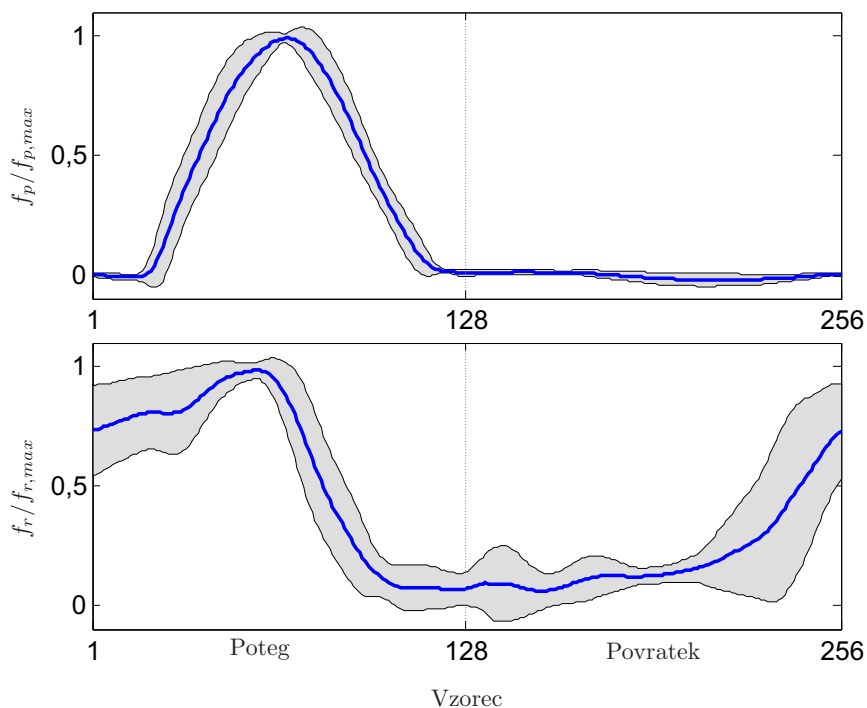
Za določitev referenčne oblike krivulje sil, smo sili na ročaju in opori za noge definirali kot funkcijo normirane dolžine potega verige z_n . Eksperimentalne podatke smo normirali glede na maksimalno vrednost posameznega zavesljaja, jih ločili glede na fazo zavesljaja in prevzorčili, tako da je vsaka faza vsebovala 128 vzorcev. Referenčni model pogojne porazdelitve smo določili kot Gaussov model v vsaki točki vzorčenja. Na sliki 4.10 je prikazan referenčni model oblike krivulj sil na ročaju f_p (zgoraj) in na opori za noge f_r (spodaj). Krivulja predstavlja ciljno referenčno vrednost, sivo območje okoli nje pa dovoljeno odstopanje.

4.3.4 Trajektorija ročaja

Sistem za učenje tehnike veslanja predvideva dva režima vadbe. V prvem režimu sistem sledi veslaču in mu posreduje odstopanja od reference. V drugem režimu pa sistem določa referenco, veslač pa ji poskuša slediti. Za delovanje sistema v drugem režimu smo z nelinearni dinamični sistemi razvili model trajektorije ročaja po metodi opisani v poglavju 4.2.2. Model trajektorije ročaja veslača E1 z desetimi jedrnimi funkcijami je bil uporabljen kot generator položaja ročaja v načinu delovanja, ko sistem za učenje primerne tehnike veslanja določa referenčno gibanje, uporabnik pa mu poskuša slediti.

4.4 Zaključek

V tem poglavju je predstavljen razvoj referenčnega modela primerne tehnike veslanja. Eno izmed glavnih vodil pri načrtovanju je bilo, da je mogoče v realnem času zagotoviti referenčne vrednosti biomehanskih parametrov. Za določitev posameznih biomehanskih parametrov so bile uporabljene različne metode, pri čemer so bili parametri ustrezno normirani, tako da



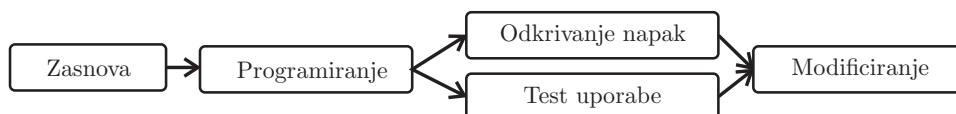
Slika 4.10: Referenčni model oblike krivulj sil na ročaju f_p (zgoraj) in na opori za noge f_r (spodaj).

referenčni modeli veljajo ne glede na telesne značilnosti veslača. Metoda mehke logike je bila uporabljena za modeliranje naklona trupa, kota verige in položaja sedeža, nelinearni dinamični sistemi za modeliranje gibanja ročaja, matematično modeliranje za določanje telesne drže in trajanje faz zavesljaja, referenčno območje za dolžino zavesljaja, maksimalne vrednosti naklona trupa in maksimalne vrednosti sil ter Gaussov model posamezne točke vzorčenja za določitev oblike krivulje sil.

Razviti modeli, ki določajo ključne parametre veslanja, so uporabljeni kot generatorji referenčnih vrednosti v sistemu za učenje veslaške tehnike.

5. Sistem za sprotno posredovanje celovite povratne informacije

V tem poglavju sta predstavljena razvoj in evalvacija sistema za sprotno posredovanje celovite povratne informacije veslaču na simulatorju. Razvoj sistema je potekal po konceptu za načrtovanje interakcije med človekom in računalnikom, ki se osredotoča na uporabnost [109] in je prikazan na sliki 5.1. Po zasnovi sistema smo izvedli programiranje, nato sočasno izvajali odkrivanje napak in izvedli test uporabe ter nato zasnovani sistem modificirali glede na rezultate testiranja. Zasnovani sistem uporablja vizualno povratno informacijo za predstavitev veslača s sprotnimi navodili za izboljšanje tehnike. Sistem se osredotoča na izvedbo (ang. “knowledge of performance”) in z navideznem ogledalom združuje principa posredovanja vizualne video povratne informacije in videomodeliranja. Sistem spremlja telesno držo, ritem in zunanje sile kot tri najpomembnejše dejavnike tehnike veslanja in podaja povratno informacijo na treh ravneh. Telesna drža ima največjo prioriteto in pomeni osnovno raven učenja. Ko jo uporabnik osvoji, napreduje na višjo raven učenja ritma in nato še učenja poteka sile. Na vsaki ravni se trenutno gibanje uporabnika primerja z referenčnim modelom in na podlagi odstopanj so podana navodila za izboljšanje. Sistem je bil zasnovan tako, da deluje v realnem času in je povezljiv z drugimi elementi sistema za učenje tehnike veslanja. Vizualna povratna informacija vsebuje navidezno zrcalo, grafe, vrednosti parametrov in besedilo. Navidezno zrcalo v obliki dveh figur podaja informacijo o trenutni drži subjekta in referenčno držo. Grafi so uporabljeni za posredovanje informacije o sili, vrednosti parametrov o dolžini zavesljaja, trajanju faz zavesljaja, frekvenci veslanja, maksimalnih vrednostih sil, delu in naklonu trupa. Besedilo je uporabljeno za podajanje navodil. Zvočna povratna informacija opozori subjekt na posebne dogodke in velike razlike od referenčne tehnike. Za evalvacijo uporabnosti in razumljivosti zasnovane povratne informacije je 21 prostovoljcev uporabilo sistem v simulacijskem načinu delovanja. Rezultati so pokazali, da uporabniki intuitivno razumejo prejeto informacijo.

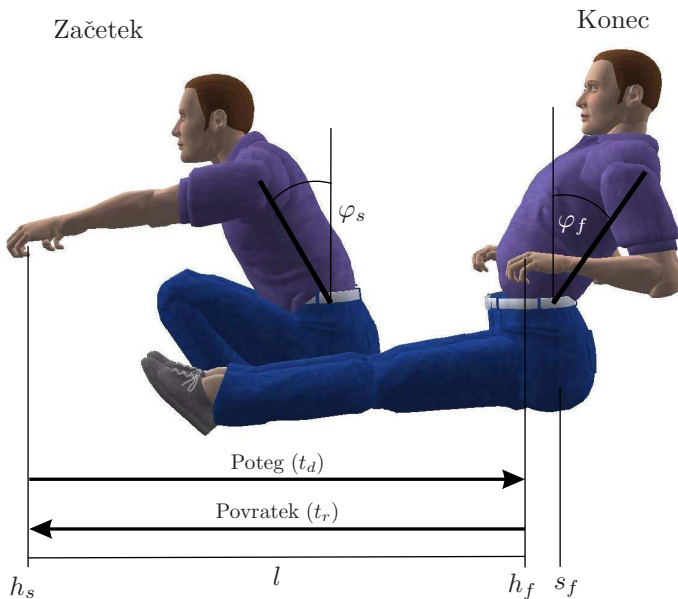


Slika 5.1: Koncept za načrtovanje interakcije med človekom in računalnikom.

5.1 Metode

5.1.1 Tehnika veslanja

Veslaški zavesljaj je sestavljen iz štirih faz: začetka, potega, konca in povratka. Posebno pomembna je drža telesa v posamezni fazi [1]. Slika 5.2 prikazuje držo telesa ob začetku in koncu zavesljaja. Ob začetku ali prijemu so roke sproščeno iztegnjene, hrbet je zravnán, trup rahlo nagnjen naprej, kolena pa so pokrčena v mejah njihove gibljivosti. Poteg se začne z odzivom nog (trup in roke ostanejo v položaju začetka). Ko so noge popolnoma iztegnjene, sledi poteg ročaja z rokami proti telesu in istočasni nagib trupa rahlo nazaj. Sledi zaključek ali konec zavesljaja s potegom ročaja pod prsmi, trup je rahlo nagnjen nazaj (hrbtenica zravnana), noge so popolnoma iztegnjene. Pri vračanju se najprej iztegnejo roke, sledi nagib trupa rahlo naprej (hrbet ostane zravnán). Ko je ročaj v položaju prek kolena, sledi pokrčenje nog in zadržanje položaja telesa do prijema. Veslač izvaja gibe ciklično v zgoraj navedem vrstnem redu.



Slika 5.2: Drža telesa ob začetku in koncu zavesljaja.

Najpogostejše napake tehnike veslanja in napotki, kako jih odpraviti, so [1]:

- Veslač pokrči roke v fazi potega, še preden so noge iztegnjene do konca.
Popravek: roke naj bodo iztegnjene vse do trenutka, ko se noge iztegnejo do konca. Šele ko roke pridejo čez kolena, sledi krčenje rok.
- Veslač iztegne noge v začetni fazi potega brez premikanja ročaja.
Popravek: trup naj se uporabi za povezavo zgornjih in spodnjih ekstremitet. Medenica

in ročaj se morata začeti premikati skupaj.

- Veslač ima zgornji del telesa med povratkom preveč pokončen.
Popravek: med povratkom naj se roke iztegnejo čez kolena, nato naj se zgornji del telesa rahlo nagne naprej, nato šele sledi krčenje nog.
- Veslač se ob koncu zavesljava z zgornjim delom telesa preveč nagne nazaj.
Popravek: zgornji del telesa se ne sme nagniti nazaj za več kot 5 do 10 stopinj. Ob koncu zavesljava se nagne nazaj za približno toliko kot med povratkom naprej.
- Veslač spreminja višino držalo ročaja.
Popravek: veriga in ročaj sta ves čas vzporedna s tlemi.
- Veslač v fazi konca zavesljava ročaj zadrži ob trebuhu.
Popravek: ne sme se odlašati s prehodom od konca do povratka. Takoj ko pride ročaj do konca zavesljava, je treba iztegniti roke.

Spremenljivke, ki definirano zavesljavaj, so položaj sedeža na začetku zavesljava s_f , položaj ročaja h in naklon trupa φ na začetku in koncu zavesljava, dolžina zavesljava l kot razlika med položajem ročaja na začetku h_s in koncu zavesljava h_f , trajanje faze potega t_d in faze povratka t_r , največja vrednost sile na ročaju $f_{p,max}$ in njen nastanek glede na položaj ročaja $f_{p,h}$.

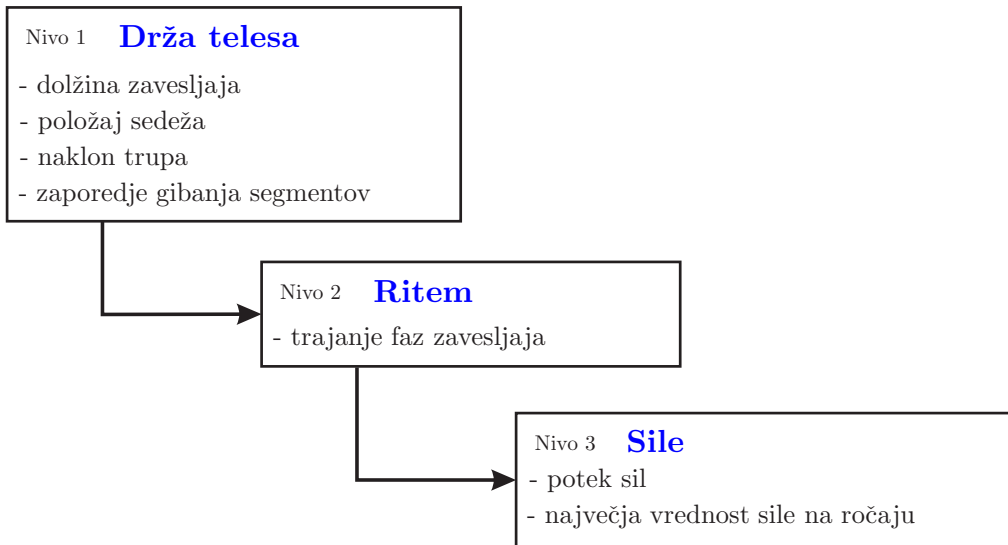
5.1.2 Modul za posredovanje povratne informacije

Modul za posredovanje povratne informacije je sestavljen iz grafičnih elementov za sprotno predstavitev kompleksnega zaporedja gibov veslanja na simulatorju in omogoča uporabniku, da sproti opazuje lastno telesno držo in glavne biomehanske parametre. Na podlagi pregleda literature je bil modul za posredovanje povratne informacije zasnovan na podlagi principov:

- Osredotočenost na izvedbo: pomembno je, da se začetniki naučijo primerne tehnike brez posvečanja posebne pozornosti sami hitrosti veslanja.
- Sprotna informacija: veslanje je ciklično gibanje, zato se podatki o izvedenem zavesljavju lahko uporabi za navodila pri naslednjem zavesljavju.
- Video povratna informacija in videomodeliranje: pomembno je, da začetnik vidi lastno gibanje in referenčno gibanje.
- Navodila za odpravljanje napak: pomembno je, da začetniki dobijo navodila, kako spremeniti svoje gibanje, da bodo osvojili primerno tehniko veslanja.

Cilj zasnove modula za posredovanje povratne informacije je bil, da je posredovana informacija enostavna in intuitivna. Podajanje povratne informacije je razdeljeno na tri stopnje,

ki so prikazane na sliki 5.3. Prva stopnja se osredotoča na telesno držo in vključuje informacije o dolžini zavesljava, položaju sedeža, naklonu trupa in zaporedju gibanja delov telesa. Druga stopnja se posveča kinematiki gibanja, ki je vsebovano v trajanju faz zavesljava. Tretja stopnja pa je kinetika gibanja, ki jo predstavlja časovni potek sil in največja vrednost sile na ročaju. Ko veslač usvoji spretnosti posamezne stopnje, napreduje na naslednjo. Z razdelitvijo na stopnje je bilo zagotovljeno, da se vadečemu ne posreduje preveč informacij hkrati, ampak se pozornost usmeri na ključne elemente veslaške tehnike.



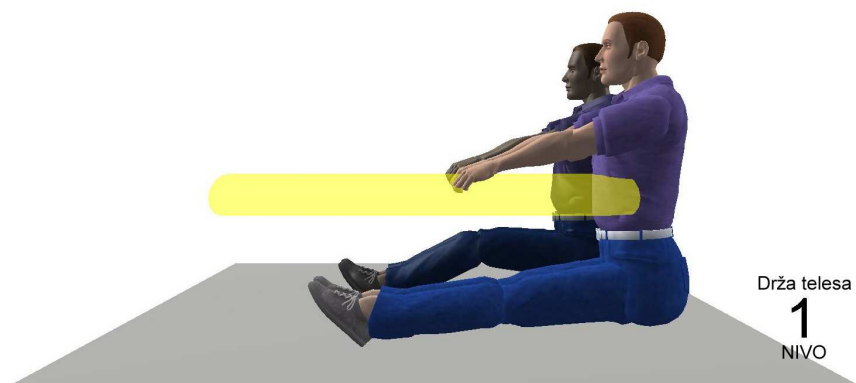
Slika 5.3: Koncept stopenjskega podajanja povratne informacije.

Na vseh stopnjah se uporabljajo enake barvne označbe. Rdeča pomeni nepravilno gibanje, zelena pravilno, medtem ko rumena srednje stanje. Uporabnikovi podatki so prikazani modro, splošne informacije pa so črne.

Glavni vizualni element vseh stopenj je virtualno ogledalo [110]. Virtualno ogledalo je animacija z dvema človeškima figurama: figura, ki je na zaslonu bližje uporabniku, predstavlja njegovo trenutno telesno držo, figura, ki je zadaj v senci, pa referenčno držo telesa. Referenčni položaj telesa je določen glede na trenutni uporabnikov položaj ročaja.

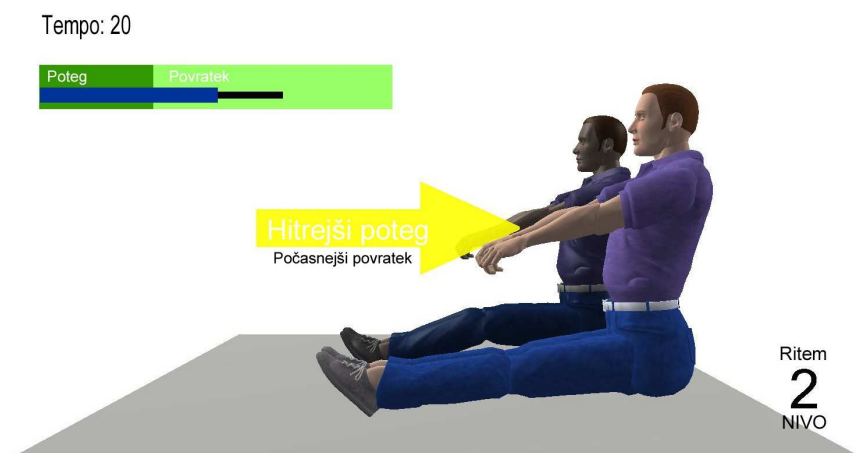
Na prvi stopnji je območje gibanja ročaja med zavesljamem označeno, kot je prikazano na sliki 5.4. Območje je označeno z barvo, skladno z barvnimi označbami. Poleg tega sistem glede na pravilnost izvajanja zavesljava podaja pisno navodilo. Pri tem so navodila utežena glede na prispevek parametra k opravljenemu delu zavesljava. Na primer: “zravnajte noge na koncu zavesljava” ima največjo utež, “povlecite ročaj vse do trebuha” drugo, “iztegnite se bolj proti vetrnemu kolesu” tretjo in “pazite na naklon trupa” četrto. Tako imajo v celoti iztegnjene noge na koncu zavesljava prednost pred držo telesa, sledi dolžina zavesljava in naklon trupa. Po treh zaporedno izvedenih zavesljavah s pravilno telesno držo uporabnik napreduje na naslednjo stopnjo.

Povlecite ročaj vse do trebuha



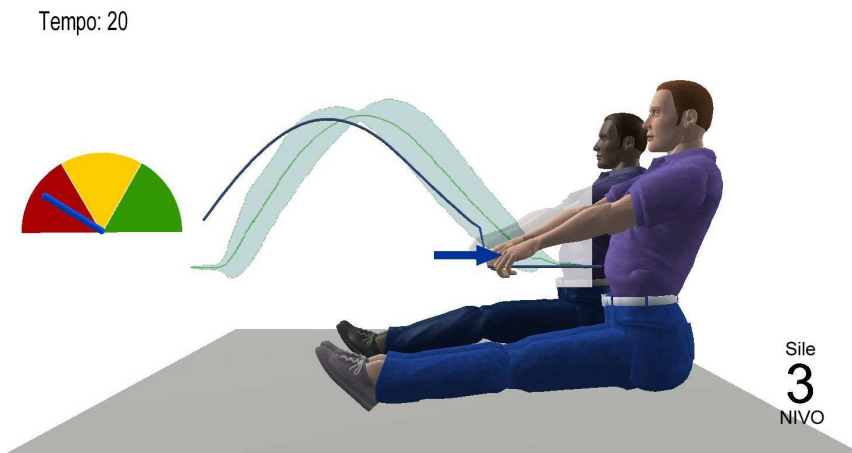
Slika 5.4: Povratna informacija o drži telesa.

Na drugi stopnji, poimenovani *ritem*, sta trajanji faz potega in povratka določeni z referenčnim modelom v skladu z uporabnikovim tempom veslanja. Tempo je predstavljen s številsko vrednostjo. Trajanje referenčne vrednosti faze potega in faze povratka je predstavljeno grafično z velikostjo stolpičev. Trajanje faz uporabnika je predstavljeno z ožjima stolpičema nad referenčnima stolpičema, kot je prikazano na sliki 5.5. Poleg tega sistem lahko poda navodilo “hitrejši poteg, počasnejši povratek” in prikaže puščico v smeri gibanja potega. Če uporabnik nima pravilne drže telesa med zavesljamem na tej stopnji, ga sistem najprej opomni z zvočnim signalom in pisnim navodilom: “Pazi na telesno držo.” Če uporabnik napako popravi v naslednjih treh zaveslajih, ostane na tej stopnji, sicer ga sistem vrne na prvo stopnjo. Ko uporabnik izvede tri zavesljuje z ustreznim ritmom, napreduje na naslednjo stopnjo.



Slika 5.5: Povratna informacija o ritmu.

Tretja stopnja se osredotoča na sile zavesljarja. Sila na ročaju je prikazana z modro krivuljo, na podlagi, ki prikazuje referenčno območje, kot je prikazano na sliki 5.6. Vrednosti sile so normirane glede na njeno največjo vrednost sile prejšnjega zavesljarja. Položaj sile je predstavljen na abscisni osi grafa in se ujema s krajem nastanka med zavesljarjem. Poleg oblike krivulje je z velikostjo vektorja/puščice prikazano največje odstopanje sile od referenčne vrednosti, s položajem pa kraj nastanka. Največja vrednost sile na ročaju posameznega zavesljarja je bila sprva zasnovana kot velikost stolpiča, vendar je bila pozneje zamenjana s kazalcem in merilnim števcem. Sila na opori noge je podana z uporabo vektorja, ki z velikostjo prikazuje največje odstopanje sile na opori za noge od referenčne vrednosti, s položajem pa čas nastanka te sile glede na položaj ročaja. Če uporabnik ne vesla s pravilno držo telesa ali ritmom, ga sistem najprej opomni z zvočnim signalom in pisnim navodilom “pazi na telesno držo” ali “pazi na ritem”. Če uporabnik napako popravi v naslednjih treh zavesljarjih, ostane na tej stopnji, drugače ga sistem vrne na ustrezno stopnjo.

