

# Merjenja v veslanju

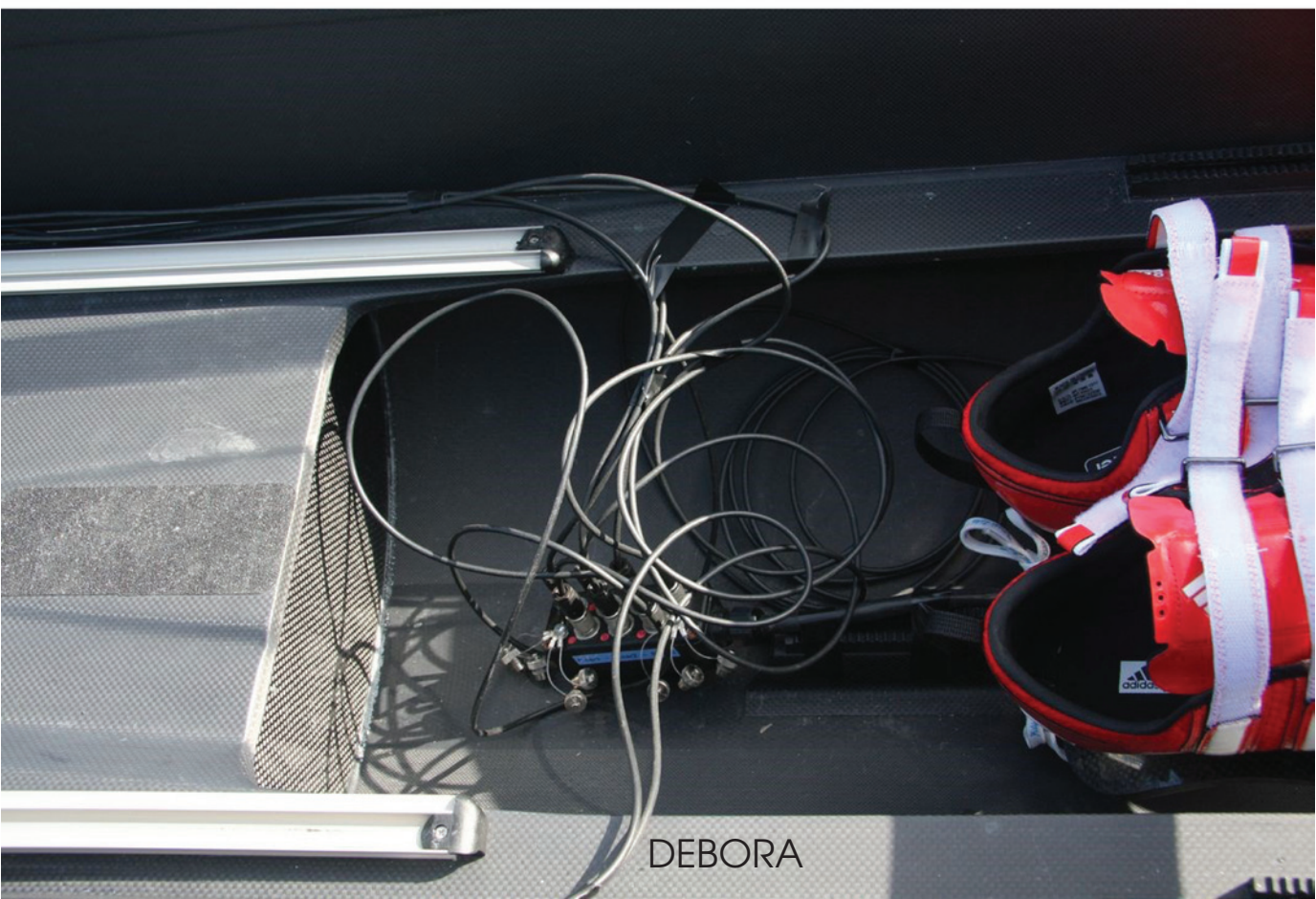
Gregor Geršak  
Tomaž Černe  
Roman Kamnik

# Merjenja v veslanju

Gregor Geršak

Tomaž Černe

Roman Kamnik



DEBORA

# MERJENJA V VESLANJU

Avtorji: dr. Gregor Geršak, dr. Tomaž Černe, dr. Roman Kamnik

Avtor predgovora: Jernej Slivnik

Recenzenta: izr. prof. dr. Vladimir Meglič, izr. prof. dr. Peter Fajfar

© 2015, DEBORA

Izdala in založila: DEBORA, Ljubljana

Za založbo: Janislav Peter Tacol

Avtor fotografij: Aleš Lindič

Avtorji skic, grafov: Gregor Geršak, Tomaž Černe, Aleš Lindič

Lektor: Matevž Caserman

Oblikovalec notranjosti: Gregor Geršak

Oblikovalec naslovnice: Gregor Geršak

Format elektronske knjige: pdf

1. elektronska izdaja

Objavljeno na spletni strani [www.debora.si](http://www.debora.si).

Brezplačna elektronska knjiga.

Ljubljana, 2015

CIP - Kataložni zapis o publikaciji

Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

531.1:797.12(0.034.2)

GERŠAK, Gregor

Merjenja v veslanju [Elektronski vir] / Gregor Geršak, Tomaž Černe, Roman Kamnik ; avtor predgovora Jernej Slivnik ; avtor fotografij Aleš Lindič ; avtorji skic, grafov Gregor Geršak, Tomaž Černe, Aleš Lindič.

- 1. elektronska izd. - El. knjiga. - Ljubljana : Debora, 2015

ISBN 978-961-6525-86-2 (pdf)

1. Černe, Tomaž, 1982- 2. Kamnik, Roman

280937728



## Merjenja v veslanju

Veslanje lahko definiramo kot poganjanje čolna s silo mišic enega ali več veslačev, ki uporabljajo vesla kot enostavne vzvode in sedijo s hrbti, obrnjenimi v smeri vožnje. Veslanje je biomehansko izrazito kompleksno gibanje, ki je inherentno neprestano kombinirano z veslačevo fiziologijo, veslačevo psihološko pripravo in optimalnostjo trenajnega procesa ter interakcijo z veslaško opremo (čoln, vesla). Taka kompleksnost je izredno zanimiva za znanstveno-raziskovalno delo, hkrati pa omogoča neprestani napredek v hitrosti čolnov.

Veslaška zveza Slovenije izrazito podpira sodelovanje znanosti z veslanjem. Podpira sodelovanje slovenskih znanstveno-raziskovalnih institucij z veslaškimi klubi, saj je veličastna zgodovina slovenskih veslaških uspehov tudi v preteklosti temeljila na izsledkih raziskav tujih in domačih inštitucij.

Knjiga *Merjenja v veslanju* veslanje preučuje z biomehanskega vidika in to ločeno na ergometru in v čolnu. Predstavlja nekaj zaključkov, ki bodo morda dobra osnova za prihodnji napredek veslaškega športa v Sloveniji.

Jernej Slivnik, sekretar Veslaške zveze Slovenije



avgust, 2015

# POVZETEK

Veslanje je učinkovita telesna vadba, ki zahteva pravilno in usklajeno delovanje večine mišično skeletnega sistema. Vadba veslanja običajno poteka na vodi, ob neprimernih vremenskih pogojih pa na simulatorjih. Ti so v vrhunskem športu priznan in uveljavljen način treniranja in izvajanja testiranj pripravljenosti.

Četudi je veslač vrhunsko fizično pripravljen in je njegova veslaška tehnika na videz brezhibna, to še ne zagotavlja dobrega rezultata. Ker pa trenerjevo oko, veslačev subjektivni občutek in štoparica niso edino merilo za učinkovitost veslanja in posledično visoko povprečno hitrost čolna, še posebno kadar je v istem čolnu več veslačev, se je kmalu začel razvoj in razširila uporaba merilnih sistemov, ki beležijo različne biomehanske parametre veslanja. Poleg hitrosti in pospeška čolna so glavni parametri sila na veslo, sila na nožnik, koti vesla, dolžina premika sedeža, itd. S pomočjo takih sistemov lahko danes veslač spremlja hitrost svojega čolna in optimizira veslanje za maksimiranje hitrosti in minimiziranje vložka moči.

Pričujoče delo predstavlja sodobne merilne naprave za športno vadbo, ki omogočajo analizo veslaške tehnike, načrtanje napotkov veslačem za izboljšanje tehnike in optimizacijo učinkovitosti zavesljaja na ergometru in v čolnu. Delo obravnava dva sklopa merilnih sistemov: merilne sisteme, ki se uporabljajo za analizo gibanja in fizikalnih veličin na veslaškem simulatorju, in merilne sisteme, ki se uporabljajo za merjenja v čolnu. Posebno poglavje obravnava tudi merilne napake, ki jih pri meritvi naredimo, in uvede koncept merilne negotovosti.

Predstavljeni so sistemi za merjenje biomehanskih parametrov in in primerjalno študijo, v kateri je sodelovalo deset prostovoljcev, pet nepoznavalcev in pet poznavalcev veslanja. Rezultati študije kažejo, da je tehnika veslanja, predvsem vzorec kinematike gibanj in obremenitev v sklepih, pri poznavalcih podobna in konsistentna pri različnih tempih. Pri nepoznavalcih so razvidni različni vzorci veslanja, ki se s tempom spreminjajo.

V nadaljevanju je predstavljena instrumentalizacija veslaškega čolna. Navedeni so tipični biomehanski parametri za opisovanje učinkovitosti zavesljaja veslača in veslaške

## Merjenja v veslanju

ekipe. Predstavljeni so merilni sistemi za merjenje hitrosti in pospeškov čolna, sile na vesla in objemke vesel ter sile odriva nog, merjenje položaja premičnega sedeža in navpičnih in vodoravnih kotov vesla. Prikazane so možnosti interpretacije veslaške tehnike in ugotavljanja optimalnosti veslačevih profilov sil in hitrosti, hkrati pa tudi študij usklajenosti posameznih veslačev znotraj večjih veslaških posadk.

**KLJUČNE BESEDE:** biomehanika veslanja, simulator veslanja, instrumentaliziran čoln, multiparamtrični merilni sistem, merilna negotovost

# ABSTRACT

Rowing is an effective physical exercise, which demands correct and concerted cooperation of almost the whole muscular skeletal system. In unsuitable weather conditions the training is conducted on simulators, which are an acknowledged and established way of training and carrying out physical fitness tests in professional sports.

Even though the athlete is in top physical condition and her/his rowing technique seems to be perfect, this does not ensure a great sport result. The expert eye of the rowing coach, the rower's subjective feeling and a stopwatch are not the only measure for evaluation of the stroke efficiency and high mean boat velocity anymore, especially when more rowers sit in the same boat. This was the reason that measuring systems were designed and spread in the rowing community, measuring different biomechanical parameters of rowing. Along the boat speed and acceleration the main parameters of interest are force on the oar blade, shaft or handle, leg force on the footstrecher, angles of the oar, seat position length, etc. Using such systems every rower can monitor the speed of her/his boat and can optimise hers/his rowing profiles to maximise the boat velocity and minimise the input power at the same time.

This book describes modern measuring devices, enabling analysis of rowing techniques, planning of guidelines and recommendations to the rowers for a more optimal efficiency of the stroke. There are two main parts of the book: the first part describing a measuring system used for movement analysis and measurement of different biomechanical quantities on rowing simulator, and the second part describing portable measuring systems used in the boat. Additional chapter is included, dealing with measurement errors and measuring uncertainty of measurements in rowing.

Systems for measuring biomechanical parameters are presented. Ten healthy volunteers, five novices and five experts, members of the Slovenian National rowing team, participated in a research study. The results of the study showed that experts use a similar and consistent rowing technique, with similar pattern of movement kinematics and joint loads, even at different tempos. On the other hand, the pattern in novices is more variable.

In the second part of the book instrumentalization of a rowing boat is presented. Typical biomechanical parameters for evaluation of stroke efficiency of the rower or of



the crew are listed. Measuring systems for boat velocity and acceleration, force on the oar, leg force, vertical and horizontal oar angles and displacement of the sliding seat are presented. Studies are presented, where interpretation of the rowing techniques, evaluation of optimality of the force and velocity temporal profiles of a single rower or of rowers within a larger crew is possible.

**KEY WORDS:** Biomechanics of rowing, rowing simulator, instrumented rowing boat, multiparameter measuring system, measuring uncertainty.

# KAZALO VSEBINE

POVZETEK.....	1
ABSTRACT.....	3
1. UVOD.....	10
2. OSNOVE VESLANJA.....	15
2.1. Biomehanika veslanja .....	16
2.2. Učinkovitost veslanja .....	18
2.3. Biomehanika veslanja v čolnu .....	19
2.4. Zavesljaj.....	21
2.5. Nastavitve čolna .....	23
2.6. Razlike med merjenji na ergometru in na vodi .....	24
3. MERJENJA NA ERGOMETRU .....	26
3.1.1. Sistemi za merjenje študije veslanja na ergometru .....	26
3.1.2. Merjenje kinematičnih parametrov z optičnimi sistemi .....	31
3.1.3. Veslanje na ergometru kot rehabilitacija .....	32
3.2. Metodologija meritev in analize podatkov .....	33
3.2.1. Protokol študije.....	34
3.2.2. Obdelava izmerjenih podatkov.....	36
3.3. Interpretacija rezultatov sistema za analizo na ergometru .....	42
3.3.1. Dolžina zavesljaja .....	42
3.3.2. Trajanje faz zavesljaja .....	45
3.3.3. Primerjava sil na opori za noge in sil na ročaju.....	47
3.3.4. Opravljeno mehansko delo.....	52
3.3.5. Trajektorija gibanja ročaja .....	53
3.3.6. Koti segmentov telesa med zavesljajem .....	55
3.3.7. Obremenitve v sklepih .....	58
4. MERJENJA V ČOLNU.....	68
4.1. Merjenje parametrov v čolnu .....	69
4.1.1. Gibanje vesla .....	69
4.1.2. Sila na veslih .....	70
4.1.3. Hitrost in vedenje čolna .....	71
4.1.4. Sila nog .....	72
4.1.5. Drugi kinetični parametri.....	73
4.2. Merjenje hitrosti.....	77
4.2.1. Merjenje hitrosti z impelerjem.....	77

## Merjenja v veslanju

4.2.2.	Merjenje hitrosti z GNSS sistemom .....	78
4.2.3.	Parametri hitrosti .....	79
4.3.	Merjenje sile .....	80
4.3.1.	Merjenje sile na lopati .....	80
4.3.2.	Merjenje sile na ročaju.....	81
4.3.3.	Merjenje sile preko ukrivljenja vesla.....	81
4.3.4.	Merjenje sile na objemki vesla .....	82
4.3.5.	Merjenje sile nog.....	83
4.4.	Merjenje kotov .....	84
4.4.1.	Vodoravni kot vesla.....	84
4.4.2.	Navpični kot vesla.....	85
4.5.	Merjenje položaja sedeža .....	86
4.6.	Merjenje v čolnu z več veslači.....	86
4.7.	Merjenja v veslanju s pomočjo pametnih naprav.....	88
4.8.	Lastnosti optimalnega merilnega sistema .....	89
4.9.	Interpretacija rezultatov merjenja v čolnu .....	90
4.9.1.	Časovna usklajenost sil nog in rok .....	92
4.9.2.	Položaj sedeža v odvisnosti od časa.....	93
4.9.3.	Kot vesla v odvisnosti od časa .....	94
4.9.4.	Sila na rokah v odvisnosti od kota vesla .....	95
4.9.5.	Hitrost sedeža v odvisnosti od faze zavesljaja .....	96
5.	MERILNE NAPAKE IN MERILNE NEGOTOVOSTI .....	98
5.1.	Kalibracija merilnika sile na objemki vesla .....	103
6.	SKLEP .....	105
7.	LITERATURA.....	107
	Zahvala .....	111

**SEZNAM UPORABLJENIH SIMBOLOV IN OSNOVNA VESLAŠKA TERMINOLOGIJA**

$t$  [s] = čas [s sekunda].

$d$  [m] = dolžina [m meter].

$v$  [m/s] = hitrost [m/s meter na sekundo].

$P$  [W] = moč [W Watt].

$F$  [N] = sila [N newton].

$A$  [J] = delo [J joule].

$M$  [Nm] = navor [Nm newton meter].

$U$  [V] = napetost [V volt].

$\vartheta$  = kot med dvema vektorjema.

$m$  [kg] = masa [kg kilogram].

$a$  [m/s<sup>2</sup>] = pospešek.

$\omega$  [Hz] = kotna hitrost [Hz Hertz].

$\alpha$  [s<sup>-2</sup>] = kotni pospešek.

$R_i^{i+1}$  = rotacijska matrika, ki predstavlja rotacijo koordinatnega sistema  $i+1$  glede na  $i$ -ti koordinatni sistem.

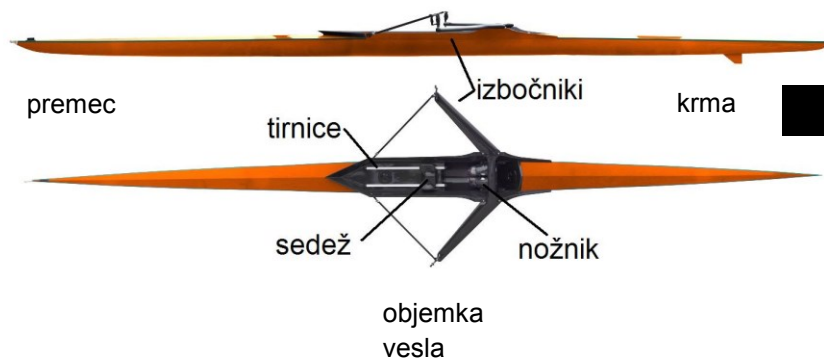
$r$  = vektor ročice.

$I_i$  = vztrajnostna matrika segmenta  $i$ .

$g$  = gravitacijski pospešek.

$x, y, z$  = koordinatne osi.

Čoln = plovilo, ki je sestavljeno iz trupa, izbočnikov, tirnic, sedeža in nožnika. Smer gibanja je v smeri krme. Na sliki 1 so prikazani sestavni deli enojca. Discipline čolnov so: enojec (oznaka 1X), dvojni dvojec (oznaka 2X), dvojec (oznaka 2-), dvojec s krmarjem (oznaka 2+), dvojni četverec (oznaka 4X), četverec (oznaka 4-), četverec s krmarjem (oznaka 4+) in osmerek (oznaka 8+).



Slika 0.1: Sestavni deli čolna.

Posadka = veslači, ki skupaj veslajo v čolnu (1X = veslač posameznik, 2-, 2+ in 2X = dvočlanska posadka, 4-, 4+ in 4X = štiričlanska posadka, 8+ = osemčlanska posadka).

Veslo = vzvod, s katerim veslač poganja čoln. Sestavljeno je iz notranjega in zunanjšega dela, veslač ga drži za ročaj, s pomočjo objemke vesla je vpeto na izbočnik čolna. Vesla se razlikujejo glede na vrsto veslanja: vesla tipa rimen: v uporabi v čolnih, kjer vsak veslač uporablja eno veslo (posadke 2-, 2+, 4-, 4+, 8+); vesla tipa scull: v uporabi v čolnih, v katerih vsak veslač uporablja dve vesli (posadke 1X, 2X, 4X).

Na sliki 2 so prikazani sestavni deli vesla tipa scull.



Slika 0.2: Sestavni deli vesla.

Zavesljaj = cikel gibanja vesla, ki je sestavljen iz štirih faz: prijem, poteg, zaključek in povratek.

Ritem = razmerje med posameznimi fazami zavesljaja. Redgrave [1] priporoča ritem 1:2 (ena enota časa potega na dve enoti povratka).

Tempo = število zavesljajev na minuto. Na treningih se večinoma giblje med 20 do 32 zavesljajev/minuto, na tekmovanjih na 2.000 metrov se giblje med 34 in 36 zavesljajev/minuto.

Hitrost = hitrost veslanja na ergometru. Podaja se v času, ki je potreben za veslanje na 500 metrov (npr. 1:45).

Ergometer = simulator veslanja.

Ročaj = ročaj vesla ali držalo simulatorja veslanja, ki ga veslač drži v rokah in je preko verige povezano z vetrnim kolesom, ki simulira upor čolna na vodi.

Upor = na vetrnem kolesu ergometra je mogoče nastavljati upor veslanja.

FES = funkcionalna električna stimulacija.

# 1. UVOD

Veslanje je poganjanje izpodrivnega čolna z ali brez krmarja s silo mišic enega ali več veslačev, ki uporabljajo vesla kot enostavne vzvode drugega reda in sedijo s hrbti obrnjenimi v smeri vožnje. Za veslanje velja tudi veslanje v bazenu (veslarni) ali na simulatorju, to je na napravi, ki posnema učinke veslanja v čolnu.

V Sloveniji ima veslanje dolgo zgodovino. Prvi veslaški klubi so se pojavili v krajih ob morju. Ob koncu 19. stoletja, v okviru tedanje Italije, sta bila prva kluba ustanovljena v Kopru in Piranu. V osrednji Sloveniji je prvi klub nastal v Ljubljani leta 1908 pod okriljem Ljubljanskega športnega kluba. Avgusta 1922 je bila v Ljubljani ustanovna skupščina Veslaške zveze Jugoslavije, leta 1950 pa sta bila ustanovljena veslaška sekcija športnega društva Gozdar na Bledu in veslaški klub Branik v Mariboru, ki danes predstavljata najmočnejša veslaška centra v državi [2]. Veslaška zveza Slovenije – VZS trenutno združuje 7 veslaških klubov (Argo Izola, Bled, Dravske elektrarne Maribor, Izola Izola, Ljubljanica Ljubljana, Nautilus Koper, Piran), v katerih je aktivnih približno 350 veslačev [3].

Poleg vrhunskega tekmovalnega veslanja pa ta šport postaja tudi način življenja mnogih rekreativcev. Zaradi nepoznavanja tehnike veslanja veslanje v Sloveniji še vedno ni množičen rekreativni šport. Veslanje je učinkovita, popolna, preprosta in pred poškodbami varna telesna aktivnost. Podvrsta veslanja na vodi je veslanje na veslaškem ergometru. Vadba na veslaških simulatorjih je v tujini razširjena vrsta rekreacije in tekmovalj, saj omogoča vadbo vseh mišičnih skupin ljudem v vseh starostnih obdobjih [4]. V fitness klubih v Sloveniji veslaški simulatorji niso pogosto obiskani, eden od razlogov za to pa je pomanjkljivo obvladovanje veslaške tehnike tako obiskovalcev kot tudi vaditeljev. Naprave z nastavljivim magnetnim uporom, ki so večinoma v uporabi, so neprimerne, saj je vadba z njimi pretežka celo za profesionalne veslače. Veslanje na simulatorju uporabniku omogoča aerobno in anaerobno vadbo, doseganje in vzdrževanje zelene telesne pripravljenosti in teže, saj način gibanja telesa med vadbo zahteva precejšnjo porabo energije. S pravilno tehniko preprečimo preobremenitev hrbtenice, posameznih okončin in sklepov, kar omogoča poljubno

dolgo vadbo. Tudi večja telesna teža pri veslanju dodatno ne obremenjuje sklepov in mišic, saj je njihova obremenitev odvisna zgolj od sile, ki je vložena v poteg posameznega zavesljava. Veslaška vadba je primerna za izboljšanje fizičnih sposobnosti tudi pri drugih športih, kot so tek, plavanje, kolesarjenje, smučanje, smučarski tek, obenem pa je veslanje lahko odlično dopolnilo specifične telesne vadbe. Zaradi sodelovanja celotnega mišično skeletnega sistema in poudarjenega gibanja mišic v posameznem zavesljavu, telo potrebuje dobro podporo srčno-žilnega in dihalnega sistema. Pri veslanju se gibljejo mišice in sklepi v precej večjem obsegu kot pri večini drugih aktivnosti. To pomeni, da se mišice bolj raztegujejo in sklepi bolj premikajo, kar zagotavlja večjo mišično prožnost in gibljivost sklepov. Mišične obremenitve so simetrične, saj se sočasno in v enaki meri obremenjuje ter krepi leva in desna polovico telesa, gibanje pa je enakomerno ter ritmično in ne sunkovito. Veslaška vadba omogoča učinkovito obnovo mišične mase in moči ter fleksibilnosti sklepov, zato je tovrstna vadba pogosto vključena v rehabilitacijski program vrhunskih športnikov, rekreativcev in tudi posameznikov, ki se s športom drugače ne ukvarjajo. Veslanje zajema obremenitve praktično vseh mišičnih skupin in sklepov. Vsak zavesljav omogoča popolno pokrčenje in izteg nog. Pri tem so aktivno vključeni stopala, meča, stegna in zadnjica. Veslanje utrdi zgornji del telesa, saj zavesljav vključuje tudi mišice rok in ramenskega obroča. Pri veslanju se topi maščoba v pasu in krepi trebušne in hrbtne mišice. Ker ta športna disciplina zaposluje toliko mišičnih skupin, telo potrebuje dobro podporo srčno-žilnega in dihalnega sistema, zato se z rednim veslanjem sposobnosti omenjenih sistemov izboljšajo.

Veslaški zavesljav je sestavljen iz štirih faz: prijema, potega, zaključka in povratka. Posebno pomemben je položaj telesa v posamezni fazi. Ob prijemu ali začetku so roke sproščeno iztegnjene, hrbet sproščeno 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 zavesljava s potegom ročaja pod prsi, trup je rahlo nagnjen nazaj (hrbtenica sproščeno zravnana), noge so popolnoma iztegnjene. Pri vračanju se najprej iztegnejo roke, šele nato sledi nagib trupa rahlo naprej (hrbet ostane sproščeno zravnán). Ko je ročaj preko kolen, sledi krčenje nog in zadržanje položaja telesa do prijema. Veslač izvaja gibe ciklično v zgoraj navedem vrstnem redu.

Veslanje je neudarna aktivnost, ki poteka v definiranih mejah, tako da so zvini in izpahi sklepov redke poškodbe. Zaradi velikega števila ponovitev so bolj obremenjeni kolena, hrbtenica in kite podlakti, zato je vnetje teh pogostejša poškodba pri veslanju. Pri veslačih s slabo tehniko veslanja se lahko pojavijo tudi druge poškodbe, kot so denimo bolečine v hrbtu.

Ergometer ali simulator veslanja služi treniranju v zimskem obdobju, ko vremenski pogoji niso primerni za izvedbo treninga na vodi in za učenje tehnike veslanja pri začetnikih. Konstrukcija simulatorja veslanja je prikazana na sliki 1.1. Modeli ameriškega proizvajalca Concept2, Inc. so uveljavljeni tako v Sloveniji kot v svetu. 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.



Slika 1.1: Simulator veslanja Concept2, model E.

Med veslanjem v čolnu in na simulatorju veslanja obstajajo naslednje razlike [5]:

- Pri zavesljaju v čolnu nastane razlika med gibanjem leve in desne roke, saj se roki med zavesljajem križata. Na začetku zavesljaja na vodi imata roki približno enak položaj, nato pa desna roka zaradi križanja na sredini potega prehiti levo roko. Leva roka do konca potega nato dohiti desno. Sledi povratek, kjer pred križanjem leva roka prehiti desno. Pri veslanju na simulatorju ni razlike med gibanjem desne in leve roke, saj obe roki držita za isto držalo.
- Trajektorija gibanja rok pri simulatorju je drugačna od trajektorije pri zavesljaju v čolnu. Pri veslanju na vodi roke držijo za veslo, ki se vrti okoli osi na izbočniku. Ročaj na simulatorju pa se vleče preko osi vetrnega kolesa.
- Moč prvega dela potega pri zavesljaju na simulatorju narašča hitreje kot pri zavesljaju v čolnu. Drugi del potega na simulatorju veslanja je podoben kot pri zavesljaju v čolnu.

Kljub navedenemu je simulator veslanja priznan in uveljavljen način treniranja in izvajanja testiranj pripravljenosti v vrhunskem športu. Pri tem obstaja nevarnost, da veslači začetniki v želji po kar najboljših rezultatih na simulatorju prilagodijo tehniko, kar povzroča povečano dovzetnost za poškodbe, učinkov treninga pa ni mogoče prenesti v veslanje na vodi, zaradi česar v čolnu ne dosegajo primerljivih rezultatov.

Meritve v športu lahko v splošnem razdelimo na dva segmenta, in sicer na merjenje rezultatov oziroma izidov na tekmovanjih ter na merjenje pripravljenosti za načrtovanje treningov in izboljšanje dosežkov. Kot v vseh športnih panogah, smo tudi pri veslanju priča vse bolj strokovnemu in znanstvenemu delu, saj na velikih tekmovanjih med zmagovalcem in poražencem odločajo malenkosti. Meritve, analize, modeliranje, optimizacija in predikcije so postali sestavni del vrhunškega športa, ki tako postaja čedalje bolj načrtovan in spremljan.

Veslanje je šport, pri katerem je ob telesni pripravljenosti veslača pomembna tudi njegova tehnika veslanja in usklajenost posadke v večjih čolnih. Meritve usklajenosti je v čolnu težko izvajati, zato se posadke sestavljajo na osnovi rezultatov posameznih kombinacij veslačev in občutkov trenerjev, tehnika in usklajenost pa se izboljšujeta s kilometri skupnih treningov.

Pregled literature kaže na kompleksnost veslanja v čolnu v primerjavi z veslanjem na simulatorju veslanja. Večina znanstvenih prispevkov je tako s področja veslanja na ergometru, precej manj pa jih je s področja veslanja v čolnu.



## 2. OSNOVE VESLANJA

Veslanje je vzdržljivostni šport, ki zahteva izpiljeno tehniko. Za uspeh so potrebni disciplina posameznika, timsko delo, natančna tehnika, stalni trening s poudarkom na vzdržljivosti in moči ter določene osebnostne značilnosti.

Prva moderna tekmovanja v veslanju so bila tekmovanja v drugi polovici 18. stoletja med brodniki na reki Temzi v Angliji. Nato je ta šport postal popularen kot amaterski šport, velikokrat z več tisoč gledalci na tekmi. Veslanje je olimpijska disciplina že od začetka Olimpijskih iger moderne dobe. Zelo razširjeno je na univerzah, zlasti v Veliki Britaniji, Avstraliji, Kanadi in Združenih državah Amerike. V Veliki Britaniji je najbolj znana regata med univerzama Oxford in Cambridge na reki Temzi, poznana kot The Boat Race, v Ameriki pa dvoboj med univerzama Harvard in Yale [6].

Zmogljivost veslanja se je tako kot pri drugih športih z leti izboljševala. Schwanitz [7] je primerjal zmagovalne čase olimpijskih zmagovalcev od leta 1948 do 1988 in ugotovil, da so se na vsakih olimpijskih igrah tekmovalni časi izboljšali povprečno za 1,3 % v vseh kategorijah. Čeprav so se časi izboljševali različno po posameznih posadkah, pa tako izrazit napredek nakazuje, da olimpijski zmagovalci na naslednjih olimpijskih igrah ob enakem nastopu ne bi bili več zmagovalci. Ker na rezultate vplivajo tudi vremenski pogoji in okolje tekmovalne proge (umetne proge so običajno hitrejše od naravnih), je zanimiva primerjava časov zmagovalcev moškega osmerca na regatah v Luzernu v letih med 1970 in 2003 [8]. Luzernska regata je idealna za tovrstne primerjave, saj je poleg svetovnega prvenstva in olimpijskih iger tradicionalno najmočnejša regata med tekmovanji, pogoji tekmovanja pa se v letih ne spreminjajo (ista tekmovalna proga, najboljša svetovna konkurenca, podobni vremenski pogoji). Na luzernski regati so posadke v letu 2003 vozile približno 15 sekund hitreje kot njihovi ekvivalenti 34 let pred tem.

Za hitrejšo veslanje morajo veslači ustvariti več energije ali jo učinkoviteje izrabiti ali oboje hkrati. Na učinkovitost veslanja in izrabo energije vplivajo naslednji faktorji:

- Biomehanika veslanja oz. veslaška tehnika;
- Oprema: čolni in vesla;
- Fiziologija: koncepti treninga in spremljanje napredka;
- Psihologija: zastavljanje ciljev in motivacija;
- Sociologija: moštvena povezanost in moštvena podpora;

- Športna medicina: preprečevanje poškodb in rehabilitacija.

Fiziologija, psihologija, sociologija in športna medicina omogočajo veslačem, da ustvarijo več energije, medtem ko biomehanika in oprema omogočata boljšo energetsko izrabo. Vendar pa je težko identificirati točno določene faktorje, ki omogočajo doseganje najboljših rezultatov. Faktor  $VO_{2max}$  vrhunskih veslačev se ni bistveno izboljšal med leti 1970 in 2003, prav tako uporaba večjih vesel po letu 1992 ni pripomogla k večjemu preskoku v doseganju boljših rezultatov [9]. Veslanje velja za energetsko učinkovit šport in zato je večji napredek pri rezultatih težko doseči. Stagnacija v pripravljenosti pa pomeni nazadovanje v primerjavi s svetovno konkurenco.

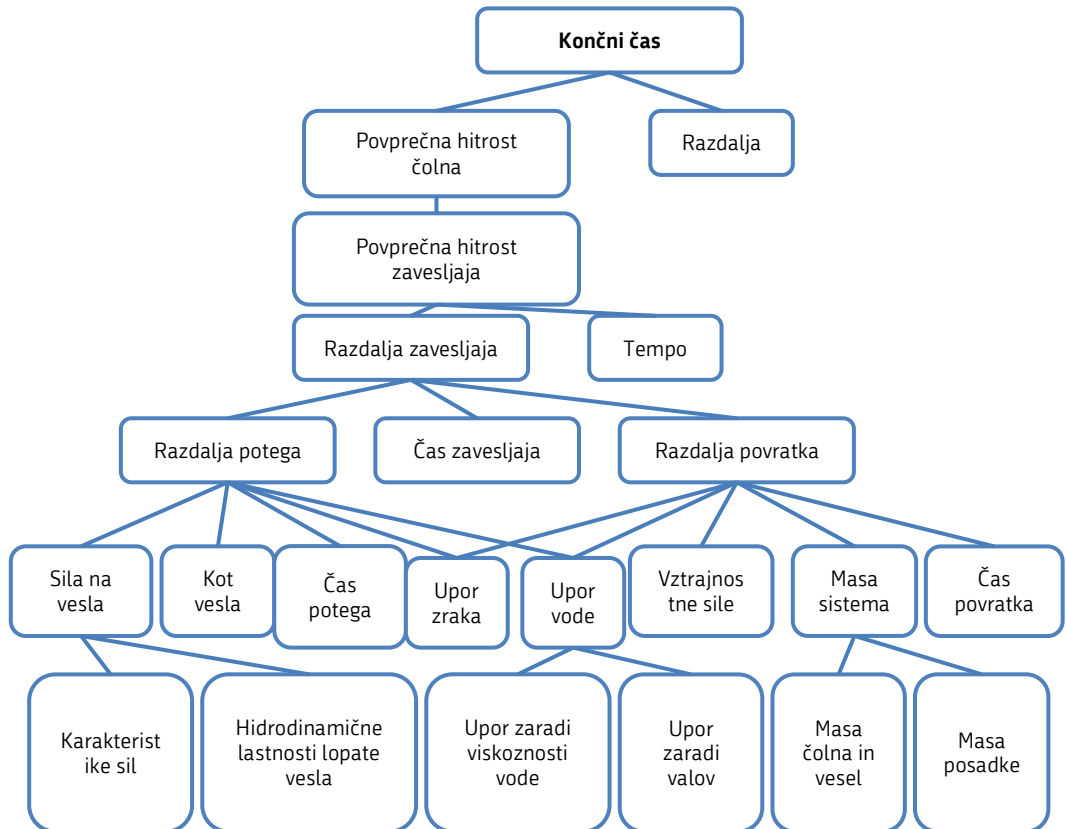
V športu smo pogosto priča razpravam o optimalni telesni konstitucija. Profesionalni veslač optimalne postave je visok 197 centimetrov (ženske 185) in tehta 95 kilogramov (ženske 85). Njegova telesna maščoba ne presega 8 % oziroma 7,6 kilogramov (14 % oziroma 11,9 kilogramov za ženske) [9]. Pri tem pa je potrebno poudariti, da mnogi uspešni veslači ne ustrezajo optimalnim kriterijem ter da so nadpovprečne fizične sposobnosti in idealna telesna postava neuporabni brez ustrezne tehnike veslanja in usklajenosti posadke.