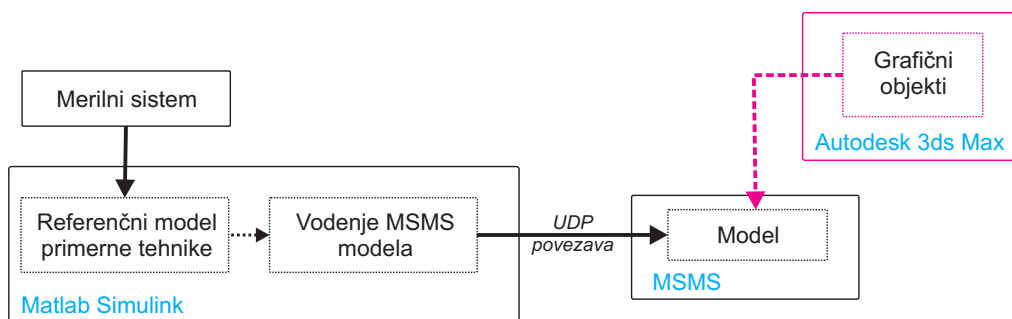


Slika 5.6: Povratna informacija o silah.

Za izdelavo animacije, grafične, tekstovne in zvočne povratne informacije je bil uporabljen računalniški program Musculo-Skeletal Modelling Software – MSMS (Medical Device Development Facility, University of Southern California (Ver. 2.2), Los Angeles, CA) [111, 112, 113]. Program MSMS omogoča animacije v realnem času in vključuje orodja za povezovanje s programom Matlab Simulink in orodjem xPC Target (The MathWorks, Natick, MA), kjer poteka zajemanje podatkov v realnem času in sprotna analiza biomehanskih parametrov ter njihova primerjava z referenčnim modelom.

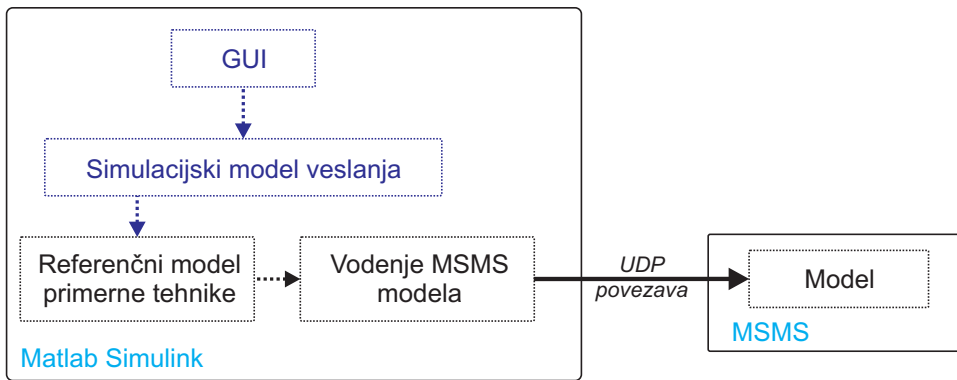
Slika 5.7 prikazuje konceptualno shemo sistema za posredovanje povratne informacije. Model MSMS je bil sestavljen iz kombinacije 135 sklepov in 136 segmentov, pri čemer so bili grafični objekti, ki so bili izdelani v programu Autodesk 3ds Max (Autodesk, San Rafael, CA), uporabljeni kot slike in pomenijo elemente povratne informacije. Virtualni model v MSMS je voden prek programa Matlab Simulink in UDP-protokola za prenašanje paketov, kar omogoča

obdelavo podatkov in izvajanje povratne animacije v realnem času. V modelu Simulink je bil uporabljen referenčni model referenčne tehnike. Na podlagi razlikovanja vrednosti parametrov subjekta od referenčnega modela algoritmi modela Simulink za vodenje MSMS določijo 140 lastnosti objektov modela MSMS (1 za pogled kamere, 2 za pisanje teksta, 1 za prikazovanje trajektorije, 100 za animacijo navideznega ogledala, 21 za vidnost segmentov, 7 za položaj, 6 za velikost, 2 za barvo segmentov). Vodilo pri izdelavi je bilo čim manjše število določanja lastnosti.

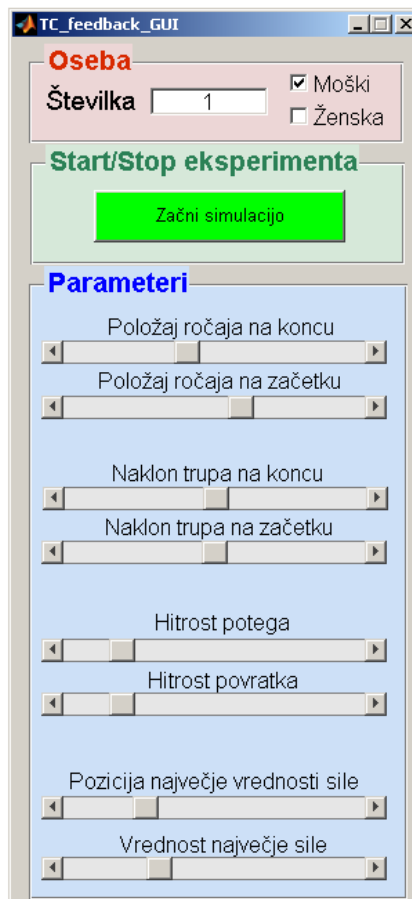


Slika 5.7: Konceptualna shema sistema za posredovanje povratne informacije.

Za izvedbo evalvacije uporabnosti in razumljivosti povratne informacije je bil merilni modul sistema za vadbo veslanja na simulatorju nadomeščen s simulacijskim modelom in grafičnim uporabniškim vmesnikom (GUI), ki sta bila zgrajena v Matlab Simulinku, kar prikazuje slika 5.7. Uporabnikovo veslanje je bilo simulirano na podlagi eksperimentalnih podatkov [19]. Udeleženec je lahko spreminjal simulirano veslanje prek grafičnega uporabniškega vmesnika, ki je prikazan na sliki 5.9 in je sestavljen iz osmih označenih drsnikov. Vsak drsniček je spreminjal vrednost enega parametra: položaj ročaja na koncu zavesljaja h_f , položaj ročaja na začetku zavesljaja h_s , nagib trupa na koncu zavesljaja φ_f , nagib trupa na začetku zavesljaja φ_s , trajanje faze potega t_d , trajanje faze povratka t_r , položaj nastanka največje sile na ročaju $f_{p,h}$ in vrednost največje sile na ročaju $f_{p,max}$. Drsniki so bili na grafičnem uporabniškem vmesniku združeni v pare, ki določajo iste funkcionalne lastnosti (položaj ročaja, naklon trupa, trajanje faz, sile). Začetne vrednosti drsnikov so bili nastavljene tako, da simulirano veslanje ni bilo tehnično ustrezno, tako da se ročaj ni gibal po celotnem območju, naklon trupa je bil pokončen čez ves zavesljaj, trajanje faz potega in povratka je bilo enako, nastanek največje sile zavesljaja na ročaju je bil premaknjen in vrednost premajhna.



Slika 5.8: Konceptualna shema sistema za evalvacijo posredovanja povratne informacije.



Slika 5.9: Grafični uporabniški vmesnik.

5.1.3 Udeleženci

Pri poskusu preverjanja uporabniške izkušnje je sodelovalo 21 prostovoljcev (3 ženske, 18 moških v starosti od 19 do 32 let, povprečje 22,4 leta, srednja starost 22 let) iz različnih šol univerze, ki niso imeli predhodnih izkušenj z veslanjem.

5.1.4 Protokol poskusa

Udeležencem je bil pred poskusom razložen cilj študije, to je razumevanje prejetih navodil, delovanje uporabniškega vmesnika in osnovna veslaška terminologija, to je začetek in konec zavesljaja ter fazi potega in povratka. Elementi povratne informacije jim niso bili razloženi, ampak je bilo ugotavljanje njihovega pomena prepuščeno uporabnikom, da smo lahko ocenili intuitivnost posameznih elementov povratne informacije. Med poskusom so udeleženci sedeli pred računalniškim zaslonom in z miško premikali drsnike grafičnega vmesnika. Njihova naloga je bila doseči primerno tehniko veslanja s čim manjšim številom premikov drsnikov. Čas ni bil omejen, udeleženci pa so lahko med poskusom podajali komentarje, ki smo jih zabeležili. Po končanem poskusu je bila izvedena anketa o razumljivost in dojemanju povratne informacije.

5.2 Rezultati

Vsi udeleženci so uspešno končali poskus, kar pomeni, da so bili sposobni napredovati prek vseh treh stopenj in doseči primerno tehniko veslanja na simulatorju. V tabeli 5.1 je predstavljeno, koliko sprememb drsnika je bilo treba izvesti med poskusom. Predstavljene so povprečne, največje, najmanjše in srednje vrednosti.

Drsnik	h_f	h_s	φ_f	φ_s	t_d	t_r	$f_{p,h}$	$f_{p,max}$
Povprečje	5,1	4,4	4,2	3,2	3,8	3,3	3,1	4,0
Najmanj	1	1	2	1	1	1	1	2
Največ	15	10	7	5	7	8	10	8
Mediana	4	4	4	3	3	3	2	3

Tabela 5.1: Število premikov drsnikov.

V tabeli 5.2 so predstavljeni rezultati odgovorov na vprašanje: “Je bila prejeta povratna informacija razumljiva?” Pri tem se vprašanje številka 1 nanaša na področje gibanja ročaja, številka dve na naklon trupa, številka 3 na ritem, številka 4 na obliko krivulje sile, številka 5 na največjo vrednost sile ter številka 6 na barvne označbe. Udeleženci so izbrali med tremi podanimi odgovori: “takoј oziroma dobro razumljivo”, “pozneje oziroma teže razumljivo” in “ne oziroma ni razumljivo”. Možni odgovori pri šestem vprašanju so bili “da”, “da, vendar ne konsistentno” in “ne”.

Vprašanje	1	2	3	4	5	6
Takoj	15	15	18	18	6	19
Kasneje	6	5	3	3	12	2
Ne	0	1	0	0	3	0

Tabela 5.2: Odgovori na vprašanje o razumljivosti navodil.

Udeležence smo tudi zaprosili, naj podajo svoje komentarje. Prejeti komentarji so bili razvrščeni in razdeljeni po skupinah, in sicer:

1. Komentarji o navideznem ogledalu:

- (a) Zakaj sta dve figuri – katera sem jaz? To postane jasno, ko se spremeni parameter (*7-krat*).
- (b) Na začetku sem bil zmeden (*2-krat*).
- (c) Dobrodošlo bi bilo navodilo “sledi referenci” (*2-krat*).
- (d) Označite, katera oseba je uporabnik.
- (e) Figura v ozadju je v pomoč.

2. Komentarji o območju gibanja ročaja:

- (a) Navodilo “iztegnite se bolj” je dvoumno.

3. Komentarji o naklonu trupa :

- (a) Za gibanje ročaja sta dve ločeni navodili za začetek in konec, medtem ko je za naklon trupa zgolj eno navodilo.
- (b) Treba bi bilo navesti dve ločeni navodili: “nagni se nazaj na koncu zavesljaja” in “nagni se naprej na začetku zavesljaja”.
- (c) Nisem vedel, kaj je narobe, ko se je pojavilo navodilo: “Pazi na naklon trupa.” Je bilo preveč, premalo, kje?
- (d) Zelo jasna navodila.

4. Komentarji o ritmu:

- (a) Raje bi videl, da referenčna figura vsiljuje ritem, jaz pa moram ponavljati za njo (*2-krat*).
- (b) Bil sem zmeden ob sočasnem navodilu hitreje-počasneje (*2-krat*).
- (c) Bil sem zmeden pri krajšem trajanju faze zavesljaja in navodilom o hitrejšem gibanju.
- (d) Informacija o počasnejšem povratku je degradirana glede na informacijo o hitrejšem potegu.

- (e) Vključite manjšo puščico v smeri faze povratka.
- (f) Podatek o tempu veslanja nima pomena, raje bi videl merilni števec.
- (g) Poskusite imeti vsa pisna navodila na istem mestu.
- (h) Puščica je v pomoč.

5. Komentarji o krivulji sile:

- (a) Predhodno bi bila potrebna informacija o načinu prikaza sile.
- (b) Informacija o obliki krivulje je manj jasna kot pri drugih elementih.
- (c) Puščica, ki nakazuje največjo razliko med silama, ni potrebna.
- (d) Dobro bi bilo videti predhodne krivulje za primerjavo.

6. Komentarji o največji vrednosti sile:

- (a) Težko je ugotoviti pomen merilnega števca (*5-krat*).
- (b) Pri večji sili bi pričakoval višjo krivuljo (*3-krat*).
- (c) Raje bi imel tekstovno navodilo "potegni močnejše" (*2-krat*).
- (d) Namesto merilnega števca bi raje videl skaliranje referenčne krivulje.
- (e) Najbolj nejasen del, ampak ko sem ugotovil pomen, je bilo jasno.

7. Komentarji o barvah:

- (a) Pomagalo bi, če bi bil pomen barv razložen pred začetkom poskusa.
- (b) Barve so smiselne.

8. Splošni komentarji:

- (a) Osredotočiti sem se moral na grafični vmesnik namesto na vizualizacijo (*2-krat*).
- (b) Moral sem se osredotočiti, kje sta začetek in konec: lepo bi bilo, če bi sistem sam podal to informacijo.
- (c) Učinkovito bi bilo neobvezno predstaviti primerno tehniko pred začetkom.
- (d) Dobro, da so podana navodila.
- (e) Dobro bi bilo, če bi pomembna navodila utripala.
- (f) Dokaj standardno podana informacija – razumljivo.

5.3 Diskusija

Cilj raziskave je ugotoviti uporabnikovo razumevanje povratne informacije o pravilni tehniki veslanja na simulatorju. Prejeti komentarji imajo veliko vrednost, saj so jih uporabniki podali na lastno pobudo in se večinoma navezujejo na izboljšanje kakovosti povratne informacije.

Rezultati kažejo, da je uporaba navideznega ogledala primeren način združevanja videa in videomodeliranja, saj je uporabnikom razumljivo tudi brez predhodne razlage. Čeprav je 11 udeležencev dejalo, da so bili zmedeni, ko so videli dve figuri, pa je ob spremembi parametrov namen postal jasen. Uporaba realnega sistema v sistemu za učenje veslaške tehnike bo predvidoma še bolj intuitivna, saj bodo parametri povezani z dejanskim gibanjem udeleženca.

Rezultati kažejo, da sta več kot dve tretjini udeležencev takoj razumeli informacije o ustreznih telesnih držah. En udeleženec je imel veliko število premikov drsnikov h_f in h_s , saj se je igral z drsnikoma in ugotavljal, kako delujeta. Pravilno gibanje ročaja je bilo doseženo s srednjo vrednostjo 4 premikov drsnika. Samo en udeleženec je podal komentar o navodilih s področja gibanja ročaja, in sicer da je navodilo "iztegnite se bolj" dvoumno. Primeren naklon trupa je bil v povprečju dosežen celo hitreje od ustreznega gibanja ročaja. Trije komentarji navajajo, da pisna navodila niso tako natančna, kot so pri območju gibanja ročaja, in da bi raje imeli podobno natančna navodila.

Na stopnji ritma so bila navodila še bolj razumljiva, saj je 85 % udeležencev odgovorilo, da jih razumejo takoj, preostali pa, da so jih razumeli pozneje. Število premikov drsnikov podpira to ugotovitev, saj je srednja vrednost tako za trajanje potega kot trajanje povratka trije premiki. Kljub boljšemu razumevanju te stopnje od tiste o telesni drži je več udeležencev podalo komentarje o tej fazi. Predlog dveh udeležencev je bil, da bi morala referenčna figura vsiljevati ritem, medtem ko bi ji subjekt poskušal slediti. Tak način delovanja je implementiran in opisan v poglavju 4.

Povratna informacija na tretji stopnji je bila ocenjena kot razumljiva. Na tej stopnji je bilo treba izvesti najmanj premikov drsnikov, da bi dosegli referenčne vrednosti. Kljub temu je bil merilni števec, ki prikazuje največjo velikost sile na ročaju, ocenjen kot najmanj razumljiv element sistema za posredovanje povratne informacije. Komentar, da bi bilo pred poskusom treba podati informacijo o normalizaciji krivulje sile, odražajo tudi rezultati, saj je šest udeležencev odgovorilo, da so pomen krivulje razumeli takoj, 12 jih je odgovorilo, da so to razumeli pozneje, trije pa da ga ne razumejo. Rezultati odražajo odločitev, da udeležencem nismo podali nobene predhodne razlage. Komentarji potrjujejo te rezultate, da je pet udeležencev poročalo, da je ta del težko razumljiv. Najbolje povzema rezultate komentar: "Najbolj nejasen del, ampak ko sem ugotovil pomen, je bilo jasno." Trije udeleženci so pripomnili, da bi pričakovali, da bodo krivulje večjih sil imele večjo amplitudo, en udeleženec pa je predlagal tudi, da se skalira referenčne vrednosti. Glede na prejete komentarje bi bilo mogoče normirano krivuljo in merilni števec nadomestiti z izmerjeno krivuljo in skalirano referenčno krivuljo.

Preostanek komentarjev se je nanašal na nadzor simulacije z grafičnim vmesnikom in posledično osredotočenost na vmesnik namesto na povratno informacijo, kar pa ne bi smela biti težava pri uporabi v sistemu za vadbo na simulatorju veslanja s sprotno povratno informacijo, saj bo povratna informacija podana na podlagi dejanskega gibanja subjekta.

Glavna omejitev študije je bila, da so udeleženci nadzorovali posamezne izbrane biome-

hanske parametre. Vendar namen te študije ni bilo preučevanje, ali lahko uporabniki izvedejo ustrezno gibanje, ampak le ali razumejo povratno informacijo o gibanju in ali se znajo nanjo odzvati z ustreznimi popravki tehnike.

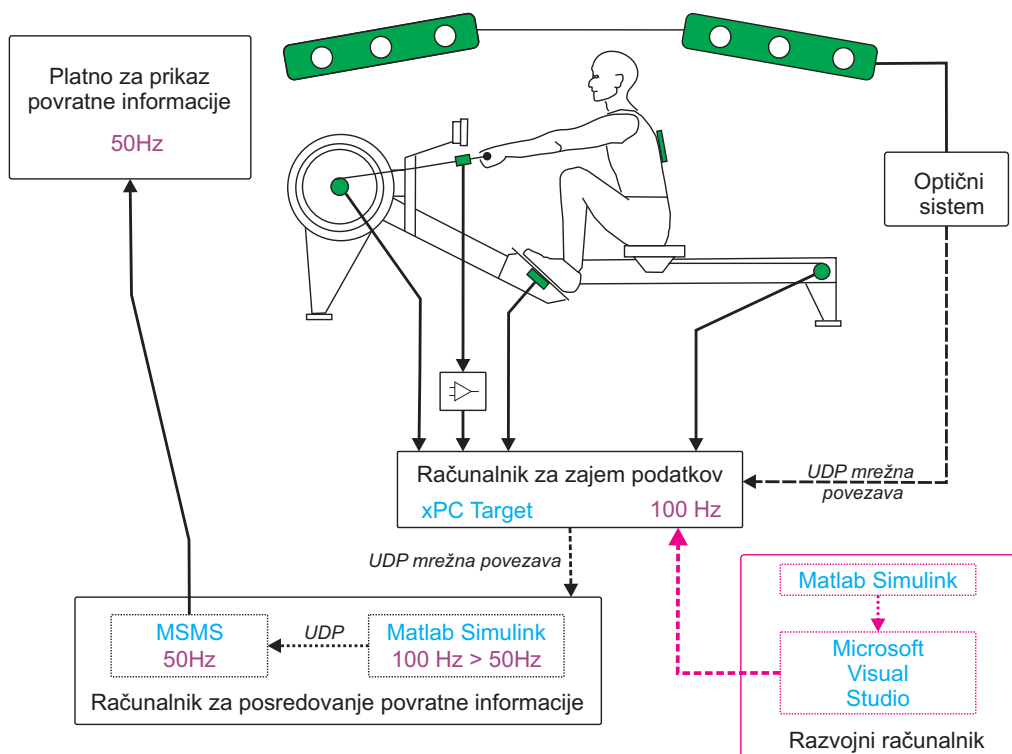
5.4 Zaključek

Zasnovali smo koncept posredovanja sprotne povratne informacije za učenje tehnike veslanje na simulatorju. Zasnova temelji na sprotni informaciji, sestavljeni iz video povratne informacije, videomodeliranja in navodil za odpravljanje napak. Postopek vodi uporabnika prek treh stopenj učenja, pri čemer se mu na podlagi primerjanja izmerjenih biomehanskih parametrov z referenčnimi posredujejo sprotna navodila. Stopnje so oblikovane na podlagi prioritete, pri čemer telesna drža pomeni najvišjo prioriteto, ritem drugo in sile tretjo. Sistem je zasnovan tako, da zagotavlja posredovanje povratne informacije v realnem času in je povezljiv z merilnim in referenčnim delom sistema za vadbo veslanja na simulatorju s sprotno povratno informacijo.

Rezultati, pridobljeni s simulacijo gibanja, kažejo, da uporabniki intuitivno razumejo prejeto povratno informacijo in da so izbrani elementi splošno prepoznavni. Za boljše razumevanje in posledično rezultate je dobro, da uporabnikom pred začetkom uporabe podamo uvod v veslaško terminologijo, kot so začetek in konec zaveslaja, fazi potega in povratka. Prav tako je priporočljivo, da so podana navodila o pomenu manj intuitivnih elementov posredovanja povratne informacije, kot so največje sile.

6. Sistem za merjenje in sprotno analizo kinematičnih in kinetičnih parametrov senzorno podprte vadbe veslanja

V tem poglavju sta predstavljena zasnova in razvoj sistema za merjenje in sprotno analizo kinematičnih in kinetičnih parametrov senzorno podprte vadbe veslanja. Konceptualna shema je prikazana na sliki 6.1. Sistem na podlagi izmerjenih podatkov senzorjev merilnega sistema podatke obdela, izračuna vrednosti kategorizacijskih parametrov in na podlagi referenčnega modela določi odstopanja teh parametrov od referenčnih in pripravi povratno informacijo. Analiza poteka sproti, pri čemer del poteka v realnem času, del pa po izvedenem zaveslaju. Pridobljene informacije opisujejo izvedeno veslanje in njegovo odstopanje od primerne tehnike. Sistem je zasnovan tako, da uporabniku posreduje povratno informacijo sproti brez opaznega zamika s frekvenco 50 Hz.