## 2.1. Biomehanika veslanja

Osnovni cilj veslača je, da med tekmovanjem doseže čim višjo povprečno hitrost. Zavesljaj je kompleksna in dinamična interakcija med veslači posadke, vesli, čolnom in vodo. Veliko parametrov vpliva na končni čas veslaškega tekmovanja, vendar pa je učinkovitost zavesljaja neposredno povezana s povprečno hitrostjo na progi. Povprečna hitrost čolna je namreč odvisna od tempa veslanja in razdalje, ki je prepluta z enim zavesljajem. Na sliki 2.1 so predstavljeni osnovni parametri, ki vplivajo na učinkovitost zavesljaja. Veslač lahko v fazi potega zavesljaja na prepluto razdaljo vpliva s silo, s katero deluje na vesla, lokom, ki ga opravi lopata vesla, ter trajanjem potega. V fazi povratka veslač ne more vplivati na plovnost čolna s silo, kljub vsemu pa teža posadke in hitrost težišča vsakega posameznega veslača močno vplivajo na plovnost in prepluto razdaljo v tej fazi zavesljaja. Na to vplivajo vztrajnostne sile, čas povratka, upor vode in zraka. Cilj je, da čoln čim lepše teče oziroma pljuje in se ne ustavlja, kar je mogoče doseči s tehniko in usklajenostjo posadke. Oprema vpliva na učinkovitost z obliko, to je z obliko vesla ter aerodinamično in hidrodinamično obliko čolna [9].

V literaturi se največ raziskav ukvarja s parametri, ki so vključeni v fazo potega zavesljaja. Analizirani so parametri sil na vesla, dolžine zavesljaja, dela, ki ga opravi veslač z enim zavesljajem, hitrosti čolna in časi, ki so potrebni za dosego maksimalne sile.

Za merjenje parametrov so bili razviti različni merilniki, ki pa morajo ustrezati specifičnemu okolju. Merilniki na čolnu ne smejo spreminjati pogojev veslanja, morajo biti lahki, vodoodporni, prenosni, robustni in napajani z baterijami. Rezultati morajo biti hitro na voljo, da se lahko ustvari povezava med pridobljenimi podatki in opažanji trenerjev. Takojšnja vizualna povratna informacija lahko pospeši proces učenja, saj lahko vpliva na spremembo tehnike, ki je povezana s hitrostjo čolna.



Slika 2.1: Osnovni parametri, ki vplivajo na učinkovitost veslanja [9].

Raziskovalci so se najprej posvečali merjenju sil na veslih, glavnemu pogonskemu parametru. Tako so Atkinson leta 1898 ter Lefeuvre in Pailliotte leta 1904 [9] razvili zgodnje metode za določanje sil na veslih. Danes tehnologija omogoča lažji zajem in obdelavo podatkov.

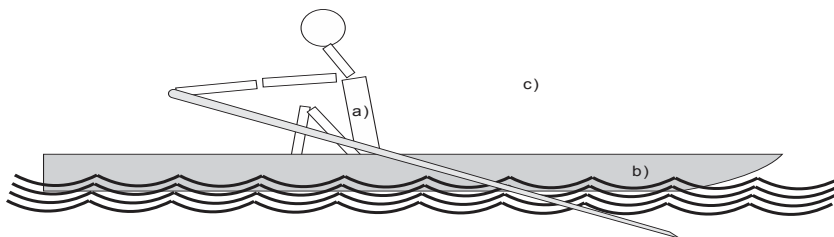
Članek [10] je eden redkih prispevkov, v katerem je znanstveno obravnavano veslanje na vodi. Avtorji preučujejo hidrodinamične lastnosti čolna pri veslanju na primeru treh dvojnih dvojcev. Obravnavani so bili podatki upora čolna v vodi pri različnih hitrostih veslanja. Ugotovljeno je bilo, da se pri velikih hitrostih veslanja upornost čolna zaradi vertikalnega gibanja čolna na vodi zmanjša. Pri tem je upornost najmanjša pri potopljeni krmi, zaradi česar je priporočeno, da težji veslači sedijo spredaj, lažji pa zadaj. V raziskavi je bilo prav tako ugotovljeno, da je treba pri težjih veslačih za doseg

enake hitrosti čolna razviti večjo silo. Kljub temu, da je v članku navedeno, da velja prepričanje, da imajo težji športniki več mišične mase, kar pomeni, da lahko razvijejo večjo fizično moč in tako dosegajo boljše rezultate, pa avtorji ugotavljajo, da pri vodnih športih to ne drži, saj se prednost zmanjša zaradi povečane upornosti čolna. Avtorji zaključujejo, da morajo veslači ustrezno nadzorovati svojo težo.

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, 9]. 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 ledvenem predelu hrbtenice [13].

## 2.2. Učinkovitost veslanja

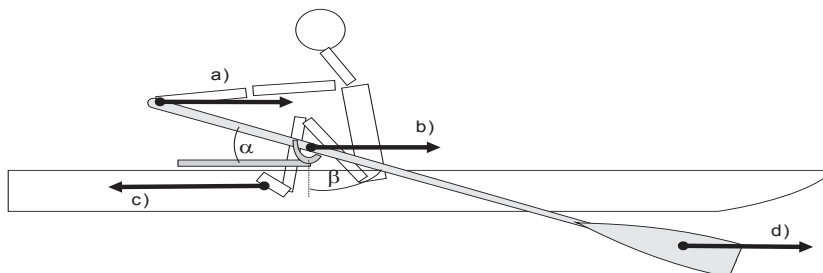
Merjenje učinkovitosti veslanja je pomemben del veslaškega treninga. Merjenja različnih parametrov v čolnu omogočajo objektivno povratno informacijo trenerjem in veslačem, ki želijo optimizirati navidezno enostaven problem – kako najhitreje premakniti čoln od starta do cilja regate.



Slika 2.2: Trije faktorji, pomembni za učinkovit zavesljaj: veslač (a), veslaška oprema (b) in okolje (c).

Primarni cilj veslaške regate je doseči maksimalno povprečno hitrost v času trajanja tekme. Ta naloga zahteva učinkovit zavesljaj, ki predstavlja vsoto treh različnih, vendar

dinamično povezanih faktorjev – športnika, veslaške opreme (čoln, vesla, sedež, itd) in okolja (veter, vodni tokovi, globina in temperatura vode, itd) (slika 2.2).



Slika 2.3: Biomehanski parametri, ki najbolj vplivajo na učinkovitost veslanja: sila na ročici vesla (a), sila na objemki vesla (b), sila na nožniku (c), sila na lopati vesla (d), navpični kot vesla ( $\alpha$ ), vodoravni kot vesla ( $\beta$ ), premik sedeža.

Najpomembnejši faktor, ki pa ga je hkrati tudi najtežje definirati, oceniti in empirično izmeriti, je veslač, torej njegove fiziološke sposobnosti (fizična moč in natreniranost) ter nivo njegove veslaške tehnike. Veslaška tehnika ima na primer velik vpliv na tempo veslanja in na dolžino zavesljaja. Oboje vpliva na povprečno hitrost čolna in posledično na uspeh na regati [9, 14].

### 2.3. Biomehanika veslanja v čolnu

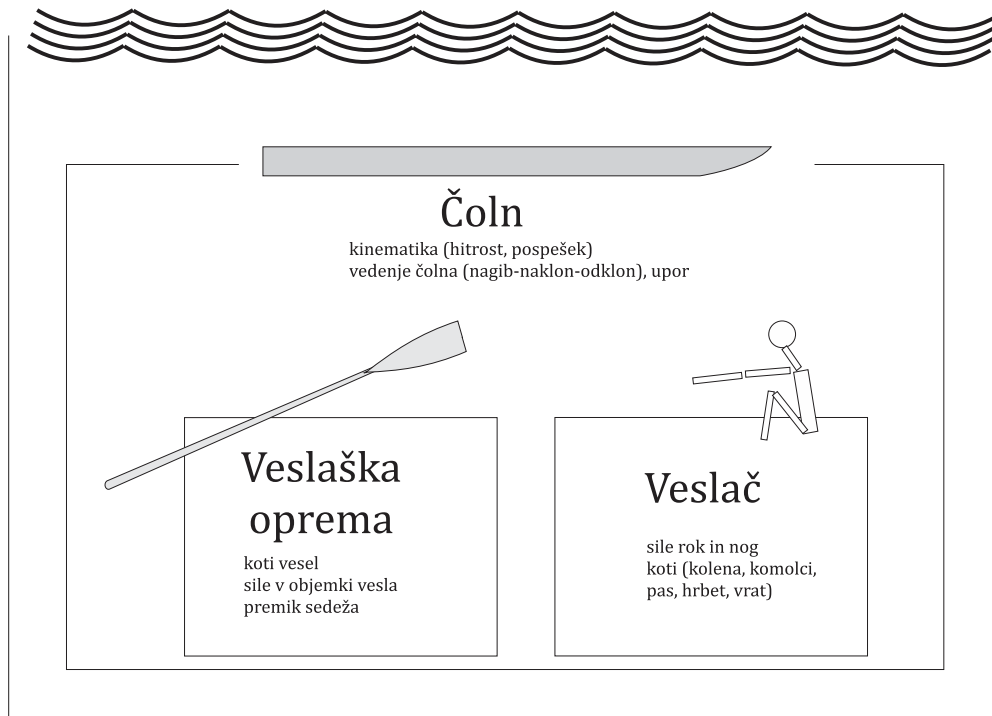
Veslaška biomehanika se ukvarja s točnimi merjenji sil in kinematike veslaškega sistema (veslač, čoln in vesla) [14, 15]. Dodatno razvija teoretične modele za razlago in optimizacijo kompleksnih interakcij med veslačem in opremo. Končni rezultat biomehanskih študij je izboljšanje hitrosti čolna.

Biomehanske parametre lahko glede na kinematiko, sile in okolje, ki vplivajo na veslaški sistem, razdelimo na štiri kategorije – i) veslač, ii) čoln, iii) veslaška oprema in iv) okolje (slika 2.4).



## Okolje

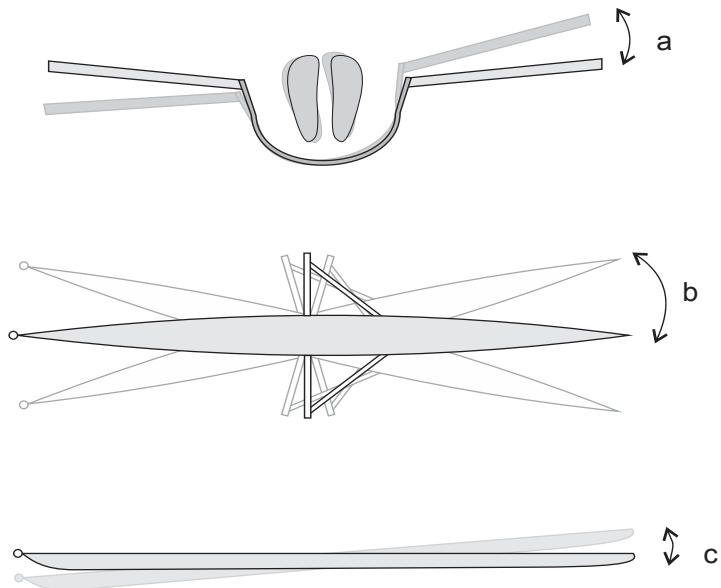
(temperatura zraka, vode, hitrost vetra, smer vetra)



Slika 2.4: Glavne kategorije biomehanskih parametrov.

Kinematika veslanja vključuje kinematiko čolna (hitrost, pospešek, nihanja, vedenje čolna), kote na veslih, gibanje sedeža in položaje veslačevega trupa (položaj kolen, komolcev, hrbta) (slika 2.4). Kinetika veslanja vključuje sile, ki jih proizvede veslač (na ročaju vesla, na opori za noge), sile na lopati vesla in vertikalno silo sedeža med zavesljamem. Dodatno vključuje tudi sile in navore, ki jih povzročajo hidrodinamični in gravitacijski parametri. Okoljski parametri vključujejo zunanje vplive na sistem veslač - čoln, kot so smer in hitrost vetra, temperatura vode, vodni tokovi in valovanje. Sila na lupino čolna je sestavljena iz upora površine čolna (80 %), ki je odvisen od oblike čolna in omočene površine, iz upora valov (pod 10 %) ter zračnega upora (pod 10 %), ki je odvisen od preseka čolna in veslačev [16, 17].

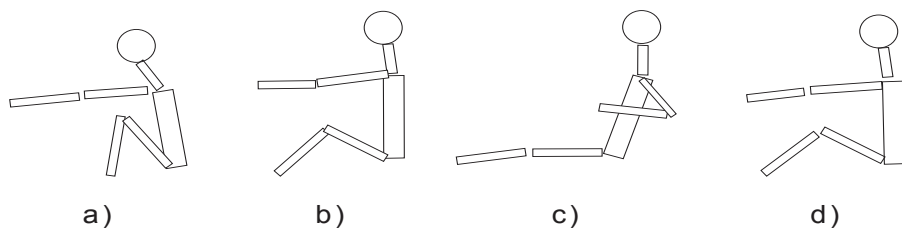
Vedenje čolna definiramo kot skupino parametrov, ki označujejo želeno in neželjeno gibanje lupine čolna med veslanjem. Najenostavnejše veličine za opis vedenje čolna so nagib-naklon-odklon (angl. roll-pitch-yaw), ki označuje trojico kotov, s katerimi določimo orientacijo predmeta v prostoru [18].



Slika 2.5: Vedenje čolna opisujemo z a - nagibom (roll, ang.), b - odklonom (yaw) in c - naklonom (pitch).

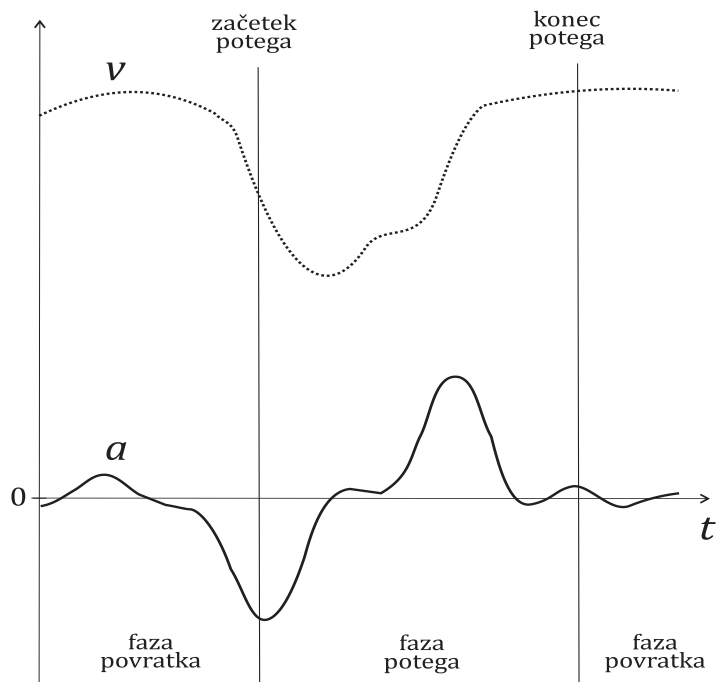
Vsi ti biomehanski parametri delujejo v medsebojni interakciji. Poleg biomehanike pa na učinkovitost veslanja in posledično hitrost čolna dodatno vplivajo tudi drugi parametri, ki vplivajo na proizvodnjo energije in učinkovitost veslača (fiziologija, psihologija, medicina športa).

## 2.4. Zavesljaj



Slika 2.6: Faze zavesljaja – a) prijem, b) poteg, c) zaključek zavesljaja, d) povratek.

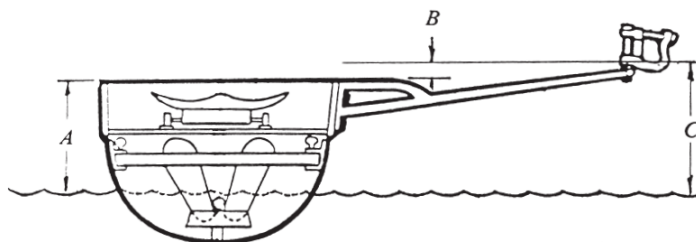
Veslaški zavesljaj je sestavljen iz faze potega in faze povratka. Med potegom so lopate vesel pod gladino in veslač preko osi izbočnika, opore za noge in sedeža prenese svojo silo na čoln. Zunanje sile, kot so upor vode in upor zraka, so presežene in rezultirajoča potisna sila v želeno smer pospeši celoten sistem (čoln in veslača).



Slika 2.7: Prikaz hitrosti čolna in pospeška čolna med fazama potega in povratka [9].

Med fazo povratka po zaveslaj so lopate vesel v zraku in je celoten sistem veslač-čoln brez potisne sile (slika 2.7). Hitrost čolna kljub temu ni konstanta, ker se veslač giblje na sedežu znotraj čolna. Skokovit poteg veslača močno vpliva na hitrost čolna, saj je masa veslača precej večja od mase čolna. Na začetku faze povratka se veslač potegne k opori za noge in potegne čoln izpod sebe. Čoln pospeši v smer vožnje, če je sila na opori za noge večja od sile upora vode in sile upora zraka. Istočasno pa je čoln upočasnjuje, saj ni več potisne sile veslača. Na koncu faze povratka se to spremeni, ko se veslač spet odrine od opore za noge. Sila na opori za noge deluje v nasprotni smeri potisne sile in zmanjša pospešek čolna. V krivulji pospeška to lahko vidimo kot jasen vrh pospeška čolna. Tak časovni profil pospeška je tipičen za vse vrste čolnov in postane izrazitejši z večanjem tempa veslanja.

## 2.5. Nastavitve čolna



Slika 2.8: Nastavitve višin v čolnu.

Osnovne nastavitve čolna obsegajo:

**Velikost čolna:** vsak čoln ima oblikovano plovnost glede na predviden ugrez, ki je odvisen od teže posadke. Prevelik ali premajhen ugrez pomenita spremembo delovne višine in spremembo upora čolna v vodi. Posadka mora zato ustrezen čoln izbrati v skladu s svojo težo. Na sliki 2.8, ki predstavlja osnovne parametre nastavitve višine, je višina čolna označena s črko A.

**Višina vesel:** izbočniki in vilice za vesla imajo nastavljivo višino, s katero želimo doseči, da vesla vstopajo v vodo pod pravilnim kotom. Lopata vesla mora imeti pri tem pravi položaj v vodi, ročaj pa v rokah veslača. Na sliki 2.8 je višina vesel označena s črko C.

**Višina vilic na izbočniku vesel:** vilice za vesla imajo nastavljivo višino. Pri nastavljanju je potrebno paziti, da se višina vilic in višina vesel dopolnjujeta. Premajhna višina vilic pomeni, da veslač ne more dobro potegniti vesla iz vode in izvesti povratka v nov zavesljaj. Prevelika višina vilic pomeni, da veslač ne more dobro izvesti potega. Na sliki 2.8 je višina vilic označena s črko B.

**Kot vesel med potegom:** lopate vesel morajo med potegom dobro »stati v vodi«, zato se s kotom vilic nastavlja kot vesel med potegom. Premajhen kot povzroči uhajanje vesla iz vode, prevelik pa njegovo potapljanje.

**Dolžina in razmerje vesel:** vesla so nastavljiva po dolžini in v razmerju med notranjim in zunanjim delom. S tem se določa vzvod za prenos moči veslača preko vesel na vodo. Prekratek notranji del vesla onemogoča izvedbo pravih zavesljajev, predolg pa ne izkoristi moči veslača.

**Položaj opore za noge:** opora za noge mora biti v takšnem položaju, da veslač lahko izvede celoten zavesljaj. Opora, ki je pomaknjena preveč nazaj – preblizu vilicam za vesla, onemogoča pravi zaključek zavesljaja. Opora, ki je pomaknjena preveč naprej, pa onemogoča pravi začetek zavesljaja.

Nastavitve poleg osnovnih nastavitvev obsegajo še nastavitve krmila, ki ga imajo vsi čolni razen enojca in dvojnega dvojca, nastavitve tirnic za sedež, razdalje med vilicami za vesla in čolnom, višina in kot opore za noge, spreminjanje težišča čolna z dodatnimi utežmi, itd.

## 2.6. Razlike med merjenji na ergometru in na vodi

Veslaški simulatorji oziroma ergometri predstavljajo osnovno obliko orodja za veslaški trening. Te naprave za trening na suhem omogočajo vadbo splošnih vzorcev gibanja celega telesa in omogočajo povratno informacijo o generiranih silah. Poleg le-te veslač ne doživi nobenih posledic zaradi oblike svojega gibanja - ne dobi veliko povratnih informacij, ali je bil njegov zavesljaj izveden učinkovito, kar se tiče profila sile na veslu in o trajektorijah gibanja. Zatorej so veslaški ergometri uporabni predvsem za trening fizičnih in tehničnih sposobnosti veslača [19].

Druga skupina orodij za trening so čolni, opremljeni z merilnimi sistemi. Ta orodja, namenjena veslanju na vodi, omogočajo kompleksno zajemanje in analizo faktorjev, ki vplivajo na silo poganjanja čolna po vodi. S pomočjo povratnih informacij teh sistemov lahko trener ali veslač optimizira časovne usklajenosti, smeri in velikosti potisnih sil. Izmerjena kinematika čolna vključuje hitrost čolna, pospeške, vedenje in časovne profile gibanja čolna.

V primerjavi z veslanjem na vodi veslanje na ergometru poteka v skoraj kontroliranih laboratorijskih pogojih, v katerih je večina vplivnih motilnih in nemotilnih dejavnikov kontrolirana, zmanjšana, kompenzirana ali odstranjena. Dodatno je ena bistvenih razlik med ergometrom in veslanjem v čolnu tudi dejstvo, da v različnih veslaških disciplinah v istem čolnu vesla več veslačev, vsak s svojo veslaško tehniko, s svojo fiziološko sposobnostjo in sposobnostjo prilagajanja in usklajevanja znotraj ekipe. Dodatno je pri veslanju na vodi za razliko od simetrične scull tehnike prisotna tudi rimen tehnika, kjer vsak veslač vesla samo z enim veslom in posledično nesimetrično prenaša silo potega na lopato.

Merjenja v čolnu v realnih pogojih so problematična tudi zaradi agresivnih okoljskih razmer (vodno okolje, velike razlike temperature, visoka vlaga z visokimi temperaturami, mehanski udarci in vibracije), prenosnosti merilnih sistemov (poraba energije in kapaciteta brezžičnih signalov in/ali kapaciteta lokalnega spomina) in potrebnega večkanalnega multiparametričnega merjenja (za instrumentacijo osmerca bi potrebovali tudi do 128 kanalni merilni instrument).



## 3. MERJENJA NA ERGOMETRU

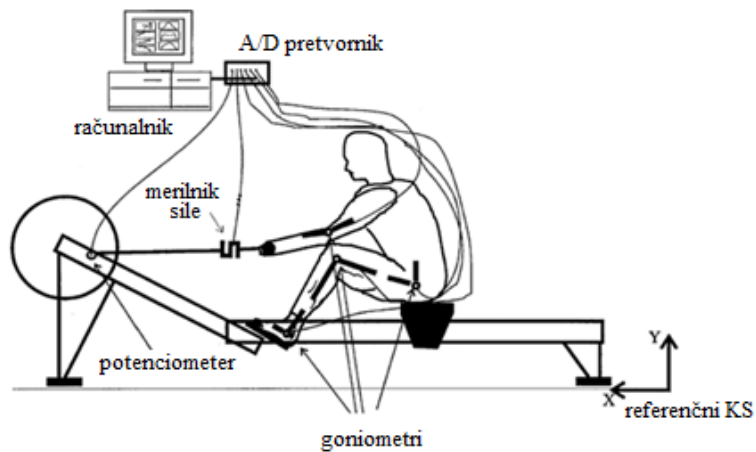
V nadaljevanju je napisan pregled različnih merilnih sistemov za merjenje in izračun vrednosti biomehanskih parametrov veslanja na simulatorju.

### 3.1.1. Sistemi za merjenje študije veslanja na ergometru

Eno zgodnejših znanstvenih del s področja biomehanike veslanja na simulatorju je prispevek Erica Rosowa [20], ki opisuje merilno opremo razvito za zajemanje podatkov o veslanju. Sistem je bil razvit za simulator veslanja Concept in je meril podatke o položaju sedeža, položaju ročaja, sili ročaja, sili in navoru nog ter kotu kolkov. Pri obdelavi podatkov so bili uporabljeni antropometrični podatki testnih oseb. V raziskavi so sodelovali člani četverca lahkih veslačev in člani osmerca lahkih veslačev. Opravljena je bila primerjava sil na ročaju veslačev pri različnih hitrostih veslanja, pri čemer je bilo ugotovljeno, da veslači, ki so trenirali skupaj, uporabljajo podobno tehniko veslanja.

Za namen obravnave inverzne dinamike s posebnim poudarkom na ledvenem delu, so avtorji članka [21] razvili eksperimentalno laboratorijsko merilno mesto za analizo kinematičnih in kinetičnih parametrov. Sistem vključuje 3D sistem za analizo gibanja, simulator veslanja Concept2, tri tridimenzionalne pritiskovne plošče za silo (uporabljene pod vsako nogo in sedežem) ter dva miniaturna enodimenzionalna pretvornika sile. Zanimivo je, da avtorji niso predpostavili, da veslač med potegom deluje z obema rokama z enako silo, temveč so zasnovali poseben ročaj za merjenje sile vsake roke posebej. Meritev so izvedli na profesionalnem veslaču (tekmovalac na regionalni ravni), ki je po ogrevanju veslal 5 minut s 34 zavesljaji na minuto. V študiji so avtorji prikazali različne parametre veslanja in zaključili, da je smiselno postaviti kriterije za preučevanje kinematike z namenom boljšega razumevanja gibanja med veslanjem.

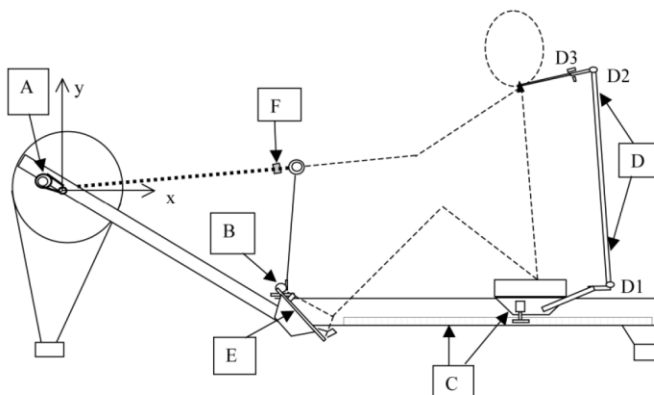
V članku [22] je predstavljen razvoj sistema za merjenje kinematičnih parametrov veslanja. Sistem je shematično prikazan na sliki 3.1. Simulator veslanja Concept2 je opremljen z merilnikom sile, s katerim se meri sila zavesljaja veslača, s potenciometrom, s katerim se določa relativni položaj ročaja glede na vetrno kolo, ter s štirimi goniometri, ki so uporabljeni za določanje kota sklepov stopala, kolena, boka in komolca veslača. Vsi podatki so zajeti in prikazani v realnem času v obliki animacije paličaste osebe. Sistem omogoča analizo kinematike gibanja brez obdelave video posnetkov, vendar pa ima pomanjkljivost, da ne meri položaja ramen, kar v kinematični model vnaša napake.



Slika 3.1: Instrumentaliziran simulator veslanja (KS = koordinatni sistem).

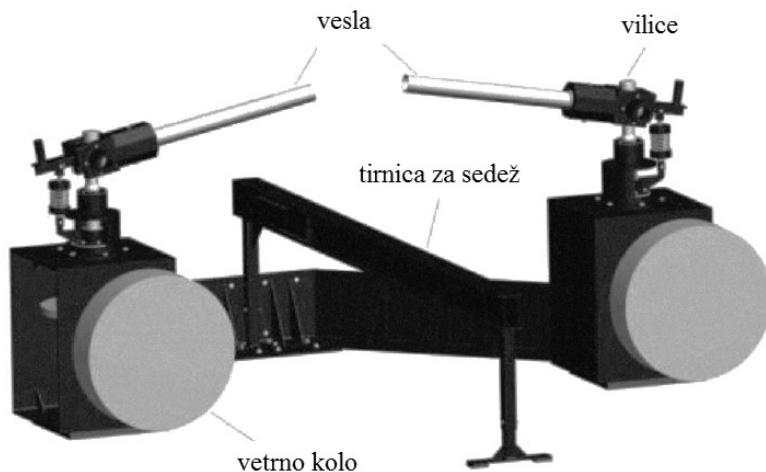
V članku [23] avtorja opisujeta razvoj sistema za merjenje veslaške tehnike na simulatorju veslanja in se ukvarjata s povratno informacijo, posredovano veslaču v realnem času. Tudi v tem primeru je bil za simulator veslanja izbran Concept2, ki sta ga avtorja dodatno opremila s senzorji za merjenje sil in potenciometri za merjenje kinematike. Merilnike sta povezala z računalnikom in razvila programsko opremo za obdelavo in prikaz podatkov. Kinetične in kinematične podatke veslanja v realnem času prikazujeta na zaslonu v obliki animirane dvodimenzionalne paličaste figure telesa. Pri načrtovanju sistema sta se avtorja izogibala pogojem, ki jih je v splošni praksi težko zagotoviti (video obdelava, zapletena kalibracija, obsežna obdelava podatkov). Tako sta si kot osnovne pogoje zastavila, da mora biti sistem postavljen v petih minutah, da mora biti pri tem invazivnost meritev za veslača minimalna in da mora biti kinematika prikazana v realnem času. Simulator veslanja sta opremila, kot prikazuje slika 3.2. Uporabila sta potenciometer, s katerim se meri oddaljenost ročaja od osi vetrnega kolesa (na sliki označeno z A), linearni pretvornik za merjenje položaja, s katerim se meri oddaljenost ročaja od stopal (B), potenciometer, s katerim se meri položaj sedeža (C), sistem treh potenciometrov in aluminijastih palic, s katerimi se določa položaj ramen glede na položaj sedeža (D), potenciometer, s katerim se meri kot stopala glede na nosilec za noge (E), in merilnik sile, s katerim se meri silo zavesljaja na ročaju (F). Sistem sta preizkusila s pomočjo analize video posnetkov in ugotovila, da so odstopanja v razumnih mejah.





Slika 3.2: Instrumentaliziran simulator veslanja.

Na drugačen način pa so k preučevanju veslanja na simulatorju pristopili avtorji, ki so integrirali različne tehnologije za merjenje in prenos podatkov za analizo gibanja veslača preko mehatronične platforme [24]. Osnovni cilj projekta je bila mehanska zasnova naprave, članek pa opisuje tudi integracijo z dvema večmodalnima sistemoma. Vsi sistemi skupaj uporabljajo različne senzorje in tako ustvarijo virtualno okolje veslača v realnem času. Simulatorji veslanja Concept2 so predstavljali osnovo, na kateri je bil razvit simulator veslanja, pri katerem veslač drži v vsaki roki svoj ročaj. Model je prikazan na sliki 3.3. Kinematika veslanja na tovrstnem simulatorju ustreza pogojem običajnega veslanja na vodi.



Slika 3.3: Model simulatorja veslanja z dvema vesloma.

V prispevku [25] so avtorji predstavili merilno mesto, ki je bilo razvito za ocenjevanje usklajenosti veslanja na simulatorjih veslanja. V analizi sta bila dva simulatorja veslanja postavljena na premikajoče se tirnice, s čimer se je posnelo stanje

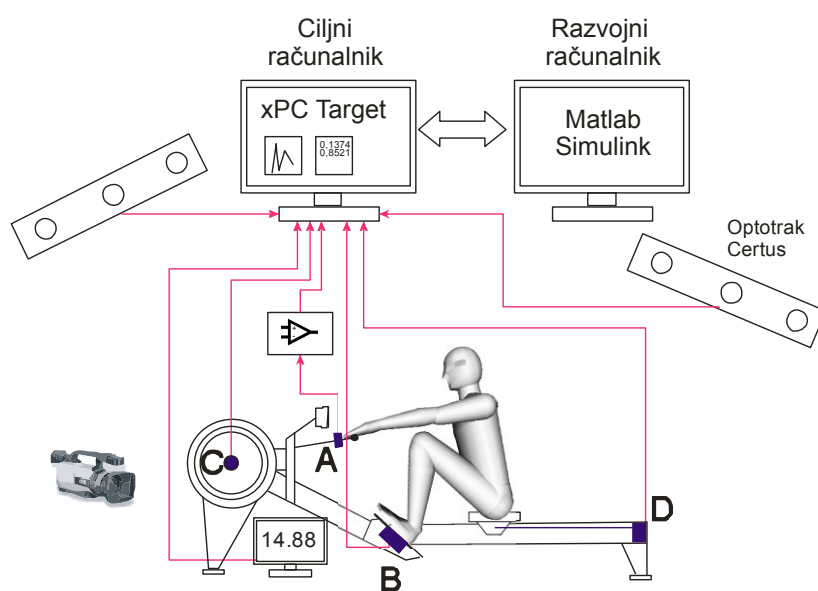
premikanja čolna na vodi. Med veslanjem se merijo sile na ročaju na obeh simulatorjih hkrati, na enem simulatorju pa so merjene tudi sile na oporah za noge. Poleg tega se merijo časovne vrednosti in dolžina zavesljaja, izračunava pa se stopnja sinhronizacije veslanja. Sistem se lahko uporablja za povratno informacijo o usklajenosti med usposabljanjem ter za pomoč trenerjem pri sestavljanju ekip.

Avtorje je v delu [26] zanimalo, ali so podatki, ki jih je mogoče izmeriti na simulatorju veslanja, relevantna informacija za sklepanje o tehniki veslača pri veslanju na vodi, kjer so meritve veliko težje izvedljive. Preučevali so sile na nogah in za ta namen razvili pritiskovne plošče za silo nog v čolnu in na simulatorju veslanja. Poskus so izvedli s profesionalnim veslačem, članom avstrijske reprezentance, ki je meritve izvedel na isti dan. Meritve so izvedli na simulatorju veslanja, simulatorju veslanja, ki je bil postavljen na premikajoče se tirnice, in v čolnu. Rezultati so pokazali, da je kljub manjšim razlikam pri zadnjem delu zavesljaja, preučevanje tehnike na simulatorjih veslanja učinkovita informacija. Prav tako so ugotovili, da pogoji pri veslanju na simulatorju, ki je nameščen na premikajočih se tirnicah, bolj ustreza pogojem veslanja na vodi kot pri simulatorju, ki ni postavljen na tirnice. To ne preseneča, saj se tovrstni simulator med zavesljam premika in tako simulira učinek gibalne količine veslanja na vodi.

V študiji [27] so avtorji preučevali potencialno škodljive vplive veslanja na simulatorju na tehniko veslanja v čolnu na vodi. Študijo so izvedli s primerjavo meritev veslanja na simulatorju, pri čemer so začetnike primerjali z olimpijskim in svetovnim prvakom z več kot dvanajst leti izkušenj, ki je služil kot referenca. Preučevali so gibanje sklepov, hitrost ročaja in sile med veslanjem na simulatorju. V študiji je sodelovalo 44 veslačev, ki so tekmovali na progi dolžine 2.500 metrov. Izmed njih so izbrali štiri osebe, katerih rezultati so prikazani v članku. Sodelujoče veslače so naključno razdelili v 3 skupine, ki so se razlikovale glede na področje opazovanja, del proge, hitrost veslanja in število zavesljev na minuto. Vsaki skupini so določili zeleno vrednost za hitrost veslanja ali število zavesljev na minuto, medtem ko si je drugi parameter vsak posameznik prilagajal za doseganje čim boljšega rezultata. Rezultati študije kažejo, da prihaja do razlik pri gibanju sklepov na koncu potega zavesljaja in v fazi vračanja v zaveslaj, da prihaja do oscilacij pri gibanju kolena na koncu zavesljaja, ter da prihaja do vertikalnega gibanja ročaja med izvedbo zavesljaja in večjega števila zavesljev na minuto na račun skrajšanja časa vračanja v zaveslaj. Navedeno pomeni, da zavesljaji niso izvedeni kontrolirano, kar lahko vodi k poškodbam. Razmerje med izvedbo potega zavesljaja in vračanja v zaveslaj naj bi bilo pri veslanju na vodi približno 1:2. Tovrsten ritem omogoča optimizacijo izkoristka zavesljaja za doseganje drsenja čolna po vodi. Porušen ritem na rezultate na simulatorju ne vpliva, medtem ko bistveno vpliva na rezultate v čolnu. Avtorji so preučevali tudi sile, ki jih razvijejo veslači, in pri tem ugotovili, da potek teh ustreza poteku sil pri veslanju na vodi.

V Laboratoriju za robotiko Fakultete za elektrotehniko Univerze v Ljubljani je bil razvit merilni sistem za merjenje sil na ročaju in opori za noge, drže telesa z optičnim merilnim sistemom ter izračun obremenitev v sklepih z uporabo inverzne dinamične analize [28]. Pri delu [29] sta bili namesto optičnega sistema za merjenje naklon trupa in naklona verige uporabljeni inercialni merilni enoti. Na sliki 3.4. je predstavljena

konceptualna shema merilnega mesta za analizo veslanja na simulatorju [28]. Simulator veslanja Concept2 je modificiran in opremljen s senzorjem sile za merjenje sile potega z rokami (slika 3.5 zgoraj desno), s šestdimenzionalnim senzorjem sile JR3 za merjenje sile odriava z nogami (slika 3.5 zgoraj levo), z optičnim kodirnikom za merjenje dolžine potega verige (slika 3.5 spodaj desno) ter z žičnim optičnim kodirnikom za merjenje položaja sedeža (slika 3.5 spodaj levo). Za merjenje kinematike gibanja veslača je uporabljen sistem Optotrak Certus in 14 merilnih markerjev. V merilni sistem je vključena tudi kamera za vizualni zajem gibanja veslača. Zajem podatkov poteka z dvema računalnikoma. Razvoj programa in nadzor nad delovanjem potekata na razvojnem računalniku v grafičnem okolju Matlab Simulink. Ciljni računalnik, ki je povezan z merilniki, je namenjen zajemu podatkov. Po merilnem testu so podatki preneseni na razvojni računalnik za shranjevanje in obdelavo.



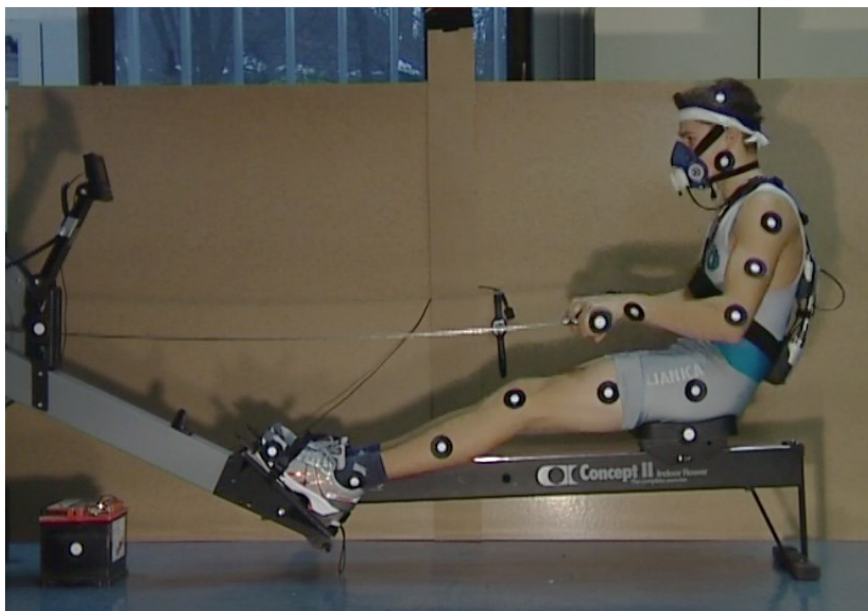
Slika 3.4: Z merilniki opremljen simulator veslanja.



Slika 3.5: Senzorji nameščeni na simulator veslanja.

### 3.1.2. Merjenje kinematičnih parametrov z optičnimi sistemi

Kinematične parametre pri veslanju je mogoče izmeriti s pomočjo optičnih sistemov, ki merijo položaj pasivnih ali aktivnih markerjev, ali sistema inercialnih senzorjev. Optični sistem merjenja kinematike gibanja je pri veslanju na vodi težko izvesti, saj je potrebno veslanje posneti iz spremljevalnega čolna. To pomeni, da je potrebno kalibrirati vsako sliko posebej, zaradi česar je analiza zelo zamudna. Nekoliko lažje je zajeti podatke s snemanjem na simulatorjih veslanja. Na sliki 3.6 je predstavljena slika iz video posnetka, ki ponazarja merjenje slovenskih veslačev na Inštitutu za šport v Ljubljani.



Slika 3.6: Merjenje kinematičnih parametrov z analizo video posnetkov. Na sliki so vidni markerji optičnega pozicijskega sistema, prilepljeni na specifične točke veslačevega telesa.

### 3.1.3. Veslanje na ergometru kot rehabilitacija

Veslanje na simulatorju se uporablja tudi kot telesna vadba za rehabilitacijo pri poškodbah spodnjih okončin. Pri rehabilitaciji se za doseganje boljših učinkov vadbo na simulatorjih veslanja mnogokrat kombinira s funkcionalno električno stimulacijo (FES). Veslanje na simulatorju s pomočjo FES je učinkovita, varna, dosegljiva in naravna alternativa za domačo rabo, ki paraplegikom omogoča celovito telesno vadbo in zmanjšuje tveganje za razvoj bolezni.

Paraplegiki zaradi poškodbe hrbtenjače ne morejo sami premikati spodnjih okončin in imajo zato povečano tveganje za kardiovaskularne bolezni, sladkorno bolezen tipa 2 in čezmerno debelost. Vse to zmanjšuje kakovost življenja in ima psihološke in fiziološke posledice. Stalna telesna vadba odločilno prispeva k zmanjšanju tveganja za razvoj omenjenih bolezni. Prav tako poveča venski/venozni priliv v srce in izboljša funkcijo miokarda, izboljša razmerje lipidov v organizmu in s tem zmanjša tveganje za kardiovaskularne bolezni, poveča pretok krvi na periferiji in zmanjša tveganje za periferno vaskularno bolezen in globoko vensko trombozo, poveča kostno gostoto, zmanjša tveganje za nastanek razjed zaradi pritiska (dekubitusov), poveča mišični tonus in mišično moč, ima dober psihološki učinek in prispeva k dobremu počutju [30]. Pri kombinaciji vadbe veslanja s simulatorjem in FES stimuliramo spodnje okončine, medtem ko se zgornji predel telesa giblje pod voljno kontrolo. Ker so gibi pri veslanju

ponovljivi in pri tem ni treba prenašati teže celega telesa, vadba na simulatorju veslanja omogoča, da je FES vodena glede na parametre veslanja.

V članku [31] avtorji predstavijo razvoj dinamične simulacije veslanja na simulatorju veslanja ob pomoči FES za osebe s poškodbo hrbtenjače. Avtorji so razvili dinamičen model prilagojenega simulatorja veslanja in paraplegične osebe, ki upošteva antropometrične podatke osebe. Na modelu so preučevali trajektorijo kolena in komolca ter navore v omenjenih sklepih. Zanimalo jih je predvsem, kolikšen navor v sklepu kolena je potreben za gladko izvedbo zavesljaja. Rezultati kažejo, da je za izvedbo potega zavesljaja v sklepu kolena potreben navor 50 Nm in 20 Nm za vrnitev na začetek zavesljaja. Model je mogoče uporabiti v povezavi s FES za izvajanje vadbe paraplegičnih oseb.

Avtorji študije, ki kombinira veslaško vadbo in FES [32], so prilagodili simulator veslanja Concept2 vadbi paraplegikov. Oblikovali so nov sistem za sedenje, ki zagotavlja stabilnost in omejuje gibanje nog samo v sagitalni ravnini. Za stimulacijo je bil uporabljen 4-kanalni električni stimulator, s katerim so stimulirali stegenske mišice in fleksorje kolena v fazah poteka in povratka zavesljaja. S pomočjo optičnih kodirnikov so merili položaj sedeža in ročaja med veslanjem. Za usklajevanje voljnega gibanja zgornjega dela telesa s FES nadzorovanim gibanjem nog je bil razvit poseben nadzorni sistem, ki za proženje električne stimulacije uporablja pritisk palca na senzor sile na ročaju. Takšen ročni nadzorni sistem je intuitiven, lahko učljiv in se odraža v dobro koordiniranem veslanju.

Avtorja študije [33] sta predstavila sistem za preprosto vodenje električne stimulacije spodnjih ekstremitet paraplegikov na osnovi mehke logike pri vadbi s simulatorjem veslanja. Raziskava, v kateri sta sodelovala dva paraplegika prostovoljca, je pokazala, da se z uporabo mehke logike porabi manj energije mišic in zagotovi bolj zvezno izvedbo zavesljaja kot pri diskretno vodeni stimulaciji s konstantno intenziteto.

**3.2. Metodologija meritev in analize podatkov** Za analizo kinematičnih in kinetičnih parametrov veslanja na simulatorju smo s sistemom, ki je bil razvit na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani [28] izvedli serijo merilnih testov na skupini prostovoljcev veslačev. Pred začetkom izvajanja meritev smo senzorje merilnega sistema kalibrirali/umerili, nato pa izvedli merilne teste veslanja v različnih režimih vadbe. Vsako merjenje je obsegalo določitev modela prostovoljca, inicializacijo senzorjev, ogrevanje prostovoljca ter izvedbo merilnega testa. Merjenju je sledila analiza izmerjenih podatkov.

### 3.2.1. Protokol študije

Pri meritvah je sodelovalo 10 prostovoljcev, ki smo jih razvrstili v dve skupini. Skupino poznavalcev je sestavljalo 5 vrhunskih veslačev, ki so bili člani slovenske veslaške reprezentance, skupino nepoznavalcev pa so sestavljali prostovoljci, ki so se prvič srečali s simulatorjem veslanja. Za vsakega prostovoljca so bili določeni antropometrični podatki za dinamični model glede na njihovo višino in težo. Podatki o prostovoljcih so prikazani v tabeli 3.1. Slika 3.7 prikazuje prostovoljca med izvajanjem meritve.

Po namestitvi prostovoljca na simulator veslanja so bili na anatomske točke telesa nameščeni merilni markerji za optični zajem kinematike gibanja.



Slika 3.7: Prostovoljec med izvajanjem meritve.

Tabela 3.1: Podatki o prostovoljcih.

	Oznaka osebe	Starost [leta]	Višina [cm]	Teža [kg]	Opis
<b>Poznavalci</b>	IČ	38	190	88	Nosilec 3 olimpijskih medalj in 14 medalj iz svetovnih prvenstev.
	LŠ	31	196	88	Nosilec 2 olimpijskih medalj in 8 medalj iz svetovnih prvenstev.
	JŠ	22	197	100	Nosilec ene medalje iz svetovnih prvenstev.
	MP	32	189	84	Trikratni udeleženec olimpijskih iger in nosilec 4 medalj iz svetovnih prvenstev.
	TP	29	186	85	Dvakratni udeleženec olimpijskih iger in nosilec 4 medalj iz svetovnih prvenstev.
<b>Nepoznavalci</b>	DN	25	186	82	Rekreativno se ukvarja s športom: tek.
	JC	29	171	80	Občasno kolesarjenje in planinarjenje.
	MT	25	183	85	Rekreativno se ukvarja s športom: kolesarjenje, planinarjenje, smučanje.
	PC	32	186	100	Rekreativno se ukvarja s športom: plavanje, tenis.
	PR	29	188	76	Občasno kolesarjenje in planinarjenje.

Merilni test, ki ga je opravil vsak prostovoljec, je trajal dve minuti in je bil sestavljen iz treh vrst aktivnosti, od katerih je imela vsaka določen tempo veslanja. Režim veslanja med meritvijo je prikazan v tabeli 3.2. Hitrost veslanja je posamezni prostovoljec določal v skladu s svojimi sposobnostmi. Merilni test je zasnovan tako, da se intenzivnost stopnjuje in traja kratek čas, da ne pride do utrujenosti, kljub temu pa zagotovi zadostno količino podatkov za obdelavo. To je vsaj 10 zaveslajev v posameznem območju. Pred izvedbo merilnega testa se je prostovoljec ogrel na zelen način.



Tabela 3.2: Režim veslanja med meritvijo.

Čas v meritvi	Trajanje	Območje aktivnosti	Tempo
0 – 60 sekund	60 sekund	Aerobna aktivnost: AO	20 zavesljajev/minuto
60 – 90 sekund	30 sekund	Aerobni prag: AP	26 zavesljajev/minuto
90 – 120 sekund	30 sekund	Anaerobna aktivnost: R	34 zavesljajev/minuto

Med merilnim testom smo zajemali sile na ročaju, sile in navore na opori za noge, položaj sedeža, dolžino potega verige, položaje osi segmentov telesa za gleženj, koleno, kolk, ramo, komolec in zapestje pri treh različnih tempih veslanja.

### 3.2.2. Obdelava izmerjenih podatkov

Obdelava izmerjenih podatkov je potekala v programskem okolju Matlab in grafičnem okolju Matlab Simulink [34]. Najprej smo z manipulacijo in obdelavo podatkov ločili podatke za nadaljnjo obdelavo vsakega režima veslanja posebej. S posebno m-skripto smo naložili podatke meritev, določili ustrezne spremenljivke in pobrisali podatke, ki so bili med zajemom shranjeni za varnostno kopijo.

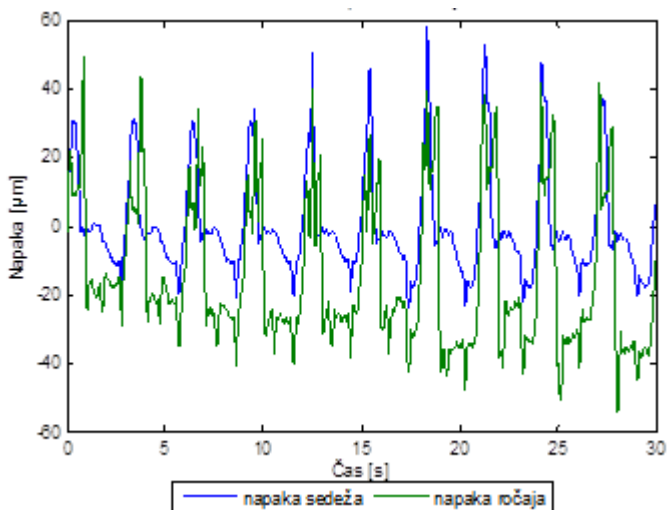
Ker pri izvajanju meritve pride do zakrivljanja posameznih markerjev, predvsem markerja na kolenu, je treba z interpolacijo določiti manjkajoče vzorce. Podatke markerjev smo filtrirali z Butterworthovim filtrom 5. reda in mejno frekvenco 5 Hz ter posamezne koordinate sestavili v tridimenzionalni vektor podatkov na način, da vsak stolpec predstavlja podatke o položaju x, y in z koordinate posameznega markerja [35]. Ker so koordinate zapisane v koordinatnem sistemu sistema Optotrak Certus, jih je treba transformirati v globalni koordinatni sistem.

Izračunali smo dolžino segmentov, ki je določena kot dolžina vektorja med merilnima markerjema, ki sta nameščena v oseh segmenta. Izračunali smo tudi kote med posameznimi segmenti telesa, ki so določeni kot koti med vzdolžnimi vektorji posameznih segmentov. Ti so določeni glede na pozicijo merilnih markerjev v oseh posameznega segmenta telesa. Predobdelani podatki vsebujejo podatke celotne meritve. Ker za obravnavo potrebujemo 10 zavesljajev za vsako področje aktivnosti posebej, smo predobdelane podatke segmentirali. Časovni interval vsakega posameznega okna segmentacije je bil ob opazovanju podatkov in poznavanju lastnosti posameznih faz zavesljaja določen ročno, segmentirani podatki so bili shranjeni vsak v svojo datoteko.

Z Newton-Eulerjevo inverzno dinamično analizo, ki temelji na rekurzivnem izračunu, smo izračunali sile in momente, ki delujejo v sklepih segmentov telesa, v stopalu, golenu, stegnu, trupu, nadlahti in podlahti [28, 36, 37].

Preverili smo ujemanje podatkov senzorjev o gibanju ročaja in sedeža ter določili dolžino zavesljaja, trajanje faz zavesljaja, sile posameznega zavesljaja na ročaju in nožniku, opravljeno delo, trajektorijo gibanja ročaja, kote med posameznimi segmenti telesa in obremenitve v sklepkih.

Podatke optičnih kodirnikov smo primerjali s podatki markerjev o položaju sedeža in ročaja. Primerjavo smo opravili na merilnih podatkih desetih zavesljajev pri tempu 20 zavesljajev/minuto poznavalca IČ. Pri tem smo referenčno vrednost markerjev za položaj ročaja določili glede na razdaljo med markerjema na ročaju in osi vetrnega kolesa, za sedež pa med markerjema na sedežu in opori za noge. Absolutno razliko med vrednostjo, izmerjeno z Optotrak Certus sistemom, ter vrednostjo, izmerjeno z optičnim kodirnikom, prikazuje graf na sliki 3.8. Povprečna srednja vrednost kvadrata napake optičnega kodirnika na sedežu znaša 0,27 mm, povprečna srednja vrednost kvadrata napake ročaja pa 0,47 mm. Iz tega sledi, da optična kodirnika zagotavljata zadostno natančnost za merjenje položaja sedeža ter položaja ročaja in s tem dolžine zavesljaja.

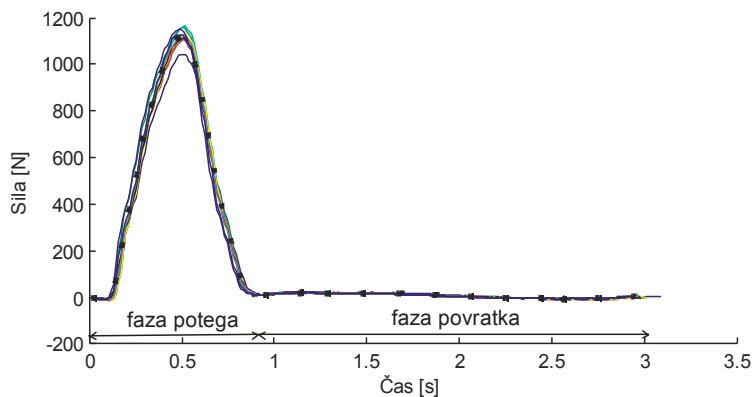


Slika 3.8: Absolutna napaka optičnih kodirnikov pri 10 zavesljajih.

Dolžino zavesljaja smo določili kot razliko med maksimalno in minimalno dolžino potega verige v posameznem zavesljaju, torej razliko med največjo in najmanjšo oddaljenostjo ročaja od vetrnega kolesa pri posameznem zavesljaju. Relativno dolžino zavesljaja glede na višino prostovoljca smo določili tako, da smo dolžino zavesljaja delili z višino prostovoljca in izrazili v odstotkih. Trajanje faz zavesljaja smo določili glede na gibanje ročaja v horizontalni smeri. Pri potegu se ročaj oddaljuje od vetrnega kolesa, pri povratku pa približuje.

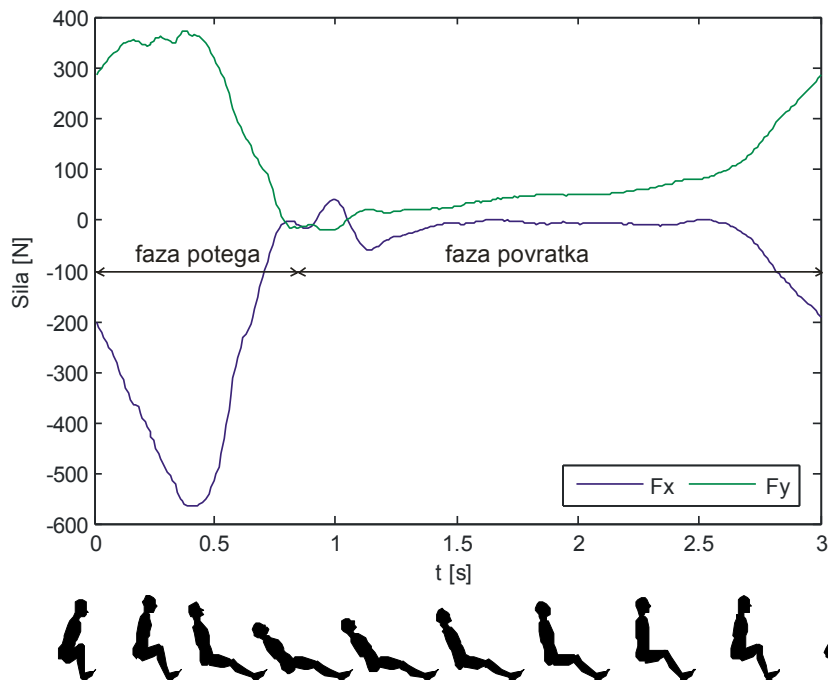
Sile posameznega zavesljaja na ročaju so bile izmerjene s senzorjem sile na ročaju. Slika 3.9 prikazuje primer poteka sile na ročaju desetih zavesljajev pri tempu 20 zavesljajev/minuto prostovoljca IČ. Sila na ročaju v prvem delu zavesljaja narašča,

doseže največjo vrednost, nato pa s časom pojema. Iz grafa je razvidno pri poteku sile pri poznavalcih ne nastopajo bistvene razlike med posameznimi zavesljaji. Za nadaljnjo analizo bo zato uporabljen povprečen potek sile, ki je prikazan na sliki 3.9 s pikčasto črto.



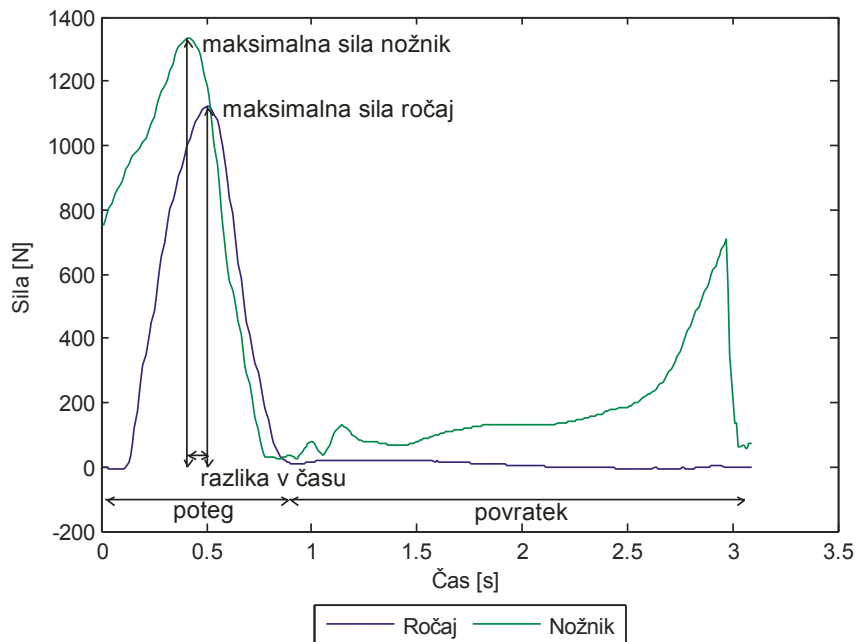
Slika 3.9: Sila potega na ročaju posameznega zavesljaja prostovoljca IČ pri tempu 20 zaveslajev/minuto.

Sile na opori za noge so bile izmerjene s šestdimenzionalnim senzorjem JR3. Slika 3.10 kot primer prikazuje graf sile na opori za noge enega zavesljaja prostovoljca IČ pri tempu 20 zaveslajev na minuto. Sila nog zaradi položaja opore za noge, ki je nagnjena za  $45^\circ$ , deluje v smereh x in y. Glavna razlika sil na opori za noge v primerjavi s silami na ročaju je, da se v fazi povratka veslač z nogami vleče proti začetku zavesljaja, zaradi česar delujejo na oporo za noge sile tudi v potezni smeri. Tako kot sila na ročaju tudi sila na opori za noge v prvem delu zavesljaja narašča, doseže največjo vrednost, nato pa s časom pojema. Sile med fazo povratka so manjše kot sile med fazo potega. Pri tem velja opozoriti, da sile na opori za noge začnejo naraščati že v zadnjem delu povratka, ko se ročaj še vedno giblje proti začetku zavesljaja. Veslač se s tem pripravi na nov zaveslaj.



Slika 3.10: Sile na opori za noge prostovoljca IČ pri tempu 20 zavesljajev/minuto.

Slika 3.11 prikazuje primerjavo povprečnih vrednosti velikosti sile nog in potezne sile rok pri tempu 20 zavesljajev na minuto prostovoljca IČ. Iz grafa je razvidno, da je sila na opori za noge oziroma nožniku po velikosti večja od sile na ročaju. Prav tako sila na nožniku doseže maksimalno vrednost prej kot jo doseže sila na ročaju. Razlog za to je, da veslač med potegom najprej izkoristi celotno moč nog, pri čemer se na ročaj preko telesa prenašajo sile iz nožnika. Med fazo povratka so sile na ročaju enake vrednosti nič, medtem ko na nožniku izmerimo silo, s katero se veslač vleče proti začetku zavesljaja.



Slika 3.11: Primerjava sil na ročaju in nožniku prostovoljca IČ pri tempu 20 zaveslajev/minuto.

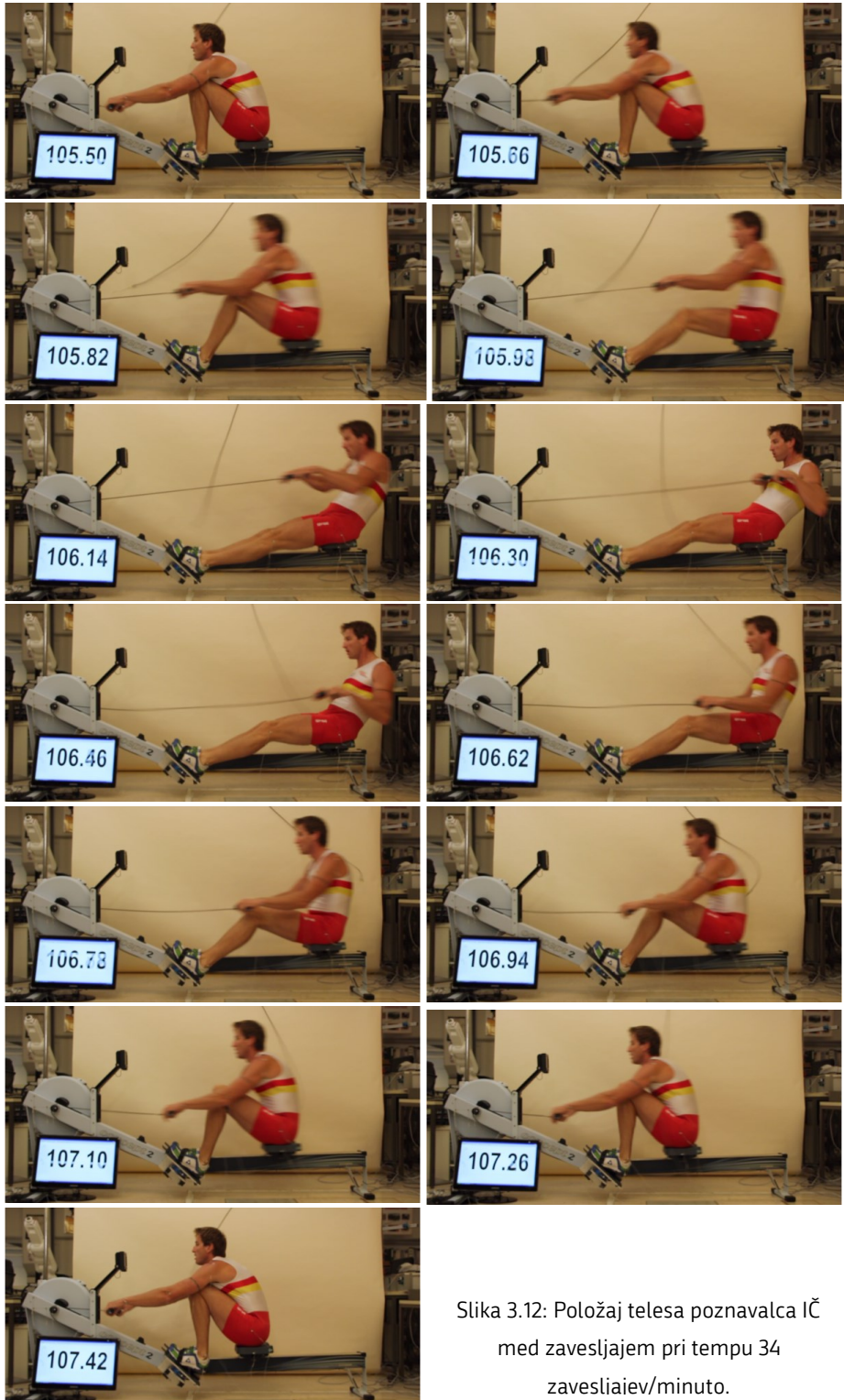
Sila na ročaju in dolžina zaveslaja sta povezani z opravljenim delom, saj je delo produkt sile in premika njenega prijemališča v smeri sile. Ker z rokami vlečemo ročaj, deluje sila v smeri premika in tako je bilo za izbrana območja, ki obsegajo 10 zaveslajev, za vsak merilni vzorec  $i$  izračunano delo po naslednji enačbi:

$$A(i) = F(i) * (s(i) - s(i - 1)) \quad (17)$$

Skupno delo za 10 zaveslajev določimo kot:

$$A = \sum_{i=1}^N A(i) \quad (18)$$

Trajektorija gibanja ročaja je bila izmerjena z merjenjem pozicije merilnega markerja na ročaju. Na grafih je na abscisi predstavljena x koordinata posameznega položaja, na ordinati pa y koordinata.



Slika 3.12: Položaj telesa poznavalca IČ med zavesljamem pri tempu 34 zaveslaiev/minuto.

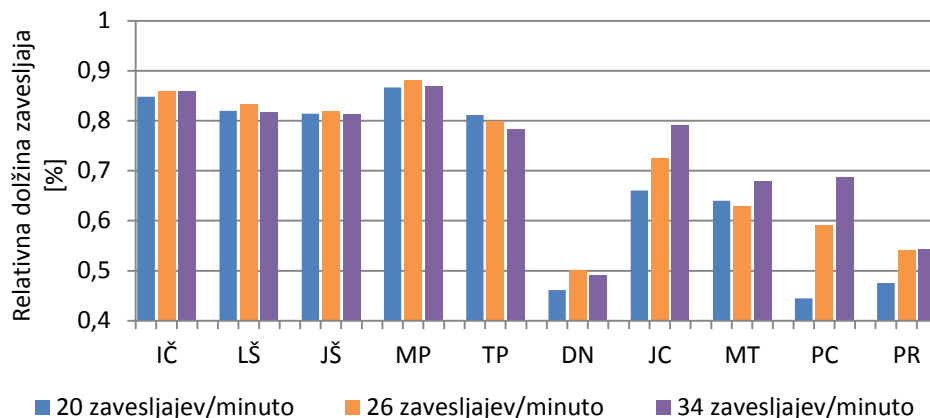
Koti med posameznimi segmenti telesa so koti med vektorji posameznih segmentov, ki so določeni z merilnimi markerji v oseh posameznega segmenta telesa. Analiza kotov segmentov telesa je bila opravljena za kote v gležnju (kot med segmentoma stopala in goleni), kolenu (kot med segmentoma goleni in stegna) ter kolku (kot med segmentoma stegna in trupa), saj ti koti določajo položaj telesa med zavesljajem. Slika 3.12 kot primer prikazuje položaj telesa poznavalca IČ med zavesljajem pri tempu 34 zavesljajev/minuto. Primerjava kotov je bila opravljena pri tempu 34 zavesljajev/minuto, saj so bile pri tem tempu najbolj očitne razlike med poznavalci in nepoznavalci.

Z Newton-Eulerjevo inverzno dinamično analizo so bile izračunane obremenitve v sklepih, torej sile in momenti v sklepih segmentov telesa, in sicer v gležnju, kolenu, kolku, LS sklepu in rami. V sklepih delujejo sile v smeri x in y, navori pa v smeri z globalnega koordinatnega sistema.

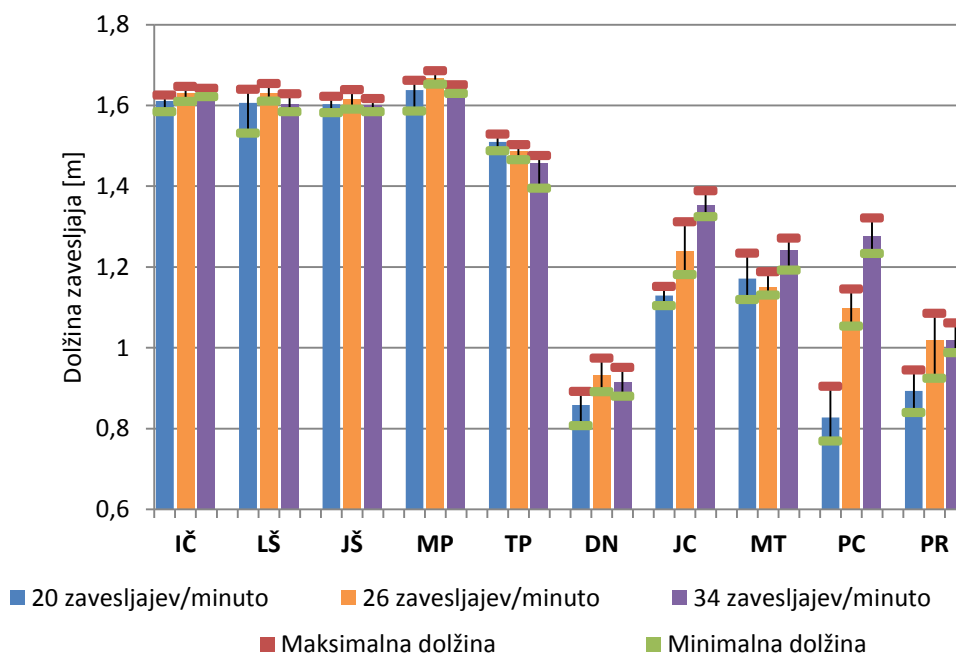
### **3.3. Interpretacija rezultatov sistema za analizo na ergometru**

#### **3.3.1. Dolžina zavesljaja**

Dolžino zavesljaja posameznega veslača pri različnih tempih veslanja prikazuje tabela 3.3. Slika 3.14 prikazuje povprečno dolžino zavesljaja, slika 3.13 pa relativno dolžino zavesljaja. Kot je razvidno iz rezultatov, imajo poznavalci zelo podobno dolžino zavesljaja tako med posameznimi zavesljaji znotraj posameznega področja aktivnosti kot med njimi. Standardni odklon znaša največ nekaj centimetrov, kar je pri povprečni razdalji več kot 1,6 m manj kot 1 %. Zanimivo je, da pri poznavalcu TP zasledimo pojav krajšanja dolžine zavesljaja z višanjem tempa. Poznavalec IČ je imel le pri tempu 20 zavesljajev/minuto 2 cm krajši zavesljaj, pri ostalih dveh tempih pa enako dolgega. LŠ, JŠ in MP so razvili najdaljši zavesljaj pri tempu 26 zavesljajev/minuto, pri ostalih dveh tempih pa enako dolgega. Najkrajši zavesljaj med poznavalci ima TP, ki je tudi najnižje rasti.



Slika 3.13: Relativna dolžina zavesljaja.



Slika 3.14: Povprečna dolžina zavesljaja.

Najdaljši zavesljaj je imel MP, ki tudi najbolje izkorišča svojo višino, saj ima dolžino zavesljaja 87 % svoje višine, sledi pa mu IČ z 85 %, vsi poznavalci pa dosegajo več kot 80 %.

Dolžina zavesljaja je pri nepoznavalcih občutno manjša kot pri poznavalcih. Glede na višino ima najdaljši zavesljaj JC, vendar za več kot 10 % krajšega kot poznavalec z najkrajšim zavesljajem. Najslabše je svojo višino izkoriščal DN, ki ima zavesljaj dolg



zgolj 50 % svoje višine. Krajši zavesljaj je posledica prekratkega zavesljaja na začetku in krajšanja zavesljaja na koncu potega. To je tipična napaka začetnika, ko rok ne potegne do trebuha.

Nepoznavalci so imeli precej podobno dolžino zavesljaja znotraj posameznega območja, saj se standardna deviacija giblje okoli 3 cm. Veliko večje pa so razlike med posameznimi območji. Največja je pri prostovoljcu PC, ki je svoj zavesljaj pri tempu 34 zavesljajev/minuto v primerjavi z zavesljajem pri tempu 20 zavesljajev/minuto podaljšal kar za polovico. Najmanj je dolžino zavesljaja spreminjal DN, zgolj za 6 cm. Pri vseh nepoznavalcih je mogoče ugotoviti, da so z višanjem tempa povečevali dolžino zavesljaja.