Slika 6.1: Konceptualna shema sistema za učenje tehnike veslanja.

6.1 Merilni sistem

Osnova merilnega sistema je instrumentaliziran simulator veslanja Laboratorija za robotiko Fakultete za elektrotehniko Univerze v Ljubljani [93]. Simulator veslanja znamke Concept2 je opremljen s senzorji, ki so prikazani na sliki 6.2:

- S šestdimenzionalnim senzorjem sile vgrajenim pod levo oporo za noge, se meri sila odriwa z nogami (A na sliki 6.2).
- Z enodimenzionalnim senzorjem sile vgrajenim med ročaj in verigo, se meri sila potega z rokami (B na sliki 6.2).
- Z žičnim kodirnikom na sedežu se meri položaj sedeža (C na sliki 6.2).
- Z optičnim kodirnikom na osi vetrnega kolesa se meri dolžina potega verige (D na sliki 6.2).



Slika 6.2: Senzorji pritrjeni na simulator veslanja.

Za merjenje naklona trupa je bil uporabljen optični sistem znamke Optotrak Certus (Northern Digital, Inc., Waterloo, ON), ki s šestimi infrardečimi kamerami meri položaj merilnih markerjev v prostoru. Uporabljeni so bili trije brezžični merilni markerji, ki so bili

nameščeni na posebni oprtnik [20], ki si ga uporabnik namesti na hrbet, kot je to razvidno s slike 6.3. To je edini senzor v merilnem sistemu, ki posega v uporabnikovo okolje, vendar pri tem ne spremeni delovnih pogojev.



Slika 6.3: Brezžični merilni markerji nameščeni na oprtnik za merjenje naklona trupa.

Sistem je prikazan na sliki 6.4.



Slika 6.4: Merilni sistem.

6.2 Analiza podatkov

Razvoj programa za zajem in algoritmov za sprotno obdelavo ter analizo podatkov je potekal na razvojnem računalniku v grafičnem okolju Matlab Simulink (The MathWorks, Natick, MA), ki je na sliki 6.1 prikazan rdeče.

Zajem podatkov poteka z operacijskim sistemom xPC Target (The MathWorks, Natick, MA), ki omogoča zajemanje in obdelavo podatkov v realnem času. Uporabljen frekvenca vzorčenja je 100 Hz. Analiza in določitev biomehanskih parametrov veslanja poteka sproti: del po vsaki končani fazi zaveslaja, ko se določijo maksimalne sile in trajanje faze, del pa po vsakem končanem zaveslaju, ko se določi tempo veslanja. Referenčni model, ki je opisan v poglavju 4, sproti določa referenčne vrednosti parametrov, ki se jih primerja s parametri veslanja. Po metodi odločitvenega drevesa se glede na odstopanja med referenčnimi in dejanskimi parametri določijo podatki za posredovanje povratne informacije.

Podatke za posredovanje povratne informacije se posreduje na računalnik za posredovanje povratne informacije, kot je razvidno s sheme na sliki 6.1. Na tem računalniku se najprej v Matlab Simulinku izvede del manipulacije podatkov, ki je ni bilo mogoče izvesti na sistemu xPC Target. Podatkom se spremeni frekvenca vzorčenja na 50 Hz in se jih posreduje programu Musculo-Skeletal Modelling Software – MSMS (Medical Device Development Facility, University of Southern California (Ver. 2.2), Los Angeles, CA).

6.3 Posredovanje podatkov uporabniku

Program MSMS poskrbi za posredovanje povratne informacije uporabniku, kot je opisano v poglavju 5. Zaslona programa smo prikazovali na velikem platnu, tako da je uporabnik med veslanjem razločno videl povratno informacijo.

7. Evalvacija učinkovitosti senzorno podprte vadbe veslanja

Izvedena je bila študija, s katero smo ocenili učinkovitost predlagane metode učenja tehnike veslanja z razvitim sistemom senzorno podprte vadbe. Pri študiji je sodelovalo 36 prostovoljcev, ki so se prvič srečali z veslanjem na simulatorju. Najprej so vsi prostovoljci opravili začetni test, s katerim smo pridobili podatke o začetnem stanju. Nato so bili prostovoljci naključno razdeljeni v tri skupine. Vsaka od skupin je opravila trening veslanja. Skupina A je trenirala sama in predstavljala rekreativce, ki se sami učijo tehnike, skupina S je trenirala z razvitim sistemom senzorno podprte vadbe, skupina T pa po tradicionalni metodi pod nadzorom trenerja. Po izvedeni seriji treninga smo prostovoljce ponovno testirali. S primerjavo testov smo analizirali razlike v napredku vseh treh skupin, ki so uporabljale različne metode vadbe, s čimer je mogoče oceniti učinkovitost senzorno podprte vadbe.

7.1 Metode

7.1.1 Udeleženci

Pri študiji je sodelovalo 36 prostovoljcev, ki so se prvič srečali z veslanjem na simulatorju, bili so zdravi in vsestransko pripravljeni za aktivno udeležbo. Udeleženci so bili naključno razdeljeni v enako številčne skupine. V tabeli 7.1 so predstavljeni podatki udeležencev, ki so bili člani skupine A, v tabeli 7.2 člani skupine T in 7.3 skupine S. Vsi prostovoljci z izjemo T12 so študijo izvedli v celoti. Prostovoljec T12 zaradi bolezni ni izvedel ponovitvenega testa.

7.1.2 Protokol študije

Pred začetkom študije so udeleženci prebrali opis projekta in namen študije, izpolnili krajši vprašalnik (masa, višina, starost, pogostost ukvarjanja s športom, splošno počutje, čas zadnjega obroka) in podpisali izjavo o soglasju. Nato so se 5 minut ogrevali (kolesarjenje, tek in dinamične raztezne vaje). Pred začetkom merjenja je vsak udeleženec opravil inicializacijo senzorjev. Nato so izvedli začetni test (poimenovan test 1) na simulatorju veslanja. Sledil je trening po eni od metod, nakar so udeleženci test ponovili (poimenovan test 2). Ob testu je bil pri udeležencih, ki so trenirali pod nadzorom v obliki trenerja ali sistema, ta nadzor prisoten. Udeležence, ki so trenirali pod nadzorom trenerja ali sistema, smo zaprosili, da se po šestih do desetih dneh vrnejo in ponovijo test. Ob ponovitvenem testu (poimenovan test 3) nadzor ni bil prisoten.

Med celotno študijo smo s sistemom, opisanim v poglavju 6., merili biomehanske parametre. Slika 7.1 prikazuje udeleženca med izvajanjem študije.



Slika 7.1: Udeleženec med izvajanjem študije.

Oznaka	Leto rojstva	Masa [kg]	Višina [cm]	Ukvarjanje s športom na teden	št. ur	Splošno počutje	Zadnji obrok pred urami
A1	1982	89	189	2	1,5	4	1
A2	1983	65	178	1	1,5	4	1
A3	1982	82	181	2	0,5	4	1,5
A4	1982	97	188	1	1	4	7
A5	1975	95	185	3	1	4	3,5
A6	1987	72	175	7	0,5	5	17
A7	1977	72	172	3	1	5	1,5
A8	1987	87	187	2	1,5	5	1
A9	1988	58	173	3	1	5	1
A10	1986	75	183	2	1	5	2
A11	1983	74	173	4	1	4	7
A12	1975	77	185	1	1	4	2
Povprečje	1982,3	78,6	180,8	2,6	1,0	4,4	3,8

Tabela 7.1: Podatki o udeležencih skupine A.

Oznaka	Leto rojstva	Masa [kg]	Višina [cm]	Ukvarjanje s športom		Splošno počutje	Zadnji obrok pred urami
				na teden	št. ur		
T1	1991	72	185	7	1,5	6	2
T2	1968	74	175	1	1,5	4	4
T3	1974	71	170	2	2	4	2,5
T4	1983	92	185	3	1	4	8
T5	1983	70	175	3	1,5	5	2
T6	1980	84	181	4	1	4	2,5
T7	1980	96	193	2	2	4	1,5
T8	1991	73	189	5	1	4	3
T9	1976	69	174	2	1	5	1,5
T10	1987	83	182	3	1	4	4
T11	1983	75	178	0	0	5	5,5
T12	1989	77	176	7	1,5	4	3
Povprečje	1982,1	78,0	180,3	3,3	1,3	4,4	3,3

Tabela 7.2: Podatki o udeležencih skupine T.

Oznaka	Leto rojstva	Masa [kg]	Višina [cm]	Ukvarjanje s športom		Splošno počutje	Zadnji obrok pred urami
				na teden	št. ur		
S1	1982	95	193	2	1,5	4	4,5
S2	1986	55	180	1	1,5	4	4,5
S3	1996	61	188	4	1	3	3
S4	1988	80	173	2	1	4	4
S5	1988	75	170	4	1,5	5	3
S6	1986	90	186	0	0	4	4
S7	1986	98	185	3	1,5	4	4
S8	1982	77	181	4	1	4	2
S9	1982	77	185	1	1	5	1
S10	1989	88	184	2	1	4	2
S11	1987	73	175	6	1,5	5	2
S12	1987	77	180	3	1	5	3
Povprečje	1986,6	78,8	181,7	2,7	1,1	4,3	3,1

Tabela 7.3: Podatki o udeležencih skupine S.

7.1.3 Inicializacija senzorjev

Udeleženec si je namestil oprtnik z markerji za merjenje naklona trupa in se usedel na simulator veslanja. Postavil se je v položaj, ko so bile noge popolnoma iztegnjene in trup zravnal, ter ga zadržal 3 sekunde. Algoritem inicializacije je določil parameter položaja sedeža, ko so noge popolnoma iztegnjene, in odmik senzorjev naklona trupa od koronalne ravnine. Prvi parameter se uporabi kot parameter v referenčnih modelih, drugi pa upošteva individualno namestitev senzorja.

7.1.4 Test

Vsak izmed testov je bil sestavljen iz dveh delov. V prvem delu so udeleženci veslali dve minuti s ciljnim tempom 20 zavesljajev/minuto. Po dveh minutah počitka so v drugem delu poskušali čim hitreje preveslati 500 metrov dolgo razdaljo, to je tekmovalno razdaljo najmlajših in veteranskih kategorij. V prvem delu testa so bili udeleženci izpostavljeni obremenitvi, ki glede na tipične obremenitve veslanja ustreza aerobni aktivnosti, v drugem delu pa anaerobni aktivnosti, ki sta predstavljeni v poglavju 2..

Test je bil zastavljen tako, da je imela vzdržljivost udeležencev čim manjši vpliv na rezultate, obenem pa je bilo mogoče dobiti zadostno količino podatkov. Skupna aktivnost naj ne bi presegla 4 minut, kar pomeni, da aerobna vzdržljivost nima prevladujočega vpliva.

7.1.5 Trening

Po 2 minutah počitka je imel vsak udeleženec trikrat 5 minut dolg trening. Med posameznimi fazami treninga sta bili vedno 2 minuti počitka.

Trening je potekal različno glede skupino načina nadzora:

- Skupina A je trenirala sama in predstavljala rekreativce, ki se sami učijo tehnike.
- Skupina T je trenirala po tradicionalni metodi pod nadzorom trenerja.
- Skupina S je trenirala z razvitim sistemom senzorno podprte vadbe. Pred začetkom treninga so udeležencem v tej skupini razložili elemente povratne informacije. Prvih pet minut treninga je potekalo v načinu delovanja, da uporabnik sledi sistemu, naslednja dva sklopa pa v načinu, da sistem sledi uporabniku.

7.1.6 Spremenljivke

Enako kot v poglavju 3.1.4 smo predpostavili simetrijo veslanja na simulatorju in analizirali veslanje v sredinski (sagitalni) ravnini. Analizirane so bile naslednje spremenljivke: tempo R , normirana dolžina zavesljaja l_r (dolžina zavesljaja, deljena s položajem sedeža, ko so noge popolnoma iztegnjene s_n), naklon trupa na začetku φ_s in koncu zavesljaja φ_f , trajanje faz zavesljaja (poteg t_d in povratek t_r) in njuno razmerje r , največja vrednost sil na ročaju $f_{p,max}$ in opori za noge $f_{r,max}$, povprečna vrednost sil na ročaju $f_{p,avg}$ in opori za noge $f_{r,avg}$ med fazo potega in delo zavesljaja A .

7.1.7 Obdelava podatkov in statistična analiza

Podatki vseh zavesljajev posameznega testa vsakega udeleženca so bili uporabljeni za analizo spremenljivk. Programski paket Matlab (The MathWorks (Ver. 7.10), Natick, MA) je bil

uporabljen za obdelavo podatkov. Začetek veslanja je bil definiran kot začetek faze potega, faza povratka pa je pomenila drugi del celotnega zavesljaja.

Koeficient variacije KV (ang. “coefficient of variation”) je bil uporabljen kot statistični kazalnik, ki prikazuje razpršitev okoli aritmetične sredine. Definiran je kot razmerje med standardnim odklonom in povprečjem. Ker gre za relativni statistični kazalnik, ga je mogoče uporabiti za primerjavo razpršenosti različnih spremenljivk. Vrednost KV pod 0,05 pomeni neznatno spremenljivost.

Povprečni podatki vseh udeležencev posamezne skupine so bili analizirani s programom SPSS (IBM (Ver. 17,0), Armonk, NY). Z enosmerno analizo variance za ponovljene meritve (ang. “one-way repeated-measures ANOVA”) smo preučili vpliv skupine in testa na posamezno spremenljivko. Iz analize smo izluščili delno eta-kvadratno vrednost η^2 (ang. “partial eta-squared value”) in p vrednost učinka. Delna eta-kvadratna vrednost predstavlja delež celotne variabilnosti, ki jo je mogoče pripisati preučevanemu dejavniku, izvzemajoč druge dejavnike, ki vplivajo na variacijo [99]. Delna eta-kvadratna vrednost se zato lahko uporabi kot merilo vpliva dejavnika na biomehanske parametre [100]. V vseh primerih je bil prag statistične značilnosti določen z vrednostjo $p = 0,05$.

7.2 Rezultati in diskusija

7.2.1 Analiza variance

Za statistično analizo rezultatov evalvacijske študije je bila uporabljena analiza variance. Tabela 7.4 prikazuje rezultate enosmerne analize variance vpliva treninga posamezne skupine udeležencev na posamezno spremenljivko pri posameznem testu. Prikazane so delne η^2 vrednosti posameznih biomehanskih parametrov. Z zvezdico * so označene vrednosti, pri katerih je prag statistične značilnosti $p < 0,05$, kar pomeni, da obstaja 95 % statistično zaupanje, da razlike pri spremenljivki niso naključne, ampak so posledica treninga. Rezultati prvih treh vrstic (primerjava 2 min pri testih 1 in 2) jasno kažejo, da je imel trening statistično pomemben vpliv na vse spremenljivke pri skupinah T in S, medtem ko trening pri skupini A ni imel vpliva na nobeno spremenljivko. Rezultati vpliva treninga pri veslanju na 500 m pri testu 1 in 2 kažejo, da trening na spremenljivko trajanja faze potega t_d ni imel vpliva. Rezultat je razumljiv, saj gre za test pri maksimalnem tempu. Trening je imel statistično značilen vpliv na vse preostale spremenljivke pri skupini S. Podobno je imel trening statistično značilen vpliv na vse preostale spremenljivke skupine T, z izjemo naklona trupa na začetku zavesljaja φ_f , kjer trening ni imel statistično značilnega vpliva. Pri skupini A je imel trening vpliv le na oba parametra sile na opori za noge.

Narejena je bila dvosmerna analiza variance mešanega tipa za ponovljene meritve. Rezultati pred in po treningu so predstavljali parameter znotraj skupine, način treninga je predstavljal parameter razlikovanja med udeleženci. Tabela 7.5 prikazuje p vrednost analize vpliva treninga in tipa treninga na biomehanske parametre.

Test	Skupina	l_r	φ_s	φ_f	t_d	$F_{p,max}$	$F_{p,avg}$	$F_{r,max}$	$F_{r,avg}$	A
2 min	A	0,29	0,09	0,11	0,00	0,24	0,19	0,03	0,09	0,20
	T	0,94*	0,56*	0,56*	0,64*	0,91*	0,88*	0,83*	0,88*	0,93*
	S	0,80*	0,66*	0,91*	0,74*	0,86*	0,86*	0,87*	0,86*	0,86*
500 m	A	0,02	0,04	0,03	0,02	0,19	0,24	0,49*	0,38*	0,18
	T	0,30*	0,30*	0,09	0,01	0,64*	0,38*	0,51*	0,43*	0,49*
	S	0,69*	0,51*	0,68*	0,23	0,59*	0,62*	0,34*	0,25	0,73*

Tabela 7.4: Enosmerna analiza variance vpliva treninga na biomehanske parametre veslanja.

	2 min		500 m	
	Trening	Tip treninga	Trening	Tip treninga
l_r	0,00	0,00	0,00	0,00
φ_s	0,00	0,26	0,02	0,04
φ_f	0,00	0,00	0,00	0,00
t_d	0,00	0,00	0,30	0,11
$F_{p,max}$	0,00	0,00	0,00	0,05
$F_{p,avg}$	0,00	0,00	0,00	0,07
$F_{r,max}$	0,00	0,00	0,00	0,90
$F_{r,avg}$	0,00	0,00	0,00	0,72
A	0,00	0,00	0,00	0,01

Tabela 7.5: Analiza variance vpliva treninga in tipa treninga na biomehanske parametre.

Vrednost p predstavlja merilo statistične verjetnosti, da razlike pri posamezni spremenljivki niso naključne, ampak so posledica treninga oziroma tipa treninga. Vrednost $p < 0,05$ predstavlja mejo, pri kateri je vpliv statistično značilen. Iz rezultatov je razvidno, da je pri testu na 2 min trening statistično značilno vplival na vse parametre, ob tem je tip treninga imel statistično značilen vpliv na vse parametre z izjemo naklona trupa na začetku zavesljaja φ_s . Pri testu na 500 m trening ni imel vpliva na trajanje potega zavesljaja t_d , tip treninga ni imel vpliva na trajanje potega zavesljaja t_d ter vse štiri parametre sil.

Ker je trening imel statistično značilen vpliv na biomehanske parametre, pri tem je igral pomembno vlogo tudi tip treninga, so bili za ugotavljanje razlik med posameznimi pari skupin in pari meritev uporabljeni post-hoc testi. Z Mauchly testom je bilo ugotovljeno, da podatki ustrezajo kriteriju sferičnosti v vseh primerih. Z Levene testom je bila analizirana homogenost varianc. Pri biomehanskih parametrih, ki imajo zagotovljeno homogenost varianc so bili post-hoc testi narejeni z Bonferonnijevo korelacijo, pri parametrih, kjer homogenost ni zagotovljena, pa z Dunnett T3 korelacijo. Rezultati p vrednosti post-hoc analize so prikazani v tabeli 7.6. V tabeli vrednost p predstavlja podobnost. Odvisnosti med biomehanskimi parametri in tipom treninga, ki imajo vrednost podobnosti manjšo od $p < 0,05$, so s 95 % statistično verjetnostjo nastali kot posledica tipa treninga in ne zgolj naključno.

Iz rezultatov post-hoc analize pri testu na 2 minuti je razvidno, da se trening pod nadzorom trenerja statistično značilno razlikuje od treninga brez nadzora v vseh parametrih z

	2 min			500 m		
	A-T	A-S	T-S	A-T	A-S	T-S
l_r	0,04	0,00	0,81	0,52	0,01	0,07
φ_s	0,52	0,42	1,00	0,06	0,17	1,00
φ_f	0,19	0,00	0,05	1,00	0,00	0,00
t_d	0,00	0,00	1,00	1,00	0,24	0,29
$F_{p,max}$	0,00	0,00	1,00	0,45	0,05	0,86
$F_{p,avg}$	0,00	0,00	1,00	0,90	0,10	0,31
$F_{r,max}$	0,00	0,00	1,00	0,94	1,00	0,98
$F_{r,avg}$	0,00	0,00	1,00	0,81	1,00	0,90
A	0,00	0,00	1,00	0,66	0,01	0,09

Tabela 7.6: Post-hoc analiza vpliva treninga na biomehanske parametre.

	2 min		500 m	
	Premor	Tip treninga	Premor	Tip treninga
l_r	0,46	0,53	0,55	0,42
φ_s	0,76	0,26	1,00	0,81
φ_f	0,01	0,41	0,13	0,18
t_d	0,16	0,72	0,22	0,61
$F_{p,max}$	0,23	0,40	0,01	0,26
$F_{p,avg}$	0,58	0,53	0,00	0,51
$F_{r,max}$	0,42	0,73	0,88	0,14
$F_{r,avg}$	0,13	0,62	0,89	0,51
A	0,58	0,55	0,02	0,63

Tabela 7.7: Analiza variance vpliva premora in tipa treninga na biomehanske parametre.

izjemo naklona trupa na začetku in koncu zavesljaja. Trening z razvitim sistemom se statistično razlikuje od treninga brez nadzora v vseh parametrih z izjemo naklona trupa na začetku zavesljaja φ_s . Trening pod nadzorom trenerja in trening z razvitim sistemom se statistično razlikujeta zgolj pri naklonu trupa na koncu zavesljaja φ_f , medtem ko pri drugih parametrih statističnega razlikovanja ni opaziti. Pri testu na 500 metrov statistično značilno razlikovanje opazimo zgolj pri dolžini zavesljaja l_r in opravljenem delu A pri primerjavi A-S ter naklonu trupa na koncu zavesljaja φ_f med treningom z razvitim sistemom in preostalima oblikama treninga.

Tabela 7.7 prikazuje p vrednost analize vpliva premora in tipa treninga na biomehanske parametre, ki so bili pridobljeni z dvosmerno analizo variance mešanega tipa za ponovljene meritve. Rezultati pred in po premoru so predstavljali parameter znotraj skupine, načinom treninga je predstavljal parameter razlikovanja med udeleženci. Iz rezultatov je razvidno, da je imel premor statistično značilen vpliv na naklon trupa na koncu zavesljaja pri testu na 2

minuti ter na vrednosti parametrov sil na ročaju pri testu na 500 metrov. Statistične razlike med posameznimi oblikami treninga ne nastopajo.

Iz rezultatov analize variance sledi, da udeleženci skupine A s treningom niso izboljšali svoje tehnike, medtem ko so udeleženci skupin S in T s treningom izboljšali svojo tehniko, vendar med slednjima skupinama ni bilo bistvenih statističnih razlik. Način učenja ni imel statično značilnega vpliva na tehniko veslanja po premoru.

Statistična analiza je pokazala, da je narava razlik med tipi učenja sistematična. V naslednjih poglavjih je predstavljena vsebinska razprava o pomenu teh razlik.