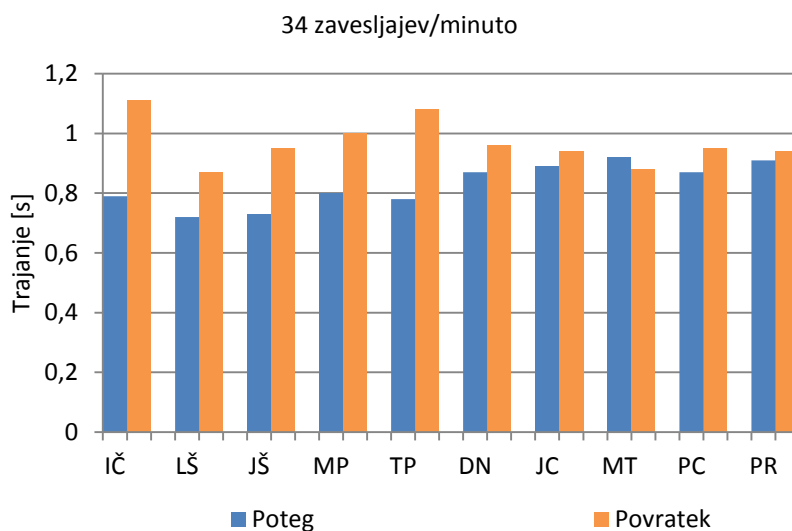
Tabela 3.3: Dolžina zavesljaja udeležencev poskusa..

Oseba	Tempo	Dolžina zavesljaja (m)				Relativna dolžina zavesljaja
	(zav/min)	Max.	Min.	Povp.	Std.	
IČ	20	1,6255	1,5845	1,6111	0,0151	0,8480
	26	1,6469	1,6101	1,6309	0,0108	0,8584
	34	1,6427	1,6217	1,6316	0,0062	0,8587
LŠ	20	1,6402	1,5311	1,6063	0,0033	0,8196
	26	1,6543	1,6107	1,6306	0,0014	0,8319
	34	1,6292	1,5846	1,6029	0,0140	0,8178
JŠ	20	1,6227	1,5823	1,6032	0,0011	0,8138
	26	1,6394	1,5909	1,6150	0,0016	0,8198
	34	1,6172	1,5846	1,6004	0,0096	0,8124
MP	20	1,6619	1,5859	1,6376	0,0231	0,8664
	26	1,6858	1,6528	1,6668	0,0098	0,8819
	34	1,6507	1,6298	1,6422	0,0073	0,8689
TP	20	1,5291	1,4879	1,5094	0,0014	0,8115
	26	1,5031	1,4656	1,4855	0,0123	0,7987
	34	1,4763	1,3955	1,4572	0,0236	0,7835
DN	20	0,8923	0,8069	0,8587	0,0251	0,4617
	26	0,9743	0,8915	0,9322	0,0270	0,5012
	34	0,9511	0,8804	0,9144	0,0261	0,4916
JC	20	1,1521	1,1045	1,1294	0,0160	0,6605
	26	1,3117	1,1811	1,2397	0,0500	0,7250

	34	1,3885	1,3248	1,3519	0,0225	0,7906
<b>MT</b>	20	1,2345	1,1194	1,1713	0,0374	0,6401
	26	1,1886	1,1307	1,1509	0,0222	0,6289
	34	1,2716	1,1927	1,2409	0,0288	0,6781
<b>PC</b>	20	0,9044	0,7694	0,8273	0,0480	0,4448
	26	1,1455	1,0533	1,0991	0,0328	0,5909
	34	1,3218	1,2334	1,2778	0,0294	0,6870
<b>PR</b>	20	0,945	0,8395	0,8934	0,0325	0,4752
	26	1,0853	0,9242	1,0182	0,0564	0,5416
	34	1,0619	0,9877	1,0187	0,0241	0,5418

### 3.3.2. Trajanje faz zavesljaja

Trajanje faz zavesljaja posameznega veslača pri različnih tempih veslanja prikazujeta tabela 3.4 in slika 3.15.



Slika 3.15: Trajanje faz potega in povratka pri tempu 34..

Podobno kot pri analizi dolžine zavesljaja tudi pri analizi trajanja faz lahko ugotovimo, da ne prihaja do odstopanj med posameznimi zavesljaji znotraj posameznega območja. Ker je zavesljaj sestavljen iz potega in povratka, njegovo trajanje pa je določeno s tempom, je najbolje opazovati trajanje povratka v razmerju s potegom. Za poznavalce je značilen hiter poteg in počasno vračanje proti začetku. Razmerje se tako pri poznavalcih z večanjem tempa manjša, saj veslač kljub povečani hitrosti med potegom

in s tem z zmanjšanjem njegovega trajanja ne more ujeti višjega tempa, zato se hitreje vrača med povratkom. Pri vseh poznavalcih je pri vseh tempih trajanje povratka daljše od trajanja potega. Največje razmerje med potegom in povratkom je pri vseh tempih razvidno pri prostovoljcu IČ. Pri prostovoljcu MP je razvidno najmanjše razmerje pri tempu 20 zaveslajev/minuto, vendar pa je z višanjem tempa razmerje najmanj zmanjševal. Pri tem ne smemo pozabiti dejstva, da je imel MP najdaljšo dolžino zaveslaja.

Za nepoznavalce je značilno, da imajo veliko manjše razmerje med potegom kot poznavalci in da se to razmerje giblje okoli 1:1 in se ne spreminja bistveno z večanjem tempa. To pomeni, da so enako časa namenili potegu in povratku. Nepoznavalec JC je imel povratek v vseh primerih hitrejši od potega. Kljub temu, da nepoznavalci ne sledijo tehniki hitrega potega in počasnega povratka, pa je bilo trajanje njihovih zaveslajev znotraj posameznega območja zelo podobno, kar pomeni, da so, čeprav z neustrezno tehniko, veslali enakomerno. Navedeno je razvidno tudi iz video posnetkov.

Tabela 3.4: Trajanje faz potega in povratka.

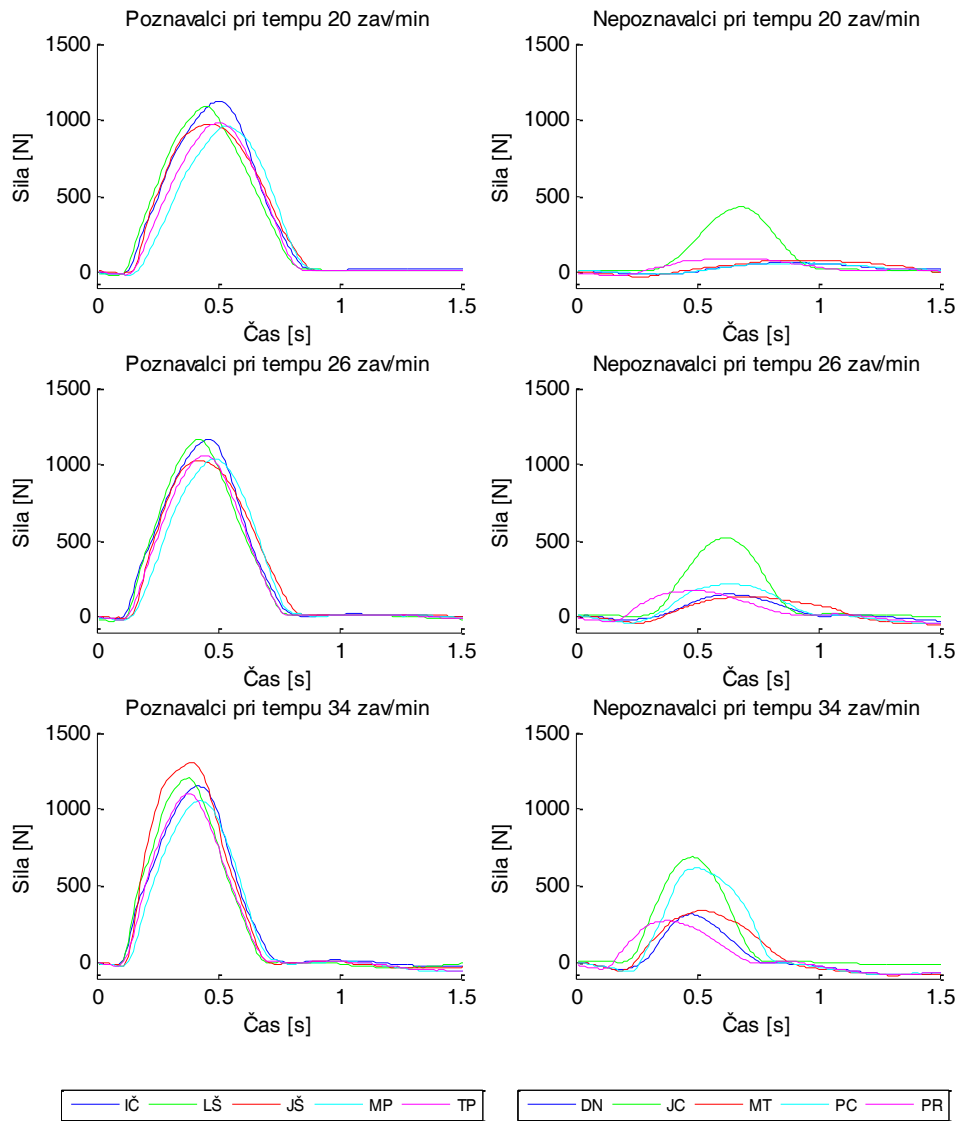
Oseba	Tempo (zav/min)	Trajanje potega (s)	Trajanje povratka (s)	Razmerje poteg : povratek
<b>IČ</b>	20	0,91 ± 0,01	2,07 ± 0,03	1 : 2,25
	26	0,85 ± 0,02	1,48 ± 0,02	1 : 1,74
	34	0,79 ± 0,01	1,11 ± 0,02	1 : 1,41
<b>LŠ</b>	20	0,93 ± 0,02	1,88 ± 0,11	1 : 2,02
	26	0,85 ± 0,02	1,35 ± 0,07	1 : 1,58
	34	0,72 ± 0,01	0,87 ± 0,02	1 : 1,20
<b>JŠ</b>	20	0,98 ± 0,01	1,94 ± 0,05	1 : 1,97
	26	0,92 ± 0,02	1,50 ± 0,03	1 : 1,63
	34	0,73 ± 0,01	0,95 ± 0,03	1 : 1,29
<b>MP</b>	20	0,99 ± 0,01	1,83 ± 0,07	1 : 1,85
	26	0,91 ± 0,02	1,50 ± 0,04	1 : 1,64
	34	0,80 ± 0,01	1,00 ± 0,02	1 : 1,25
<b>TP</b>	20	0,92 ± 0,01	1,93 ± 0,06	1 : 2,09
	26	0,85 ± 0,02	1,47 ± 0,06	1 : 1,71
	34	0,78 ± 0,02	1,08 ± 0,04	1 : 1,40
<b>DN</b>	20	1,48 ± 0,03	1,48 ± 0,02	1 : 1,00
	26	1,17 ± 0,03	1,18 ± 0,05	1 : 1,01
	34	0,87 ± 0,02	0,96 ± 0,03	1 : 1,10

<b>JC</b>	20	$1,12 \pm 0,03$	$1,42 \pm 0,15$	1 : 1,27
	26	$1,11 \pm 0,02$	$1,29 \pm 0,05$	1 : 1,16
	34	$0,89 \pm 0,03$	$0,94 \pm 0,02$	1 : 1,06
<b>MT</b>	20	$1,55 \pm 0,05$	$1,20 \pm 0,07$	1 : 0,77
	26	$1,23 \pm 0,03$	$0,99 \pm 0,05$	1 : 0,81
	34	$0,92 \pm 0,02$	$0,88 \pm 0,03$	1 : 0,95
<b>PC</b>	20	$1,52 \pm 0,07$	$1,44 \pm 0,32$	1 : 0,94
	26	$1,11 \pm 0,04$	$1,14 \pm 0,17$	1 : 1,02
	34	$0,87 \pm 0,01$	$0,95 \pm 0,02$	1 : 1,09
<b>PR</b>	20	$1,39 \pm 0,05$	$1,50 \pm 0,06$	1 : 1,08
	26	$1,15 \pm 0,05$	$1,16 \pm 0,04$	1 : 1,01
	34	$0,91 \pm 0,02$	$0,94 \pm 0,06$	1 : 1,02

### 3.3.3. Primerjava sil na opori za noge in sil na ročaju

Analizirali smo potek in vrednosti sile ter čase, ob katerih nastopijo vršne vrednosti. Vrednosti maksimalne sile na ročaju in opori za noge ter čase, ob katerih nastopijo glede na začetek trajanja zavesljaja, prikazuje tabela 3.5. Na tabeli je prikazana tudi razlika v času med nastopom maksimalne sile na ročaju in opori za noge ter razmerje sile na ročaju glede na silo na opori za noge (glej tudi sliko 3.17).

# Merjenja v veslanju



Slika 3.16: Sile potega rok na ročaju pri različnih tempih.

Tabela 3.5: Maksimalne sile med zavesljamem.

Oseba	Tempo (zav/min)	Max. sila ročaj		Max. sila noge		Razlika v času (s)	Razmerje sil
		Sila (N)	Čas (s)	Sila (N)	Čas (s)		
<b>IČ</b>	20	1.120,26	0,51	1.333,70	0,42	0,09	0,84
	26	1.160,89	0,46	1.345,33	0,39	0,07	0,86
	34	1.152,44	0,42	1.336,82	0,37	0,05	0,86
<b>LŠ</b>	20	1.084,82	0,45	1.180,65	0,37	0,08	0,92
	26	1.161,53	0,42	1.176,79	0,30	0,12	0,99
	34	1.202,06	0,38	1.232,11	0,24	0,14	0,98
<b>JŠ</b>	20	968,03	0,45	1.355,57	0,43	0,02	0,71
	26	1.025,29	0,41	1.337,61	0,39	0,02	0,77
	34	1.298,49	0,38	1.425,57	0,34	0,04	0,91
<b>MP</b>	20	957,95	0,53	1.118,78	0,42	0,11	0,86
	26	1.037,38	0,49	1.181,24	0,36	0,13	0,88
	34	1.055,83	0,43	1.189,24	0,29	0,14	0,89
<b>TP</b>	20	982,12	0,51	1.172,79	0,43	0,08	0,84
	26	1.057,46	0,45	1.211,31	0,39	0,06	0,87
	34	1.101,72	0,38	1.288,95	0,35	0,03	0,85
<b>DN</b>	20	63,29	0,90	343,03	0,04	0,86	0,18
	26	151,72	0,63	564,52	0,06	0,57	0,27
	34	317,40	0,47	814,26	0,10	0,37	0,39
<b>JC</b>	20	429,37	0,68	575,10	0,64	0,04	0,75
	26	518,98	0,62	738,51	0,58	0,04	0,70
	34	689,38	0,48	901,50	0,38	0,10	0,76
<b>MT</b>	20	78,83	0,96	483,00	0,01	0,95	0,16
	26	133,81	0,70	507,84	0,07	0,63	0,26
	34	342,84	0,51	776,26	0,04	0,47	0,44
<b>PC</b>	20	61,29	0,94	351,70	0,03	0,91	0,17
	26	214,24	0,65	690,32	0,02	0,63	0,31
	34	616,95	0,50	901,28	0,12	0,38	0,68
<b>PR</b>	20	92,46	0,71	450,94	0,01	0,70	0,21
	26	173,89	0,48	560,67	0,01	0,47	0,31
	34	274,41	0,38	689,29	0,01	0,37	0,40

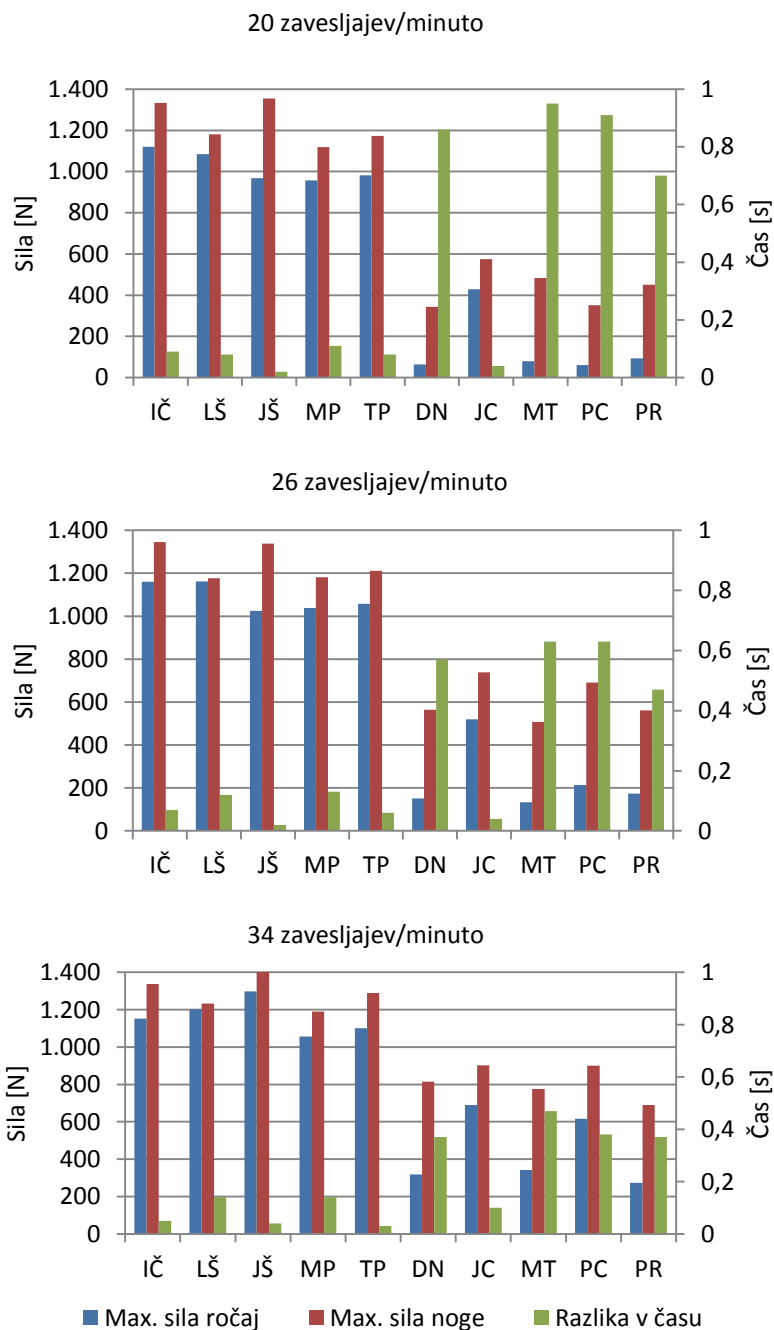
Maksimalna velikost sile na ročaju se pri poznavalcih giblje med 950 N in 1300 N. Poteki sil na ročaju so za poznavalce in nepoznavalce pri vseh treh tempih ločeno prikazani na sliki 3.16. Iz podatkov je razvidno, da pri vseh poznavalcih maksimalna sila na ročaju narašča z večanjem tempa, izjema je le oseba IČ, ki dosega maksimalno silo na ročaju pri tempu 26 zavesljajev/minuto. Največjo silo pri tempu 20 zavesljajev/minuto razvije IČ, pri tempu 26 zavesljajev/minuto imata osebi IČ in LŠ skoraj enaki sili, pri tempu 34 zavesljajev/minuto pa dosega največjo silo JŠ, pri katerem nastopa tudi največje povečanje med silami pri različnih tempih, in sicer kar 330 N. Najmanjšo silo med poznavalci razvije oseba MP, in sicer 958 N pri tempu 20 zavesljajev/minuto. Najmanjše razlike med silami pri različnih tempih so razvidne pri osebi IČ, in sicer zgolj 40 N. Čas nastopa maksimalne sile na ročaju od začetka zavesljaja se z večanjem tempa pri vseh poznavalcih zmanjšuje.

Maksimalne sile na opori za noge se pri poznavalcih gibljejo od 1.100 do 1.400 N. Maksimalna sila na opori za noge pri osebah MP in TP narašča z večanjem tempa, pri osebi IČ je največja pri tempu 26 zavesljajev/minuto (1.345 N), pri osebah LŠ in JŠ pa je pri tem tempu najmanjša (1.176 N in 1.337 N). Pri vseh poznavalcih je sila pri tempu 34 zavesljajev/minuto večja kot pri tempu 20 zavesljajev/minuto. Največjo silo pri tempu 20 zavesljajev/minuto razvije oseba JŠ, in sicer 1.355 N. Oseba JŠ razvije tudi največjo silo na opori za noge pri tempu 34 zavesljajev/minuto, in sicer 1.425 N, kar je največja izmerjena sila. Pri tempu 26 zavesljajev/minuto največjo silo na opori za noge razvije oseba IČ.

Iz rezultatov lahko razberemo tudi, da so najmanjše razlike med silami na opori za noge pri različnih tempih tako kot pri silah na ročaju razvidne pri osebi IČ, in sicer zgolj 12 N, kar pomeni, da se v vseh primerih enakomerno odriva z nogami. Največja razlika je razvidna pri osebi TP, in sicer kar 116 N. Čas nastopa maksimalne sile na opori za noge od začetka zavesljaja se z večanjem tempa pri vseh poznavalcih zmanjšuje, kar je povezano s krajšim trajanjem faze potega.

Pri vseh poznavalcih najprej nastopi maksimalna sila na opori za noge, z rahlim zamikom pa ji sledi maksimalna sila na ročaju. Do zamika skoraj ne pride pri osebi JŠ (0,02 s), medtem ko je največji zamik razviden pri osebah MP in LŠ, in sicer pri obeh 0,14 s pri tempih 34 zavesljajev/minuto. Zanimivo je, da se zamiki z večanjem tempa pri osebah IČ in TP zmanjšujejo, pri osebah JŠ, LŠ in MP pa povečujejo.

Največjo silo na ročaju glede na silo na opori za noge oziroma najmanjšo relativno razliko med njima pri vseh tempih dosega oseba LŠ, najbolj konstantno oseba IČ, medtem ko se pri osebah JŠ in MP relativna razlika med silama z višanjem tempa zmanjšuje.



Slika 3.17: Maksimalne sile med zavesljajem.

Pri nepoznavalcih so sile občutno manjše kot pri poznavalcih. Najbolj očitne so razlike pri tempu 20 zavesljajev na minuto, kjer nepoznavalci, z izjemo JC, skoraj ne razvijejo nobene sile na ročaju. Pri njih je z višanjem tempa veliko bolj kot pri poznavalcih



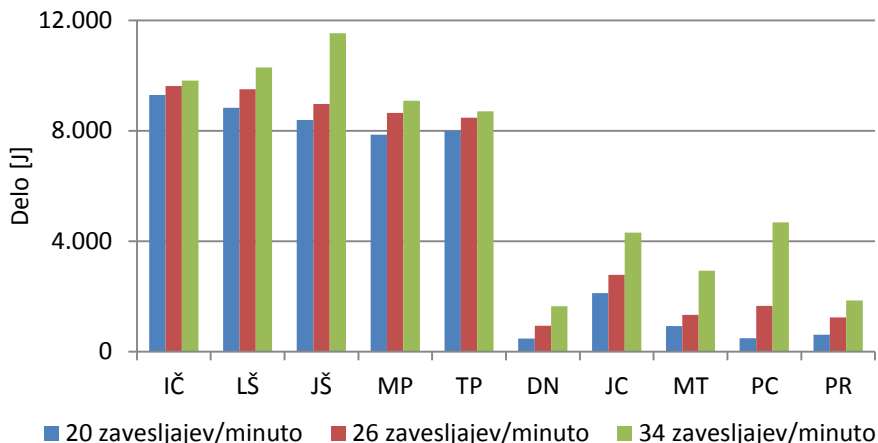
izrazito povečanje maksimalne sile, in sicer tako na ročaju kot na opori za noge. Sila na opori za noge se tako pri PC poveča kar za 2,6 krat, sila na ročaju pa pri istem nepoznavalcu kar za 10 krat. Pri tempu 34 zavesljajev/minuto tako tudi nepoznavalci na opori za noge razvijejo približno 2/3 sile poznavalcev, vendar pa te sile ne znajo prenesti na ročaj, kjer znaša sila približno 1/3 sile poznavalcev. Izjemi sta osebi JC in PC, ki razvijeta 1/2 sile poznavalcev. Tako kot pri poznavalcih tudi pri nepoznavalcih maksimalna sila na opori za noge nastopi pred maksimalno silo na ročaju. Z izjemo veslanja osebe JC je ta razlika pri nepoznavalcih 10 krat večja kot pri poznavalcih in prav pri njih je mogoče zaslediti, da maksimalna vrednost sile na opori za noge nastopi ob začetku potega.

### 3.3.4. Opravljeno mehansko delo

Rezultati analize opravljenega dela pri testnem veslanju so navedeni v tabeli 3.6 in prikazani na sliki 3.18.

Tabela 3.6: Opravljeno delo desetih zavesljajev.

Oseba	Delo (J)		
	20 zav/min	26 zav/min	34 zav/min
<b>IČ</b>	9.292	9.622	9.816
<b>LŠ</b>	8.833	9.504	10.297
<b>JŠ</b>	8.394	8.969	11.532
<b>MP</b>	7.857	8.646	9.083
<b>TP</b>	7.994	8.472	8.703
<b>DN</b>	477	940	1.652
<b>JC</b>	2.127	2.784	4.316
<b>MT</b>	926	1.335	2.933
<b>PC</b>	489	1.664	4.678
<b>PR</b>	611	1.244	1.859



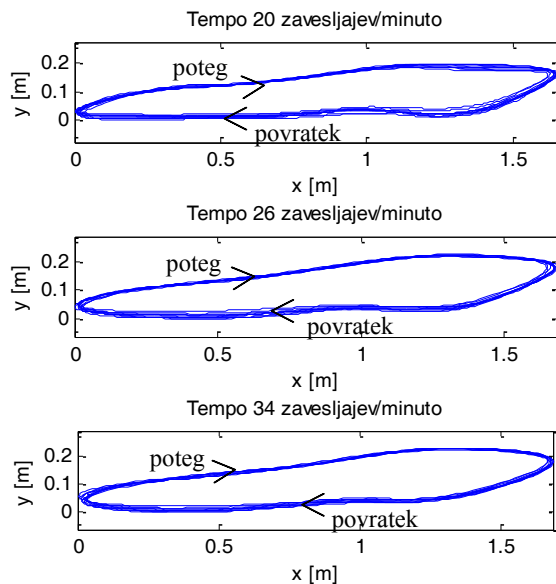
Slika 3.18: Opravljeno delo desetih zavesljajev.

Iz rezultatov je razvidno, da so poznavalci pri testnem veslanju opravili več dela kot nepoznavalci. Pri tempu 20 zavesljajev/minuto je največ dela opravil poznavalec IČ, najmanjše med poznavalci pa oseba MP.

Pri vseh prostovoljcih je opravljeno delo z višanjem tempa naraščalo. Najmanj se je delo povečalo pri tempu 34 zavesljajev/minuto glede na delo pri tempu 20 zavesljajev/minuto pri poznavalcu IČ, in sicer zgolj za 5 %. Sledijo osebe TP z 8-odstotnim povečanjem ter LŠ in MP s približno 15-odstotnim povečanjem. Poznavalec JŠ je pri najvišjem tempu opravil za kar tretjino več dela kot pri nizkem tempu in v tem primeru odstopa od drugih poznavalcev. Če pri poznavalcih govorimo o povečanju v nekaj odstotkih, pa lahko za nepoznavalce ugotovimo, da se je delo s tempom povečalo za nekajkrat, npr. pri osebi JC za 2 krat, pri osebah DN, MT in PR za nekaj več kot 3 krat, oseba PC pa je delo povečala kar za 9 krat.

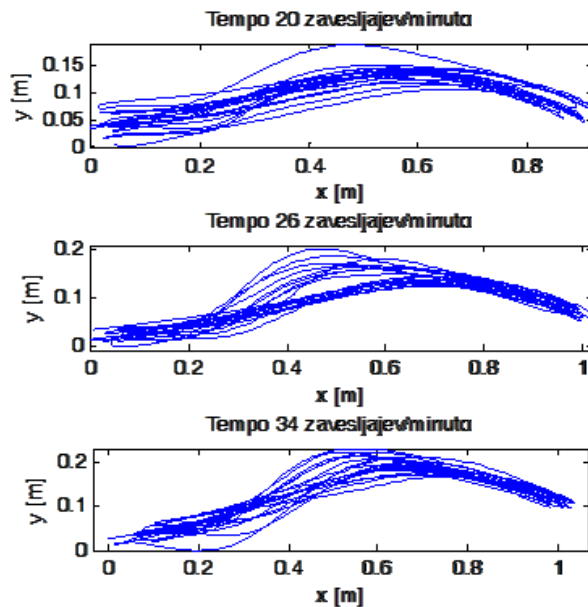
### 3.3.5. Trajektorija gibanja ročaja

Trajektorije gibanja ročaja poznavalcev so si med seboj zelo podobne. Kot primer je na sliki 3.19 prikazana le trajektorija gibanja ročaja izbranih desetih zavesljajev pri različnih tempih veslanja poznavalca. Kot je razvidno s slike, ni razlik v gibanju ročaja pri različnih tempih. Začetek zavesljaja nastopi, ko se začne ročaj premikati v horizontalni smeri ( $x = 0$ ). Nato se ročaj od začetka zavesljaja med fazo potega giblje po zgornjem delu trajektorije v smeri naraščanja  $x$  do zaključka potega, ko je ročaj najbolj oddaljen od začetka zavesljaja. Na zaključku potega je lepo viden prehod v povratek, ko so roke ob trebuhu, čemur nato sledi povratek in priprava na nov zavesljaj.



Slika 3.19: Trajektorija gibanja rok poznavalca pri različnih tempih.

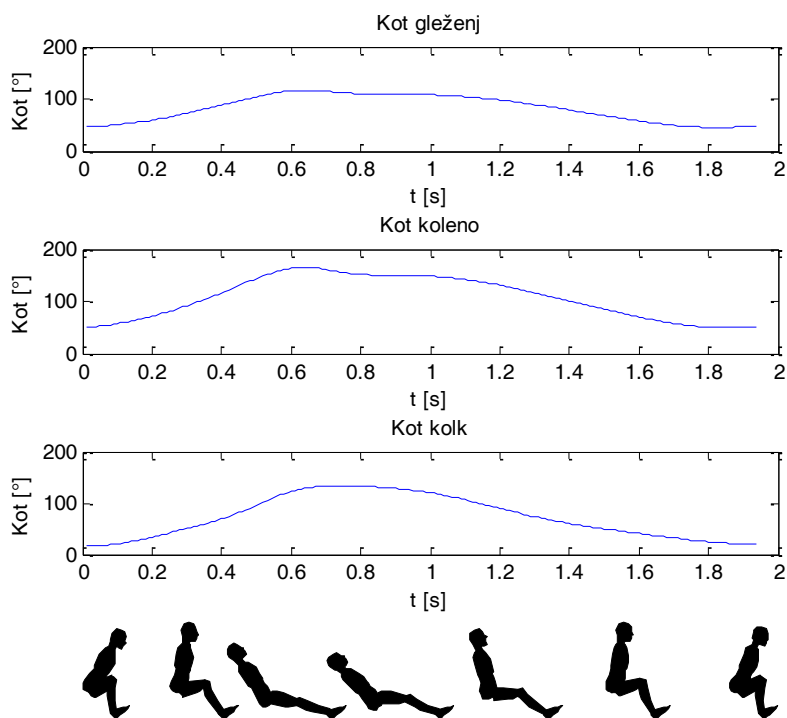
Trajektorije gibanja ročaja nepoznavalcev se bistveno razlikujejo od trajektorij poznavalcev. Na sliki 3.19 prikazane trajektorije nepoznavalca, medtem ko se trajektorije ostalih nepoznavalcev ne razlikujejo bistveno od teh. Iz slike 3.25 je razvidno, da nepoznavalci ne vzdržujejo iste trajektorije, ampak vsak zavesljaj z ročajem opravijo nekoliko drugače. Pri tem oseba ročaj med potegom in povratkom pomika praktično po isti poti z manjšim vrhom na sredini zavesljaja. Razlog je nepravilno zaporedje gibanja rok in nog, zaradi česar se oseba z ročajem izogiba kolenom.



Slika 3.20: Trajektorija gibanja rok nepoznavalca pri različnih tempih.

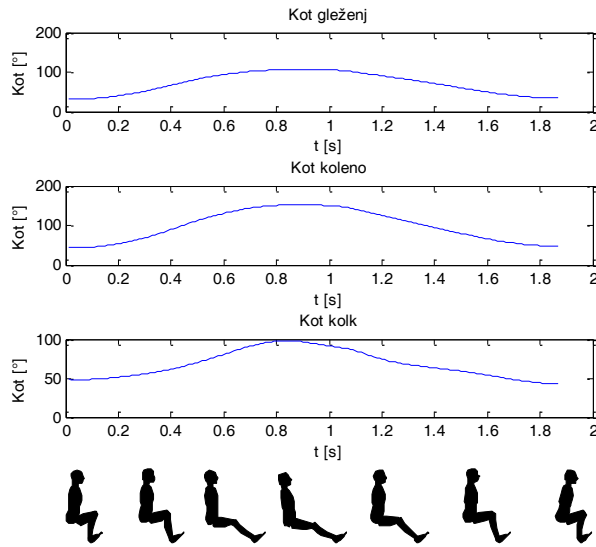
### 3.3.6. Koti segmentov telesa med zavesljajem

Koti segmentov telesa med zavesljajev poznavalcev so podobni, zato so kot primer na sliki 3.21 prikazani koti in pripadajoč položaj telesa enega zavesljaja poznavalca IČ. Iz slike je razvidna tehnika gibanja med zavesljajem, saj je trup na začetku potega zavesljaja rahlo nagnjen naprej, kolena in gležnji pa so pokrčeni, kolikor je mogoče. Sledi odziv z nogami in na koncu zavesljaja, ko so noge popolnoma iztegnjene, se oseba s trupom rahlo nagne nazaj. Med povratkom se najprej trup nagne naprej, nato se pokrčijo noge in zadrži položaj telesa do novega zavesljaja.

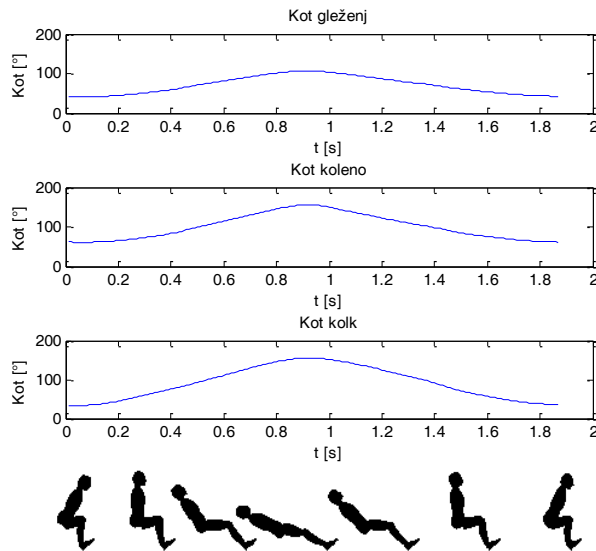


Slika 3.21: Koti segmentov telesa med zavesljajem poznavalca IČ pri tempu 34 zavesljajev/minuto.

Koti segmentov nepoznavalcev se razlikujejo od poteka kotov poznavalcev. Na slikah 3.22 in 3.23 so prikazani koti in pripadajoči položaji telesa dveh ekstremnih primerov nepoznavalcev. Nepoznavalec DN je, kot je razvidno iz slike 3.22, med zavesljajem vzdrževal pokončno držo trupa in se niti na začetku zavesljaja niti na koncu potega ni nagnil. Prav tako ni do konca pokrčil kolen in gležnjeve na začetku zavesljaja. Rezultat neustreznega gibanja je krajši zavesljaj. Nepoznavalec JC pa začetek zavesljaja začne v pravem položaju, vendar se na koncu potega s hrbtom preveč nagne nazaj (slika 3.23). Na ta način je podaljšal zavesljaj, kar pa ni imelo vpliva na učinkovitost zavesljaja, saj v tej fazi ne deluje več sila nog in rok.



Slika 3.22: Koti segmentov telesa med zavesljajem nepoznavalca DN pri tempu 34 zavesljajev/minuto.



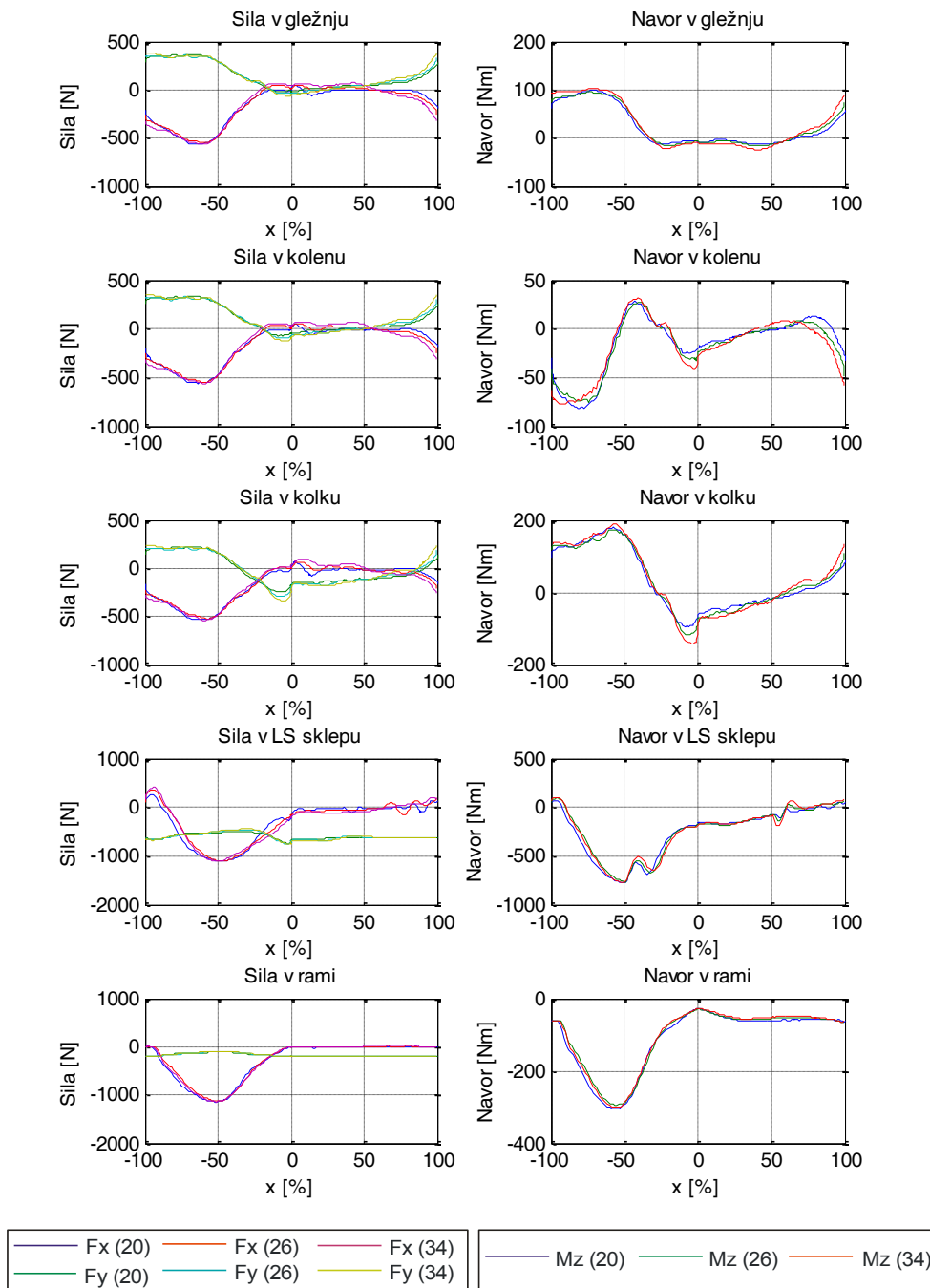
Slika 3.23: Koti segmentov telesa med zavesljajem nepoznavalca JC pri tempu 34 zavesljajev/minuto.

### 3.3.7. Obremenitve v sklepih

Izračunane obremenitve v sklepih smo za boljšo predstavbo in primerjavo med osebami prikazali glede na relativni položaj v zaveslaju, to je glede na položaj ročaja. Rezultati so prikazani glede na abscisno os, na kateri enote predstavljajo začetek potega pri vrednosti -100 %, konec potega in začetek povratka pri vrednosti 0 % in konec povratka pri vrednosti 100 %. Sile in navori v gležnju, kolenu in kolku so predstavljeni samo za levo nogo, medtem ko so rezultati za ramo predstavljeni za obe rami skupaj. Kot primer so na sliki 3.24 predstavljene obremenitve v sklepih poznavalca IČ. Levi stolpec grafov prikazuje komponente sil v x in y smeri, ki so izračunane v vsakem sklepu za veslanje v vseh treh režimih (20, 26 in 34 zaveslajev/minuto). Desni stolpec predstavlja za iste primere vrtilni moment v vsakem sklepu. V tabeli 3.7 so zbrane karakteristične vrednosti obremenitev sklepov pri veslanju poznavalca IČ. Te vrednosti označujejo, kdaj nastopijo vršne vrednosti obremenitev glede na cikel veslanja (maksimalna in minimalna vrednost posamezne veličine) ter velikost spremembe posamezne veličine med zaveslajem glede na tempo veslanja.

Tabela 3.7: Obremenitve v sklepih prostovoljca IČ.

Sklep	Veličina	20 zav/min			26 zav/min			34 zav/min		
		max	min	$\Delta$	max	min	$\Delta$	max	min	$\Delta$
		(%)	(%)	(N)	(%)	(%)	(N)	(%)	(%)	(N)
gleženj	$F_x$	4	-64	607	6	-62	601	43	-60	638
	$F_y$	-68	3	392	-72	-1	410	-99	-1	454
	$M$	-71	40	112	-74	41	114	-72	42	127
koleno	$F_x$	4	-64	603	6	-58	596	7	-60	635
	$F_y$	-68	-9	407	-72	-6	429	-99	-3	477
	$M$	-43	-77	111	-38	-74	103	-41	-93	109
kolk	$F_x$	4	-64	593	6	-56	590	10	-59	641
	$F_y$	-68	-9	473	-72	-8	519	-96	-4	572
	$M$	-58	-9	274	-59	-6	290	-57	-4	334
LS sklep	$F_x$	-95	-47	1.356	-95	-47	1.455	-94	-51	1.513
	$F_y$	-37	-2	243	-31	-3	290	-30	-2	313
	$M$	-97	-51	841	-96	-50	856	-95	-51	873
rama	$F_x$	83	-52	1.152	81	-50	1.145	64	-51	1.160
	$F_y$	-47	100	88	-47	98	97	-47	97	98
	$M$	0	-58	279	0	-55	267	0	-56	275



Slika 3.24: Obremenitve v sklepih poznavalca IČ.

Iz slike 3.24, ki prikazuje grafe obremenitev v sklepih IČ pri različnih tempih veslanja, in iz tabele 3.7 je razvidno, da s povišanjem tempa veslanja pri poznavalcu IČ ne pride do bistvenega povečanja obremenitev v sklepih. Vse sile z začetkom zaveslaja naraščajo, dosežejo svojo največjo vrednost pri 50 % potega, po tem pa začnejo upadati. Sile v

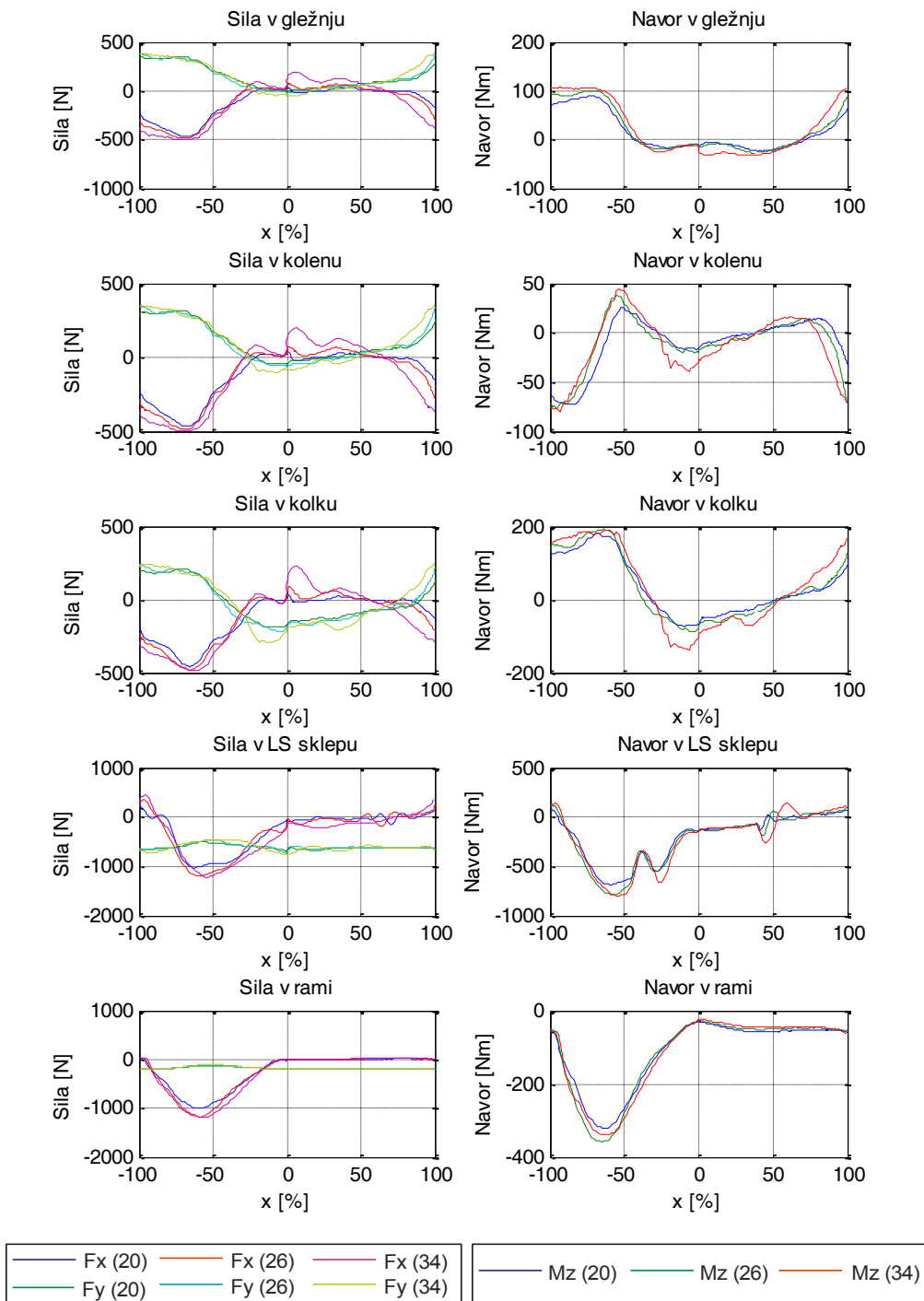


gležnju, kolenu in kolku so si zelo podobne, tako po velikosti kot poteku. Pri kolku je opazna tudi teža telesa, ki deluje v negativni smeri  $y$ . Ko so noge pred zaključkom zavesljaja iztegnjene, v teh sklepih sile skoraj ne delujejo. Pred koncem povratka se sile sklepov spodnjih okončin zopet začnejo povečevati. Sprememba sile med zavesljajem v vseh treh sklepih znaša približno 600 N v  $x$  smeri in nekaj več kot 400 N v  $y$  smeri. Navor v gležnju je konstanten do približno 40 % potega, ko začne pojemati. Navor pred koncem povratka zopet začne rasti. Njegova sprememba med zavesljajem znaša nekaj več kot 100 Nm. Navor v kolenu se najbolj spreminja med zavesljajem, kljub temu pa je njegova največja sprememba med zavesljajem, tako kot pri gležnju, nekaj več kot 100 Nm. Na navor v kolku vpliva tudi nagibanje trupa med zavesljajem, kar ima za posledico spremembo navora za približno 300 Nm.

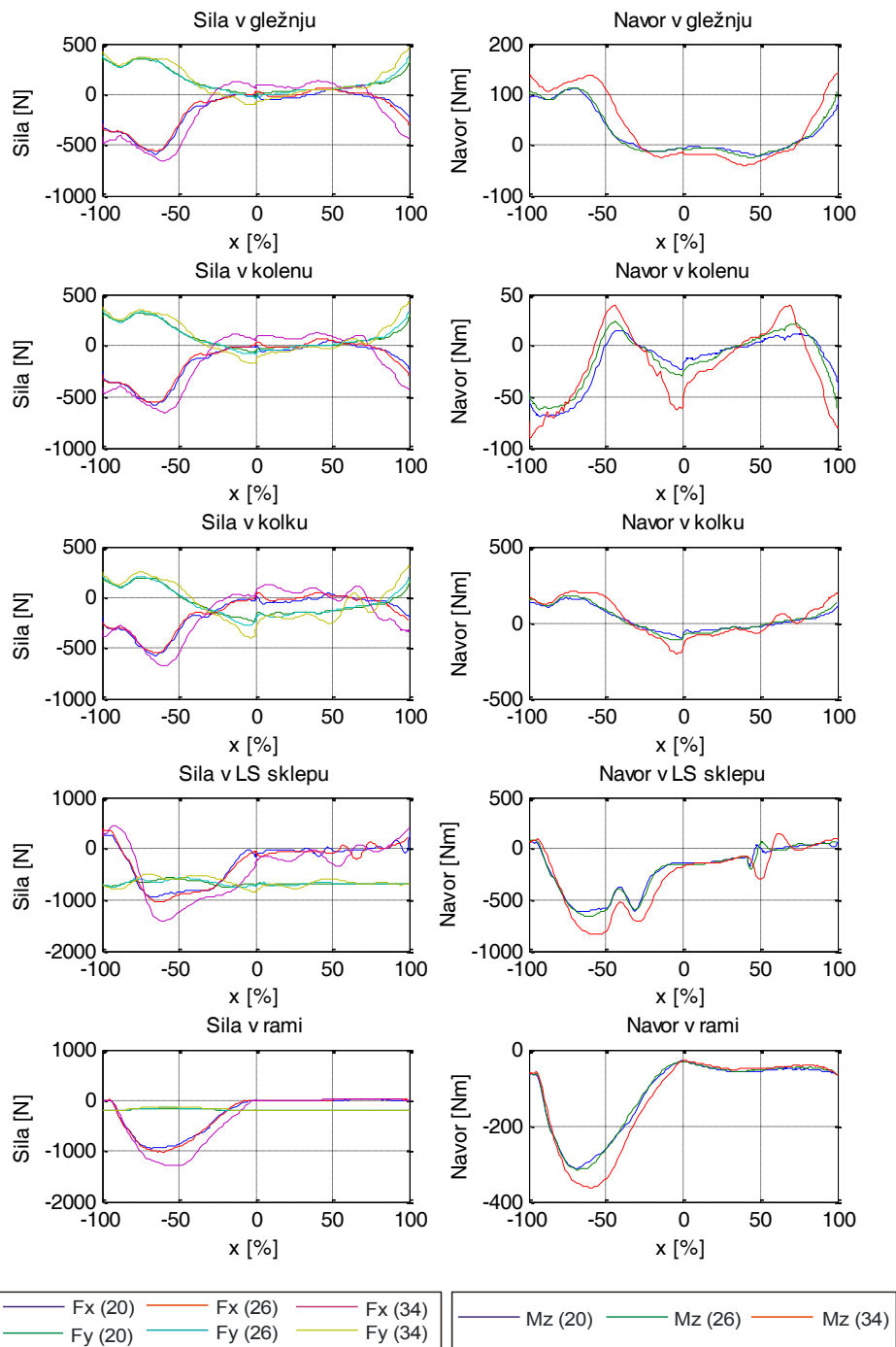
Največje spremembe sil in navorov delujejo v lumbosakralnem sklepu (LS sklep) ( $F_x$  1.500 N,  $F_y$  300 N in  $M$  približno 870 Nm). Prav v tem sklepu nastopijo tudi najpogostejše poškodbe pri veslačih. Poleg sile zavesljaja, ki deluje v  $x$  smeri, deluje v njem tudi teža celotnega trupa. Če so navori v drugih sklepih dokaj gladke krivulje, pa pride v LS sklepu na začetku drugega dela potega do dvakratne hitre spremembe navora. Nekaj podobnega, vendar v mnogo manjšem obsegu, se ponovi med povratkom. Sile v rami v  $x$  smeri imajo podoben potek med zavesljajem kot v LS sklepu, sila v  $y$  smeri pa je minimalna, saj deluje le teža rok. Sprememba navora v obeh ramah med zavesljajem je približno 270 Nm.

Na sliki 3.25 so prikazane obremenitve v sklepih poznavalca LŠ. Velikosti in poteki obremenitev so zelo podobni kot pri osebi IČ. Iz grafov je razvidno, da oseba LŠ začne izvajati povratek pri najvišjem tempu zelo sunkovito, kar ima za posledico povečanje  $F_x$  v gležnju, kolenu in kolku, česar pri osebi IČ ni zaslediti. Prav tako je pri osebi LŠ še bolj izrazito nihanje navora v LS sklepu. Kot tretji primer obremenitve v sklepih pri veslanju poznavalcev je predstavljena slika 3.26 za osebo JŠ. S slike je moč razbrati, da pri osebi JŠ nastopa veliko povečanje navora v kolenu pri tempu 34 zavesljajev/minute.

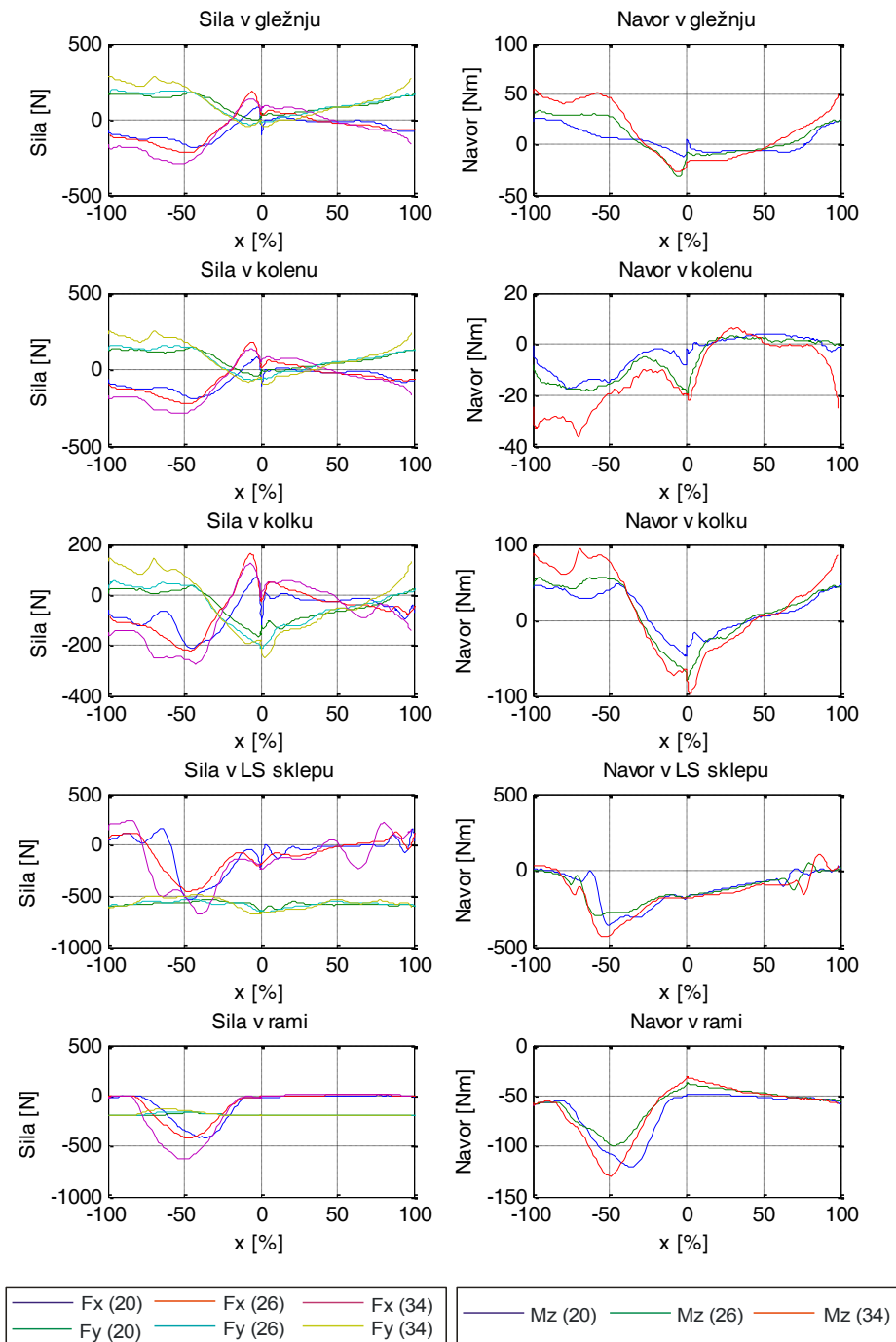
Slika 3.27 prikazuje primer obremenitev v sklepih nepoznavalca JC. Iz rezultatov je razvidno, da so poteki sil v gležnju, kolenu in rami podobni potekom sil pri veslanju poznavalcev, nastopa pa precejšnja razlika pri sili v kolku in pri navoru v LS sklepu. Kljub temu, da je oseba JC opravila med nepoznavalci največje delo, je navor v njegovem LS sklepu skoraj za polovico manjši kot pri poznavalcih. Hkrati v navoru LS sklepa med potegom ne nastopa značilno nihanje, ki smo ga zasledili pri poznavalcih.



Slika 3.25: Obremenitve v sklepih poznavalca LŠ.

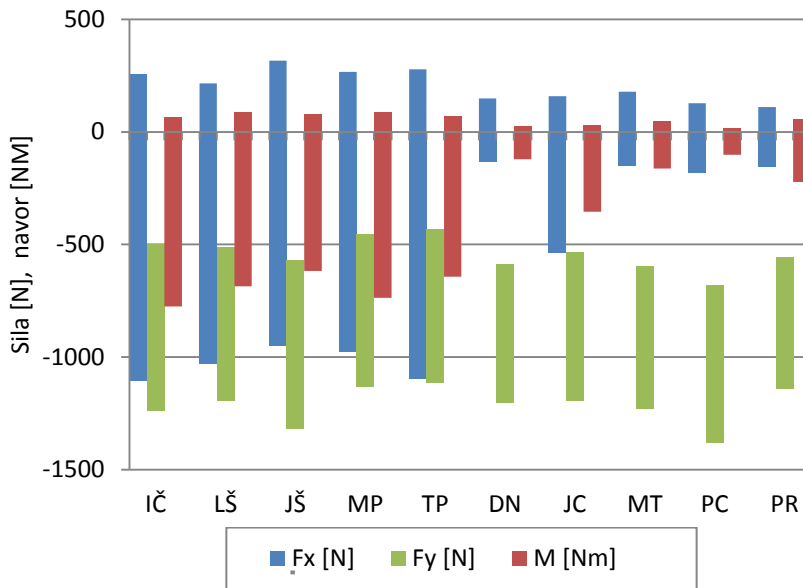


Slika 3.26: Obremenitve v sklepih poznavalca JŠ.

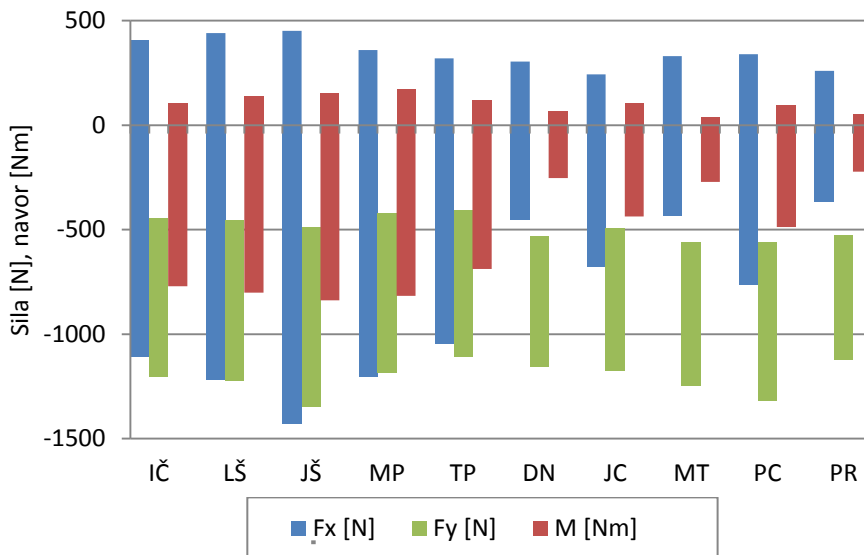


Slika 3.27: Obremenitve v sklepih nepoznavalca JC.

Ker najgostejše poškodbe pri veslanju nastopajo v LS sklepu, smo podrobneje preučili obremenitve v tem sklepu. Na sliki 3.28 so prikazana območja obremenitev sklepov prostovoljcev v LS sklepu za tempo 20 zavesljajev/minuto, na sliki 3.29 pa za tempo 34 zavesljajev/minuto. Z obeh slik je razvidno, da je področje obremenitev v LS sklepu pri poznavalcih podobno, pri nepoznavalcih pa izrazito manjše. Pri vseh prostovoljcih so se obremenitve povečale z višanjem tempa, povečanje je bolj izrazito pri nepoznavalcih.

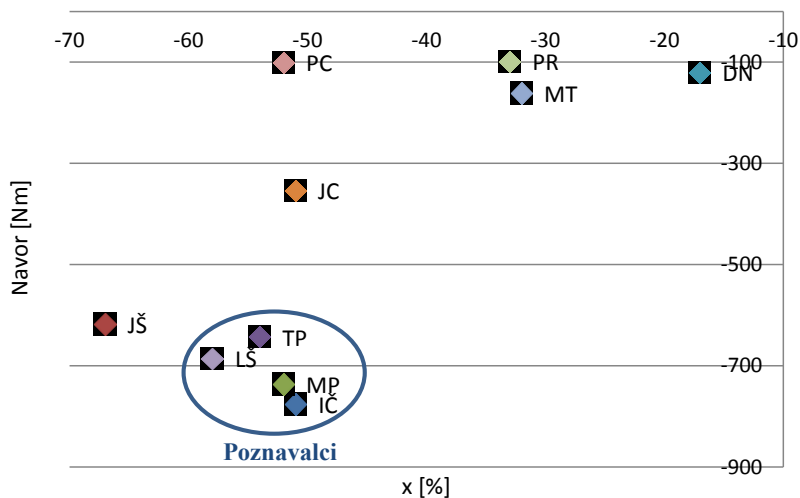


Slika 3.28: Območje obremenitev v LS sklepu pri 20 zavesljajih/minuto.

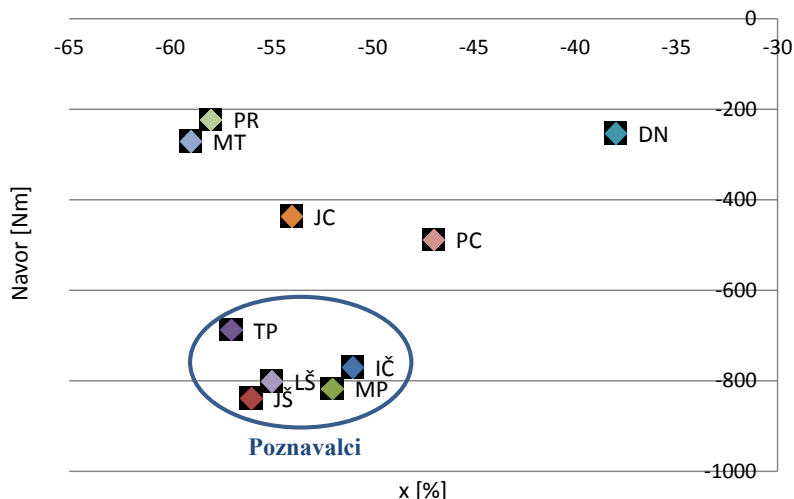


Slika 3.29: Območje obremenitev v LS sklepu pri 34 zavesljajih/minuto.

Na slikah 3.30 in 3.31 je prikazano, v katerem delu zaveslaja nastopi največji navor v LS sklepu. Pri vseh prostovoljnih nastopi vrh navora med fazo potega. Navori poznavalcev so blizu skupaj, kar je na slikah tudi posebej označeno, nekoliko odstopa le oseba JŠ pri tempu 20 zaveslajev/minuto. Položaj in velikost največjega navora se z višanjem tempa pri poznavalcih nista bistveno spremenila, pri nepoznavalcih pa je sprememba opazna.



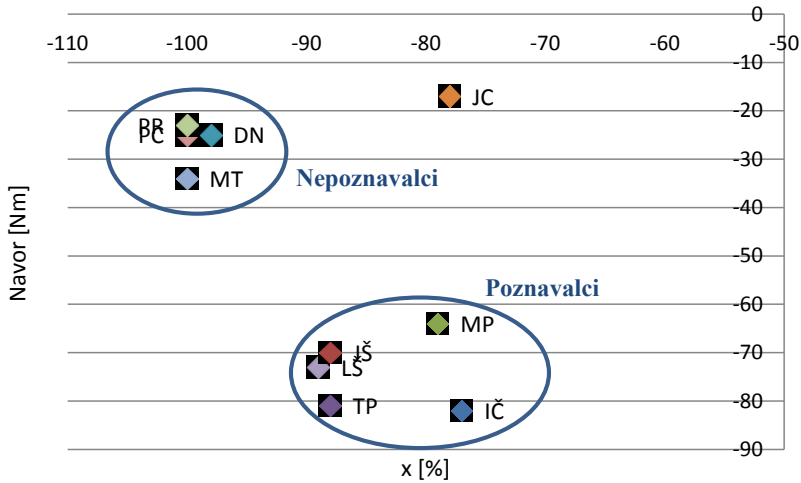
Slika 3.30: Največji navor v LS sklepu pri 20 zaveslajih/minuto glede na fazo zaveslaja.



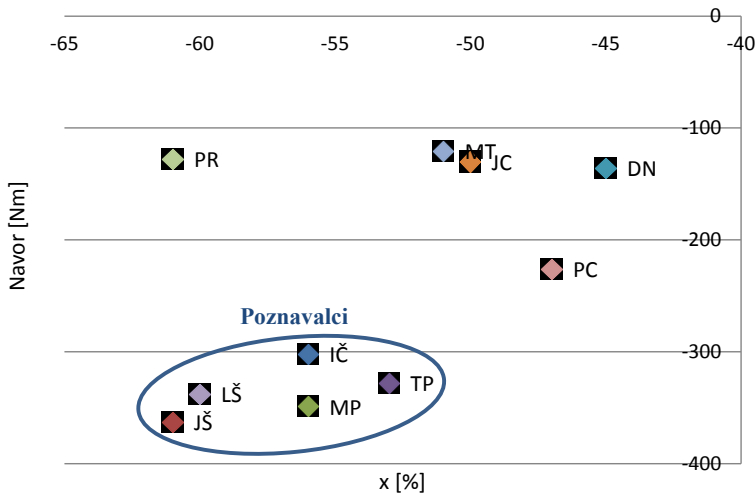
Slika 3.31: Največji navor v LS sklepu pri 34 zaveslajih/minuto glede na fazo zaveslaja.

Slika 3.32 prikazuje graf, ki prikazuje, v katerem delu zavesljaja nastopi največji navor v kolenu pri tempu 20 zavesljajev/minuto. Iz grafa je razvidno, da nepoznavalci vrh razvijejo na samem začetku zavesljaja, ko so kolena najbolj pokrčena, poznavalci pa kasneje v fazi potega.

Slika 3.33 prikazuje graf, ki prikazuje, v katerem delu zavesljaja nastopi največji navor v rami pri tempu 34 zavesljajev/minuto. Iz grafa je razvidno, da vsi poznavalci dosežejo vrh malo pred sredino potega, za nepoznavalce pa skupni trendi niso razvidni.



Slika 3.32: Največji navor v kolenu pri 20 zavesljajih/minuto glede na fazo zavesljaja.



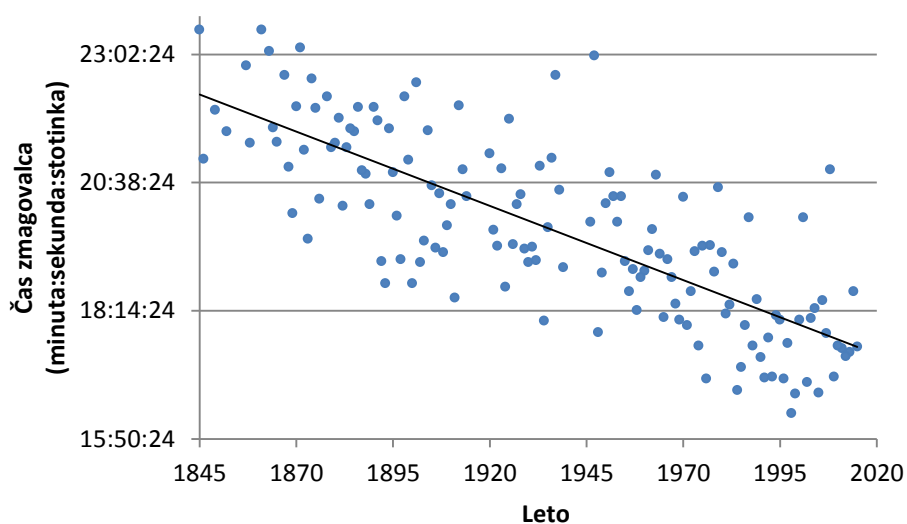
Slika 3.33: Največji navor v rami pri 34 zavesljajih/minuto glede na fazo zavesljaja.





## 4. MERJENJA V ČOLNU

V zadnjih 150 letih se je povprečna hitrost čolnov na regatah povečala za 25 do 30 % [16, 19]. Povečala se je potisna sila (večja aerobna kapaciteta veslačev, večji in višji veslači, višja anaerobna kapaciteta, izboljšani trenajni proces, povišana maksimalna moč veslačev), hkrati pa so se zmanjšale izgube moči (manjši upor na lupino, povečanje učinkovitosti vesla in lopate (manjše fluktuacije hitrosti, zmanjšanje gibanja čolna, optimizacija in sinhronizacija krivulj sil v čolnu, izboljšanje učinkovitosti veslaške tehnik). Spremembe so ocenjene na skoraj 60 % zaradi zmanjšanja izgub in 40 % zaradi povečanja potisne sile [6].



Slika 4.1: Čas zmagovalca na dvoboju osmercev univerz Oxford in Cambridge [6].

Zato je študij kinetike in kinematike čolna in veslačev pomemben za ugotavljanje, kako doseči najbolj učinkovit zaveslaj z biomehanskega, fiziološkega in psihološkega vidika.

## 4.1. Merjenje parametrov v čolnu

Merjenje v čolnu, ki je dinamično veliko bolj nestabilen sistem kot ergometer, je še posebno zahtevno, saj poleg nastavitve čolna in biomehanike veslanja upošteva še specifiko zunanjih pogojev (voda, zrak, vremenski pogoji), veliko obremenjenost senzorjev z merilnimi napakami in šumom, težavno in zamudno kalibracijo merilnih sistemov, prenosnost in informacijsko ter energijsko kapaciteto merilnih sistemov. V primeru večjih posadk pa pride do izraza tudi medsebojna interakcija med veslači in problematika večjega števila merilnih mest in senzorjev v čolnu.



Slika 4.2: Enojec z nameščenimi senzorji za silo na objemkah vesel, silo nog pod čevljem, senzorjem za vodoravni kot vesla in senzorjem premika sedeža [38].

Osnovne veličine, ki jih v veslaškem čolnu merimo, so čas, dolžina, hitrost, pospešek, kot in sila. Iz njih lahko izračunamo vrsto posredno izračunanih parametrov, kot so tempo veslanja, maksimalni kot, ki ga veslo naredi med zavesljajem, vodoravni kot vesla, pri katerem nastopi maksimalna vodoravna sila na os izbočnika, itd [14, 15, 39, 40, 41, 42].