7.2.2 Število zavesljajev

Tabela 7.8 prikazuje podatke o številu izvedenih zavesljajev. Prikazano je povprečno število \bar{N} , standardni odklon σ ter srednja \tilde{N} , največja N_{max} in najmanjša vrednost N_{min} . Vsi zavesljaji so bili upoštevanji v analizi.

tip	test	2 min 20 zav/min					500 m				
		\bar{N}	σ	\tilde{N}	N_{max}	N_{min}	\bar{N}	σ	\tilde{N}	N_{max}	N_{min}
A	1	44	3	43	52	41	65	11	64	90	50
	2	41	1	42	43	39	63	11	64	85	47
T	1	45	4	44	56	42	64	7	62	76	53
	2	43	1	43	45	40	60	4	60	69	55
	3	42	3	41	48	39	61	4	60	70	55
S	1	43	3	43	48	38	73	13	71	108	58
	2	43	2	43	47	39	58	5	57	70	51
	3	42	3	42	47	37	58	8	57	75	48

Tabela 7.8: Število zavesljajev.

7.2.3 Tempo

Tabela 7.9 prikazuje podatke o tempu veslanja za vse skupine pri vseh testih. Povprečna vrednost \bar{R} pomeni povprečno vrednost povprečnih tempov vseh udeležencev posamezne skupine pri posameznem testu. Standardni odklon σ predstavlja razpršenost povprečnih tempov udeležencev okoli povprečnega tempa skupine. Srednja vrednost \tilde{R} je srednja vrednost povprečnih tempov udeležencev, največja R_{max} in najmanjša vrednost R_{min} pa robni povprečni vrednosti tempov udeležencev. V tabeli 7.10 so podane statistične vrednosti za koeficient variacije tempa KV , ki je v tabeli označen s c . Iz podatkov je razvidno, da se je pri testu, pri katerem je bil predpisan tempo, konsistentnost tempa po treningu povečala pri vseh skupinah. Pri tem je skupina A, ki je trenirala sama, dosegla v povprečju neznatno spremenljivost ($KV < 0,05$), medtem ko je bila spremenljivost skupin T in S nekoliko večja, vendar

v povprečju še vedno neznatna. Pri podrobnejšem pregledu rezultatov je razvidno, da so imeli trije udeleženci iz skupine A, dva iz skupine T in en udeleženeec iz skupine S neznatno spremenljiv tempo že pri začetnem testu. Pri testu po treningu se je število udeležencev z neznatno spremenljivim tempom povečalo na 9 pri skupini A, 5 pa pri skupinah T in S. Pri ponovitvenem testu so udeleženci T9, T10, T11, S7, S8, S10 in S12 ohranili neznatno spremenljiv tempo, T1, T7 in S1 so ga izgubili, T4 in S6 pa sta ga pridobila. Ker je bil pri tem testu predpisan tempo, lahko ugotovimo, da so se udeleženci skupine A sami naučili nadzorovati tempo. Udeleženci skupin T in S so po treningu dobro nadzorovali tempo, vendar so pri ponovitvenem testu, ko niso imeli nadzora, dosegali v povprečju večjo spremenljivost, vendar še vedno manjšo kot pri začetnem testu.

Pri testu na 500 metrov, pri katerem ni bil predpisan tempo, je bil ta pričakovano višji. Pri testu 1T-500m (test na 500 metrov v okviru prvega testa) je spremenljivost tempa manjša kot pri testu 1T-2min (test 2 min v okviru prvega testa) s predpisanim tempom. To pomeni, da so udeleženci imeli bolj konstanten tempo, ko niso bili osredotočeni nanj, ampak so se posvečali hitrosti. Konsistentnost se pri vseh skupinah pomembno ne razlikuje med posameznimi testi.

tip	test	2 min 20 zav/min					500 m				
		\bar{R}	σ	\tilde{R}	R_{max}	R_{min}	\bar{R}	σ	\tilde{R}	R_{max}	R_{min}
A	1	22	1	21	26	21	34	5	34	43	25
	2	21	0	21	21	20	34	6	34	44	25
T	1	22	1	22	24	20	34	5	32	46	29
	2	21	1	21	22	21	34	2	34	38	31
	3	21	1	21	23	19	35	2	34	39	33
S	1	22	1	22	23	19	38	8	37	58	29
	2	21	1	21	22	20	33	3	33	38	26
	3	21	2	21	24	19	34	5	35	42	28

Tabela 7.9: Tempo veslanja.

tip	test	2 min 20 zav/min					500 m				
		\bar{c}	σ	\tilde{c}	c_{max}	c_{min}	\bar{c}	σ	\tilde{c}	c_{max}	c_{min}
A	1	0,11	0,07	0,09	0,26	0,03	0,05	0,02	0,05	0,09	0,03
	2	0,04	0,01	0,04	0,07	0,03	0,06	0,03	0,06	0,12	0,03
T	1	0,09	0,03	0,09	0,17	0,04	0,05	0,02	0,05	0,10	0,03
	2	0,06	0,02	0,05	0,09	0,04	0,05	0,02	0,05	0,08	0,03
	3	0,06	0,02	0,05	0,11	0,03	0,05	0,02	0,04	0,12	0,04
S	1	0,08	0,03	0,08	0,15	0,04	0,05	0,03	0,05	0,10	0,03
	2	0,05	0,01	0,05	0,07	0,03	0,06	0,01	0,06	0,08	0,03
	3	0,07	0,03	0,06	0,12	0,03	0,05	0,02	0,05	0,09	0,03

Tabela 7.10: Koefficient variacije tempa veslanja.

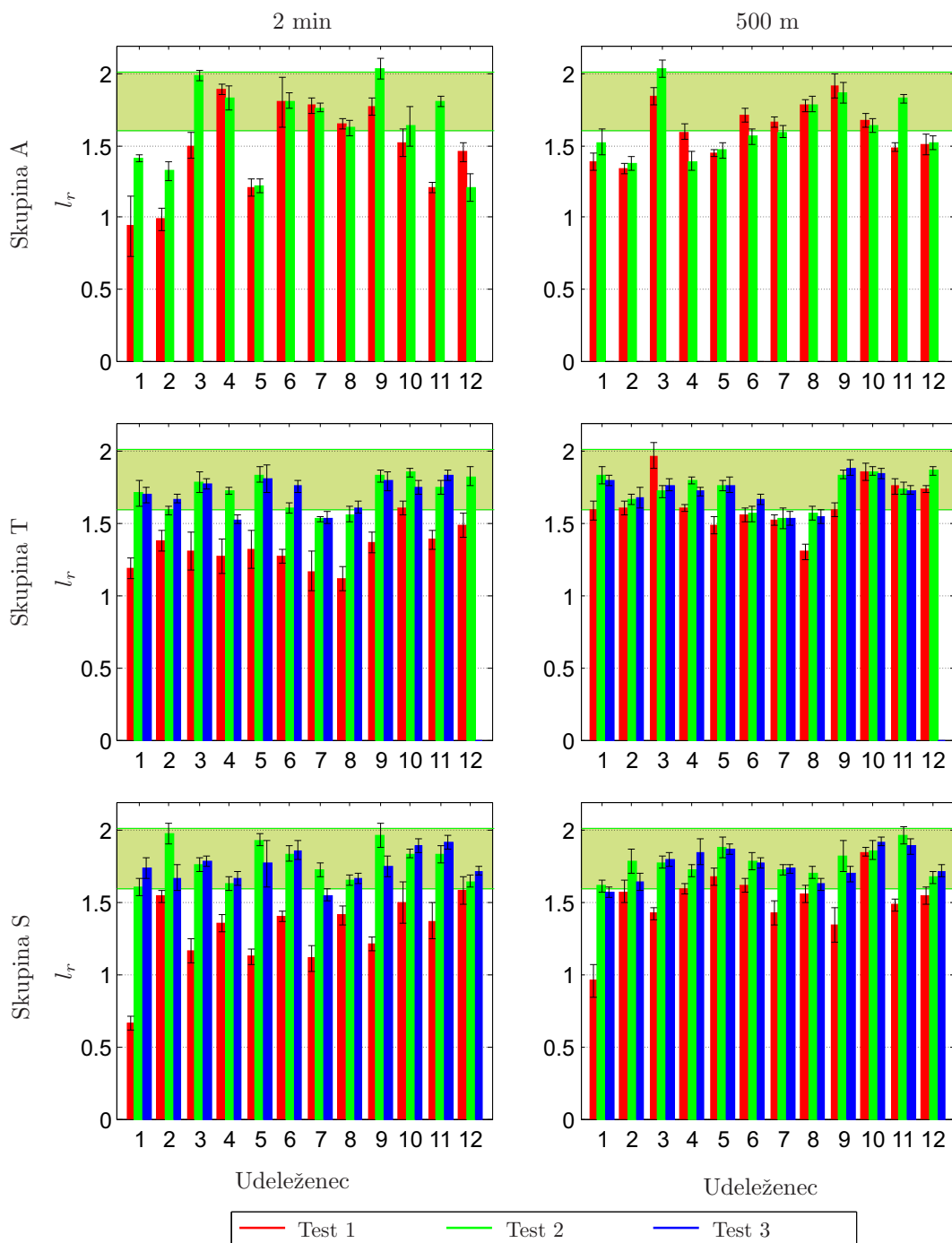
7.2.4 Dolžina zavesljaja

Slika 7.2 prikazuje normirano dolžino zavesljaja l_r za vse udeležence za vse teste. V levem stolpcu so prikazani rezultati testa na 2 minuti s tempom 20 zaveslajev/minuto, desno pa rezultati testa na 500 metrov. Zgoraj so predstavljeni rezultati skupine A, v sredini skupine T in spodaj skupine S. Rdeče je prikazan test 1, zeleno test 2 in modro test 3. Na sliki je prav tako zeleno v ozadju prikazano referenčno območje. Iz rezultatov je razvidno, da so imeli udeleženci v povprečju pri testu 1 krajši zaveslaj od primernega, vendar pa so imeli (izjema so le A4, A6, A7 in S12) pri testu na 1T-500m zaveslaj daljši kot pri testu 1T-2min. Primerno dolžino zavesljaja pri obeh testih 1 so imeli zgolj udeleženci A6, A7, A8, A9 in T10. Pri testu 2 so nato udeleženci (izjema so le A4, A6, A7, A8 in A12) zaveslaj podaljšali. Najmanj izrazito podaljšanje zavesljaja je bilo pri skupini A, kjer sta zgolj udeleženca A10 in A11 samostojno popravila dolžino zavesljaja in dosegla primerno dolžino, medtem ko se je pri udeležencih A6, A7 in A9 zaveslaj poslabšal in dolžina ni več ustrezala referenčnim vrednostim. Udeleženci skupin T in S so imeli v splošnem tako pri testu 2 kot pri testu 3 primerno dolžino zavesljaja. Udeleženci T6, T7 in T8 so imeli pri testu 2 dolžino zavesljaja malo pod referenčno dolžino, udeleženci T4, T7 in T8 pa pri testu 3. Vsi udeleženci skupine S so imeli pri testu 2 primerno dolžino zavesljaja, le dva udeleženca pa sta jo poslabšala pri testu 3 (S1 pri testu 3T-500m in S7 pri testu 3T-2min). Pri testu 1T-2min je imelo 5 udeležencev iz skupine A, 8 udeležencev iz skupine T in 7 udeležencev iz skupine S znatno spremenljivo dolžino zavesljaja, drugače so imeli udeleženci v splošnem znatno nespremenljivo dolžino zavesljaja.

Iz rezultatov lahko sklepamo, da so se vsi udeleženci v postopku treninga naučili nadzorovati dolžino zavesljaja. Le dva udeleženca skupine A sta samostojno popravila zaveslaj in dosegla ustrezno dolžino. V skupini T pod nadzorom trenerja trije udeleženci niso popolnoma dosegli ustrezne dolžine zavesljaja, vendar so se približali referenčnemu območju, medtem ko so vsi udeleženci skupine S dosegli primerno dolžino. To pomeni, da je objektivno merjenje dolžine zavesljaja sistema doseglo boljše rezultate od subjektivnega ocenjevanja trenerja. V splošnem udeleženci niso pozabili, kakšna je primerna dolžina zavesljaja, in so dosegali ustrezno dolžino tudi pri testu 3 brez nadzora.

7.2.5 Naklon trupa

Slika 7.3 prikazuje naklon trupa φ na začetku (označeni s karo \diamond) in koncu faze potega zavesljaja (označeni s krožcem \circ). V levem stolpcu so prikazani rezultati testa veslanja 2 minuti s tempom 20 zaveslajev/minuto, desno pa rezultati testa veslanja na 500 metrov. Zgoraj so predstavljeni rezultati skupine A, v sredini skupine T in spodaj skupine S. Rdeče je prikazan test 1, zeleno test 2 in modro test 3. Na sliki je prav tako zeleno v ozadju prikazano referenčno območje. Iz rezultatov je razvidno, da je 5 udeležencev (4 iz skupine A in en iz skupine T) imelo primeren naklon trupa na koncu zavesljaja že pri testu 1, na začetku zavesljaja pa ga je doseglo 20 udeležencev (7 iz skupine A, 6 iz skupine T in 7 iz skupine S).

Slika 7.2: Normirana dolžina zavesljaja l_r .

S). Nobeden od udeležencev skupine A med treningom ni sam popravil naklona trupa na koncu zavesljaja, na začetku pa je to uspelo udeležencu A3, vendar je obenem udeleženec A4 poslabšal nagibanje s trupom. Pri skupini s trenerjem so vsi udeleženci s treningom izboljšali

svoje gibanje s trupom, vendar je iz rezultatov razvidno, da je bilo merilo trenerja drugačno od referenčnega modela. Na začetku zavesljaja so rezultati vseh udeležencev (z izjemo T8 pri testu 2T-2min) skladni z referenčnim modelom, na koncu zavesljaja pa so zgolj trije udeleženci (T8, T9 in T10) dosegli naklon, skladen z referenčnim modelom. Preostali udeleženci so se s trupom nagibali nekoliko manj. V skupini S so se pri testu po izvedenem treningu vsi udeleženci na začetku zavesljaja nagibali v skladu z referenčnim modelom, na koncu zavesljaja pa so odstopali štirje udeleženci (2 minuti: S1, 500 metrov: S8, S9, S10), vendar je gibanje udeležencev S8, S9, S10 skladno z rezultati udeležencev s trenerjem. Rezultati testa 3 se pomembno ne razlikujejo od rezultatov testa 2.

Prav vsi udeleženci so imeli pri vseh testih znatno spremenljiv naklon trupa na koncu zavesljaja. Nekoliko boljše nespremenljivost kažejo rezultati naklona trupa na začetku zavesljaja, vendar so zgolj udeleženci T6 pri testu 3, S10 pri testu 2 ter S3 pri testih 2 in 3 imeli znatno nespremenljiv naklon pri obeh delih testa. Iz rezultatov je razvidno, da so imeli udeleženci veliko več težav pri nadzorovanju naklona trupa kot pri dolžini zavesljaja in da je ta parameter znatno bolj spremenljiv, vendar je pri tem treba upoštevati dejstvo, da je imel naklon trupa glede na zasnovani sistem podrejeno vlogo v primerjavi z dolžino zavesljaja.

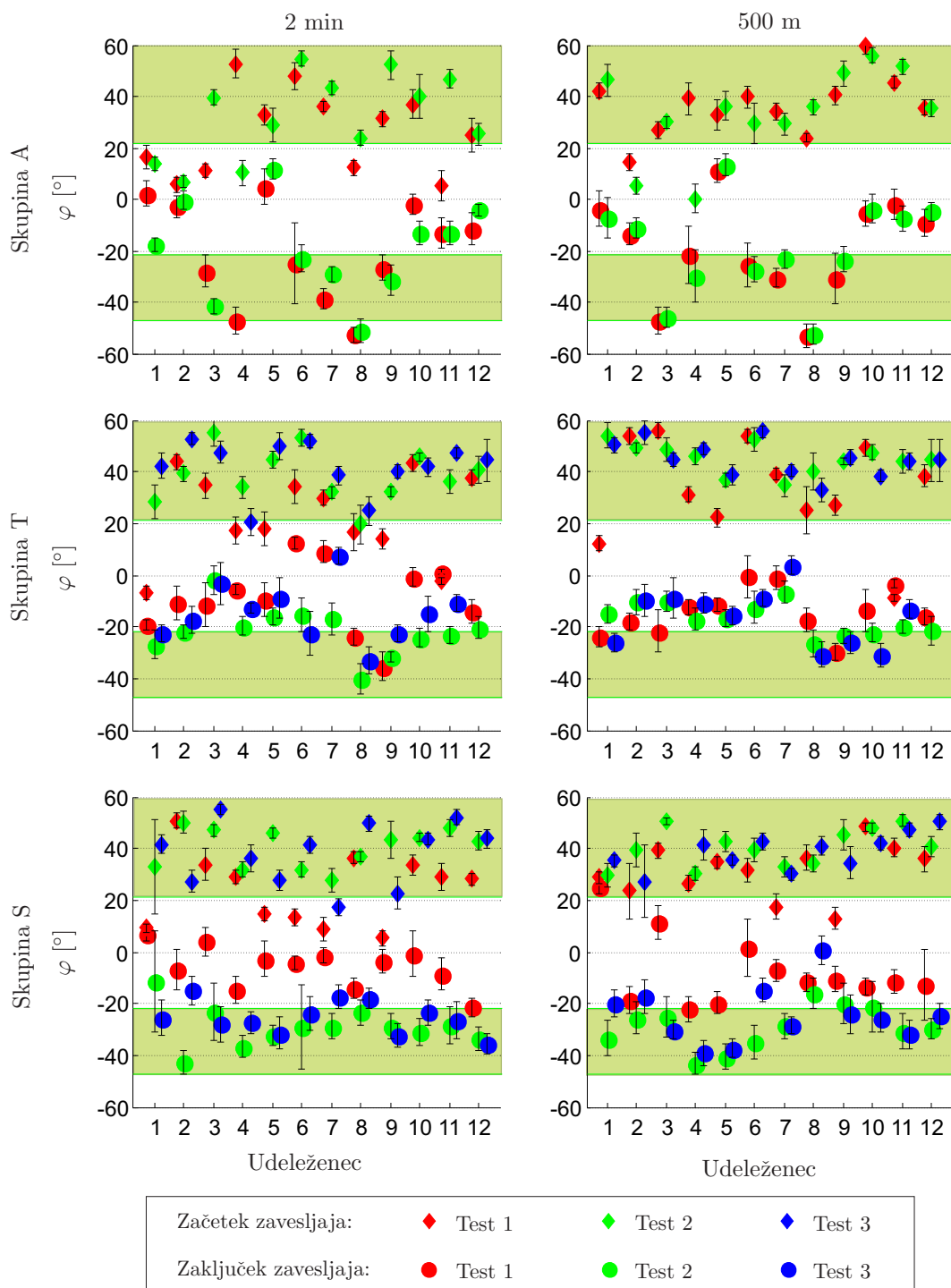
7.2.6 Telesna drža

Parametra telesne drže sta dolžina zavesljaja in naklon trupa. Če pogledamo njun skupni vpliv na telesno držo pri obeh delih testa 2, lahko vidimo, da nihče od udeležencev skupine A ni dosegel sočasne dolžine zavesljaja in naklona trupa v skladu z referenčnim modelom, v skupini T sta bila takšna udeleženca dva (T9 in T10), medtem ko v skupini S zgolj štirje udeleženci (S1, S8, S9 in S10) niso imeli sočasno dolžine zavesljaja in naklona trupa v skladu z referenčnim modelom.

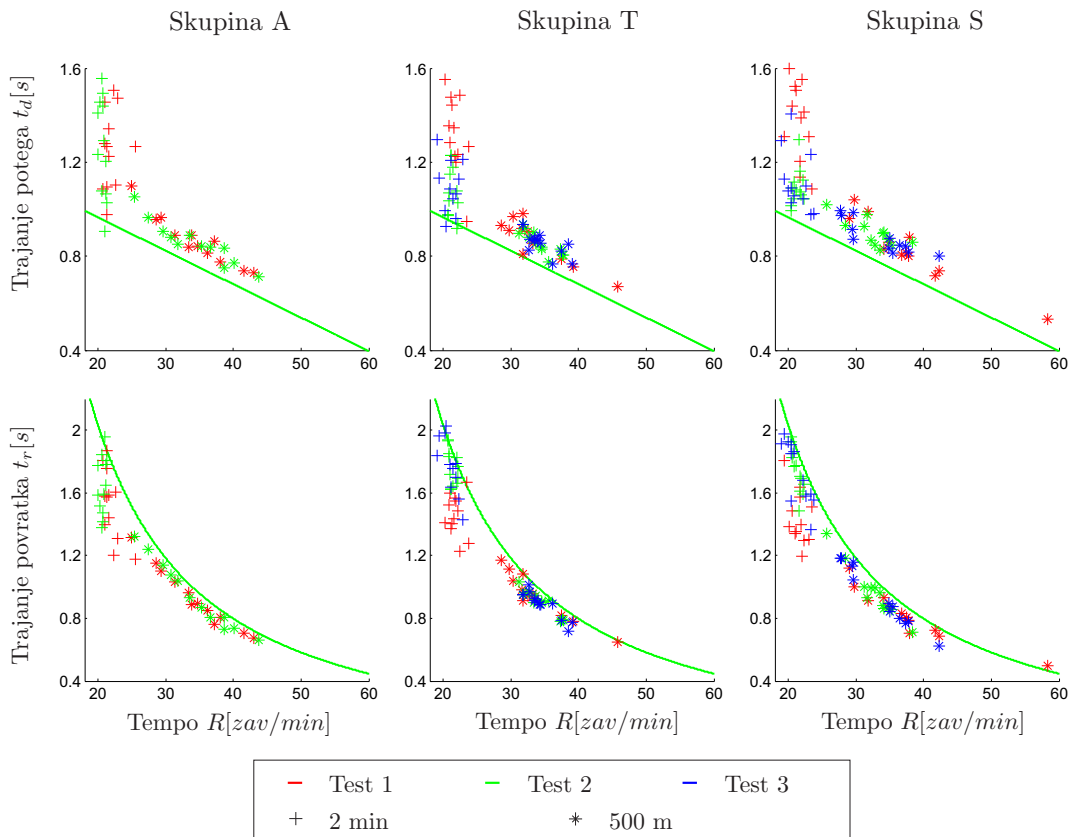
7.2.7 Ritem

Ritem je določen s trajanjem faz zavesljaja. Slika 7.4 prikazuje trajanje faze potega t_d (zgoraj) in povratka t_d (spodaj). Rezultati testa na 2 minuti so označeni z znaki +, testa na 500 metrov pa z *. Levo so predstavljeni rezultati skupine A, v sredini skupine T in desno skupine S. Rdeče je prikazan test 1, zeleno test 2 in modro test 3. Na sliki je prav tako z zeleno krivuljo prikazana referenčna vrednost trajanja posamezne faze.