### 4.1.1. Gibanje vesla

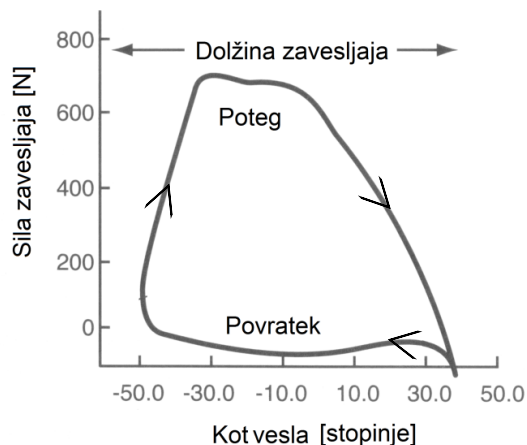
Veslo je vzvod, s katerim se ojačajo določene mehanske lastnosti veslača pri poganjanju čolna. Razmerje notranjega in zunanjega dela, dolžina vesla, površina in oblika lopate določajo učinkovitost vesla. Med fazo povratka se veslo giblje po zraku obrnjeno, tako da ustvarja minimalni zračni upor. V zadnjem delu povratka se veslo obrne in spusti v vodo, čemur sledi poteg zavesljaja skozi vodo, ob zaključku pa se veslo dvigne iz vode in zasučje v položaj za povratek. Gibanje vesla prikazuje slika 4.3. Zavedati se je treba, da se pri potegu veslo ne giblje pravokotno na čoln in da veslo ne ostane na mestu, kjer je bilo postavljeno v vodo, saj je voda tekoč medij. V fazi potega se torej čoln premakne naprej, vesla pa nazaj [9].



Slika 4.3: Gibanje vesla med zavesljajem.

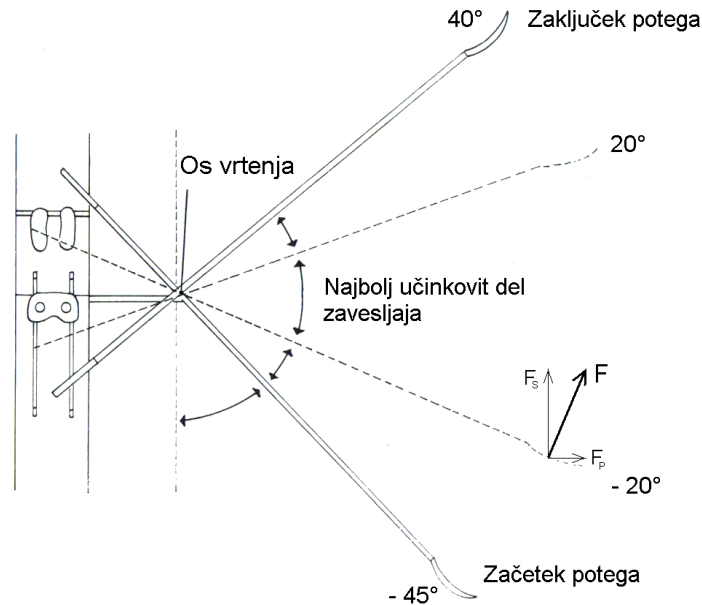
### 4.1.2. Sila na veslih

Slika 4.4 prikazuje tipičen potek sile na veslih glede na kot vesla povzet po [43]. Pri standardnem prikazu je kot  $0^\circ$  določen ob pravokotnem položaju vesla glede na čoln. Negativni koti pripadajo začetku potega in zaključku povratka, pozitivni pa koncu potega in začetku povratka. Površina znotraj krivulje je sorazmerna delu zavesljaja. Moč in koordinacija gibanja nog, hrbta in rok vplivata na velikost in obliko profila grafa oziroma dela. Prav tako se v obliki profila odraža sprememba tehnike [9].



Slika 4.4: Sila na veslih v odvisnosti od kota vesla.

Veslo se vrti okoli osi na izbočniku, kot to prikazuje slika 4.5. Sila vesla  $F$ , ki deluje pravokotno na veslo, je tako sestavljena iz potisne komponente sile ( $F_p$ ), ki deluje v smeri gibanja čolna, in prečne komponente sile ( $F_{\rho}$ ), ki deluje pravokotno na smer gibanja čolna. Ker se kot vesla med zavesljajem spreminja, se spreminja tudi razmerje med prečno in potisno silo. Najbolj učinkovit del zavesljaja je med kotoma  $\pm 20^\circ$  [9].



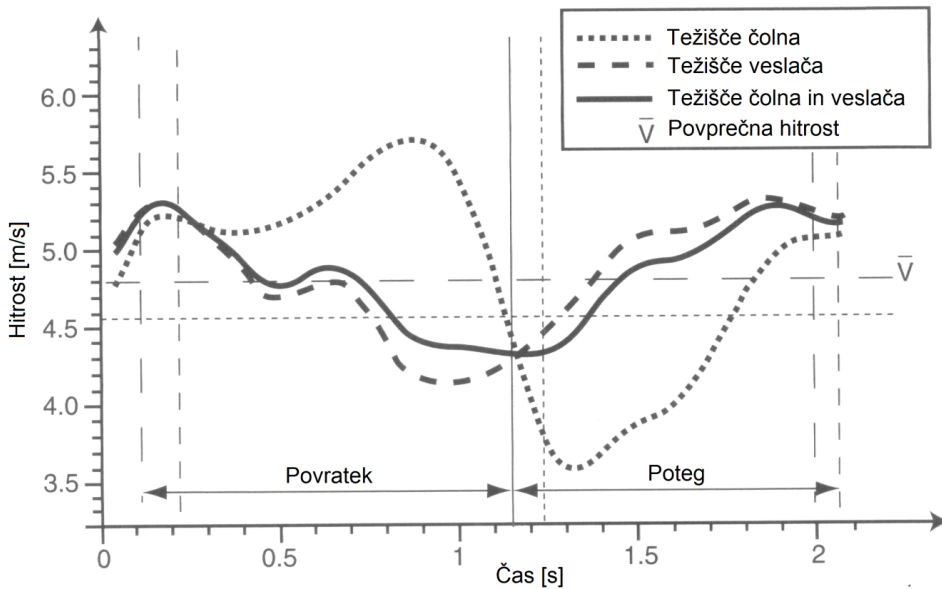
Slika 4.5: Trajektorija gibanja vesla pri zavesljaji in komponente sil na veslu.

Pričakovali bi, da je optimalna posadka čolna tista posadka veslačev, ki ustvari podoben profil sile glede na kot. Kljub temu pa so analize pokazale razliko v profilih tudi pri dobrih posadkah. Podobno nastopa razlika v profilih tudi pri rimen posadkah, predvsem v odvisnosti položaja veslača v čolnu. Veslač na krmi mora poudariti začetni in srednji del ter doseči višji vrh kot veslač na premcu (slika 4.23) [9]. Izkušeni veslači v praksi opazijo razliko med posameznimi položaji v čolnu. Do razlike pride predvsem zaradi relativnega položaja težišča čolna s posadko in posameznega člana posadke [44].

### 4.1.3. Hitrost in vedenje čolna

Gibanje veslača v čolnu med zavesljajem povzroči nihanje hitrosti čolna. Kljub temu, da veslači želijo s tehniko zmanjšati nihanje in čolnu zagotoviti dobro plovnost (v veslaškem žargonu: da čoln steče), pa se temu ni moč v popolnosti izogniti. Gibanje veslačev v fazi povratka močno pospeši čoln, kar lahko vpliva na uvrstitev na tekmovanju, če je več posadk izenačenih v finišu. Posadka, ki je tik pred ciljno črto v začetku faze povratka, ko vesla preidejo iz vode, ima porast v hitrosti čolna in ima tako prednost pred posadko, ki je v fazi potega. Efekt je mogoče razložiti z biomehanskega stališča. Vsak del sistema veslač-čoln-vesla ima različno hitrost, maso in težišče, ki se giblje relativno glede na druga težišča med posameznimi fazami zavesljaja. Gibalna količina je produkt sile in hitrosti. Ker je teža veslačev štiri do sedemkrat večja od teže čolna in ker lahko spreminja svojo hitrost zelo hitro (posebej v fazi prijema), gibalna

količina veslačev vpliva na hitrost čolna. Slika 4.6 prikazuje tipično nihanje hitrosti med zavesljajem pri enojcu [9, 42].



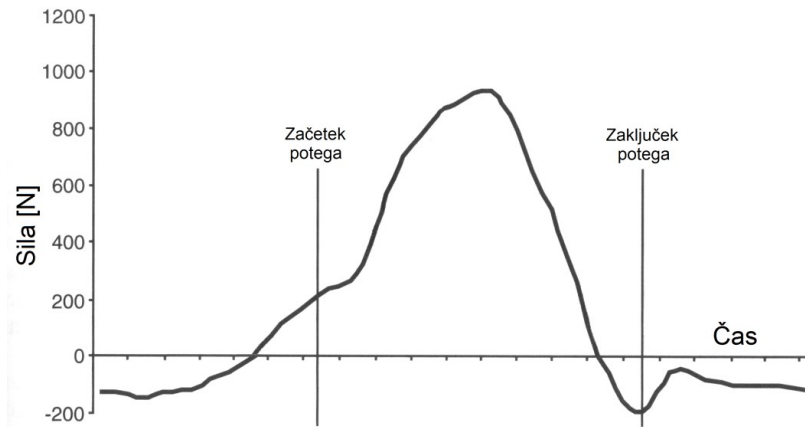
Slika 4.6: Hitrosti veslača in čolna pri zavesljaju.

Čoln z veslačem doseže maksimalno hitrost med fazo povratka, ko so vesla iz vode in se veslači gibljejo v nasprotni smeri gibanja čolna. Čeprav čoln v začetni fazi povratka glede na vodo relativno pospešuje, celoten sistem zavira. Gibalna količina veslačev, ki se pomikajo proti začetku zavesljaja, je višja kot upor vode, zaradi česar čoln pospešuje. Ko sile upora presežejo vztrajnostne sile čolna in veslača, se hitrost čolna zmanjša. Hitrost čolna se naprej zmanjšuje, ko vesla vstopijo v vodo, in doseže svoj minimum na približno 17 % potega [9]. Razlog za to je odzivna sila na nogah, ki pospešuje maso veslača v smeri gibanja, posledica česar je odzivanje čolna v nasprotno smer.

#### 4.1.4. Sila nog

Veslač med zavesljajem deluje na čoln s silo na veslih, s svojo telesno maso ter tudi s silo nog. Noge so vpete v nožnik oziroma oporo za noge, ki ima nastavljiv položaj, višino ter kot naklona. Nožnik se nastavi glede na fiziološke lastnosti posameznega veslača, tako da ima pri zavesljaju maksimalni izkoristek. Med potegom zavesljaja se veslač odrine z nogami, medtem ko ima lopato vesla v vodi. Zato preko nožnika deluje na čoln potisna sila, katere tipičen potek je prikazan na sliki 4.7. Sila narašča in doseže maksimalno vrednost približno na sredini potega. V zadnjem delu potega, ko veslač zaključuje poteg z rokami, je sila na nožniku negativna. Med fazo povratka se veslač z

nogami potegne naprej, zato preko nožnika deluje na čoln negativna sila, ki pa je mnogo manjša, saj so vesla v zraku.



Slika 4.7: Sile nog med zavesljamem.

#### 4.1.5. Drugi kinetični parametri

Za oceno in merjenje tehnike je mogoče izmeriti tudi vertikalno silo na sedežu, ki ponazarja, kako se veslač med zavesljamem dviga in spušča in s tem potaplja čoln, ter silo na lopati vesla, ki določa direktno potisno veličino čolna.

Iz znanih podatkov o sili nog, sili vesel in hitrosti lahko izračunamo moč, s katero veslač poganja čoln. Moč rok  $P_r$  je definirana kot:

$$P_r = F_r * v_r * \cos(\vartheta) \quad (19)$$

kjer je  $F_r$  sila rok na vesla,  $v_r$  relativna hitrost rok glede na čoln in  $\vartheta$  kot med vektorjema  $F_r$  in  $v_r$ .

Moč nog je izračunana kot skalarni produkt sile na nožniku  $F_n$  in hitrosti čolna  $v_c$ :

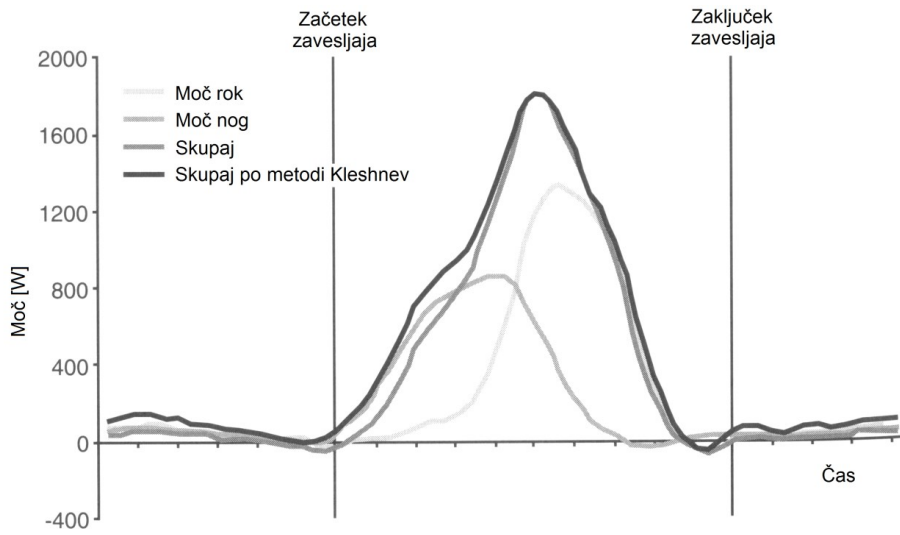
$$P_n = F_n * v_c \quad (20)$$

Skupna moč je vsota obeh moči:

$$P = P_n + P_r \quad (21)$$

Slika 4.8 prikazuje moč rok in nog ter skupno moč, ki poganja čoln [9]. Predstavljena je tudi moč, izračunana po enostavnejši metodi Kleshnev, ki za izračun moči upošteva samo silo na veslih in hitrost gibanja čolna [45].

## Merjenja v veslanju



Slika 4.8: Moč zavesljaja.



Slika 4.9: Primer centralne enote multiparametričnega sistema za zajemanje osnovnih veličin za štiri veslače v dvojnem četvercu [46].

Tabela 4.1: Osnovne veličine, ki jih v veslaškem čolnu merimo, so čas, dolžina, hitrost, pospešek, kot in sila.

del veslaškega sistema	merjena veličina	tip senzorja
veslač	koti sklepov	goniometer
veslaška oprema	položaj sedeža	pretvornik pozicije, inkrementalni dajalnik, optični kodirnik, linijski membranski potenciometer
	navpični kot vesla	potenciometer, rotacijski membranski potenciometer
	vodoravni kot vesla	potenciometer, rotacijski membranski potenciometer
	rotacija vesla	potenciometer
	sile na lupino čolna	merilna celica, FSR
	sila na ročici vesla	uporovni lističi
	sila nog	pritiskovna plošča, merilna celica
čoln	kinematika lupine čolna	GNSS sprejemnik (GPS)
	nihanje čolna	pospeškometer, žiroskop, magnetometer
	slike, video	sistemi za zajemanje videa
okolje	temperatura zraka	termistor, uporovni termometer, termočlen, tekočinski termometer
	relativna vlažnost zraka	higrometer
	temperatura vode	termistor, uporovni termometer, termočlen, tekočinski termometer
	hitrost vetra	anemometer, potenciometer
	smer vetra	anemometer, potenciometer



Tabela 4.2: Parametri, ki jih je z obstoječimi sistemi možno meriti

	parametri
Merjenje surovih kotov	<ul style="list-style-type: none"> <li>- maksimalni vodoravni kot vesla na začetku zavesljaja</li> <li>- navpični kot vstopa lopate v vodo</li> <li>- vodoravni kot vesla, pri katerem sila vesla pritisne na os izbočnika</li> <li>- vodoravni kot vesla, pri katerem ni več sile na os izbočnika</li> <li>- vodoravni kot vesla na koncu zavesljaja</li> <li>- vodoravni kot vesla na tistem delu zavesljaja, kjer se začne lopata dvigati proti površju</li> </ul>
Merjenje izračunanih kotov	<ul style="list-style-type: none"> <li>- celotni kot, ki ga veslo prepotuje med zavesljajem</li> <li>- kot, ki ga lopata prepotuje pod vodo</li> <li>- kot, ki ga veslo prepotuje pod vodo, medtem ko je obremenjeno s potisno silo</li> <li>- kot med vhomom in izhodom lopate iz vode</li> <li>- kot med začetkom zavesljaja in trenutkom, ki veslo začne poganjati čoln</li> </ul>
Merjenje moči	<ul style="list-style-type: none"> <li>- profil sile (sila v odvisnosti od kota vesla ali časa)</li> <li>- maksimalna sila med zavesljajem</li> <li>- vodoravni kot vesla, pri katerem je prišlo do maksimalne sile</li> <li>- skupna potisna sila (površina pod časovno krivuljo sile)</li> </ul>
Merjenje parametrov lupine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hitrost čolna, merjena z impelerjem</li> <li>- hitrost čolna, merjena z 10 Hz GPS sistemom</li> <li>- profil pospeševanja in pojecanja lupine</li> <li>- nihanje lupine v osi premec-krma</li> <li>- nihanje lupine prečno na os premec-krma</li> <li>- zavijanje lupine levo ali desno glede na os premec-krma</li> </ul>
Merjenja parametrov na nožniku	<ul style="list-style-type: none"> <li>- večtočkavno merjenje sile (ali tlaka) pod veslaškim čevljem</li> <li>- primerjava sile leve in desne noge</li> </ul>
Ostala merjenja	<ul style="list-style-type: none"> <li>- višina vesla (ciklični graf navpičnega položaja ročaja vesla proti vodoravnemu kotu vesla)</li> <li>- hitrost zavesljaja – hitrost vesla okoli osi izbočnik med zavesljajem</li> <li>- hitrost povratka – hitrost vesla okoli osi izbočnik med povratkom po zavesljaj</li> <li>- tempo – število zavesljajev na minuto, ki ga je možno računati tudi v več časovnih točkah med enim zavesljajem</li> </ul>

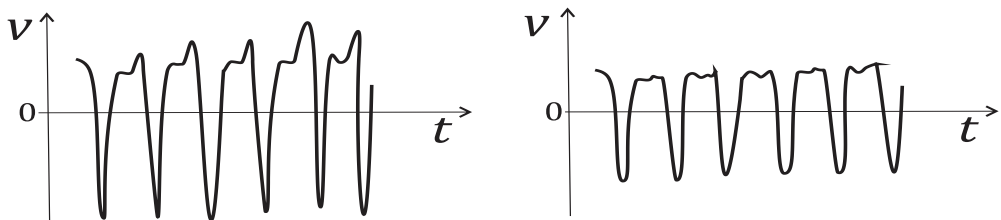
## 4.2. Merjenje hitrosti

Čeprav trenerji opazujejo več različnih parametrov, ki kažejo na učinkovitost zaveslaja, ostaja merjenje hitrosti čolna najpomembnejša meritev pri veslanju na vodi. Točno hitrost vsakega zaveslaja je bilo do pred kratkim težavno izmeriti, zato je večina trenerjev hitrost čolna merila z merjenjem časa na določeni razdalji.

Pomembna je predvsem primerljivost tako dobljenih rezultatov za posadko v različnih časovnih obdobjih ali med različnimi posadkami. Taka metoda merjenja hitrosti čolna je problematična na vseh tekočih vodah, saj je treba poleg različnih vremenskih pogojev upoštevati še hitrost vode. Določevanje hitrosti vode je zelo zahtevno, saj je pretok reke odvisen od razdalje do brega, globine reke in prisotnosti ovinkov [47]. Ugotavljanje hitrosti pretoka reke z enostavno metodo merjenja časa veslanja na fiksni dolžini navzgor in nato na isti dolžini navzdol ter izračun povprečne hitrosti iz seštevkov časa in celotne razdalje je napačno [48].

Zanima nas torej merjenje hitrosti čolna, ki je relativna glede na vodo. Danes se za to uporabljata dve merilni metodi: merjenje z impelerjem in merjenje z GNSS sistemi. Obe metodi posredno merita hitrost čolna; prva s štetjem števila obratov, druga pa z računanjem položaja čolna.

S pomočjo opazovanja hitrosti čolna lahko trener in veslač interpretirata tehniko zaveslaja in načrtujeta korekcije in optimizacijo. Slika 4.10 prikazuje interpretacijo zaveslaja dveh veslačev z različno stopnjo tehničnega znanja.



Slika 4.10: Razlika v profilu hitrosti čolna  $v$  med nepoznavalcem (levo) in poznavalcem veslanja (desno).

### 4.2.1. Merjenje hitrosti z impelerjem

Merilni sistemi z impelerji izkoriščajo štetje obratov impelerja, ki je pritrjen na čoln. Slabost takega sistema je, da poveča upor čolna, da je impeler potrebno pazljivo namestiti v smeri osi čolna in da za točna merjenja zahteva kalibracijo (določanje razdalje na en obrat impelerja). Največja merilna napaka metode je dejstvo, da mora biti impeler postavljen v čim bolj laminarni vodni tok in ne v turbulentni tok tik ob

lupini čolna. Pozitivna stran sistemov z impelerji je, da so enostavni za uporabo in relativno poceni. Njihova merilna točnost je zelo dobra, saj je število obratov zelo veliko in je posledično izračunana povprečna hitrost zelo točna, v kolikor je poznana kalibracijska vrednost faktorja razdalja na obrat z veliko točnostjo.



Slika 4.11: Impeler s prikazovalnikom.

### 4.2.2. Merjenje hitrosti z GNSS sistemom

S pomočjo sistemov globalne satelitske navigacije (GNSS), kot so GPS, GLONASS in Galileo lahko določimo položaj in hitrost, relativno glede na tla. GNSS sistemi vključujejo skupino satelitov, ki iz znanih orbit neprestano oddajajo časovne signale. GNSS naprave so sprejemniki, ki iz teh signalov izračunajo razdaljo do teh satelitov in tako določijo svoj položaj. Danes so GNSS sprejemniki vgrajeni v večini pametnih naprav in mobilnih pozicijskih napravah. GNSS naprave merijo hitrost posredno, z določanjem razlike v položaju v odvisnosti od časa.

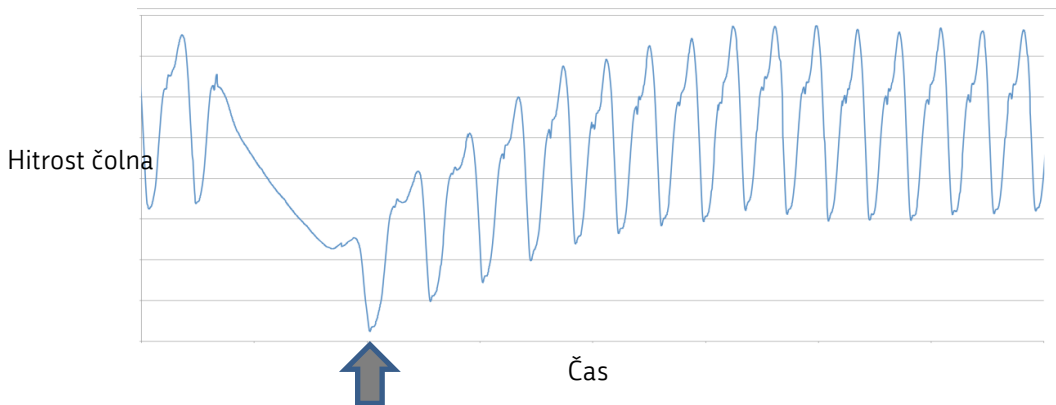
Za določanje pozicije in hitrosti veslaškega čolna je potrebna visoka točnost reda 10 cm, kar je zelo zahtevno za današnje GNSS naprave. Te imajo vzorčno frekvenco do 10 Hz in sistemsko negotovost pod 2 m v popolnih merilnih pogojih. Točnost in merilna negotovost GNSS sistemov je zelo občutljiva na kvaliteto GNSS signala, ki je odvisna od ovir v vidni liniji, prisotnosti oblakov in atmosferskih turbulenc [49].

Predpostavimo, da pri veslanju s tempom 20 čoln z vsakim zavesljamem prepotuje 10 metrov v treh sekundah. Če je negotovost našega določanja pozicije 2 m, velja, da pri predpostavljani normalne porazdelitve izmerjenih vrednosti obstaja približno 95 % verjetnost, da je izmerjena dolžina na intervalu med 6 m in 14 m. Dodatna slabost GNSS sistemov je njihova nizka frekvenca vzorčenja, saj težko točno določijo začetek in konec zavesljava. Kar posledično prinese veliko merilno napako. Današnji GNSS sistemi zato vsebujejo različne algoritme, ki povprečijo in gladijo surove izmerjene podatke. Zaradi teh algoritmov pa je zaznavanje hitrih spremembe otežkočeno ali nemogoče, ker prinese k nizki odzivnosti merilnega sistema na spremembe v hitrosti čolna.

Trenutno GNSS sistemi v pametnih telefonih delujejo s frekvencami 1 do 5 Hz in sistemsko negotovostjo večjo od 2 m (v idealnih vremenskih razmerah), kar je precej premalo za točno določanje hitrosti veslaškega čolna. S tehnološkim razvojem potrošniške elektronike bodo GNSS sistemi za merjenje hitrosti veslaškega čolna s svojo relativno nizko ceno, dostopnostjo, enostavno pritrditvijo na čoln in preprostostjo uporabe vedno bolj dostopni in uporabljeni v vsakodnevnem trenažnem procesu. Do takrat pa bodo najoptimalnejši za uporabo tisti sistemi, ki vključujejo GNSS sistem in impeler ter tako vključujejo pozitivne strani obeh metod.

#### 4.2.3. Parametri hitrosti

Za različne namene in oblike predstavitve podatkov trenerjem in veslačem se parametri hitrosti lahko zapisujejo v različnih oblikah. Tako lahko merimo **povprečno hitrost čolna** glede na vodo oz. glede na obalo. Lahko izmerimo **trenutno hitrost**, ki nosi informacijo o spreminjanju hitrosti čolna med zavesljamem. Skupaj s pospeškom je to eden najbolj pomembnih parametrov pogonjanja čolna, ki izvrstno pripomore k odpravljanju ali zmanjševanju težav, kot so prezgodnje upočasnjevanje lupine med fazo vračanja zaradi pritiska na oporo za noge. Vzorčna frekvenca takih meritev mora biti vsaj 100 Hz. Druga oblika hitrosti je **povprečna hitrost enega zavesljava**. To obliko se v komercialnih sistemih pogosto predstavlja kot številsko vrednost, npr. metrov na sekundo, predvidevan čas na razdaljo ali metrov na zavesljava. Ta oblika hitrosti je sicer običajni del prikazovalnika na ergometru. Tretja oblika zapisa hitrosti je **povprečna hitrost na fiksno razdaljo** ali fiksni čas.

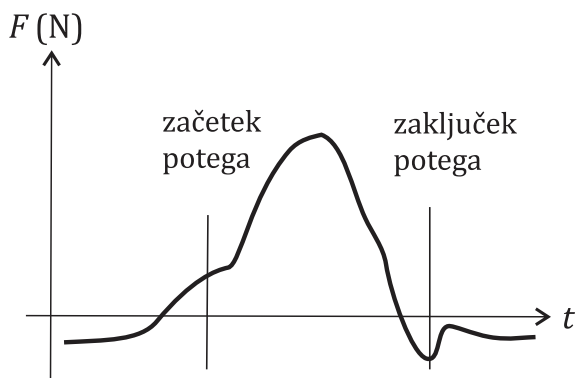


Slika 4.12: Prikaz trenutne hitrosti čolna, ki se je zaustavil (puščica), nato pa pospešil do tempa 30 [47].

### 4.3. Merjenje sile

Vesla in lopate so edine točke za izmenjavo potisne sile med čolnom in vodo. Zato merjenje učinkovitosti veslanja, to je merjenje sile na veslu ali objemki vesla, predstavlja pomembno informacijo za trenerja in veslača [50].

Učinkovitost veslanja v fizikalnem smislu lahko opisujemo na tri načine – z merjenjem **dela** (v joulih, gre za vnos energije veslača v čoln skozi zavesljaj), **moči** (v wattih, gre za delov v časovnem intervalu) ali **sile** (v newtonih, gre za opis interakcije dveh objektov, katere posledica je pospešek). Ti parametri so za veslaškega trenerja zelo zanimivi iz fiziološkega vidika za uravnavanje intenzivnosti veslanja in iz biomehanskega vidika za optimizacijo zavesljaja v smislu čim večje učinkovitosti.



Slika 4.13: Prikaz profila sile na ročaju rimen vesla v odvisnosti od časa.

#### 4.3.1. Merjenje sile na lopati

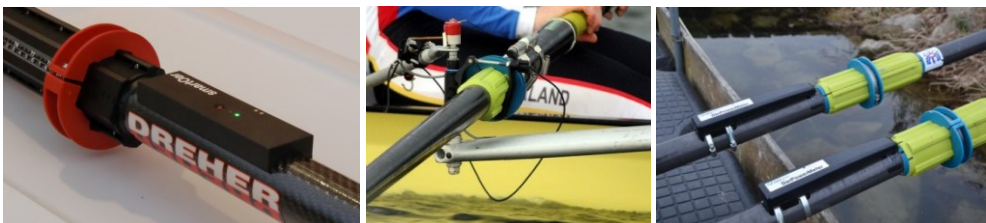
Merjenje sile na lopati vesla je najbolj očitna meritev pri določevanju potisne sile, ki jo ustvarja veslač. Tako merjenje zahteva pritrnitev senzorja na lopato vesla, kar je največja pomanjkljivost te metode – merilni sistem mora namreč meriti velike spremembe v hitrostih, saj so zaradi dolgih ročic pospeški zelo veliki. Poleg tega pa mora vzdržati zelo zahtevne merilne pogoje (sunkoviti vhod in izhodi iz vode, vodno okolje, razlike temperatur, vplivi sončnega sevanja, itd). Dodatno ima kakršna koli masa na lopati velik vpliv na moment vesla, kar lahko pri veslačih povzroči drugačen »občutek« med veslanjem. Dodatno je namestitev problematična, če želimo raziskati ali uporabljati različne tipe vesel, saj je potrebno merilne sisteme namestiti na vsakega od njih.

### 4.3.2. Merjenje sile na ročaju

Ker je merjenje sile na lopati vesla zelo zahtevno, so se pojavile druge oblike posrednega merjenja potisne sile veslača. Tako se je začelo uporabljati merjenje sile na ročaju vesla. To merjenje predstavlja tudi bolj neposredno oceno pravega vnosa moči veslača v pogon čolna, saj ne upošteva upogljivosti in ostalih mehanskih lastnosti vesla. Podobno kot pri merjenju na lopati je tudi tukaj treba merilni sistem vstaviti med ročajem vesla in notranjim delom vesla. Kritično je tudi določanje prijemališča veslačeve sile, saj ga je težko točno določiti, pri čemer je bilo ugotovljeno, da se med veslanjem premika tudi za 5 % [44].

### 4.3.3. Merjenje sile preko ukrivljenja vesla

Merjenje sile preko ukrivljenja vesla je posredna metoda, ki izkorišča elastičnost vesla. Ko veslač aplicira silo na veslo, se to ukrivi, ukrivljenost pa se lahko določi z merjenjem dolžine. Ta metoda dejansko meri navor na veslu. In če istočasno merimo tudi kotno hitrost premikanja vesla, lahko točno izračunamo moč ali silo zavesljaja. Prednost te metode je enostavnost in nizka cena senzorja. Slabost je, da je pred vsako meritvijo treba vsako veslo kalibrirati. Kalibracija je časovno zamudna in običajno poteka s pomočjo sile gravitacije. Na veslo, opremljeno s senzorjem, obešamo več uteži in s tem preverimo celotno merilno območje (običajno gre za območje od 700 N do 900 N). Za vesla je značilno, da se njihove elastične karakteristike spreminjajo s starostjo, intenzivnostjo uporabe in okoljskimi razmerami. Kalibracija v veslaškem hangarju na primer ne bo optimalna, če bo senzor uporabljen na jezeru v opoldanskem poletnem soncu.



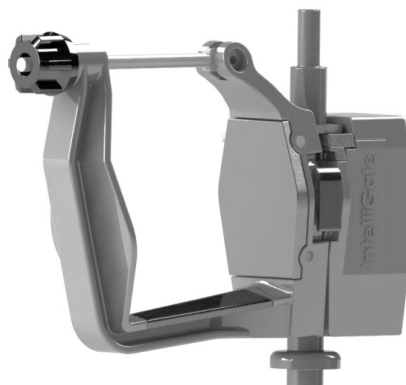
Slika 4.14: Merjenje sile na ukrivljenjem veslu s pomočjo senzorja, pritrjenega na ročico vesla [51, 52, 53].

#### 4.3.4. Merjenje sile na objemki vesla

Merjenje sile je možno na objemki ali znotraj objemke vesla. Pomembno je, da senzor loči silo vzporedno veslu (sila, ki drži veslo v objemki, a ne sodeluje pri pogonu čolna) in silo pravokotno na veslo (potisno silo). Na silo v navpični smeri bi moral biti senzor neobčutljiv, saj je odvisna od teže vesla in sunkov pri vhodu in izhodu lopate v vodo. Poglavitna prednost pri tem je, da je merilno napravo lahko hitro vgraditi in ne vpliva na občutek veslača, saj je skrita v objemki. Senzor je lahko zelo robusten in tako primeren za dolgotrajno uporabo v različnih pogojih. Senzorji ne zahtevajo pogostih kalibracij, a so dragi [54].



Slika 4.15: Merjenje sile na objemki vesla s pomočjo takoplastnih folijskih senzorjev [38].

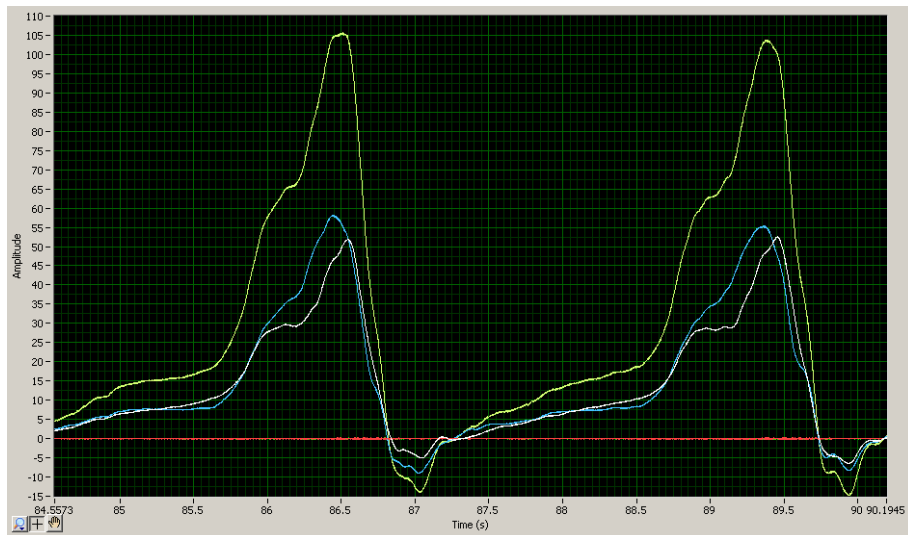


Slika 4.16: Merjenje sil na objemki vesla s pomočjo merilnih celic. Merilni sistem lahko meri silo na os in navpično silo vesla [55].

### 4.3.5. Merjenje sile nog

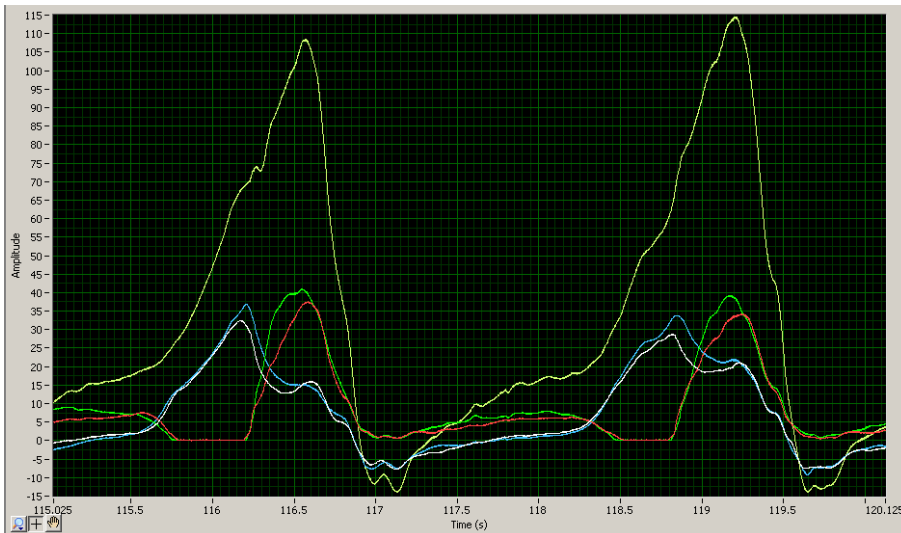
Odrivna sila nog in njeni časovni poteki nosijo pomembno informacijo o sposobnosti prenašanja veslačeve sile v pogon čolna, kažejo na razlike med odzivom leve in desne noge ter zgornjim in spodnjim delom stopala, omogočajo optimizacijo razlik med časovnim trenutkom odziva različnih veslačev v posadki, itd.