Iz rezultatov je razvidno, da nihče od udeležencev (z izjemo A7 in T5, ter deloma A4, A6, A9 in S11) pri testu 1 ni dosegel vzorca hitrega potega in počasnega povratka, ki je značilen za pravilno tehniko veslanja. Ritem pride do izraza pri nizkem tempu, torej pri testu na 2 minuti s tempom 20 zavesljajev/minuto, ko je razmerje med fazama zavesljaja največje, zato smo podrobneje analizirali rezultate trajanja potega pri tem testu. S treningom je poleg udeleženca A7 primeren ritem (povprečno odstopanje za manj kot 10 %) pri testu 2 dosegel udeleženec A6, medtem ko sta udeleženca A4 in A9 dosegla deloma primeren ritem

Slika 7.3: Naklon trupa φ [°].

(povprečno odstopanje za več kot 10 %, a manj kot 20 %). Največje odstopanje je bilo



Slika 7.4: Trajanje faze potega t_d (zgoraj) in povratka t_r (spodaj).

62-odstotno pri udeležencu A1. Iz rezultatov je torej razvidno, da skupina A v povprečju ni napredovala s treningom, saj je bilo povprečno odstopanje pri testu 1 34-odstotno ($SD = 19\%$), pri testu 2 pa 33-odstotno ($SD = 20\%$). V skupini T, ki je trenirala pod nadzorom trenerja, je primeren ritem doseglo 6 udeležencev (T2, T4, T6, T7, T9 in T10), 2 udeleženca pa deloma primeren ritem (T5 in T8). Kljub temu je bilo največje odstopanje trajanja potega 29-odstotno pri udeležencih T1 in T12. Pri skupini S so 3 udeleženci (S1, S5 in S12) dosegli primeren ritem, 6 udeležencev (S3, S6, S8, S9, S10 in S11) pa deloma primeren ritem. Največje odstopanje je bilo 37-odstotno pri udeležencu S7. Rezultati testa 3 se pomembno ne razlikujejo od rezultatov testa 2. Iz rezultatov je razvidno, da sta skupini T in S s treningom napredovali, saj je bilo pri testu 1 povprečno odstopanje 40-odstotno ($SD = 16\%$) pri skupini T in 45-odstotno ($SD = 17\%$) pri skupini S, pri testu 2 zgolj 13-odstotno ($SD = 10\%$) pri skupini T in 15-odstotno ($SD = 9\%$) pri skupini S. Prav tako udeleženci niso pozabili naučenega, saj je bilo odstopanje pri testu 3 16-odstotno ($SD = 10\%$) pri skupini T in 18-odstotno ($SD = 13\%$) pri skupini S.

7.2.8 Sile

Največje in povprečne vrednosti sile zavesljaja na ročaju in opori za noge so bile analizirane in primerjane med posameznimi testi.

Največja vrednost sile na ročaju

Slika 7.5 prikazuje največjo vrednost sile na ročaju $F_{p,max}$ za vse udeležence za vse teste. V levem stolpcu so prikazani rezultati testa na 2 minuti s tempom 20 zavesljajev/minuto, desno pa rezultati testa na 500 metrov. Zgoraj so predstavljeni rezultati skupine A, v sredini skupine T in spodaj skupine S. Rdeče je prikazan test 1, zeleno test 2 in modro test 3. Tabela 7.11 prikazuje zbrane podatke vseh udeležencev za posameznen test, pri čemer so prikazani povprečna največja vrednost sile na ročaju \bar{F} , standardni odklon σ ter srednja \tilde{F} , največja F_{max} in najmanjša vrednost F_{min} največje vrednosti sile na ročaju.

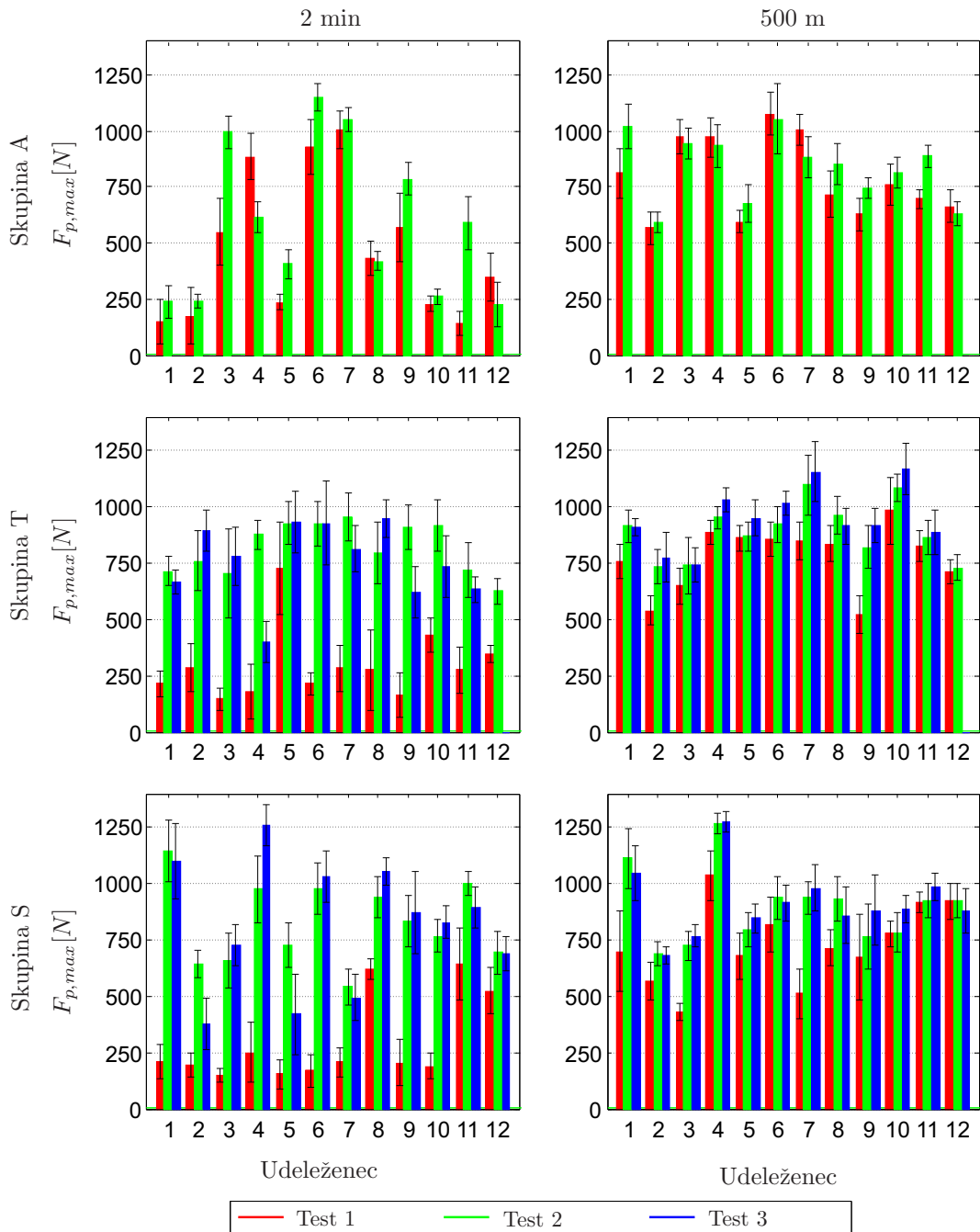
Vsi udeleženci (z izjemo A7) so dosegli pri testu 1T-500m večje največje sile kot pri testu 1T-2min. Povprečna razlika je bila 319 N pri skupini A, 478 N pri skupini T in 438 N pri skupini S. Pri tem so imeli 3 udeleženci skupine A (A1, A10 in A11), 8 udeležencev skupine T (T1, T3, T4, T6, T7, T8, T10, T11) in 4 udeleženci skupine S (S4, S5, S6 in S10) razliko, večjo kot 500 N. Rezultati kažejo, da udeleženci v okviru začetnega testa 1 na 2 minuti niso izkoriščali svoje moči na ročaju.

tip	test	2 min 20 zav/min					500 m				
		\bar{F}	σ	\tilde{F}	F_{max}	F_{min}	\bar{F}	σ	\tilde{F}	F_{max}	F_{min}
A	1	471	319	389	1007	141	790	176	739	1078	567
	2	582	341	505	1152	224	837	149	869	1055	595
T	1	294	158	274	726	146	773	142	832	983	521
	2	818	112	836	954	624	891	125	892	1098	728
S	3	759	170	782	946	400	952	136	918	1170	743
	1	292	187	205	644	145	729	178	706	1036	430
S	2	826	182	801	1147	540	898	166	924	1267	689
	3	812	281	851	1257	376	917	149	884	1277	680

Tabela 7.11: Največja sila zavesljaja na ročaju $F_{p,max}$.

Rezultati kažejo, da so imeli vsi udeleženci (izjema zgolj A4, A8 in A12) pri testu 2T-2min večje največje sile na ročaju kot pri testu 1T-2min. Pri skupini A je bilo povprečno povečanje 48-odstotno, pri skupini T 2,3-kratno, pri skupini S pa 2,5-kratno. Pri tem so 1 udeleženec skupine A, 6 udeležencev skupine T in 8 udeležencev skupine S dosegli več kot 2-kratno povečanje. Iz rezultatov sledi, da so se udeleženci skupin T in S v okviru treninga boljše naučili prenašati silo na ročaj kot udeleženci skupine A.

Iz rezultatov je razvidno občutno zmanjšanje razlike med testoma 2T-500m in 2T-2min



Slika 7.5: Največja sila zavesljava na ročaju $F_{p,max}$.

pri skupinah T in S, saj je bila povprečna razlika 73 N pri skupini T in 72 N pri skupini S, medtem ko je bila razlika pri skupini A 255 N. V okviru testa 2 so imeli 4 udeleženci iz skupine A, 4 iz skupine T in 5 iz skupine S pri testu na 500 metrov manjše povprečne največje sile na ročaju kot pri testu na 2 minuti.

Pri testu 3T-2min je po 6 udeležencev iz skupin T in S imelo povprečne največje sile na ročaju manjše kot pri testu 2T-2min. Največje odstopanje je bilo 54 % pri udeležencu T4 in 42 % pri udeležencu S5. Povprečno odstopanje je bilo pri obeh skupinah manjše kot 10 %. Povprečno odstopanje med testoma 3T-500m in 2T-500m je bilo pri obeh skupinah manjše kot 5 %. Več kot 10-odstotna razlika nastopa zgolj v treh primerih (15 % pri S9, 14 % pri S10 in 11 % pri T9).

Pri testu 3 so se razlike med povprečnimi največjimi silami na ročaju med testoma na 500 metrov in 2 minuti pri obeh skupinah povečale, saj je bila pri skupini T 192 N, pri skupini S pa 105 N. Največja razlika je bila kar 630 N pri udeležencu T4. Trije udeleženci iz skupine T (T2, T3 in T8) in trije udeleženci iz skupine S (S1, S6 in S8) so imeli pri testu 3T-500m manjše povprečne največje sile na ročaju kot pri testu 3T-2min.

Polovica udeležencev iz skupine S in 5 udeležencev iz skupine T je doseglo pri testu 3T-2min večje $F_{p,max}$ kot pri testu 2T-2min. Pri testu 3T-500m je 7 udeležencev pri skupini S in 9 pri skupini T imelo večje $F_{p,max}$ kot pri testu 2T-500m. Pri tistih udeležencih, ki so imeli sile manjše, so bile te še vedno občutno večje kot pri testu 1.

Največja vrednost sile na opori za noge

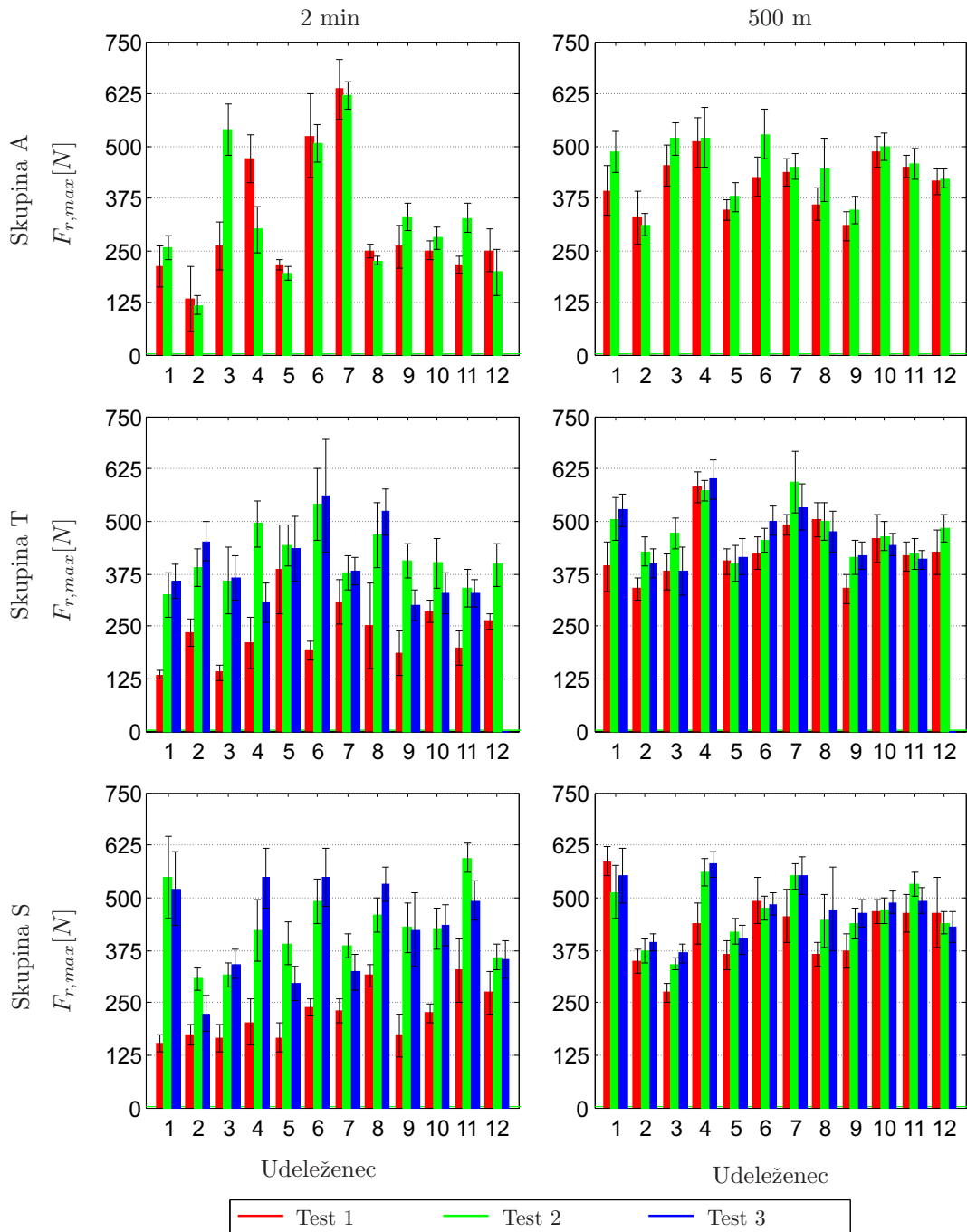
Slika 7.6 in tabela 7.12 prikazujeta največje vrednosti sile na opori za noge $F_{r,max}$ na enak način, kot je bilo prikazano za največje vrednosti sile na ročaju na sliki 7.5 in tabeli 7.11.

tip	test	2 min 20 zav/min					500 m				
		\bar{F}	σ	\tilde{F}	F_{max}	F_{min}	\bar{F}	σ	\tilde{F}	F_{max}	F_{min}
A	1	306	152	250	636	133	409	63	420	509	308
	2	324	154	290	621	118	446	71	454	529	311
T	1	232	72	222	384	134	429	70	420	580	338
	2	411	64	398	540	322	475	60	467	593	399
	3	394	87	366	560	299	463	69	443	599	381
S	1	220	59	214	326	153	424	83	447	587	273
	2	427	86	423	594	307	463	68	458	562	342
	3	420	110	428	548	224	472	67	478	579	367

Tabela 7.12: Največja sila zavesljava na opori za noge $F_{r,max}$.

Vsi udeleženci (z izjemo A6 in A7) so dosegli pri testu 1T-500m večje največje sile na opori za noge kot pri testu 1T-2min. Povprečna razlika je bila 103 N pri skupini A, 198 N pri skupini T in 204 N pri skupini S. Pri tem sta imela 2 udeležencev iz skupine A (A10 in A11), 6 udeležencev iz skupine T (T1, T3, T4, T6, T8 in T11) in 6 udeležencev iz skupine S (S1, S4, S6, S7, S9 in S10) razliko večjo kot 200 N. Rezultati kažejo, da udeleženci v okviru začetnega testa 1 na 2 minuti niso izkoriščali moči nog.

Iz rezultatov je razvidno, da so vsi udeleženci iz skupin T in S dosegli pri testu 2T-2min



Slika 7.6: Največja sila zavesljaja na opori za noge $F_{r,max}$.

večje največje sile na opori za noge kot pri testu 1T-2min, medtem ko je bilo v skupini A takih udeležencev natančno polovica. Pri skupini A je povprečna sprememba dosegla 25 %, pri skupini T 90 %, pri skupini S pa 103 %. Več kot 50-odstotno povečanje sta dosegla 2

udeleženca iz skupine A, 9 udeležencev iz skupine T in 10 udeležencev iz skupine S. Čeprav je povečanje manjše kot pri največjih silah na ročaju, iz rezultatov sledi, da so se udeleženci iz skupin T in S v okviru treninga bolje naučili uporabljati noge.

Iz rezultatov je razvidno občutno zmanjšanje razlike v okviru testa 2 med testom na 500 metrov in testom na 2 minuti pri skupinah T in S, saj je bila povprečna razlika 65 N pri skupini T in 36 N pri skupini S, medtem ko je bila razlika pri skupini A 122 N. V okviru testa 2 sta 2 udeleženca skupine A, 2 udeleženca skupine T in 4 udeleženci skupine S dosegli pri testu na 500 metrov manjše povprečne največje sile na ročaju kot pri testu na 2 minuti.

Pri testu 3T-2min je 5 udeležencev iz skupine T in 7 udeležencev iz skupine S doseglo povprečne največje sile na opori za noge manjše kot pri testu 2T-2min. Največje odstopanje je bilo 38-odstotno pri udeležencu T4 in 30-odstotno pri udeležencu S4. Povprečno odstopanje je bilo pri obeh skupinah manjše kot 13 %. Povprečno odstopanje med testoma 3T-500m in 2T-500m je pri obeh skupinah manjše kot 7 %. Več kot 10-odstotna razlika nastopa zgolj v treh primerih (18 % pri T3, 10 % pri T6 in T7).

Pri testu 3 so se razlike med povprečnimi največjimi silami na opori za noge med testom na 500 metrov in testom na 2 minuti pri obeh skupinah nekoliko povečale, saj so bile pri skupini T 69 N, pri skupini S pa 53 N. Največja razlika je bila 227 N pri udeležencu S4. Štirje udeleženci iz skupine T (T2, T5, T6 in T8) in trije udeleženci iz skupine S (S6, S8 in S11) so imeli v okviru testa na 500 metrov manjše povprečne največje sile na opori za noge kot pri testu na 2 minuti.

V skupini S je imelo 5 udeležencev, v skupini T pa 6 udeležencev pri testu 3T-2min večje $F_{r,max}$ kot pri testu 2T-2min. Pri testu 3T-500m je 9 udeležencev skupine S in 5 skupine T imelo večje $F_{r,max}$ kot pri testu 2T-500m. Pri tistih udeležencih, ki so dosegli manjše sile, so bile te še vedno občutno večje kot pri testu 1.

Povprečna vrednost sile zavesljaja na ročaju

Slika 7.7 in tabela 7.13 na enak način, kot je bilo prikazano za največje vrednosti sile na ročaju na sliki 7.5 in tabeli 7.11, prikazujeta povprečne vrednosti sile zavesljaja na ročaju med fazo potega $F_{p,avg}$.

tip	test	2 min 20 zav/min					500 m				
		\bar{F}	σ	\tilde{F}	F_{max}	F_{min}	\bar{F}	σ	\tilde{F}	F_{max}	F_{min}
A	1	208	115	186	411	86	326	41	324	405	260
	2	250	135	211	482	107	345	47	353	404	256
T	1	142	58	136	296	81	333	56	331	413	248
	2	339	56	349	415	242	362	41	351	419	299
	3	325	79	318	434	190	386	48	396	459	316
S	1	135	63	107	262	86	307	68	301	415	204
	2	340	62	357	440	204	365	38	363	422	308
	3	341	96	360	476	169	379	43	391	436	292

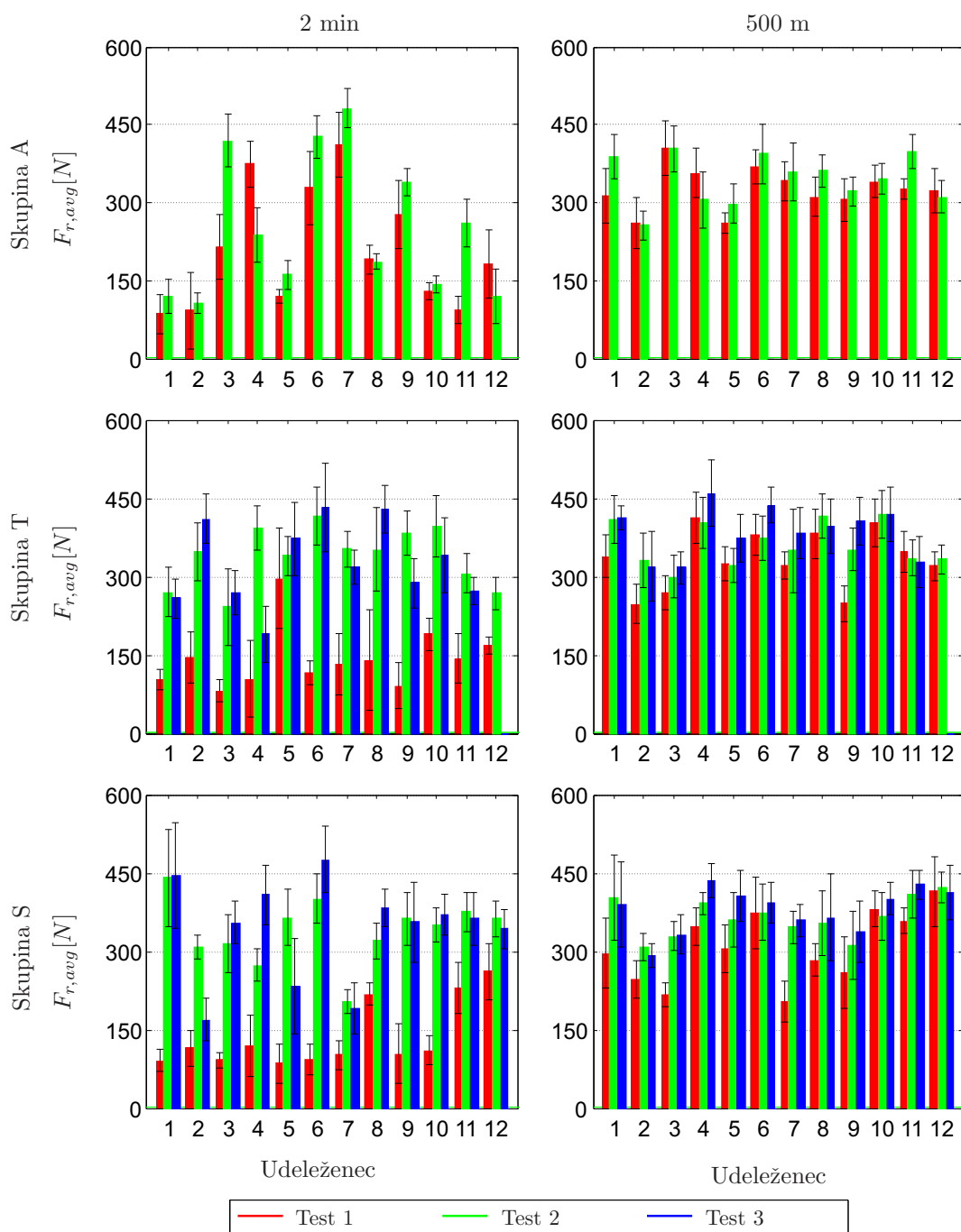
Tabela 7.13: Povprečna sila zavesljaja na ročaju $F_{p,avg}$.

Rezultati povprečne sile zavesljaja na ročaju $F_{p,avg}$, drugega parametra sile, so podobni rezultatom $F_{p,max}$. Vrednosti $F_{p,avg}$ so seveda manjše, a vzorci so podobni. Tudi tukaj je večina udeležencev v okviru testa 1 pri testu na 500 metrov dosegla večje največje sile kot pri testu na 2 minuti, poleg udeleženca A7, ki je bil izjema že pri $F_{p,max}$, pa je izjema tudi udeleženec A4. Povprečne razlike so pri vseh skupinah podobne (132 N pri skupini A, 190 N pri skupini T in 172 N pri skupini S). Zgolj udeleženec T4 je imel razliko večjo kot 300 N (ta je bila 310 N). Rezultati $F_{p,avg}$ potrjujejo ugotovitev, da udeleženci v okviru začetnega testa 1 na 2 minuti niso izkoriščali svoje moči na ročaju.

Rezultati kažejo, da so udeleženci (izjema so tudi tukaj udeleženci A4, A8 in A12) pri testu 2T-2min dosegli večje povprečne sile na ročaju kot pri testu 1T-2min. Pri skupini A je bila povprečna sprememba 50-odstotna, pri skupini T je bilo povečanje 1,6-kratno, pri skupini S pa 1,9-kratno. Pri tem so 3 udeleženci iz skupine T in 6 udeležencev iz skupine S dosegli več kot 2-kratno povečanje. Rezultati potrjujejo ugotovitve pri $F_{p,max}$, in sicer da so se udeleženci iz skupin T in S v okviru treninga boljše naučili prenašati silo na ročaj kot udeleženci skupine A.

Iz rezultatov je ponovno razvidno občutno zmanjšanje razlike v okviru testa 2 med testom na 500 metrov in testom na 2 minuti pri skupinah T in S, saj je bila povprečna razlika 41 N pri skupini T in 45 N pri skupini S, medtem ko je bila razlika pri skupini A 172 N. V okviru testa 2 so 4 udeleženci iz skupine A, 5 iz skupine T in 5 iz skupine S dosegli pri testu na 500 metrov manjše povprečne sile na ročaju kot pri testu na 2 minuti.

Pri testu 3T-2 min je po šest udeležencev iz skupin T in S imelo povprečen $F_{p,avg}$ manjši kot pri testu 2T-2min. Največje odstopanje je pri istih dveh udeležencih kot pri $F_{p,max}$, in



Slika 7.7: Povprečna sila zaveslaja na ročajju $F_{p,avg}$.

sicer 51-odstotno pri udeležencu T4 in 49-odstotno pri udeležencu S5. Povprečno odstopanje je pri obeh skupinah okoli 16-odstotno. Povprečno odstopanje med testoma 3T-500m in 2T-500m je pri obeh skupinah okoli 8-odstotno. Več kot 10-odstotna razlika nastopa v šestih

primerih (16 % pri T5 in T6, 15 % pri T9, 13 % pri T4, 12 % pri S5 ter 11 % pri S4).

Tudi pri parametru $F_{p,avg}$ so se razlike med testoma na 500 metrov in na 2 minuti pri testu 3 pri obeh skupinah povečale, saj je bila pri skupini T 83 N, pri skupini S pa 71 N. Največja razlika je bila kar 269 N pri udeležencu T4, ki je imel največjo razliko že pri $F_{p,max}$. Trije udeleženci iz skupine T (T2, T5 in T8) ter pet udeležencev iz skupine S (S1, S3, S6, S8 in S9) je imelo v okviru testa 3 pri testu na 500 metrov manjši $F_{p,avg}$ kot pri testu na 2 minuti. Pet udeležencev sovpađa z rezultati pri $F_{p,max}$, trije pa so drugačni.

Polovica udeležencev iz skupine S in 5 udeležencev iz skupine T je doseglo pri testu 3T-2min večji $F_{p,avg}$ kot pri testu 2T-2min. Pri testu 3T-500m je 9 udeležencev iz skupine S in 7 iz skupine T doseglo večji $F_{p,avg}$ kot pri testu 2T-500m. Pri tistih udeležencih, ki so imeli sile manjše, so bile te še vedno občutno večje kot pri testu 1.

Povprečna vrednost sile zavesljaja na opori za noge

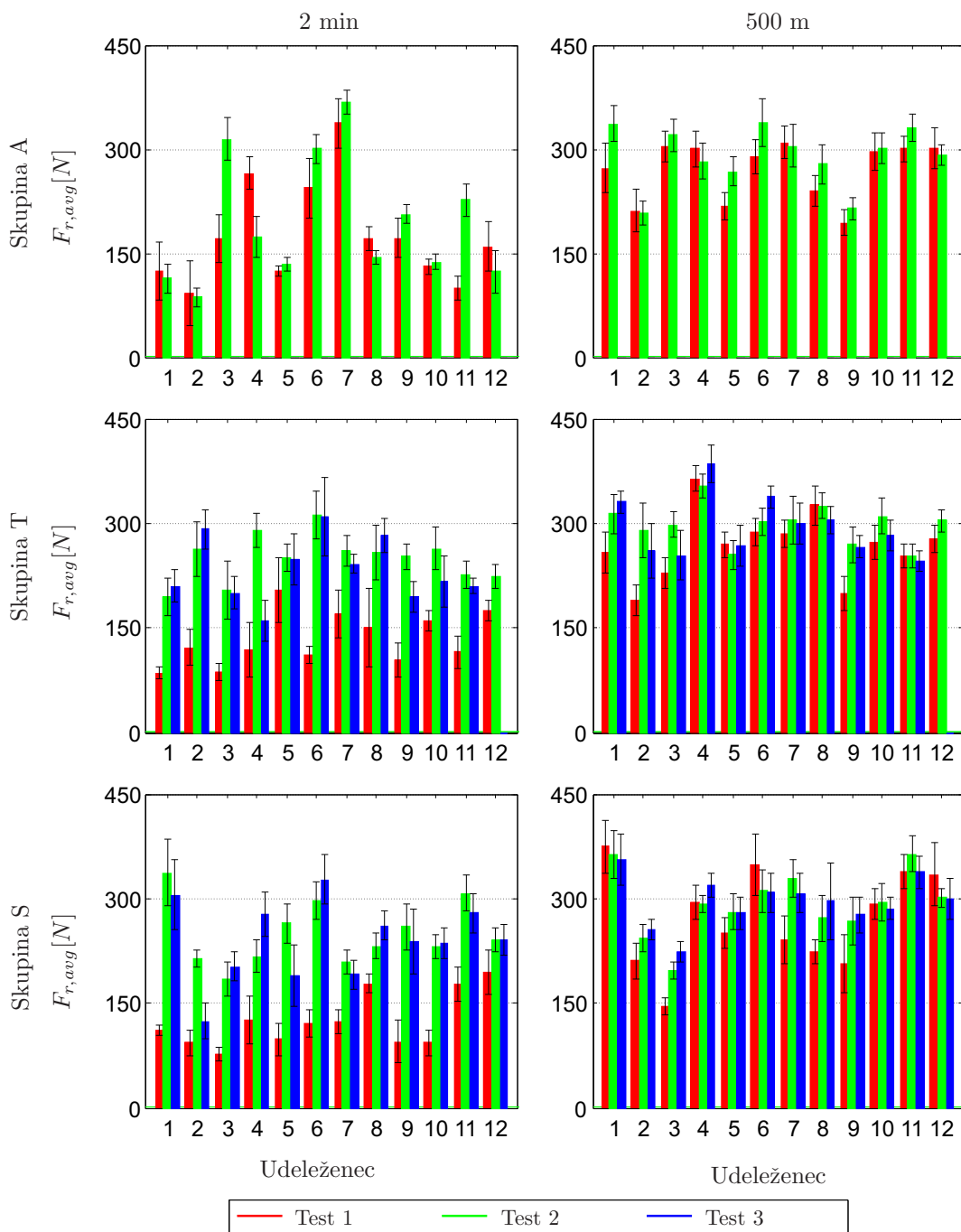
Slika 7.8 in tabela 7.14 prikazujeta povprečne vrednosti sile na opori za noge $F_{r,avg}$ na enak način, kot je bilo prikazano za povprečne vrednosti sile na ročaju na sliki 7.7 in tabeli 7.13.

tip	test	2 min 20 zav/min						500 m				
		\bar{F}	σ	\tilde{F}	F_{max}	F_{min}	0	\bar{F}	σ	\tilde{F}	F_{max}	F_{min}
A	1	174	73	165	337	91	0	269	42	292	309	194
	2	194	90	158	368	87	0	290	43	296	339	208
T	1	133	38	120	204	85	0	268	49	271	364	189
	2	250	33	255	312	195	0	298	29	303	354	254
	3	233	46	217	310	160	0	294	43	282	385	247
S	1	124	39	116	194	77	0	272	70	272	374	146
	2	249	45	236	337	184	0	293	47	294	364	197
	3	239	56	240	327	124	0	296	35	298	356	224

Tabela 7.14: Povprečna sila zavesljaja na opori za noge $F_{r,avg}$.

Rezultati povprečne sile zavesljaja na opori za noge $F_{r,avg}$ so podobni rezultatom $F_{r,max}$. Vrednosti $F_{r,avg}$ so tudi v tem primeru manjše, a vzorci so podobni. Tudi tukaj je večina udeležencev dosegla pri testu testa 1T-500m večje povprečne sile kot pri testu na 1T-2min, izjema je bil le udeleženec A7, ki je bil izjema že pri $F_{r,max}$. Povprečne razlike so pri vseh skupinah podobne (95 N pri skupini A, 134 N pri skupini T in 148 N pri skupini S). Zgolj udeleženec S1 je imel razliko, večjo kot 250 N (ta je bila 262 N). Rezultati $F_{p,avg}$ potrjujejo ugotovitev, da udeleženci v okviru začetnega testa 1 na 2 minuti niso izkoriščali moči svojih nog.

Rezultati kažejo, da so udeleženci (izjema je 5 udeležencev skupine A) dosegli pri testu 2T-2min večje povprečne $F_{r,avg}$ kot pri testu 1T-2min. Pri skupini A je bila povprečna sprememba zgolj 15-odstotna, pri skupini T 1-kratna, pri skupini S pa 1,1-kratna. Pri tem je



Slika 7.8: Povprečna sila zaveslaja na opori za noge $F_{r,avg}$.

zgolj udeleženec S1 dosegel več kot 2-kratno povečanje. Tudi ti rezultati potrjujejo rezultate pri parametru $F_{r,max}$, da so se udeleženci iz skupin T in S v okviru treninga bolje naučili izkoriščati moč nog kot udeleženci iz skupine A.

Iz rezultatov je ponovno razvidno občutno zmanjšanje razlike v okviru testa 2 med testom na 500 metrov in testom na 2 minuti pri skupinah T in S, saj je bila povprečna razlika 50 N pri skupini T in 43 N pri skupini S, medtem ko je bila razlika pri skupini A 106 N. V okviru testa 2 je zgolj udeleženec A7 pri testu na 500 metrov dosegel manjše povprečne sile na opori za noge kot pri testu na 2 minuti. Osem udeležencev iz skupine A je imelo razliko, večjo kot 100 N, medtem ko je bil tovrsten udeleženec zgolj eden v vsaki od skupin T in S.

Pri testu 3T-2min je imelo 8 udeležencev iz skupine T in 7 udeležencev iz skupine S povprečen $F_{r,avg}$ manjši kot pri testu 2T-2min. Tudi v tem primeru je največjo razliko, tako kot pri $F_{r,max}$, mogoče zaslediti pri udeležencih T4 (45 %) in S4 (28 %), 28-odstotno odstopanje pa ima tudi udeleženec S5. Povprečno odstopanje je pri obeh skupinah okoli 16-odstotno. Povprečno odstopanje je bilo v obeh skupinah 13-odstotno.

Povprečno odstopanje med testoma 3T-500m in 2T-500m je bilo pri obeh skupinah okoli 7-odstotno. Štirje udeleženci iz skupine T in 5 udeležencev iz skupine S so imeli $F_{r,avg}$ pri testu 3 večji. Več kot 10-odstotna razlika nastopa zgolj v šestih primerih (15 % pri T3, 13 % pri S9, 10 % pri T2).

Pri parametru $F_{r,avg}$ se razlike med testoma 3T-500m in 3T-2min niso pomembno spremenile glede na test 2, saj so bile pri skupini T 66 N, pri skupini S pa 59 N. Največja razlika je bila sicer 225 N pri udeležencu T4, ki je imel največjo razliko tudi pri $F_{p,avg}$. En udeleženec iz skupine T (T2) in en udeleženec iz skupine S (S6) sta dosegla v okviru testa 3 pri testu na 500 metrov manjši $F_{r,avg}$ kot pri testu na 2 minuti. Ta dva udeleženca sovpadata z rezultati pri $F_{p,avg}$.

V skupini S so 5, v skupini T pa 3 udeleženci pri testu 3T-2min dosegli večje $F_{r,avg}$ kot pri testu 2T-2min. Pet udeležencev iz skupine S in 4 iz skupine T pa je pri 3T-500m doseglo večje $F_{r,avg}$ kot pri testu 2T-500m. Pri tistih udeležencih, ki so imeli sile manjše, so bile te še vedno občutno večje kot pri testu 1.

Spremenljivost sil

Pri analizi spremenljivosti največjih in povprečnih sil smo ugotovili, da je bila spremenljivost v splošnem pri vseh silah pri testih na 2 minuti večja kot pri testih na 500 metrov. Vse skupine so imele pri testu na 2 minuti manjšo spremenljivost kot pri testu 1, pri testu 3 pa se spremenljivost pri skupinah T in S pomembno ne razlikuje od rezultatov pri testu 2. Statistično nespremenljive so zgolj $F_{p,max}$ in $F_{r,max}$ pri testu 2T-500m in testu 3T-500m ter $F_{r,avg}$ pri vseh testih na 500 metrov in testu 2T-2min. Te spremenljivke so statistično nespremenljive pri vseh treh skupinah udeležencev.

7.2.9 Delo

Delo zaveslaja A je vsota produktov sile na ročaju in premika ročaja med fazo potega. Slika 7.9 in tabela 7.15 prikazujeta opravljeno delo A , na enak način kot so bili v prejšnjem poglavju predstavljeni podatki za maksimalne in povprečne sile.

tip	test	2 min 20 zav/min					500 m				
		\bar{A}	σ	\tilde{A}	A_{max}	A_{min}	\bar{A}	σ	\tilde{A}	A_{max}	A_{min}
A	1	338	245	296	743	81	527	109	520	742	320
	2	437	281	385	845	134	572	131	556	784	330
T	1	187	92	170	417	91	538	113	547	746	349
	2	596	98	630	749	413	625	102	596	780	479
	3	567	152	543	784	282	664	110	666	799	507
S	1	180	115	139	414	71	467	142	457	691	302
	2	632	142	612	898	375	655	84	662	767	509
	3	634	213	667	950	262	680	107	704	843	451

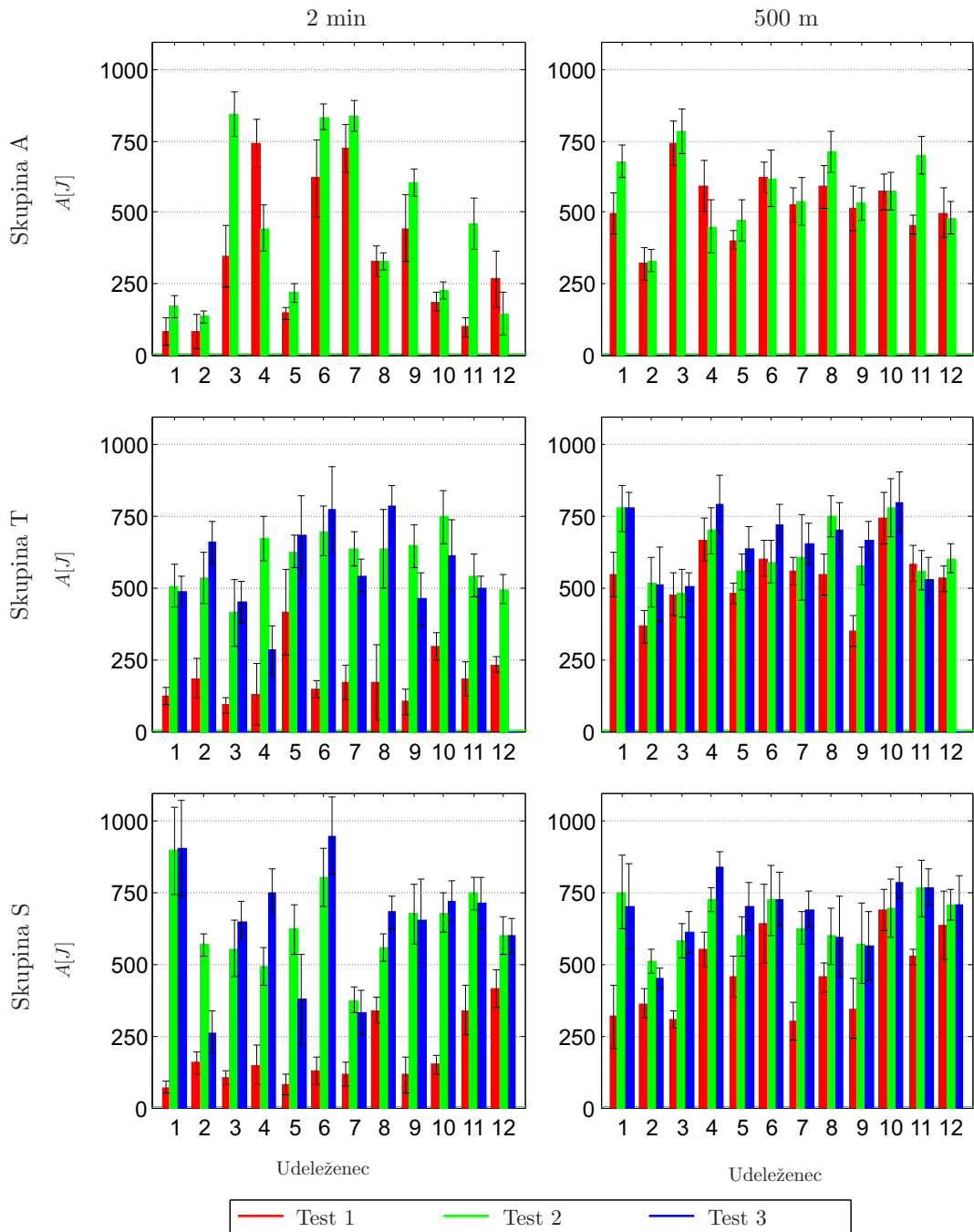
Tabela 7.15: Delo zaveslaja A .

Z izjemo udeležencev A4 in A7, so udeleženci v okviru testa 1T-500m opravili večje delo kot pri testu 1T-2min. Pri tem so 4 udeleženci skupine A (A1, A2, A10 in A11), 8 udeležencev skupine T (T1, T3, T4, T6, T7, T8, T9, T11) in 6 udeležencev skupine S (S1, S4, S5, S6, S9, S10) pri testu 1T-500m opravili za več kot 100 % več dela kot pri testu 1T-2min. Povprečno povečanje pri skupini A je bilo 1,5 kratno, pri skupini T 2,3 kratno, pri skupini S pa 2,2 kratno. Rezultati potrjujejo ugotovitve, da udeleženci v okviru začetnega testa 1 na 2 min niso izkoriščali svoje moči na ročaju in so tako opravili bistveno manj dela.

Z izjemo rezultatov udeležencev A4, A8 in A12, so pri testu 2T-2min udeleženci opravili večje delo kot pri testu 1T-2min. Pri skupini A je bilo povprečno povečanje 63 %, pri skupini T 2,7 kratno, pri skupini S pa 3,8 kratno. Pri tem je zgolj 1 udeleženelec skupine A dosegel več kot dvakratno povečanje, v skupini T zgolj 5 udeležencev in v skupini S zgolj 3 udeleženci niso dosegli dvakratnega povečanja. Iz rezultatov sledi, da so se udeleženci skupin T in S v okviru treninga boljše naučili izboljšati opravljeno delo.

Iz rezultatov je razvidno občutno zmanjšanje razlike med testoma 2T-500m in 2T-2min pri skupinah T in S, saj je povprečna razlika znašala 77 J pri skupini T in 92 J pri skupini S, medtem ko je bila razlika pri skupini A 244 J. V okviru testa 2T-500m so 4 udeleženci skupine A, 5 udeležencev skupine T in 5 udeležencev skupine S opravili manjše delo v posameznem zaveslaju kot pri testu 2T-2min. Skupno opravljeno delo pri testu 2T-500m je bilo sicer večje, saj so opravili veliko večje število zaveslajev.

Pri testu 3T-2min je 5 udeležencev skupine S in 6 udeležencev skupine T v posameznem zaveslaju opravilo manjše delo kot pri testu 2T-2min. Izrazita odstopanja so pri udeležencih T4 (58 %), S2 (54 %) in S4 (53 %). Povprečno odstopanje je pri obeh skupinah manjše kot

Slika 7.9: Delo zavesljaja A .

10 %. Povprečno odstopanje med testoma 3T-500m in 2T-500m je pri obeh skupinah malo manj kot 20 %.