Običajno je sila merjena z merilnimi celicami ali uporabnimi lističi, nameščenimi na plošči, na kateri so pritrjeni veslaški čevlji [54, 56]. Sila se meri v več točkah, saj tako lahko ovrednotimo tudi posamezne dele odziva (prsti, pete, srednji del). S pomočjo vstavitve primerno debelih plošč [56] pod veslaške čevlje se odziv lahko zelo izboljša, s čimer lahko optimiziramo veslačev odziv, kompenziramo razlike v dolžini nog in nesimetrije odziva.



Slika 4.17: Prikaz časovnega poteka sile nog pred optimizacijo odziva veslača. Najvišja krivulja je skupna sila, s katero se odziva veslač. Srednji krivulji (bela in modra) sta sili na zgornjem delu obeh stopal. Opazimo, da sta sili leve in desne noge na spodnjem delu stopala (ravni rdeči krivulji spodaj) skoraj nič [53].





Slika 4.18: Prikaz časovnega poteka sile nog po optimizaciji odriva veslača, to je dodajanju plošč primerne debeline pod veslačeve čevlje. Skupna sila odriva se poveča zaradi povečanja sil leve in desne noge na spodnjem delu stopala (rdeči krivulji spodaj) [53].

## 4.4. Merjenje kotov

### 4.4.1. Vodoravni kot vesla



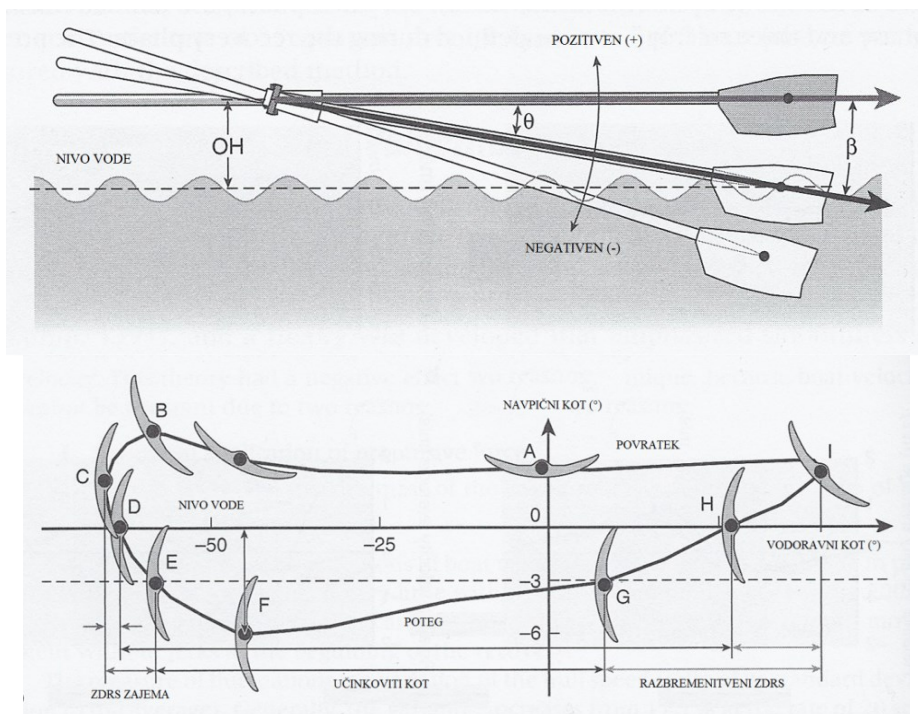
Slika 4.19: Sistem za merjenje vodoravnega kota objemke vesla [46].

Vodoravni kot se primarno uporablja za definiranje faze zaveslaja. V literaturi se pojavljata dva koordinatna sistema za podajanje kota: v prvem je kot  $0^\circ$  definiran za

položaj, ko je veslo v pravokotnem položaju glede na os čolna (slika 4.5), v drugem koordinatnem sistemu pa je kot  $0^\circ$  definiran, ko je veslo vzporedno osi čolna [5, 57, 58]. Vodoravne kote merimo običajno s potenciometrom, ki zajema kot, ki gaje veslo prepotovalo med zavesljamem.

#### 4.4.2. Navpični kot vesla

Navpični kot je zanimiv za določanje globine potopitve lopate v vodo. Meritve navpičnega kota vesla lahko pomagajo izboljšati pogonski učinek lopate in posledično povečati hitrost čolna. Iz praktičnih razlogov se za kot  $0^\circ$  ( $\Theta$ ) vesla definira v sredini lopate na vodni površini. Kljub temu, da je sredino lopate težko določiti, je pred meritvijo navpični kot  $\Theta$  preprosto nastaviti, ko veslo kot pero plava na vodni površini. Kot pozitivni kot se upošteva tisti kot, ko je veslo nad vodno površino, kot negativni kot pa se upošteva tisti kot, ko je veslo pod vodno površino (slika 4.20) [9, 38]. Enakomerna globina lopate preko celega zavesljava ni nujno najbolj optimalna [59].

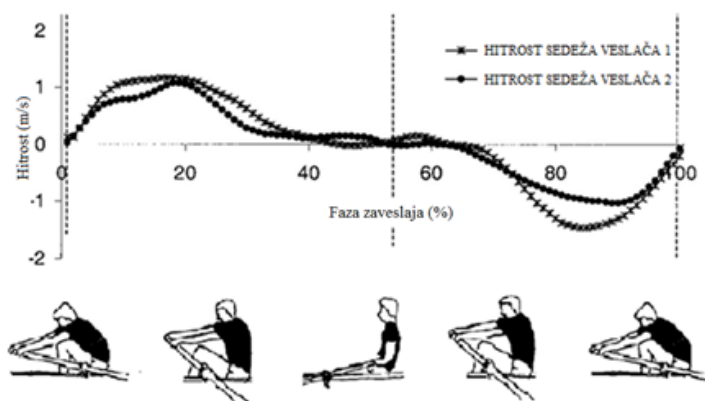


Slika 4.20: Predstavitev navpičnega kota vesla zgoraj in prikaz gibanja lopate skozi vodo in po zraku spodaj.

## 4.5. Merjenje položaja sedeža

Sedež s kolesci veslaču omogoča krčenje nog in s tem izkoristek moči spodnjih okončin, katerih vložek v izkupiček celotne moči zavesljaja znaša med 50 % in 60 % [10]. Z merjenjem položaja sedeža za vsak trenutek lahko izračunamo tudi njegovo hitrost in pospešek. Ko poznamo hitrost sedeža, lahko s pomočjo veslačeve mase izračunamo silo, ki zaradi veslačevega gibanja deluje na čoln. Ker pa iz merjenja položaja sedeža ne moremo vedeti, kako se gibljejo roke in trup, ne moremo določiti celotne sile, ki deluje na čoln. Sedež namreč miruje, ko so noge iztegnjene, trup in roke pa se še gibljejo. Za določitev celotne sile, ki vpliva na čoln, bi morali meriti še položaj hrbta, preko kota vesla in poznane dolžine notranjega dela vesla pa bi lahko določili položaj rok [9, 38]. Ker se s sedežem premika celotna masa veslača, je za vzdrževanje konstantne hitrosti čolna pomembno, da je gibanje veslača kar se da enakomerno pospešeno [57].

Merjenje položaja sedeža je običajno izvedeno z žičnimi optičnimi kodirniki ali pa z linijskimi tankoplastnimi potenciomeri [34, 38].



Slika 4.21: Hitrost sedeža v odvisnosti od faze zavesljaja, za dva veslača z različnim tehničnim potekom vračanja na začetek zavesljaja (od 50 do 100 %) [58].

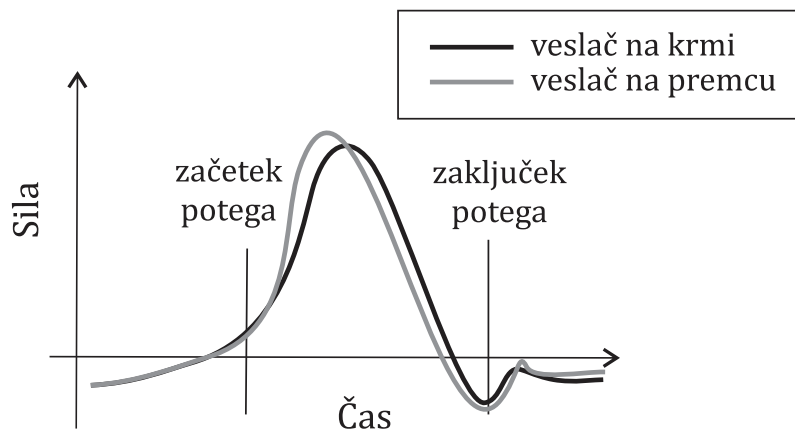
## 4.6. Merjenje v čolnu z več veslači

Načrtovanje, vgradnja in uporaba merilnega sistema v čolnu, v katerem vesla več športnikov, je zahtevna. Poleg povečanega števila senzorjev, spremenjenega merilnega

sistema, ki omogoča istočasno zajemanje več parametrov, povečane zahtevnosti shranjevanja izmerjenih vrednosti oz. brezžičnega prenosa izmerjenih vrednosti se pojavijo tudi dodatni problemi: veslači se prilagajajo profilu sil in/ali hitrosti zavesljaja, ki ga ima ostala ekipa, poteka sinhronizacija gibov in časovno usklajevanje znotraj zavesljaja [14, 40].



Slika 4.22: Instrumentalizirani dvojni četverec [46]. Obkrožena je centralna merilna enota. Na izbočnikih so vidni kabli posameznih senzorjev.



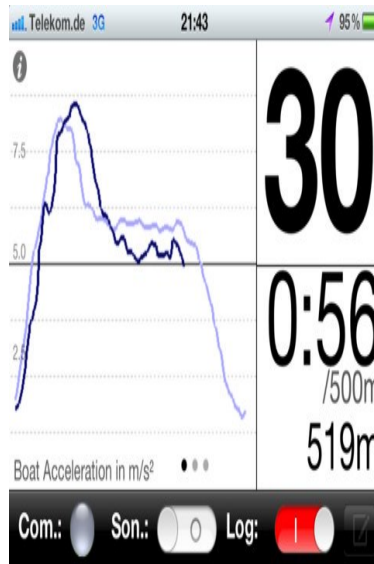
Slika 4.23: Krivulja sile za dvojec.

## 4.7. Merjenja v veslanju s pomočjo pametnih naprav

Pametne naprave so elektronske naprave primarno namenjene komunikaciji in povezovanju, vendar vsebujejo nekaj za veslanje zanimivih senzorjev. Osnovni merilniki in senzorji so ura, tridimenzionalni pospeškometri, žiroskopi in magnetometri. Poleg tega pa ima večina pametnih naprav tudi GNSS (GPS) sistem za določanje pozicije [47].

S pomočjo točne ure lahko pametna naprava prikazuje pretečeni čas, vmesne čase, meri intervale, itd. **Pospeškometri** so elektronska vezja, ki lahko merijo pospešek. Pametne naprave vključujejo tridimenzionalne pospeškometre, ki omogočajo merjenje pospeškov v vseh treh kartezičnih komponentah. Na ta način lahko brez kablov in kontaktnih elementov (npr. v obliki klasičnega merjenja z magnetom na sedežu in kotaktorjem na čolnu) naprava izmeri tempo veslanja, določi parametre ritma, označi začetek in konec zavesljaja, itd. **Žiroskopi** so elektronska vezja, ki lahko merijo spremembo smeri v vseh treh kartezičnih komponentah, zato so ključni za določanje vedenja čolna (nihanja v vzdolžni in prečni osi čolna, nihanja zaradi časovne neuskkljenosti veslačev, slabega sledenja posadke, itd). **Magnetometri** so elektronska vezja, ki lahko merijo gostoto magnetnega pretoka v vseh treh kartezičnih komponentah. Magnetni pretok uporabljamo za določanje relativnega položaja objekta, saj se lahko objekt preko merjenja magnetnega pretoka orientira glede na konstantno enosmerno zemeljsko magnetno polje. Magnetni pretok je sicer v urbanih okoljih zelo spremenljiv in zaradi prevelikega šuma ne nosi veliko informacij, v običajnih razmerah veslanja na vodi, kjer ni veliko elektromagnetnih motenj, pa omogoča določanje premikanja čolna v vseh smereh, na primer za določanje tempa veslanja, ocenjevanje nihanja čolna, itd.

**GNSS naprave** (običajno GPS), vgrajene v pametne telefone, imajo za točno določanje položaja, hitrosti in pospeškov čolna sicer prenizko frekvenco osveževanja, vendar vključujejo matematične algoritme, ki to pomanjkljivost zmanjšajo, tako da obstoji vrsta aplikacij, ki omogoča tudi merjenje preveslanih razdalj, povprečnih in trenutnih hitrosti na progi, hitrost toka vode, itd.



Slika 4.24: Čelna plošča iOS aplikacije za merjenje pospeška čolna [42]

Večina aplikacij omogoča funkcijo trenerske štoparice z merjenjem tempa, merjenje hitrosti in pospeškov, razdalje in časa, štetje zaveslajev in podobno [60, 61].

#### 4.8. Lastnosti optimalnega merilnega sistema

Optimalni sistem za zajemanje fizikalnih parametrov (čas, razdalje, koti, sile, položaj, vedenje čolna) v veslaškem čolnu bi moral imeti vsaj sledeče specifikacije:

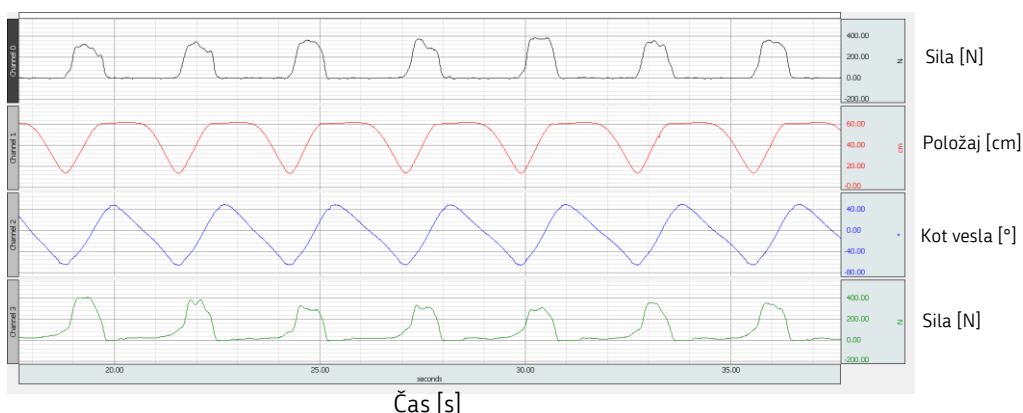
- merilni sistem za zajemanje čim več parametrov (npr. 106 parametrov za osmerca: za enojca 22, za vsakega dodatnega veslača pa še dodatnih 12, analogno-digitalna pretvorba vsaj 12 bitov)
- vgrajen GPS modul in modul za brezžično komunikacijo
- prikazovalnik v čolnu za osnovne informacije
- masa do 1,5 kg skupaj s kablji za skifa, do 6 kg za osmerca
- največja dolžina fizičnih kablov 10 m
- akumulatorsko napajanje
- hitrost vzorčenja do 500 Hz
- kapaciteta shranjevanja podatkov za vsaj 2 h
- primeren za v mokro/slano okolje
- programska oprema za kalibracijo in za obdelavo izmerjenih signalov

## 4.9. Interpretacija rezultatov merjenja v čolnu



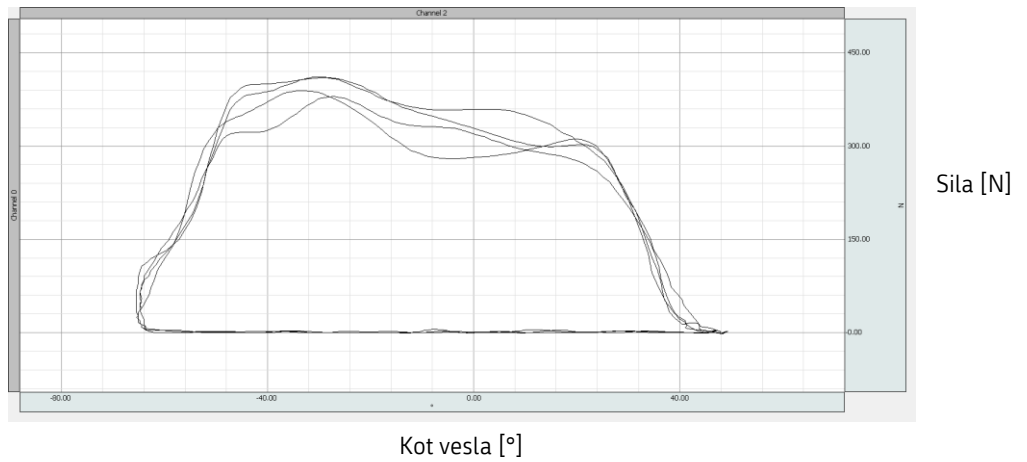
Slika 4.25: Veslač v instrumentaliziranem enojcu v srednji fazi potega [38].

Merilni sistem v čolnu omogočajo beleženje različnih parametrov, ki služijo kot osnova za sestavo kriterijskih parametrov, ki so uporabni pri ugotavljanju učinkovitosti zavesljava. V primeru brezžičnega pošiljanja izmerjenih vrednosti so parametri lahko obdelani in analizirani v realnem času (npr. na trenerjevem zaslonu) ali po aktivnosti (v klubskih prostorih). Izmerjene časovne vrste so lahko primerjane med seboj ali prikazane v odvisnosti od časa ali drugih parametrov. Na ta način je veslačem in trenerjem lahko lažje predstaviti razlike med veslači, optimirati zavesljav in pomagati k večji učinkovitosti veslanja [11, 62].

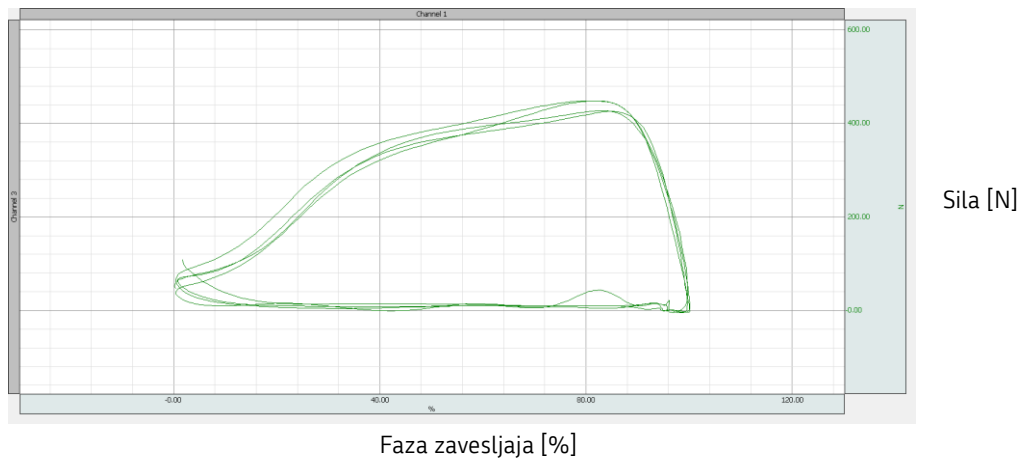


Slika 4.26: Karakteristike štirih beleženih parametrov (sila na objemki vesla, položaj sedeža, vodoravni kot vesla in sila leve noge), zbranih na skupni časovni osi [38].

Za trenerja in veslača so sicer bolj zanimive izpeljane veličine, ki jih lahko izračunamo iz merjenih parametrov.

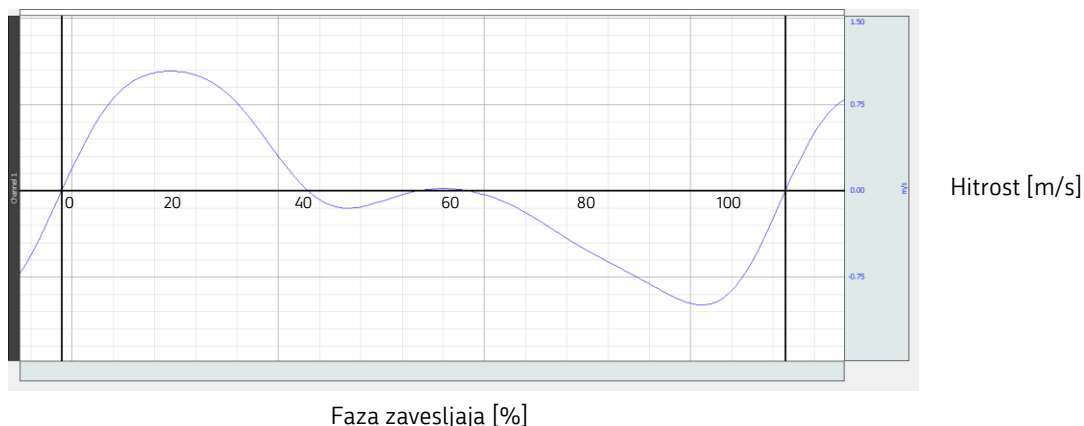


Slika 4.27: Karakteristika sile na objemki vesla v odvisnosti od kota vesla [38].



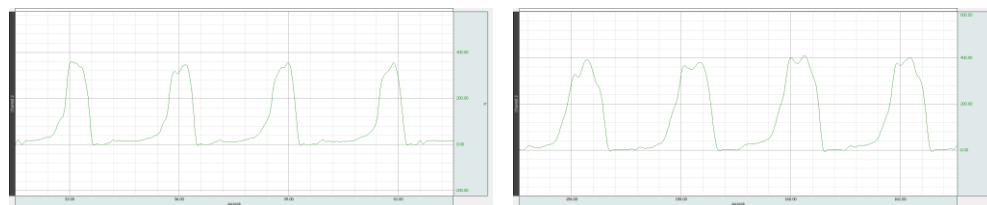
Slika 4.28: Karakteristika sile pod čevljem v odvisnosti od položaja sedeža [38].





Slika 4.29: Karakteristika hitrosti sedeža v odvisnosti od faze zavesljaja [38].

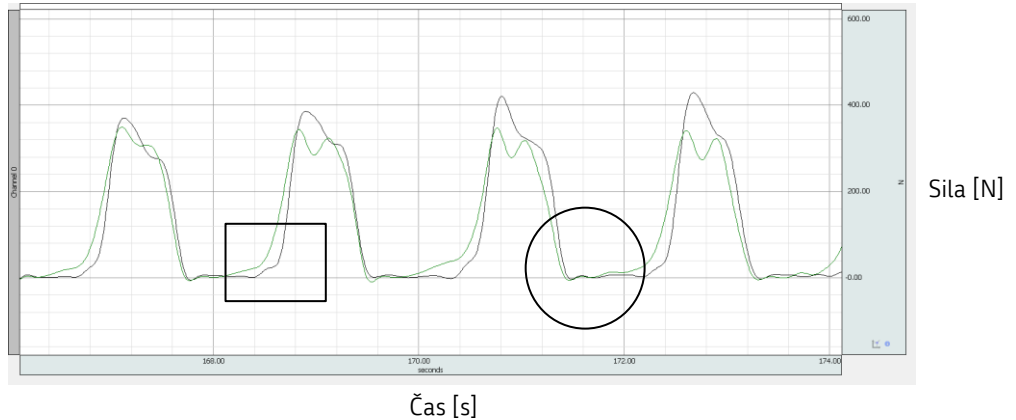
Karakteristika sile nog se od karakteristike sile na objemki vesla razlikuje predvsem po zgodnejšem odzivu. Do tega pride zaradi mehkega začetka, to pomeni, da se veslač z nogami ob vračanju proti začetku novega zavesljaja postopoma opira na nožnik, dokler ne začne novega zavesljaja. V fazi potega se sunkovito odrine in ob odzivu začne sila hitro rasti.



Slika 4.30: Časovna karakteristika sile leve noge pri tempu 20 (levo) in pri tempu 30 zavesljajev/minuto (desno).

#### 4.9.1. Časovna usklajenost sil nog in rok

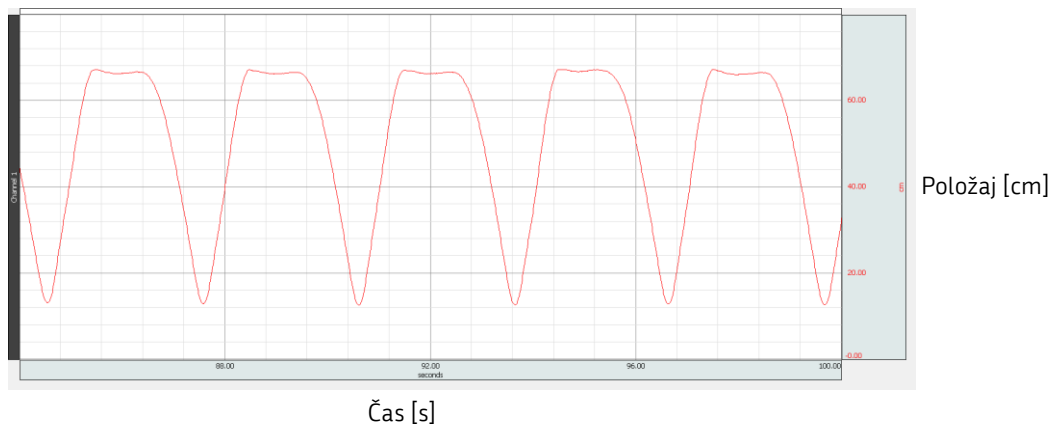
Če združimo odziv sile na objemki vesla in odziv sile noge na skupni osi (čas in sila), lahko izračunamo časovno zakasnitev aplikacije sile. Najprej začne naraščati odziv sile noge zaradi opiranja nog na nožnik pri pripravi na nov zavesljaj, ki močno začne rasti ob začetku odziva. Sila na objemki vesla začne rasti trenutek po začetku odziva, saj mora veslo najprej v vodi dobiti upor (kvadrat na sliki 4.31).



Slika 4.31: Sila na objemki levega vesla in sila pod levim čevljem na skupni časovni osi. Kvadrat na sliki označuje zakasnitev prirasta sile na objemki vesla ob začetku zavesljaja, krog pa označuje zakasnitev upada sile na objemki vesla ob koncu zavesljaja.

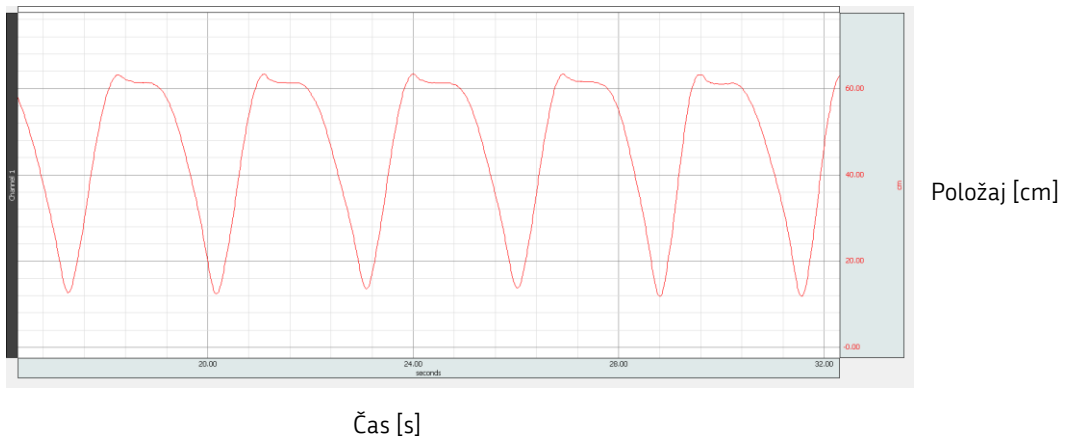
Ko se noge iztegnejo, odziv sile noge neha rasti, odziv sile na objemko pa še zraste za toliko, kolikor sta zmožna dodati hrbet in roke, ki še zaključujeta zavesljaj. Ko zavesljaj zaključita tudi hrbet in roke, oba odziva padeta na nič. Razlog za časovno zakasnitev padanja odziva sile na objemki vesla glede na padanje odziva sile noge je akumulirana energija v samem veslu, ki se med zavesljajem ukrivi in tako akumulira nekaj energije, ki se sprosti, ko se ob razbremenitvi na koncu zavesljaja veslo ponovno izravna in tako malenkost dlje vzdržuje obremenitev na objemko (krog na sliki 4.31).

#### 4.9.2. Položaj sedeža v odvisnosti od časa



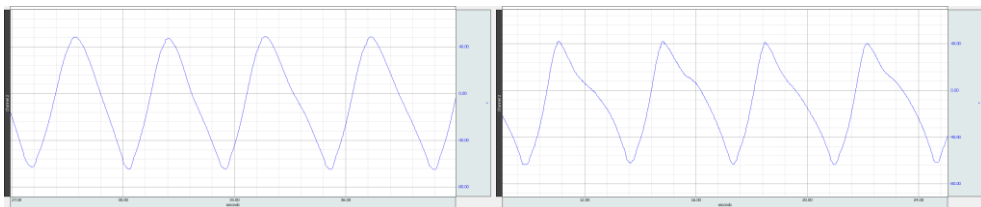
Slika 4.32: Karakteristike položaja sedeža v odvisnosti od časa.

Vrednost položaja narašča in pada precej linearno (Slika 4.32). Območje naraščanja vrednosti predstavlja fazo odriava, območje padanja vrednosti pa predstavlja fazo vračanja v začetni položaj. Spodnji del grafa predstavlja položaj na začetku zavesljaja, ko so noge popolno skrčene. Bolj ko ima graf ob prehodu obliko parabolične funkcije, bolj »mehak« je prehod iz vračanja v začetni položaj v naslednji zavesljaja. Idealni potek prehoda bi bil ostra konica. Ker pa je za vstavljanje lopate v vodo potreben čas, je realen profil čim ožja parabola. Zgornji del grafa predstavlja konec zavesljaja, ko so noge popolnoma iztegnjene. Profil gibanja sedeža med zavesljajem nosi informacije o gibanju veslača med potegom in vračanjem po zavesljaj. Na sliki 4.33 je prikazano veslanje z neoptimalnim gibanjem sedeža. Pri vrha grafa doseže svoj maksimum ob prehodu iz naraščanja v stabilni položaj (iztegnjene noge) in nato rahlo pada do trenutka krčenja nog. Do rahlega padanja vrednosti v stabilnem položaju pride zaradi popustitve napetosti iztegnjenih nog, saj se takrat sedež rahlo premakne naprej.



Slika 4.33: Prikaz napake v premiku sedeža med zavesljajem.

### 4.9.3. Kot vesla v odvisnosti od časa



Slika 4.34: Prikaz pravilne oblike časovne karakteristike kota vesla v odvisnosti od časa (levo) in karakteristike pri neenakomernem vračanju v nov zavesljaj.

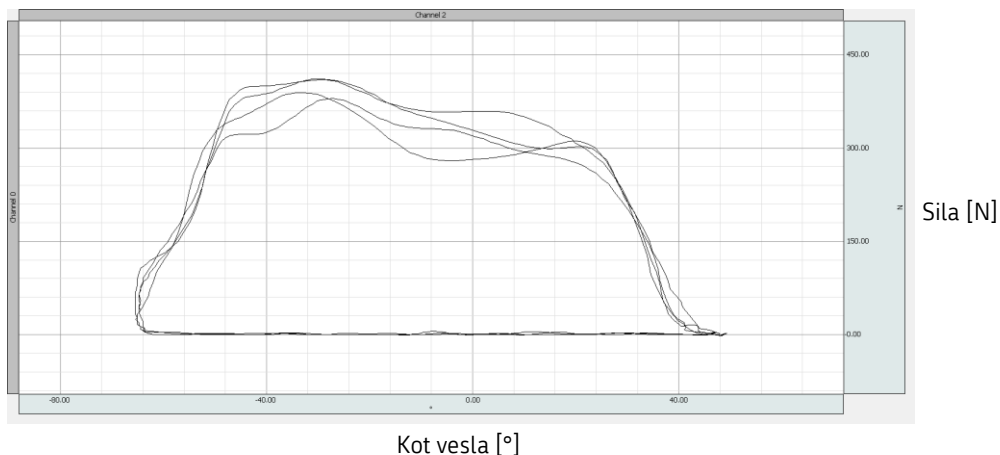
Z grafa kota vesla opazimo, da vrednost narašča in pada linearno. Območje naraščanja vrednosti predstavlja fazo odziva, območje padanja vrednosti pa predstavlja fazo vračanja v začetni položaj (slika 4.34). Spodnji del grafa predstavlja položaj na začetku zavesljaja, ko so noge popolno skrčene in roke maksimalno iztegnjene naprej. Zgornji del grafa predstavlja končni položaj, ko so noge popolnoma iztegnjene, hrbet nagnjen nazaj in roke ob telesu. Veslo skozi zaveslaj opravi približno kot  $110^\circ$ . Kot  $0^\circ$  predstavlja pravi kot vesla na čoln. Ko gre veslo proti začetnemu položaju zavesljaja je kot negativen, njegova vrednost pa na začetku znaša približno  $-65^\circ$ . Ko pa gre veslo proti zaključku zavesljaja, je pozitiven, njegova vrednost pa znaša približno  $45^\circ$ .

Pri grafu kota vesla težimo k temu, da sta oba prehoda, tako iz naraščanja v padanje in iz padanja v naraščanje, čim hitrejša (ozka parabola). Počasnejši kot je prehod, dlje časa se nahajamo v skrajnem položaju, to pa pomeni nepovezanost zavesljaja, energijske izgube in nestabilnost čolna [38].

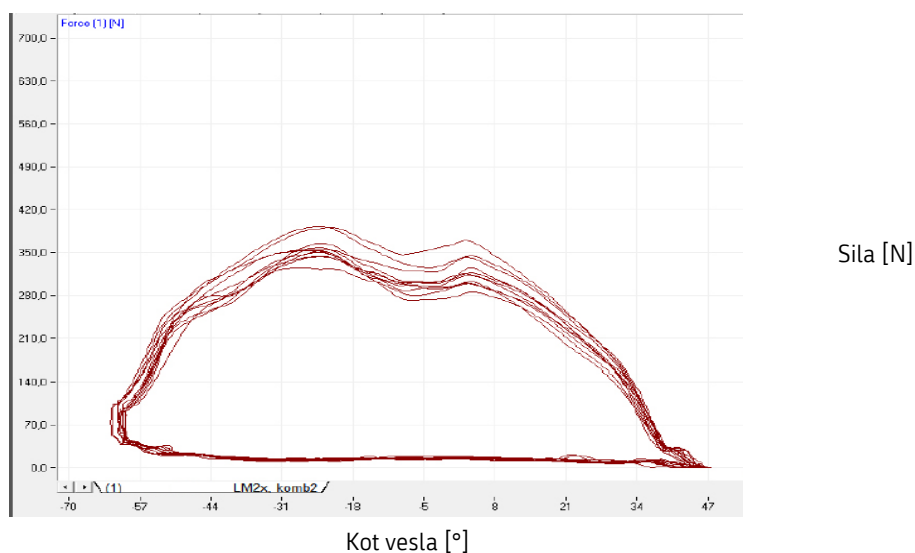
V kolikor se med naraščanjem in padanjem vrednosti pojavijo vidnejša odstopanja od linearnega poteka (slika 4.34 desno), kaže na to, da gibanje v tej fazi ni bilo enakomerno hitro. Pospešeno gibanje je slabo, ker veslač s svojo težo potisne čoln globlje, ga bolj omoči in s tem ustvari prevelik hidrostatični upor.

#### **4.9.4. Sila na rokah v odvisnosti od kota vesla**

Iz sile na objemki vesla in kota vesla lahko sestavimo naslednjo karakteristiko. Optimalna oblika te karakteristike je čim hitrejši prirast sile na začetku zavesljaja ter čim daljšemu zadrževanju maksimalne proizvedene sile. Tako kot pri karakteristiki sile na objemki vesla bi bila idealna oblika čisti pravokotnik s čim večjo amplitudo. Sliki 4.35 in 4.36 prikazujeta silo leve roke istega veslača, ki je bila izmerjena z dvema različnima merilnima sistemoma. Viden je podoben profil časovne odvisnosti sile med potegom.