Razlike med opravljenim delom posameznega zavesljaja med testoma 3T-500m in 3T-

2min so se pri obeh skupinah povečale, pri skupini T je razlika znašala 156 J, pri skupini S je znašala 152 J. Največja razlika je bila 509 J pri udeležencu T4. 4 udeleženci skupine T (T2, T5, T6 in T8) ter 5 udeležencev skupine S (S1, S3, S6, S8 in S9) je pri testu 500 m opravilo manjše delo posameznega zaveslaja kot pri testu 2 min.

Po 6 udeležencev iz skupin S in T je pri testu 3T-2min opravilo manjše delo posameznega zaveslaja kot pri testu 2T-2min. Pri testu 3T-500m so 4 udeleženci skupine S in 3 udeleženci skupine T opravili manjše delo kot pri testu 2T-500m. Kljub temu pa so udeleženci, ki so opravili manjše delo posameznega zaveslaja, opravili občutno več dela kot pri testu 1.

Zgolj nekaj posameznih udeležencev (A8 in S2 pri testu 2 ter S8 pri testu 3) je imelo koeficient variacije $KV < 0,1$, vendar ne manjši od 0,05, kar predstavlja neznatno spremenljivost. Iz tega lahko zaključimo, da so vsi udeleženci imeli znantno spremenljivo delo pri posameznih zavesljajih.

7.2.10 Preveslana razdalja in čas veslanja

Kljub temu, da se sistem osredotoča na izvedbo in ne na sam rezultat, na koncu podajamo rezultate preveslanih razdalj in časov veslanja pri vseh testih. V tabeli 7.16 je podano, koliko metrov je posamezen udeleženec uspel preveslati pri testu 2 min s tempom 20 zaveslajev/minuto. V tabeli 7.17 je podano, koliko časa je posamezen udeleženec potreboval, da je preveslal 500 m dolgo razdaljo. Na sliki 7.10 so rezultati prikazani v grafični obliki.

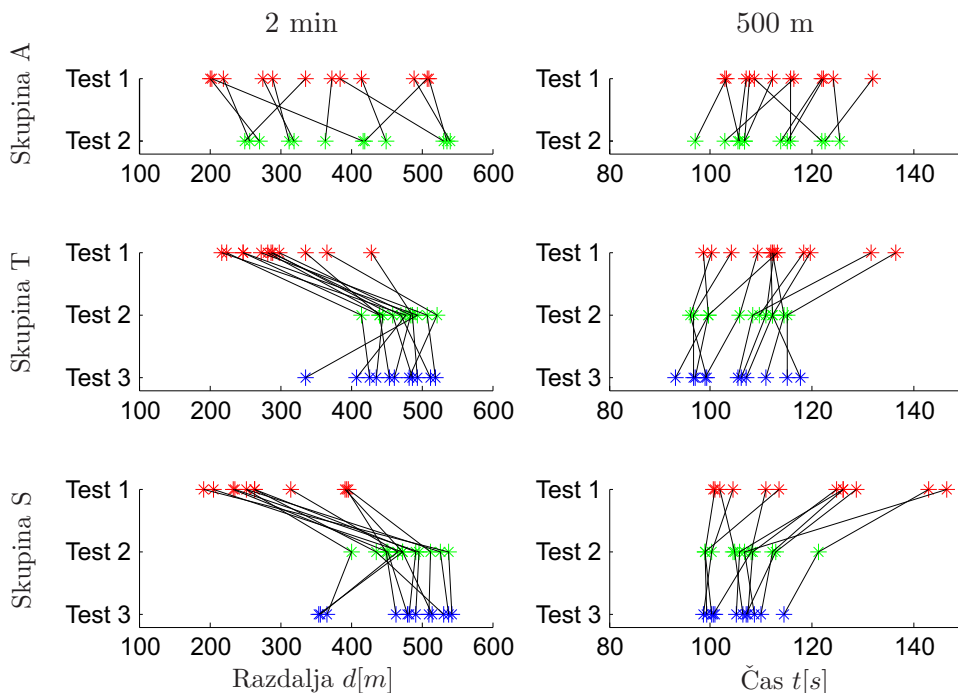
Udeleženec	Skupina A		Skupina T			Skupina S		
	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2	Test 3	Test 1	Test 2	Test 3
1	202	272	247	441	455	191	539	543
2	219	258	289	460	487	316	466	357
3	385	531	225	415	426	233	452	480
4	508	419	248	494	336	265	437	532
5	276	319	428	487	494	206	474	354
6	490	540	273	509	520	252	526	538
7	510	535	299	484	461	252	401	367
8	373	363	288	470	512	391	474	514
9	414	451	217	478	408	235	497	493
10	290	312	366	522	482	265	491	483
11	203	418	283	445	435	397	512	511
12	335	250	337	440		395	450	463
Povprečje	350	389	292	470	456	283	477	470
Mediana	354	391	286	474	461	259	474	488
SD	115	109	61	31	53	74	39	71

Tabela 7.16: Preveslana razdalja v metrih pri 2 minutnih testih s tempom 20 zaveslajev/minuto.

Na podlagi rezultatov lahko ugotovimo, da udeleženci skupine A niso osvojili veslaške tehnike, saj so napredovali zgolj 4 udeleženci (A1, A5, A10 in A11). Najmanjši napredek so naredili pri testu 2 min, kjer je bilo povprečno povečanje preveslane razdalje zgolj 35 m,

Udeleželec	Skupina A		Skupina T			Skupina S		
	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2	Test 3	Test 1	Test 2	Test 3
1	01:56,4	01:42,7	01:53,2	01:39,7	01:36,9	01:53,6	01:39,1	01:39,3
2	02:04,2	02:05,5	02:16,5	01:55,0	01:55,1	02:06,1	01:52,1	01:50,1
3	01:42,7	01:45,9	01:59,6	01:52,4	01:57,6	02:23,1	02:01,3	01:54,6
4	01:48,6	02:02,1	01:38,5	01:39,7	01:33,0	01:51,1	01:48,0	01:40,7
5	02:11,9	02:02,5	01:51,8	01:52,4	01:47,1	02:04,8	01:48,5	01:47,5
6	01:43,2	01:37,1	01:49,4	01:45,7	01:38,9	01:41,0	01:38,8	01:40,4
7	01:47,8	01:46,6	01:52,7	01:51,0	01:46,2	02:26,7	01:46,6	01:48,7
8	02:01,9	01:53,8	01:40,4	01:36,0	01:39,2	02:06,1	01:45,9	01:45,1
9	02:02,3	01:55,2	02:11,7	01:48,5	01:45,6	02:08,9	01:53,0	01:47,0
10	01:47,2	01:45,4	01:44,1	01:36,8	01:36,6	01:41,8	01:44,9	01:46,5
11	01:52,4	01:46,7	01:52,4	01:54,4	01:51,0	01:44,4	01:40,4	01:38,5
12	01:55,9	01:55,7	01:58,4	01:49,5		01:40,7	01:44,5	01:41,0
Povprečje	01:54,5	01:51,6	01:54,1	01:46,8	01:44,3	01:59,0	01:46,9	01:45,0
Mediana	01:54,2	01:50,3	01:52,6	01:49,0	01:45,6	01:59,2	01:46,3	01:45,8
SD	00:09,2	00:08,9	00:11,4	00:07,0	00:08,1	00:16,1	00:06,4	00:05,0

Tabela 7.17: Čas veslanja pri testih na 500 metrov.



Slika 7.10: Preveslana razdalja pri testu na 2 minuti (levo) in čas veslanja pri testu na 500 metrov (desno).

medtem ko sta skupini T in S napredovali občutno več (skupina T 178 m in skupina S 194 m). Pri skupinah S in T so v okviru testa 2 min napredovali vsi udeleženci, pri čemer je 5 udeležencev skupine A in 7 udeležencev skupine S napredovalo za več kot 200 m. Podobne

rezultate opazimo pri testu na 500 m.

Pri testu 3 so rezultati podobni rezultatom testa 2, pri čemer izstopata udeleženca T4 in S5, ki sta v okviru testa 2 min preveslala občutno manj metrov kot pri testu 2. Oba udeleženca sta pozabila na tehniko hitrega potega in počasnega povratka.

7.2.11 Komentarji udeležencev

Zebeležili smo komentarje, ki so jih med testi podali udeleženci:

Skupina A:

- Všeč mi je.
- Šel sem najbolje, kar sem pripravljen.

Skupina T:

- *T4 po T3-2min*: Zakaj me nisi opozoril na hiter poteg, počasi nazaj?
- Pobralo me je na koncu testa na 500 m. (*2-krat*)
- Zelo sem zadovoljen, poučno! (*3-krat*)
- Nisem si mislil, da delajo toliko roke.
- Zanimivo, premalo noge uporabljam.
- Veliko stvari je za misliti.
- Bolj zahtevno kot sem pričakoval.

Skupina S:

- *S5 po T3-2min*: Ups, pozabil sem na razdaljo.
- Super način učenja! (*8-krat*)
- Pri silah bi moral biti narisane še ritem. (*2-krat*)
- Pozabil sem na tehniko, ko sem šel na polno na 500 m.
- Po drugem testu sem bil kljub boljšemu rezultatu manj utrujen.
- Oblikovalsko bi lahko bila boljša grafika.

Komentarji kažejo na pozitivno uporabniško izkušnje udeležencev, ki so uporabljali sistem.

Poudariti velja, da se veliko udeležencev študije pozna med seboj. Vsi so bili naprošeni, da si med seboj ne razkrivajo podrobnosti študije. Velika večina udeležencev je bila zelo tekmovalna in so med seboj tekmovali in osebno primerjali rezultate.

7.3 Zaključek

V tem poglavju je predstavljena evalvacija učinkovitosti senzorno podprte vadbe veslanja. Uspešnost razvitega sistema smo ocenili s študijo napredka neizkušenih udeležencev in s primerjavo uspešnosti vadb brez nadzora, s trenerskim nadzorom in nadzorom z razvitim sistemom. Rezultati kažejo, da udeleženci brez nadzora med treningom niso napredovali, medtem ko so udeleženci pod nadzorom trenerja ali sistema med treningom napredovali in osvojili primerno tehniko veslanja. To pomeni, da smo z razvitim sistemom vadbe uporabniku uspešno posredovali povratno informacijo, ki jo je uspel pretvoriti v primerno gibanje in tehniko.

Analiza je pokazala, da so se vsi udeleženci v procesu treninga naučili nadzorovati tempo veslanja. Udeleženci, ki so trenirali brez nadzora, med treningom niso naredili napredka in dosegli referenčnih biomehanskih parametrov primerne veslaške tehnike, medtem ko je to udeležencem pod nadzorom trenerja ali sistema uspelo. Pri tem ni statističnih razlik v napredku med slednjima skupinama. V skupini, ki je trenirala pod nadzorom trenerja, so vsi razen treh udeležencev dosegli referenčne dolžine zavesljaja, v skupini, ki je trenirala pod nadzorom sistema, pa so jo dosegli vsi udeleženci. Pri naklonu trupa je bila spremenljivost rezultatov večja kot pri dolžini zavesljaja. Kljub temu rezultati kažejo, da so udeleženci pod nadzorom trenerja ali sistema s treningom izboljšali gibanje s trupom, a se je pri tem kriterij trenerja nekoliko razlikoval od referenčnega modela. Udeleženci pred začetkom učenja niso imeli ustreznega ritma veslanja, torej tehnike hitrega potega in počasnega povratka. Med treningom so udeleženci pod nadzorom trenerja ali sistema napredovali, vendar niso vsi dosegli referenčnih vrednosti. Analiza parametrov sil in dela je pokazala, da so udeleženci pod nadzorom po treningu dosegali večje sile in opravili več dela, hkrati so se razlike med testoma pri počasnem in hitrem tempu zmanjšale.

Analiza je pokazala, da je pri parametrih telesne drže, torej dolžini zavesljaja in naklonu trupa, učenje pod nadzorom sistema, ki je kvalitativno ocenjeval biomehanske podatke, doseglo boljše rezultate od učenja pod nadzorom trenerja, ki je subjektivno ocenjeval tehniko udeležencev.

Pri ponovitvenem testu brez nadzora je bila spremenljivost tehnike večja, a manjša kot pri testu pred učenjem. Nekaj udeležencev je sicer pozabilo na naučeno tehniko, kar se kaže predvsem pri ritmu, vendar je večina udeležencev ohranila pravilno tehniko.

V študiji so sodelovali samo prostovoljci moškega spola v omejenem strotnem obdobju. Potrebna je previdnost ob morebitnem posploševanju rezultatov in zaključkov, ki so pridobljeni na tej skupini, na oba spola in vsa starostna obdobja.

Študija je pokazala, da je senzorno podprto učenje tehnike veslanja lahko učinkovita alternativna metoda učenja in nadzora tehnike veslanja, ki lahko uspešno dopolnjuje tradicionalno metodo vadbe s trenerjem.

8. Zaključek

V prvem delu smo analizirali biomehanske parametre veslanja na simulatorju. Primerjali smo veslaške tehnike treh skupin z različno usposobljenimi veslači in analizirali njihovo odvisnost od tempa veslanja. Rezultati so pokazali, da elitni veslači uporabljajo podobno in konsistentno tehniko veslanja pri vseh tempih, tehnika klubskih veslačev jim je podobna, medtem ko se tehnika veslačev nepoznavalcev razlikuje in spreminja. Klubski veslači se od elitnih veslačev razlikujejo pri parametrih, ki so povezani z močjo in posledično intenzivnostjo veslanja. Pri največji in povprečni sili na opori za nogi, največji in povprečni sili na ročaju, delu in obremenitvi v sklepih so vrednosti manjše od vrednosti teh parametrov pri elitnih veslačih. Prav tako se oblika krivulje sile na ročaju klubskih veslačev razlikuje od elitne.

Tehnika veslačev nepoznavalcev se razlikuje od tehnike elitnih in klubskih veslačev in se bistveno spreminja glede na tempo. Dolžina zavesljaja je v primerjavi z elitnimi in klubskimi veslači krajša, sile so manjše, gibanje ročaja in telesna drža sta drugačna. Kljub temu, da se dolžina zavesljaja spreminja glede na tempo, pa je pri posameznem tempu konstantna. Veslači nepoznavalci ne spreminjajo razmerja faz zavesljaja, njihove največje in povprečne sile pa se povečajo s povišanjem tempa. Pri veslačih nepoznavalcih so razvidni pomanjkljiva tehnika in različni vzorci veslanja, njihova tehnika se spreminja s tempom. Pri konstantnem tempu je posameznikova tehnika konsistentna.

Glavna pomanjkljivost analize je modeliranje trupa veslača kot enega togega elementa. Ta poenostavitev se lahko odraža v napaki naklona trupa in v izračunu obremenitev v lumbosakralnem sklepu. Zaradi poenostavitve modela trupa z enim elementom se izgubi informacija o upogibu hrbtenice. Ta informacija je pomembna za pravilno sledenje in vodenje drža telesa, zato bi bilo model smiselno dopolniti. Rezultati, pridobljeni v tej analizi, kažejo vzorce gibanja ter razlike v naklonu trupa in v obremenitvah lumbosakralnega sklepa med skupinami različno izkušenih veslačev.

Ob predpostavki, da elitni veslači veslajo s primerno tehniko, smo vrednosti njihovih parametrov uporabili kot referenčne vrednosti. Na podlagi razlik od teh vrednosti smo ugotavljali nepravilnosti v tehnikah veslanja na simulatorju, ki se izražajo v slabi izvedbi. Parametri, ki so:

- odvisni od tempa veslanja (trajanje faz zavesljaja, največje in povprečne sile na opori za noge ter ročaju, delo, največje obremenitve v kolenu in lumbosakralnem sklepu),
- konstantni glede na tempo veslanja (dolžina zavesljaja, gibanje ročaja, naklon trupa, oblika krivulje sile na ročaju, trenutek nastopa največjih obremenitev v kolenu in lumbosakralnem sklepu),

določajo tip izkušenosti veslača in so bili uporabljeni v referenčnem modelu načrtovanega sistema za vadbo na simulatorju veslanja s sprotno povratno informacijo.

V drugem delu smo razvili referenčni model primerne tehnike. Ena izmed glavnih zahtev pri načrtovanju je bila, da lahko v realnem času zagotovimo referenčne vrednosti biomehanskih parametrov. Različne metode so bile uporabljene za posamezne biomehanske parametre glede na njihove značilnosti. Parametri so bili ustrezno normirani, tako da so referenčni modeli ustrezni ne glede na telesne značilnosti veslača.

Za modeliranje naklona trupa, naklona verige in položaja sedeža je bila uporabljena metoda mehke logike. Za modeliranje gibanja ročaja so bili uporabljeni nelinearni dinamični sistemi. Za določanje telesne drže in trajanje faz zavesljaja, referenčno območje za dolžino zavesljaja, maksimalne vrednosti naklona trupa in maksimalne vrednosti sil je bilo uporabljeno matematično modeliranje. Za določanje oblike krivulj sil je bil uporabljen Gaussov model posamezne točke vzorčenja.

V tretjem delu smo zasnovali koncept posredovanja sprotne povratne informacije, s katero se uporabnik uči tehnike veslanja na simulatorju. Informacije so sestavljene iz video povratne informacije, videomodeliranja in navodil za odpravljanje napak. Postopek vodi uporabnika preko treh stopenj učenja. Na podlagi primerjanja izmerjenih vrednosti biomehanskih parametrov z referenčnimi vrednostmi se znotraj vsake stopnje oblikujejo in posredujejo navodila. Stopnje so oblikovane nivojsko, kjer telesna drža predstavlja prvi novo, ritem drugi in sile tretji nivo. Sistem posreduje povratne informacije v realnem času in je v stalni povezavi z merilnim in referenčnim delom sistema za vadbo veslanja na simulatorju.

Rezultati, pridobljeni s simulacijo gibanja, so pokazali, da uporabniki razumejo prejeto povratno informacijo ter da so izbrani elementi za njeno posredovanje splošno razumljeni. Za doseganje boljšega razumevanja in rezultatov je bilo potrebno uporabnikom pred začetkom uporabe obrazložiti osnovne veslaške izraze, kot so začetek in konec zavesljaja ter fazi potega in povratka. Prav tako je priporočljivo, da se poda navodila o pomenu manj intuitivnih elementov posredovanih informacij, kot je na primer normirana oblika krivulja sile.

Na podlagi analize veslaške tehnike, referenčnih modelov in sistema posredovanja povratne informacije smo izdelali merilni sistem, ki zagotavlja podatke o sili potega z rokami, sili odriava z nogami, dolžini potega verige, položaju sedeža in naklonu zgornjega dela trupa. Edini senzor v merilnem sistemu, ki je nameščen na telesu veslača, je oprtnik z merilnimi markerji za merjenje naklona trupa.

Merilni sistem, skupaj z modulom referenčnih modelov in modulom za posredovanje povratne informacije, sestavlja sistem za senzorno podprto vadbo veslanja s sprotno povratno informacijo.

V sklepnem delu smo ocenili uspešnost razvitega sistema s študijo napredka neizkušenih udeležencev in s primerjavo uspešnosti vadb brez nadzora, z nadzorom trenerja in z nadzorom razvitega sistema. Rezultati so pokazali, da udeleženci brez nadzora med treningom niso napredovali, udeleženci pod nadzorom trenerja ali sistema pa so med treningom na-

predovali in osvojili primerno tehniko veslanja. Z razvitim sistemom vadbe smo uspešno posredovali povratno informacijo uporabniku, ki je to uspel pretvoriti v primerno gibanje in tako izboljšal tehniko. Udeleženci, ki so trenirali samostojno, se niso približali vrednostim referenčnih biomehanskih parametrov primerne veslaške tehnike, medtem ko je to uspelo udeležencem pod nadzorom trenerja ali sistema. Pri tem ni statističnih razlik v napredku med slednjima skupinama. Analiza je pokazala, da je učenje pri parametrih telesne drže, torej dolžini zavesljaja in naklonu trupa, kvalitetnejše pod nadzorom sistema, ki je kvalitativno ocenjeval biomehanske podatke, kot pod nadzorom trenerja, ki je subjektivno ocenjeval tehniko udeležencev. Študija napredka je pokazala, da je senzorno podprto učenje tehnike veslanja učinkovita alternativna metoda učenja in nadzora tehnike veslanja, ki lahko uspešno dopolnjuje tradicionalno metodo vadbe s trenerjem.

V študiji napredka so sodelovali samo prostovoljci moškega spola v omejenem starostnem obdobju. Potrebna je previdnost ob morebitnem posploševanju rezultatov in zaključkov, ki so pridobljeni na tej skupini, na oba spola in druga starostna obdobja. Napredek udeležencev pod nadzorom trenerja je odvisen od subjektivnega ocenjevanja trenerja. Kolikor bi pri študiji sodeloval drug trener ali več trenerjev bi bili lahko rezultati drugačni. Ena izmed pomanjkljivosti študije napredka je, da so imeli udeleženci zgolj razmeroma kratek trening učenja veslanja. Možna posledica kratkega treninga je, da pri ponovitvenem testu vadbe brez nadzora opazimo večjo spremenljivost tehnike. Nekaj udeležencev je pozabilo na naučeno, kar se kaže predvsem pri ritmu, vendar v splošnem udeleženci niso pozabili naučenega.

Kljub temu, da analiza različno izkušenih veslačev jasno kaže na razlike pri obremenitvah v sklepih in da so bili ravno ti parametri uporabljeni pri optimizaciji veslanja, uporabnikom razviti sistem ne posreduje povratne informacije o obremenitvah, ampak zgolj o gibanju in silah. Obremenitve so izračunane iz sil in gibanja, vendar bi morali predhodno preveriti, ali je uporabnikom informacija o obremenitvah razumljiva in ali so jo sposobni uporabiti za izboljšanje gibanja in tehnike.

Pri analizi smo ugotovili, da je morebitno odstopanje trajektorije ročaja posledica napačnega zaporedja gibanja segmentov telesa. Pozornost smo posvetili vzroku in ne posledici ter zaradi tehničnih omejitev izpustili merjenje naklona verige, ki vpliva na trajektorijo ročaja. Pri evalvaciji zato nismo mogli preveriti, ali je bila trajektorija verige ustrezna. Ena izmed glavnih pomanjkljivosti ostaja merjenje naklona trupa. V razvitem sistemu smo model trupa, ki je bil sestavljen iz enega segmenta, zamenjali z modelom trupa, ki je bil sestavljen iz dveh segmentov. Pri tem smo merili zgolj naklon zgornjega elementa in predpostavili, da se naklon trupa enakomerno porazdeli med oba dela trupa.

V knjigi je predstavljen razvoj in evalvacija sistema za vadbo na simulatorju veslanja s sprotno povratno informacijo. Pokazali smo, da je senzorno podprto učenje tehnike veslanja učinkovita alternativna metoda učenja in nadzora tehnike veslanja, ki lahko uspešno dopolnjuje tradicionalno metodo vadbe s trenerjem. Možnosti uporabe razvitega sistema so predvsem na področju rekreacijske vadbe, rehabilitacije in treniranja veslanja v veslaških

klubih.