Slika 4.35: Karakteristika sile na objemki levega vesla v odvisnosti od kota vesla, izmerjena z enim merilnim sistemom [38].



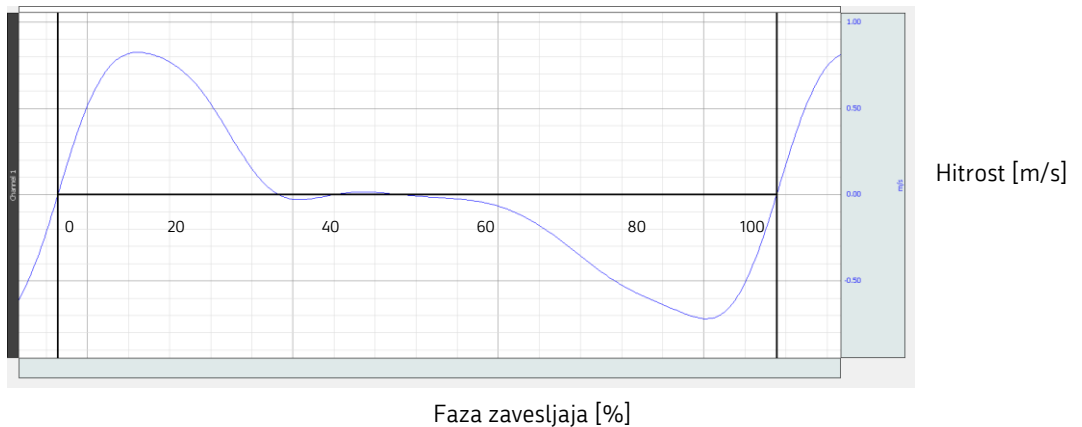
Slika 4.36: Sila na objemki levega vesla (levo) in sila na objemki desnega vesla (desno) v odvisnosti od kota vesla, izmerjeni z drugim merilnim sistemom [51].

#### 4.9.5. Hitrost sedeža v odvisnosti od faze zavesljava

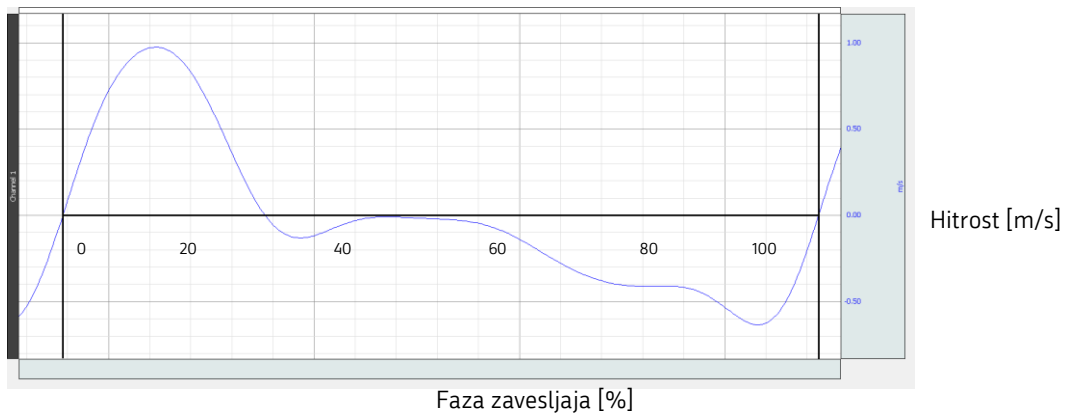
Hitrost sedeža je preko enega cikla zavesljava razdeljena na pozitivno (odriv) in negativno (vračanje). Pozitivna hitrost je odvisna od odriva in je povezana s fizično

pripravljenostjo veslača in uporom vode na vesla. Negativna hitrost pa je odvisna od enakomernosti vračanja na začetek v nov zavesljaj.

Na hitrost odrida lahko vplivamo le z večjo silo odrida, kar je dolgotrajni proces fizične priprave. Na hitrost med vračanjem pa zaradi fizične neobremenjenosti lahko vplivamo z boljšo tehniko gibanja. Ker negativna hitrost nasprotuje smeri gibanja čolna, je pomembno, da se hitrost pri vračanju povečuje čim bolj enakomerno in doseže vrh čim kasneje. S tem dosežemo zakasnitev zmanjševanja hitrosti čolna in vzdržujemo višjo povprečno hitrost. Prej ko dosežemo vrh negativne hitrosti, dlje časa je čoln izpostavljen zaviranju zaradi upora vode, kar zmanjšuje povprečno hitrost [38].



Slika 4.37: Prikaz optimalne oblike hitrosti sedeža.



Slika 4.38: Prikaz neenakomernega vračanja v nov zavesljaj. Do 75% poti je vračanje enakomerno, potem pa nenadno pospešeno, kar voliva na gibanje čolna in zaustavi čoln.

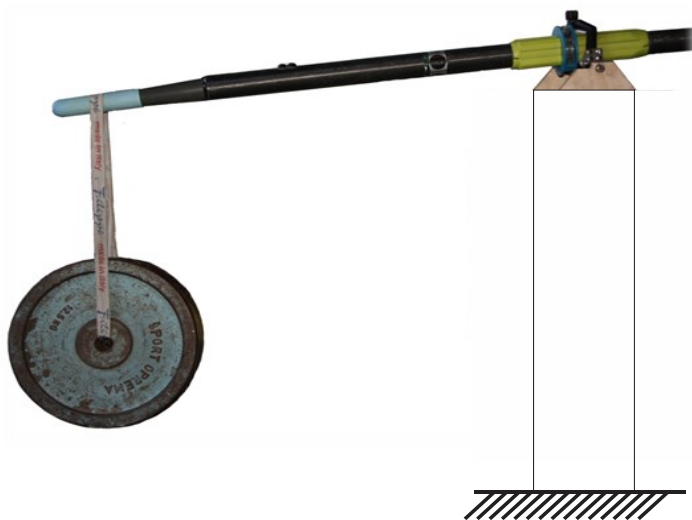
## 5. MERILNE NAPAKE IN MERILNE NEGOTOVOSTI

Osnova vsakega dobrega odločanja trenerja ali veslača je meritev. S pomočjo neposredne primerjave se trener lahko odloča za nadaljnje korake v trenažnem procesu, optimizacijo nastavitve veslaške opreme, odloča se za preverjanje stopnje treniranosti in, kar je ključno, ugotavlja povprečno hitrost čolna.

Meritev ne poteka nujno z merilnimi sistemi in napravami. Izkušeno trenerjevo oko lahko opazi večino napak v tehniki zavesljaja. Lahko opazi neoptimalno vedenje čolna in razlike v časovni sinhronizaciji posameznih veslačev znotraj ekipe. Velja, da so zaradi cenovne dostopnosti, enostavnosti uporabe, prenosnosti in miniaturizacije današnji merilni multiparametrični sistemi odličen pripomoček trenerja in veslača za ugotavljanje učinkovitosti zavesljaja in za morebitne potrebne spremembe v nastavitvah čolna, veslaški tehniki ali trenažnem procesu.

Za učinkovito odločanje izmerjena vrednost ni zadostna informacija. Poleg izmerjene vrednosti je nujno tudi poznavanje kvalitete izvedene meritve. Podatek, da je ekipa četverca brez krmarja potrebovala čas 3:35 za 1000 m progo, ni popoln, saj ne pove, v kakšnih vremenskih razmerah je ekipa veslala, ali je veslala na naravni ali umetni progi, kako točno je bil 1000 m odsek izmerjen, s kakšnim tempom je veslala, kakšne ročice vesel je imela, itd. Najosnovnejši podatek, ki bi moral biti teoretično pripisan, je točnost ure, pri čemer predvidevamo, da je proga izmerjena z zadostno točnostjo.

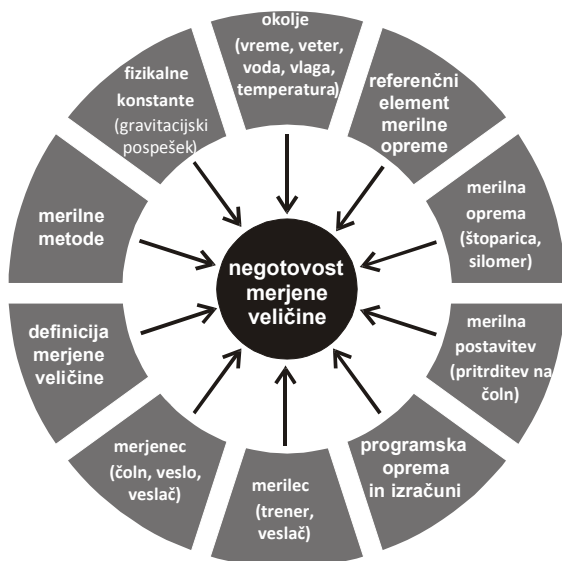
Merilna točnost je ujemanje izmerjene vrednosti veličine s pravo vrednostjo veličine [63]. Točnost pove, kako daleč stran od prave vrednosti je izmerjena vrednost. **Merilni pogrešek** ali napako meritve izračunamo kot izmerjeno vrednost minus referenčno vrednost merjene veličine. Pogrešek lahko določimo s pomočjo umerjanja ali kalibracije. Če kalibriramo upogib vesla s pomočjo obešanja uteži na vesla (slika 5.1), je v statičnih razmerah sila na veslu enaka gravitacijski sili uteži. In če uteži ne poznamo zadosti točno, tudi upogiba vesla ne bomo mogli točno določiti. Zato uporabimo tehtnico in z njo izmerimo maso uteži. To je naša referenčna vrednost. Nato uteži obesimo na veslo in izmerimo upogib.



Slika 5.1: Obešanje uteži znanih vrednosti na veslo nam v okviru kalibracije senzorjev za silo na objemki vesla omogoča točno določanje sile na veslu [38].

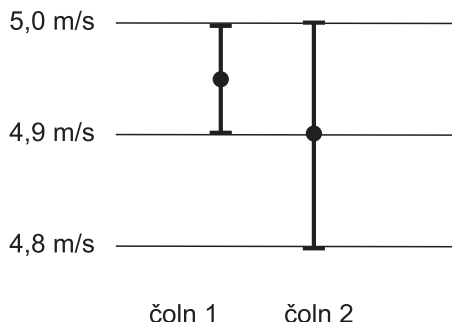
**Merilna negotovost** je definirana kot lastnost merilnega rezultata. Je veličina, ki predstavlja kvaliteto meritev, saj označuje razpršenost vrednosti, ki jih je mogoče z določeno verjetnostjo pripisati merjeni veličini [63]. Pri iskanju prispevkov negotovosti naše meritve je pomembno poznati področja, ki lahko vplivajo na rezultate naše meritve. Deset, v sliki 5.2 prikazanih področij predstavlja najbolj pogosta vplivna področja pri meritvah v veslanju. Pri merjenju **VEDNO** obstajajo dejavniki, zaradi katerih negotovost meritve ni neskončno majhna.





Slika 5.2: Deset najbolj pogostih virov merilne negotovosti pri merjenjih v veslanju (merjena veličina je lahko sila na lopati, dolžina premika sedeža, navpični kot na objemki vesla, moč zavesljaja, hitrost, pospešek čolna, itd.)

Praktični prikaz uporabnosti koncepta merilne negotovosti je sledeč. Ugotavljamo hitrosti dveh čolnov, ki nista tekmovala neposredno drug z drugim. Z merilno napravo za merjenje hitrosti izmerimo, da se je prvi čoln premikal s hitrostjo 4,95 m/s, drugi pa s hitrostjo 4,9 m/s. Na prvi pogled je prvi čoln torej hitrejši. Vemo, da ima merilna naprava za merjenje hitrosti prvega čolna merilno negotovost okoli 0,1 m/s, naprava, s katero smo izmerili hitrost drugega čolna, pa 0,2 m/s, lahko zaključimo, da s takima merilnima inštrumentoma ne moremo ločiti čolnov glede na hitrost (slika 5.3). Oziroma da sta hitrosti obeh čolnov znotraj merilne negotovosti in zato ne moremo nedvoumno zaključiti, kateri čoln je hitrejši.



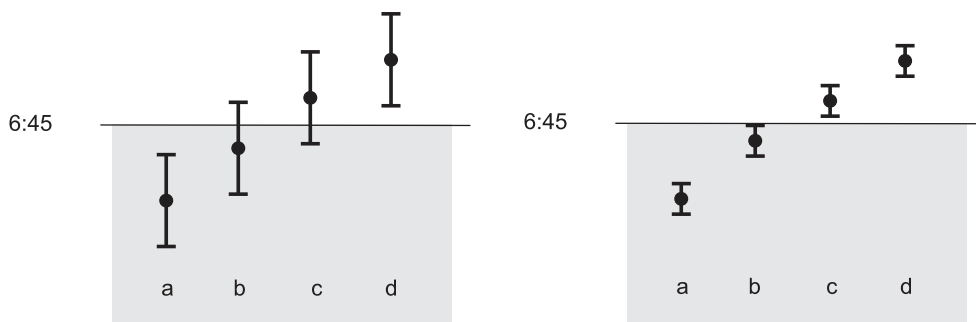
Slika 5.3: Prikaz dveh meritev z različnima merilnima negotovostma.

Podoben primer je sledeč. Za kriterijsko regato je določen prag 6:45, ki ga mora ekipa doseči, da se uvrsti v reprezentanco. Merilna negotovost izmerjenega časa pri odločanju, ali je čoln dosegel kriterij ali ne, je izjemno pomemben parameter. Vključuje

namreč napake merilne metode in napake zaradi okoljskih razmer (smer in jakost vetra, temperaturo vode in zraka, merilne inštrumente za merjenje hitrosti, časa, tempa veslanja itd). Na sliki 5.4 so glede štirje možni primeri ugotavljanja, ali je čoln presegel postavljen kriterij 6:45. Primera a in d sta enostavna, saj je bil čoln v a primeru zadosti hiter za kriterij, v primeru d pa prepočasen. Primer b in c sta bolj problematična, saj je bil čas čolna v b primeru hitrejši od postavljenega kriterija, v c primeru pa počasnejši. Vendar če bi (znali oceniti in) upoštevali tudi merilno negotovost merjenja teh časov, obstaja določena verjetnost, da bi se v reprezentanco uvrstil čoln, ki ni dosegel kriterija (b), oziroma se v reprezentanco ne bi uvrstil čoln, ki bi ga dosegel (c).

Ključno je, da poskušamo zmanjšati merilno negotovost naših merenj, saj bodo tako naše odločitve precej boljše (slika 5.4 desno). Zmanjšanje merilnih negotovosti je možno z uporabo bolj primerne merilne metode, uporabo bolj točnih merilnih inštrumentov in/ali poznavanjem fizikalnih in biomehanskih principov veslanja in sestavljanjem modelov hitrosti čolna.

Merjenje časa je relativno trivialno, pri vseh ostalih merjenjih pa je merilna negotovost zelo pomemben parameter, katerega pomembnosti se večina uporabnikov veslaških merilnih sistemov niti ne zaveda. Zato so njihovi zaključki in rezultati njihovih meritev, ki so osnova za odločanje trenerja, večkrat neprimerni.



Slika 5.4: Pomembnost merilne negotovosti, kvantitativnega podatka o kvaliteti meritev, v primeru uvrščanja veslaških posadk med kandidate za reprezentanco na podlagi kriterijskega časa 6:45 na kriterijski regati. Posadka se uvrsti v kandidate za reprezentanco, če je njen čas manjši od kriterija (sivo polje).



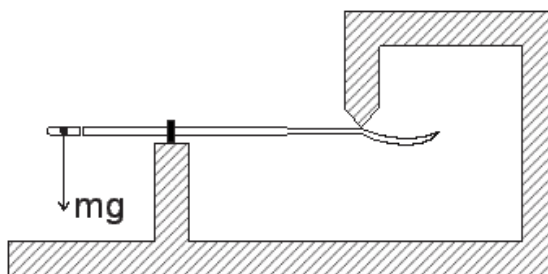
Slika 5.5: Umerjanje senzorjev sile pred meritvijo sil na vodi.

Poleg merilne napake («kako daleč stran od idealno izmerjene vrednosti so moje meritve») in merilne negotovosti («kako kvalitetno sem naredil meritve») je pomemben pojem tudi sledljivost merilnega rezultata. **Sledljivost** je lastnost merilnega rezultata, ki omogoča navezavo na reference (običajno nacionalne ali mednarodne etalone) skozi neprekinjeno verigo primerjav, ki imajo vse opredeljene negotovosti [63]. Ta lastnost omogoča primerjavo izmerjenih vrednosti v čolnih na treningu na kanadskem jezeru, na ledeniškem jezeru v Avstriji in na morju v Afriki.

**Kalibracija ali umerjanje** je postopek, s katerim določimo merilno napako in merilno negotovost določene meritve, merilnika ali merilnega sistema. Običajno se uporablja primerjalna kalibracija, pri kateri se izmerjena vrednost primerja z referenčno vrednostjo. Postopek ponovimo z vsaj petimi različnimi meritvami v celotnem merilnem območju, na primer pri merjenju položaja sedeža od 0 cm do 70 cm v točkah 0 cm, 15 cm, 35 cm, 55 cm in 70 cm, pri umerjanju sile na ročici vesla od 0 N do 1000 N v točkah 0 N (brez uteži), 250 N, 500 N, 750 N in 1000 N (100 kg utež), itd. Za ugotavljanje ponovljivosti meritev v vsaki točki utež obesimo ne samo enkrat, ampak nekajkrat in tako lahko izračunamo tudi povprečno vrednost in standardni odklon rezultatov, ki je merilo za ponovljivost meritev.

## 5.1. Kalibracija merilnika sile na objemki vesla

Priprava za umerjanje sile na objemki vesla poteka tako, da podstavek s privito osjo in objemko s senzorjem postavimo na ustrezno mesto in na višino, ki omogoča pritrditev vesla (slika 5.6). Veslo fiksno pritrdimo na mestu tik pred lopato, tako da je veslo v vodoravnem položaju.

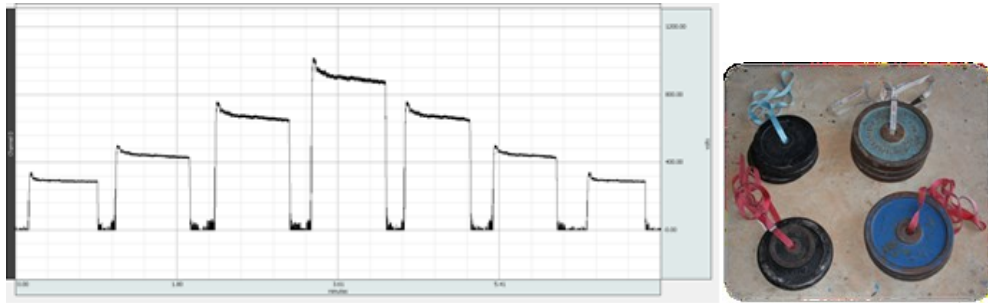


Slika 5.6: Shema vpetja kalibriranega vesla.

Senzor sile kalibriramo s primerjalno meritvijo proti uteži, katere maso poznamo in posledično lahko izračunamo silo, kateri je veslo podvrženo. Utež na ročaj obesimo z gibko vrvjo, da zagotovimo težišče uteži v vzdolžni osi vesla. Postopek ponovimo z več utežmi preko celega merilnega območja senzorja sile (slika 5.7).

Umerjanje sile na objemki vesla tipično poteka tako, da najprej trikrat za 5 sekund na sredino ročaja obesimo utež z določeno maso 110 % vrednosti območja in tako izvedemo preobremenitev. S tem je senzor sile pripravljen na obremenitev. Nato po vrsti obešamo preostale uteži od najlažje do najtežje in nato obratno navzdol (slika 5.7). Tako dobimo stopničast prikaz odziva posameznih obremenitev, iz katere lahko izračunamo tudi napako zaradi histereze senzorja. Iz povprečnih vrednosti dobimo pet merilnih točk, skozi katere potegnemo matematično funkcijo, ki opisuje odziv senzorja v odvisnosti od sile nanj.

## Merjenja v veslanju



Slika 5.7: Levo - izmerjene vrednosti sile med kalibracijo senzorja na objemki vesla, desno - uporabljene uteži.

## 6. SKLEP

V knjigi smo obravnavali merilne metode, merilne sisteme in merjenja v tekmovalnem veslanju v dveh okoljih; na veslaškem ergometru in v čolnu.

V prvem delu smo predstavili merjenja biomehanskih parametrov, ki jih lahko izmerimo s pomočjo veslaškega ergometra. Prikazane so tipične veličine, ki nas zanimajo – sile in moči posameznega zavesljaja, dolžine in koti gibov veslača. Z merilnim sistemom je bila izvedena primerjalna študija, v kateri sta sodelovali dve skupini prostovoljcev - 5 nepoznavalcev in 5 poznavalcev (vrhunskih veslačev). Pri različnih tempih veslanja je bila opazovana dolžina zavesljaja, trajanje faz zavesljaja, sile posameznega zavesljaja na ročaju in na nožniku, izmerjeno je bilo opravljeno mehansko delo, določena trajektorija gibanja ročaja, izmerjeni koti med posameznimi segmenti telesa in obremenitve v sklepih.

V primerjavi z veslanjem v čolnu na vodi omogoča veslaški simulator skoraj laboratorijsko stabilne in kontrolirane pogoje, zato je v drugem delu predstavljena osnovna fizika veslanja v čolnu. Navedeni so parametri, ki jih je mogoče v čolnu meriti in nosijo informacijo o učinkovitosti veslanja. Prikazane se osnovne metode zajemanja teh fizikalnih veličin in izračunavanja izpeljanih veličin. S pomočjo merilnih sistemov je bilo možno analizirati tehniko zavesljaja in določati časovne spremembe biomehanskih parametrov v smislu interpretacije in optimizacije veslaške tehnike v čolnu. Mogoče je opazovati razliko med tehnično pravilnim veslanjem in napakami v veslaški tehniki (neusklajenost dela rok in nog, časovni zamiki, deljen zaveslaj itd.)

S pomočjo merilnih sistemov na ergometru in v čolnu je bilo ugotovljeno, da je vzorec veslanja (profil zavesljaja) pri vrhunskih veslačih in nepoznavalci konsistenten in tipičen za vsako osebo. Pri tem se pri poznavalcih vzorec z višanjem tempa ne spreminja. Poznavalci so dosegli dolžino zavesljaja, ki ustreza več kot 80-odstotkom njihove telesne višine. Dolžina zavesljaja pri nepoznavalcih je bila krajša, kar je bil rezultat prekratkega hoda na začetku in krajšanja zavesljaja na koncu potega. Z višanjem tempa so nepoznavalci povečevali dolžino zavesljaja. Za poznavalce je bil značilen tudi časovno hiter poteg in počasno vračanje proti začetku, zato je trajanje povratka daljše od trajanja potega. Z večanjem tempa se razmerje med potegom in povratkom manjša, saj veslač kljub povečani hitrosti med potegom ne more ujeti višjega tempa in se zato hitreje vrača med povratkom. Po drugi strani je bilo za nepoznavalce značilno, da so imeli manjše razmerje med potegom in povratkom,

tipično okoli 1:1. To razmerje se z večanjem tempa ni spreminjalo. Ugotovljeno je bilo, da pri vseh prostovoljcih najprej nastopi maksimalna sila na opori za noge, z rahlim zamikom pa ji sledi maksimalna sila na ročaju. Pri nepoznavalcih so bile sile občutno manjše kot pri poznavalcih. Poznavalci so v 10 zavesljajih opravili več mehanskega dela kot nepoznavalci. Pri vseh prostovoljcih je opravljeno delo naraščalo z višanjem tempa, pri čemer je bilo pri poznavalcih povečanje mnogo manjše kot pri nepoznavalcih. Trajektorije gibanja ročaja in koti segmentov telesa med zavesljajem so bili med poznavalci zelo podobni, kar pomeni, da poznavalci veslajo s podobno tehniko. Pri nepoznavalcih pa prihaja do velikih razlik. Ker so nepoznavalci veslali z manjšimi poteznimi silami, so bile tudi obremenitve v sklepih pri njih manjše. Pri vseh prostovoljcih nastopi največji navor v LS sklepu med fazo potega, pri tem so navori poznavalcev v istem območju. Položaj nastopa in velikost največjega navora se z višanjem tempa pri poznavalcih nista bistveno spremenila, pri nepoznavalcih pa je sprememba očitna. Ugotovljeno je bilo, da nepoznavalci razvijejo največji navor v kolenu na začetku zavesljaja, ko so kolena najbolj pokrčena, poznavalci pa malo kasneje v fazi potega. Pri navoru v rami poznavalci dosežejo vrh malo pred sredino potega, pri nepoznavalcih pa to ni izrazito.

Zadnje poglavje knjige je namenjeno trem osnovnim metrološkim parametrom - izmerjeni vrednosti, merilni napaki in merilni negotovosti merjenih veličin v veslanju. Kot primer so prikazani postopki umerjanja senzorjev za silo na veslu.

## 7. LITERATURA

- [1] S. Redgrave, "Complete book of rowing", Transworld Publisher, London, 1992.
- [2] R. Krašovec, "Pot na vrh - 100 let veslanja na Bledu", Veslaški klub Bled, Bled, 2005.
- [3] Veslaška zveza Slovenije [Elektronski: <http://www.veslaska-zveza.si/>, navedeno: 8.7.2015].
- [4] I. Čop, "Veslanje pozimi – popolna telesna vadba", [Elektronski: [http://www.klubpolet.si/index.php?option=com\\_content&task=view&id=1131&Itemid=70](http://www.klubpolet.si/index.php?option=com_content&task=view&id=1131&Itemid=70), navedeno 6. junij 2010].
- [5] T. Černe, A. Jamar, "Fizika veslanja, raziskovalna naloga s tehničnega področja", Gimnazija Jesenice, Jesenice, 2000.
- [6] The Boat Race Results. [Elektronski: <http://theboatraces.org/results>, navedeno 10.7.2015].
- [7] P. Schwanitz, "Augewahlte Beitrage aus der Biomehanik fur die Leistungsentwicklung im Rudern", Proceedings of FISA Coaches' Conference, Atene, 1991.
- [8] P. Schwanitz, "Development of the boat velocity and race times - relations and projection", Rudersport, št. 32, str. 859-861, 1995.
- [9] V. Nolte, "Rowing faster – 2nd edition", Human Kinetics, Champaign, ZDA, 2011.
- [10] Y. Mingnong, Z. Weitao, M. Yong, H. Haifeng, "Evaluation of the Performance of the Double Rowing Hull", Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Pervasive Computing, str. 471-474, Jeju Island, Južna Koreja, 2007.
- [11] V. Kleshnev, "Q&A", Rowing Biomechanics Newsletter, št. 3/1, 2003.
- [12] A. McGregor, A. Bull, 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, št. 25/6, str. 465-470, 2004.
- [13] K. Hase, M. Kaya, A. Zavatsky, S. Halliday, "Musculoskeletal loads in ergometer rowing", Journal of Applied Biomechanics, št. 20/3, str. 317-323, 2004.
- [14] A. Baudouin, D. Hawkins, "Investigation of biomechanical factors affecting rowing performance", Journal of Biomechanics, col. 37, str. 969-976, 2004.



- [15] A. Mpimis, V. Gikas, "Monitoring and evaluation of rowing performance using mobile mapping data", *Archives of Photogrammetry, Cartography and Remote Sensing*, vol. 22, str. 337, 349, 2011.
- [16] S. Seiler, "150 Years of Rowing Faster: What Are the Sources of More and More Speed?", *Sport Science and Medicine Conference*, Bisham, UK, 2015.
- [17] T. O'Neill, "Beat the drag", *Row360*, št. 5/6, 2015.
- [18] R. Karba, G. Karer, J. Kocijan, T. Bajd, M. Žagar Kare, "Terminološki slovar avtomatike", *Inštitut za slovenski jezik Frana Ramovša*, Ljubljana, 2014.
- [19] J. von Zitzewitz et al. "Real-time rowing simulator with multimodal feedback", *Sports Technol.* vol. 1, no. 6, str. 257-266, 2008.
- [20] E. Rosow, "A Comparative Study of Rowing Biomechanics", *Proceedings of IEEE Seventeenth Annual Northeast Bioengineering Conference*, str. 271-272, Hartford, ZDA, 1991.
- [21] P. Pudlo, A. Pinti, F-X. Lepoutre, "Experimental laboratory apparatus to analyze kinematics and 3D kinetics in rowing", *The Engineering of Sport*, št. 8/1, str. 39-46, Pariz, 2005.
- [22] D. A. Hawkins, "A new instrumentation system for training rowers", *Journal of Biomechanics*, št. 33, str. 241-246, 2000.
- [23] P. N. Page, D.A. Hawkins, "A real-time biomechanical feedback system for training rowers", *The Engineering of Sport*, št. 6/2, str. 67-79, Pariz, 2003.
- [24] E. Ruffaldi, O. Sandoval-Gonzalez, A. Filippeschi, P. Tripicchio, A. Frisoli, C. Avizzano, M. Bergamasco, "Integration of Multimodal Technologies for a Rowing Platform", *Proceedings of IEEE International Conference on Mechatronics*, str. 1-6, Malaga, 2009.
- [25] A. Baca, P. Kornfeind, "A Feedback System for Coordination Training in Double Rowing", *The Engineering of Sport*, št. 7/1, 659-668, Pariz, 2008.
- [26] A. Baca, P. Kornfeind, M. Heller, "Feedback Systems in Rowing", *The engineering of Sport*, št. 6/1, str. 407-412, Pariz, 2006.
- [27] R. Torres-Moreno, C. Tanaka, K. L. Penney, "Joint Excursion, Handle Velocity, and Applied Force: a Biomechanical Analysis of Ergonomic Rowing", *International Journal Sports Medicine*, št. 21 (1), str. 41-44, 2000.
- [28] T. Černe, R. Kamnik in M. Munih, "The measurement setup for real-time biomechanical analysis of rowing on an ergometer", *Measurement*, št. 44/10, str. 1819 – 1827, 2011.

- [29] A. Barbiš, "Sistem za merjenje kinematike gibanja pri veslanju na ergometru", Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, 2012.
- [30] G. D. Wheeler, B. Andrews, R. Lederer, R. Davoodi, K. Natho, C. Weiss, J. Jeon, Y. Bhambhani, R. D. Steadward, "Functional electric stimulation-assisted rowing: Increasing cardiovascular fitness through functional electric stimulation rowing training in persons with spinal cord injury", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, št. 83 (8), str. 1093-9, 2002.
- [31] Z. Hussain, M. O. Tokhi, S. Gharooni, "Dynamic Simulation of Indoor Rowing Exercise for Paraplegics", *Proceedings of IEEE Second Asia International Conference on Modelling & Simulation*, str. 901-904, Kuala Lumpur, Malezija, 2008.
- [32] R. Davoodi, B. J. Andrews, G. D. Wheeler, R. Lederer, "Development of an Indoor Rowing Machine With Manual FES Controller for Total Body Exercise in Paraplegia", *IEEE Transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, št. 10 (3), str. 197-203, 2002.
- [33] R. Davoodi, B. J. Andrews, "Fuzzy Logic Control of FES Rowing Exercise in Paraplegia", *IEEE Transactions on biomedical engineering*, št. 51 (3), str. 541-543, 2004.
- [34] T. Černe, "Biomehanika veslanja na simulatorju", diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, 2012.
- [35] R. Kamnik, "Navodila za delo z merilno opremo pri vajah iz Biomehanike, laboratorijski praktikum", Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, 2009.
- [36] R. Kamnik, "Inverzna Newton-Eulerjeva dinamična analiza, laboratorijski praktikum", Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, 2006.
- [37] R. Kamnik, "Analiza sil, ki delujejo na človeka v mirovanju, laboratorijski praktikum", Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, 2006.
- [38] A. Lindič, "Nizkocenovni sistem za merjenje biomehanskih parametrov v veslaškem čolnu", diplomsko delo, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, 2012.
- [39] K. C. Pilgeram, M. J. Delwiche, "Device for on-the-water measurement of rowing output", *Sports engineering*, vol 9, 165-174, 2006
- [40] A. Patterson, "Review of Rowing Technology", *World Rowing Coaches Conference 2011*, Varese, Italija, 2011.
- [41] K. Mattes, N. Schaffert, "New measuring and on water coaching device for rowing", *Journal of Human Sport and Exercise*, vol. V, no. II, 226-239, 2010.

- [42] V. Kleshnev, "Boat acceleration, temporal structure of the stroke cycle, and effectiveness in rowing", Proc. IMechE Journal of Sports Engineering and Technology, vol. 224, part P1, 63-74, 2010.
- [43] R. Smith, W. Sprinks, "Matching technology to coaching needs: On-water rowing analysis", Proceedings of the 7th International Symposium of the Society of Biomechanics in Sports, str. 277-287, Victoria, Australija, 1989.
- [44] V. Kleshnev, "Rowing biomechanics", Biorow, 2006.
- [45] V. Kleshnev, "Power in rowing", Proceedings of 18th Congress of ISBS, št. 2, str. 662-666, Hong Kong, 2000.
- [46] Filippi, Italija. [Elektronski: <http://www.filippiboats.com/>, navedeno 10.7.2015].
- [47] F. Gravenhorst et al., Strap and row: "Rowing technique analysis based on inertial measurement units implemented in mobile phones", IEEE Ninth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP); 04/2014, 2014.
- [48] Anu Dudhia, "Physics of Stream/Depth & Rowing". [Elektronski: <http://www.atm.ox.ac.uk/rowing/physics/stream.html>, navedeno 10.6.2015].
- [49] H. Hermsen, "Using GPS and Accelerometer Data for Rowing Race Tracking", Master Thesis, University of Groningen, Nizozemska, 2013.
- [50] V. Kleshnev, "A brief history of our developments in force measurement area", Biorow, 2011.
- [51] WEBA Sport und Med Artikel GmbH [Elektronski: <http://www.weba-sport.com>, navedeno: 8.7.2015].
- [52] "Messtechnikertreffen, Hannover", Nemška veslaška zveza. [Elektronski: <http://www.rudern.de/nachricht/news/2012/02/23/messtechnikertreffen-am-160212-in-hannover/>, navedeno 10.7.2015].
- [53] smartOar. [Elektronski: [www.smartoar.com/](http://www.smartoar.com/), navedeno 10.11.2014].
- [54] BAT Logic. [Elektronski: <http://www.batlogic.net>, navedeno 10.7.2015].
- [55] V. Kleshnev, "The Ideal stroke: theoretical base and implementation", Rowing and Science Conference, 24 November 2012, Groningen.
- [56] Oar Inspired. [Elektronski: <http://www.oarinspired.com/>, navedeno 10.7.2015].
- [57] R. M. Smith, C. Loschner, "Biomechanics feedback for rowing", Journal of Sports Sciences, 2002, 20, 783-791.

- [58] V. Kleshnev, "Rowing Biomechanics: Technology and Technique", Biorow, 2004.
- [59] C. Douglas, Blade depth matters, Row360, Issue 5/6, June 2015.
- [60] iOS Market. [Elektronski: <http://apple.vshare.com/>, navedeno 11.7.2015].
- [61] Google Store.[Elektronski: <http://play.google.com/store>, navedeno 11.7.2015].
- [62] D. Altenburg, K. Mattes, J. M. Steinacker, "Manual of Rowing Training: Technique, High Performance and Planning", Limpert Verlag GmbH, 2012.
- [63] "International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms", VIM, 3. izdaja, JCGM 200:2008.

## Zahvala

Raziskovalno delo je bilo izvedeno na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani v Laboratoriju za metrologijo in kakovost in Laboratoriju za robotiko. Za konstruktivne diskusije in pomoč pri raziskovalnem delu se zahvaljujema vsem članom laboratorijev.

Za sodelovanje in podporo se zahvaljujema Veslaški zvezi Slovenije, Veslaškemu klubu Bled in Veslaškemu klubu Ljubljana.

Posebna zahvala gre vsem sodelujočim pri izvedbi meritev.

*Merjenja v veslanju* predstavlja sodobne merilne naprave za športno vadbo, ki omogočajo analizo veslaške tehnike, načrtovanje napotkov veslačem za izboljšanje tehnike in optimizacijo učinkovitosti zaveslaja na ergometru in v čolnu. Delo obravnava dva sklopa merilnih sistemov: merilne sisteme, ki se uporabljajo za analizo gibanja in fizikalnih veličin na veslaškem simulatorju, in merilne sisteme, ki se uporabljajo za merjenja v čolnu. Posebno poglavje obravnava tudi merilne napake, ki jih pri meritvi naredimo, in uvede koncept merilne negotovosti.



Brezplačna e-knjiga.  
Ni namenjena prodaji.