Literatura

- [1] V. Nolte, *Rowing faster*. Human Kinetics Publishers, 2005.
- [2] E. Winchester, "Erg nation," *Rowing news*, vol. 9, no. 1, str. 6–7, 2002.
- [3] I. Čop, "Veslanje pozimi - popolna telesna vadba," nov. 2011.
- [4] K. Hase, M. Kaya, A. Zavatsky in S. Halliday, "Musculoskeletal loads in ergometer rowing," *Journal of Applied Biomechanics*, vol. 20, no. 3, str. 317–323, 2004.
- [5] J. Rumball, C. Lebrun, S. Ciacca in K. Orlando, "Rowing injuries," *Sports Medicine*, vol. 35, no. 6, str. 537–555, 2005.
- [6] K. Hase, B. Andrews, A. Zavatsky in S. Halliday, "Biomechanics of rowing," *JSME International Journal Series C*, vol. 45, no. 4, str. 1082–1092, 2002.
- [7] J. Henry, R. Clark, R. McCabe in R. Vanderby, "An evaluation of instrumented tank rowing for objective assessment of rowing performance," *Journal of Sports Sciences*, vol. 13, no. 3, str. 199–206, 1995.
- [8] D. MacFarlane, I. Edmond in A. Walmsley, "Instrumentation of an ergometer to monitor the reliability of rowing performance," *Journal of Sports Sciences*, vol. 15, no. 2, str. 167–173, 1997.
- [9] A. Buttfield, K. Ball, C. MacMahon, D. Farrow *et al.*, "The use of motor learning in biomechanics: a call for more collaboration," v *Inaugural Conference of the Australasian Skill Acquisition Research Group*, vol. 40, str. 603–615, 2007.
- [10] S. Redgrave, *Steven Redgrave's complete book of rowing*. Partridge Press, 1995.
- [11] V. Kleshnev, "Q&A," *Rowing biomechanics newsletter*, vol. 3, no. 3, 2003.
- [12] A. McGregor, A. Bull in R. Byng-Maddick, "A comparison of rowing technique at different stroke rates: a description of sequencing, force production and kinematics," *International journal of Sports Medicine*, vol. 25, no. 6, str. 465–470, 2004.
- [13] E. Rosow, "A comparative study of rowing biomechanics," v *Proceedings of the IEEE Seventeenth Annual Northeast Bioengineering Conference*, str. 271–272, 1991.
- [14] D. Hawkins, "A new instrumentation system for training rowers," *Journal of Biomechanics*, vol. 33, no. 2, str. 241–245, 2000.
- [15] P. Pudlo, A. Pinti in F. Lepoutre, "Experimental laboratory apparatus to analyze kinematics and 3D kinetics in rowing," *Sports Engineering*, vol. 8, no. 1, str. 39–46, 2005.
- [16] P. Page in D. Hawkins, "A real-time biomechanical feedback system for training rowers," *Sports Engineering*, vol. 6, no. 2, str. 67–79, 2003.
- [17] A. Baca in P. Kornfeind, "A feedback system for coordination training in double rowing," *The Engineering of Sport*, vol. 7, str. 659–668, 2008.
- [18] S. Fothergill, "Examining the effect of real-time visual feedback on the quality of rowing technique," *Procedia Engineering*, vol. 2, no. 2, str. 3083–3088, 2010.
- [19] T. Černe, *Biomehanika veslanja na simulatorju*. Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, 2010.
- [20] A. Barbiš, *Sistem za merjenje kinematike gibanja pri veslanju na ergometru*. Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, 2012.
- [21] G. Box in N. Draper, *Empirical model-building and response surfaces*. John Wiley & Sons, 1987.

- [22] D. Davy in M. Audu, "A dynamic optimization technique for predicting muscle forces in the swing phase of gait," *Journal of Biomechanics*, vol. 20, no. 2, str. 187–201, 1987.
- [23] J. Kuželički, *Optimalne trajektorije vstajanja*. Doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, 2003.
- [24] L. Consiglieri in E. Pires, "An analytical model for the ergometer rowing: inverse multibody dynamics analysis," *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, vol. 12, no. 4, str. 469–479, 2009.
- [25] A. Panjkota, I. Stančič in T. Šupuk, "A fuzzy qualitative framework for indoor rowing kinematics analysis," *WSEAS Transactions on Signal Processing*, vol. 5, no. 8, str. 304–313, 2009.
- [26] A. Ritchie, "Dynamic modeling of ergometer and on-water rowing," *Sports Technology*, vol. 1, no. 2-3, str. 110–116, 2008.
- [27] F. H. Alexander, "The theory of rowing," v *Proceedings of the University of Durham Philosophical Society*, str. 160–179, 1925.
- [28] D. Pope, "On the dynamics of men and boats and oars," *Mechanics and sport*, vol. 4, str. 113–130, 1973.
- [29] D. Cabrera, A. Ruina in V. Kleshnev, "A simple 1+ dimensional model of rowing mimics observed forces and motions," *Human Movement Science*, vol. 25, no. 2, str. 192–220, 2006.
- [30] R. Schmidt in C. Wrisberg, *Motor learning and performance: a situation-based learning approach*. Human Kinetics Publishers, 2008.
- [31] K. Mononen, *The effects of augmented feedback on motor skill learning in shooting: A feedback training intervention among inexperienced rifle shooters*. University of Jyväskylä, 2007.
- [32] R. A. Schmidt in T. D. Lee, *Motor Control and Learning-4th: A Behavioral Emphasis*. Human Kinetics Publishers, 2005.
- [33] K. Newell, "Motor skill acquisition," *Annual review of psychology*, vol. 42, no. 1, str. 213–237, 1991.
- [34] A. Hazen, C. Johnstone, G. Martin in S. Srikameswaran, "A videotaping feedback package for improving skills of youth competitive swimmers," *The Sport Psychologist*, vol. 4, no. 3, str. 213–237, 1990.
- [35] S. K. Harle in J. N. Vickers, "Training quick eye improves accuracy in the basketball free throw," *The Sport psychologist*, vol. 15, str. 289–305, 2001.
- [36] S. SooHoo, K. Y. Takemoto in P. McCullagh, "A comparison of modeling and imagery on the performance of a motor skill," *Journal of Sport Behavior*, vol. 27, no. 4, str. 349–366, 2004.
- [37] M. S. Boschker in F. C. BARKER, "Inexperienced sport climbers might perceive and utilize new opportunities for action by merely observing a model," *Perceptual and motor skills*, vol. 95, no. 1, str. 3–9, 2002.
- [38] M. L. Winfrey in D. L. Weeks, "Effects of self-modeling on self-efficacy and balance beam performance," *Perceptual and motor skills*, vol. 77, no. 3, str. 907–913, 1993.
- [39] D. L. Eaves, G. Breslin, P. Van Schaik, E. Robinson in I. R. Spears, "The short-term effects of real-time virtual reality feedback on motor learning in dance," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 20, no. 1, str. 62–77, 2011.
- [40] E. Boyer, R. G. Miltenberger, C. Batsche in V. Fogel, "Video modeling by experts with video feedback to enhance gymnastics skills," *Journal of applied behavior analysis*, vol. 42, no. 4, str. 855, 2009.
- [41] R. Rikli in G. Smith, "Videotape feedback effects on tennis serving form," *Perceptual and Motor skills*, vol. 50, no. 3, str. 895–901, 1980.
- [42] R. A. Magill, C. J. Chamberlin in K. G. Hall, "Verbal knowledge of results as redundant information for learning an anticipation timing skill," *Human Movement Science*, vol. 10, no. 4, str. 485–507, 1991.
- [43] D. L. Weeks in R. N. Kordus, "Relative frequency of knowledge of performance and motor skill learning," *Research quarterly for exercise and sport*, vol. 69, no. 3, str. 224–230, 1998.

- [44] C. J. Winstein in R. A. Schmidt, "Reduced frequency of knowledge of results enhances motor skill learning," *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, vol. 16, no. 4, str. 677–691, 1990.
- [45] R. M. Kohl in M. A. Guadagnoli, "The scheduling of knowledge of results," *Journal of motor behavior*, vol. 28, no. 3, str. 233–240, 1996.
- [46] Q. Lai in C. H. Shea, "The role of reduced frequency of knowledge of results during constant practice," *Research quarterly for exercise and sport*, vol. 70, no. 1, str. 33–40, 1999.
- [47] G. Wulf, M. Hörger in C. H. Shea, "Benefits of blocked over serial feedback on complex motor skill learning," *Journal of motor behavior*, vol. 31, no. 1, str. 95–103, 1999.
- [48] G. Wulf in C. H. Shea, "Principles derived from the study of simple skills do not generalize to complex skill learning," *Psychonomic Bulletin & Review*, vol. 9, no. 2, str. 185–211, 2002.
- [49] G. Wulf, C. H. Shea in S. Matschiner, "Frequent feedback enhances complex motor skill learning," *Journal of Motor Behavior*, vol. 30, no. 2, str. 180–192, 1998.
- [50] A. W. Salmoni, R. A. Schmidt in C. B. Walter, "Knowledge of results and motor learning: a review and critical reappraisal," *Psychological bulletin*, vol. 95, no. 3, str. 355–386, 1984.
- [51] R. Sigrist, J. Schellenberg, G. Rauter, S. Broggi, R. Riener in P. Wolf, "Visual and auditory augmented concurrent feedback in a complex motor task," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 20, no. 1, str. 15–32, 2011.
- [52] L. Baudry, D. Leroy, R. Thouvenecq in D. Chollet, "Auditory concurrent feedback benefits on the circle performed in gymnastics," *Journal of sports sciences*, vol. 24, no. 2, str. 149–156, 2006.
- [53] J. P. Broker, R. J. Gregor in R. A. Schmidt, "Extrinsic feedback and the learning of kinetic patterns in cycling," *Journal of Applied Biomechanics*, vol. 9, no. 2, str. 111–123, 1993.
- [54] D. Chollet, J. Micallef in P. Rabischong, *Swimming science V, poglavje Biomechanical signals for external biofeedback to improve swimming techniques*. 1988.
- [55] M. Eriksson, K. A. Halvorsen in L. Gullstrand, "Immediate effect of visual and auditory feedback to control the running mechanics of well-trained athletes," *Journal of Sports Sciences*, vol. 29, no. 3, str. 253–262, 2011.
- [56] G. M. Gauthier, "Visually and acoustically augmented performance feedback as an aid in motor control learning: a study of selected components of the rowing action," *Journal of sports sciences*, vol. 3, no. 1, str. 3–26, 1985.
- [57] B. McLean in M. Lafortune, "Improving pedalling technique with 'real-time' biomechanical feedback," *Excel*, vol. 5, no. 1, str. 15–18, 1988.
- [58] D. J. Sanderson in P. R. Cavanagh, "Use of augmented feedback for the modification of the pedaling mechanics of cyclists," *Canadian Journal of Sport Sciences*, vol. 15, no. 1, str. 38–42, 1990.
- [59] W. Spinks in R. Smith, "The effects of kinetic information feedback on maximal rowing performance," *Journal of Human Movement Studies*, vol. 27, no. 1, str. 17–36, 1994.
- [60] R. A. Schmidt in G. Wulf, "Continuous concurrent feedback degrades skill learning: Implications for training and simulation," *Human Factors*, vol. 39, no. 4, str. 509–525, 1997.
- [61] D. W. Vander Linden, J. H. Cauraugh in T. A. Greene, "The effect of frequency of kinetic feedback on learning an isometric force production task in nondisabled subjects," *Physical Therapy*, vol. 73, no. 2, str. 79–87, 1993.
- [62] R. A. Schmidt, C. Lange in D. E. Young, "Optimizing summary knowledge of results for skill learning," *Human Movement Science*, vol. 9, no. 3, str. 325–348, 1990.
- [63] S. P. Swinnen, R. A. Schmidt, D. E. Nicholson in D. C. Shapiro, "Information feedback for skill acquisition: Instantaneous knowledge of results degrades learning," *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, vol. 16, no. 4, str. 706, 1990.
- [64] S. P. Swinnen, T. D. Lee, S. Verschueren, D. J. Serrien in H. Bogaerds, "Interlimb coordination: Learning and transfer under different feedback conditions," *Human movement science*, vol. 16, no. 6, str. 749–785, 1997.

- [65] F. S. Daniels in D. M. Landers, "Biofeedback and shooting performance: A test of disregulation and systems theory," *Journal of Sport Psychology*, vol. 3, no. 4, str. 271–282, 1981.
- [66] K. B. Fredenburg, A. M. Lee in M. Solmon, "The effects of augmented feedback on students' perceptions and performance," *Research Quarterly for Exercise and Sport*, vol. 72, no. 3, str. 232–242, 2001.
- [67] D. R. Mestre, C. Maïano, V. Dagonneau in C.-S. Mercier, "Does virtual reality enhance exercise performance, enjoyment, and dissociation? an exploratory study on a stationary bike apparatus," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 20, no. 1, str. 1–14, 2011.
- [68] V. Kruger, D. Herzog, S. Baby, A. Ude in D. Kragic, "Learning actions from observations," *Robotics & Automation Magazine, IEEE*, vol. 17, no. 2, str. 30–43, 2010.
- [69] S. Schaal in C. Atkeson, "Learning control in robotics," *Robotics Automation Magazine, IEEE*, vol. 17, no. 2, str. 20–29, 2010.
- [70] K. Astrom in B. Wittenmark, *Adaptive control*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., 1994.
- [71] M. Guadagnoli in R. Kohl, "Knowledge of results for motor learning: relationship between error estimation and knowledge of results frequency," *Journal of Motor Behaviour*, vol. 33, no. 2, str. 217–224, 2001.
- [72] D. Anderson, R. Magill in H. Sekiya, "Motor learning as a function of KR schedule and characteristics of task-intrinsic feedback," *Journal of Motor Behavior*, vol. 33, no. 1, str. 59–66, 2001.
- [73] P. Zanone in J. Kelso, "Evolution of behavioral attractors with learning: Nonequilibrium phase transitions," *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, vol. 18, no. 2, str. 403–421, 1992.
- [74] G. Darden, "Demonstrating motor skills-rethinking that expert demonstration," *Journal of Physical Education Recreation and Dance*, vol. 68, no. 6, str. 31–35, 1997.
- [75] R. Semmler, "Variabilität sportlicher bewegungen. Eine studie am beispiel des wasserspringens," *Sportwissenschaft*, vol. 31, no. 1, str. 61–71, 2001.
- [76] G. Tzetzis, K. Mantis, E. Zachopoulou in E. Kioumourtzoglou, "The effect of modeling and verbal feedback on skill learning," *Journal of Human Movement Studies*, vol. 36, no. 3, str. 137–151, 1999.
- [77] E. Williams in D. Tannehill, "Effects of a multimedia performance principle training program on correct analysis and diagnosis of throw-like movements," *Physical Educator Indianapolis*, vol. 56, no. 3, str. 143–15, 1999.
- [78] E. Ruffaldi, A. Filippeschi, C. A. Avizzano, B. Bardy, D. Gopher in M. Bergamasco, "Feedback, affordances, and accelerators for training sports in virtual environments," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 20, no. 1, str. 33–46, 2011.
- [79] C. M. Janelle, D. A. Barba, S. G. Frehlich, L. K. Tennant in J. H. Cauraugh, "Maximizing performance feedback effectiveness through videotape replay and a self-controlled learning environment," *Research Quarterly for Exercise and Sport*, vol. 68, no. 4, str. 269–279, 1997.
- [80] M. W. Kernodle in L. G. Carlton, "Information feedback and the learning of multiple-degree-of-freedom activities," *Journal of motor behavior*, vol. 24, no. 2, str. 187–195, 1992.
- [81] D. Landin in G. Macdonald, "Improving the overheads of collegiate tennis players," *The Applied Research in Coaching and Athletics Annual*, vol. 5, str. 135–146, 1990.
- [82] J. A. Rucci in P. D. Tomporowski, "Three types of kinematic feedback and the execution of the hang power clean," *The Journal of Strength & Conditioning Research*, vol. 24, no. 3, str. 771–778, 2010.
- [83] *The Visual Feedback System (VFS)*. Produkt, Active Tools, Feb. 2012.
- [84] C. Soper, P. Hume, D. Reid in R. Tonks, "The effectiveness of the goggles training system as a coaching tool in changing pelvis angle at the catch during on water rowing," v *20 International Symposium on Biomechanics in Sports*, vol. 1, str. 271–274, 2002.
- [85] *SPRINT - Skills Professional Rowing IN-door Trainer*. European skills project, Feb. 2012.

- [86] J. N. Cohn, *Quantitative exercise testing for the cardiac patient*, vol. 76. Amer. heart assoc. Dallas, 1987.
- [87] M. Hafner, "Laktatni prag," jun. 2010.
- [88] P. Sturek, A. Podobnik in N. Gogala, *Biologija 1: Celica*. DZS, 1997.
- [89] J. Lorencin, "Kako izračunati srčni utrip," jun. 2010.
- [90] ExRx.net, "Aerobic exercise prescription components," jun. 2015.
- [91] J. Lorencin, "Aerobno in anaerobno področje vadbe," jun. 2010.
- [92] E. L. Fox, R. W. Bowers in M. L. Foss, *The physiological basis of physical education and athletics*. William C Brown Pub, 1989.
- [93] T. Černe, R. Kamnik in M. Munih, "The measurement setup for real-time biomechanical analysis of rowing on an ergometer," *Measurement*, vol. 44, no. 10, str. 1819 – 1827, 2011.
- [94] T. R. Kane in D. A. Levinson, *Dynamics, theory and applications*. McGraw Hill, 1985.
- [95] R. Kamnik, *Biomehanika - mehanika živih sistemov*. Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, 2005.
- [96] R. Kamnik, *Inverzna Newton-Eulerjeva dinamična analiza*. Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, 2006.
- [97] R. Kamnik, *Analiza sil na človeka v mirovanju*. Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, 2006.
- [98] D. Hahn, A. Schwirtz in A. Huber, "Anthropometric standardisation of multiarticular leg extension movements: A theoretical study," *Isokinetics and exercise science*, vol. 13, no. 2, str. 95–101, 2005.
- [99] J. Cohen, "Eta-squared and partial eta-squared in fixed factor anova designs," *Educational and Psychological Measurement*, 1973.
- [100] D. Novak, J. Zihlerl, A. Olensek, M. Milavec, J. Podobnik, M. Mihelj in M. Munih, "Psychophysiological responses to robotic rehabilitation tasks in stroke," *Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on*, vol. 18, no. 4, str. 351–361, 2010.
- [101] M. Negnevitsky, *Artificial intelligence: a guide to intelligent systems*. Pearson Education, 2005.
- [102] D. H. Lamb, "A kinematic comparison of ergometer and on-water rowing," *The American journal of sports medicine*, vol. 17, no. 3, str. 367–373, 1989.
- [103] A. Gams, A. J. Ijspeert, S. Schaal in J. Lenarčič, "On-line learning and modulation of periodic movements with nonlinear dynamical systems," *Autonomous robots*, vol. 27, no. 1, str. 3–23, 2009.
- [104] T. Petrič, A. Gams, A. J. Ijspeert in L. Žlajpah, "On-line frequency adaptation and movement imitation for rhythmic robotic tasks," *The International Journal of Robotics Research*, vol. 30, no. 14, str. 1775–1788, 2011.
- [105] A. Gams, T. Petrič, L. Žlajpah in A. Ude, "Optimizing parameters of trajectory representation for movement generalization: robotic throwing," v *International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region (RAAD)*, str. 161–166, IEEE, 2010.
- [106] A. J. Ijspeert, J. Nakanishi in S. Schaal, "Movement imitation with nonlinear dynamical systems in humanoid robots," v *International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, vol. 2, str. 1398–1403, IEEE, 2002.
- [107] A. J. Ijspeert, J. Nakanishi in S. Schaal, "Learning rhythmic movements by demonstration using nonlinear oscillators," v *International conference on intelligent robots and systems (IROS)*, str. 958–963, 2002.
- [108] P. De Leva, "Adjustments to zatsiorsky-seluyanov's segment inertia parameters," *Journal of biomechanics*, vol. 29, no. 9, str. 1223–1230, 1996.
- [109] A. Cooper in P. Saffo, *The inmates are running the asylum*. Sams, 2004.
- [110] T. Koritnik, T. Bajd in M. Munih, "Virtual environment for lower-extremities training," *Gait & posture*, vol. 27, no. 2, str. 323–330, 2008.

- [111] R. Davoodi, C. Urata, M. Hauschild, M. Khachani in G. E. Loeb, “Model-based development of neural prostheses for movement,” *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 54, no. 11, str. 1909–1918, 2007.
- [112] R. Davoodi in G. E. Loeb, “Development of a physics-based target shooting game to train amputee users of multijoint upper limb prostheses,” *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 21, no. 1, str. 85–95, 2012.
- [113] R. Davoodi in G. E. Loeb, “Real-time animation software for customized training to use motor prosthetic systems,” *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 20, no. 2, str. 134–142, 2012.

Zahvala

Raziskovalno delo je bilo izvedeno pod mentorstvom prof. dr. Romana Kamnika. Za konstruktivne diskusije in pomoč pri raziskovalnem delu se zahvaljujem vsem članom Laboratorija za robotiko Fakultete za elektrotehniko Univerze v Ljubljani in sodelavcem v podjetju Alpineon, d.o.o..

Za številne diskusije o veslanju se zahvaljujem dr. Gregorju Geršaku, za sodelovanje in podporo pa Veslaški zvezi Slovenije, Veslaškem klubu Bled in Veslaškem klubu Ljubljana.

Zahvaljujem se tudi prof. dr. Gerald Eli Loebu in dr. Rahman Davoodiju za mentorstvo med raziskovalno izmenjavo na Univerzi Južne Kalifornije (USC).

Posebna zahvala gre vsem sodelujočim pri izvedbi meritev.

Raziskovalno delo je bilo deloma izvedeno v okviru programa "Mladi raziskovalci iz gospodarstva – generacija 2010", ki je potekalo v okviru: Operativnega programa razvoja človeških virov za obdobje 2007 – 2013, 1. razvojne prioritete: Spodbujanje podjetništva in prilagodljivosti, prednostna usmeritev 1.1.: Strokovnjaki in raziskovalci za konkurenčnost podjetij.



Simulator veslanja omogoča učinkovito rekreativno vadbo ljudem vseh starosti. Veslač mora za učinkovito veslanje obvladovati tehniko, ritem in moč. Simulatorji veslanja se nahajajo v večini telovadnic in fitness centrov, vendar večina uporabnikov ni deležna ustrezne predstavitve tehnike veslanja in nadzora vadbe. Študije so pokazale, da veslači začetniki uporabljajo simulatorje s pomembnimi razlikami v tehniki, in opozorile, da lahko nepravilna tehnika pri veslačih povzroči telesne poškodbe. Zato je pomembno, da se začetniki pred uporabo simulatorjev naučijo primerne tehnike.

Brezplačna e-knjiga.
Ni namenjena prodaji.

