

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikan ko.

Meritekniikka

2018

Kasper Hirvilampi

OLYMPIALUOKKIEN SOUDUN BIOMEKANIikka, SEN VAIKUTUKSET JA MITTAUKSET

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Konetekniikka | Meritekniikka

Kevät 2018 | 42 sivua, 1 liitesivu

Kasper Hirvilampi

OLYMPIALUOKKIEN SOUDUN BIOMEKANIikka, SEN VAIKUTUKSET JA MITTAUKSET

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella olympialuokkien kilpasoudun biomekaniikkaa, sen vaikutuksia veneen vauhtiin sekä kuinka sen tarkastelulla ja parantamisella pystytään parantamaan soutajan kilpailuvauhtia. Työ keskittyy eritoten yksikkö-veneluokan biomekaniikkaan ja vakavuuden tarkisteluun.

Työssä perehdytään aluksi olympialuokkien kilpasoutuun lajina. Sen jälkeen käsitellään teoriatasolla vakavuutta ja biomekaniikkaa olympialuokkien kilpasoudussa. Työn toisessa osassa käsitellään Suomen maajoukkue-tason kevyen luokan miessoutajan osalta biomekaniikkaa ja vakavuutta käytännössä sekä suoritetaan biomekaaniset mittaukset ja näiden analyysit.

Tuloksista ilmenee, kuinka biomekaniikan ymmärtämisellä ja analysoinnilla voidaan saada kenttäoloissa luotettavaa dataa soutajan voimantuotosta, hänen vaikutuksistaan veneeseen ja sen vauhtiin sekä saadaan parempi ymmärrys siitä, miten soutaja voisi parantaa kilpailutehoaan.

Työssä on käytetty hyväksi omaa osaamista olympialuokkien kilpasoudusta lajina sekä biomekaaniset mittaukset mahdollistavaa BioRow-laitteistoa.

ASIASANAT:

Soutu, yksikkö, biomekaniikka, vakavuus, voimantuotto, mittaus, analyysi

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical Engineering | Marine Technology

Spring 2018 | 42 pages, 1 appendix page

Kasper Hirvilampi

BIOMECHANICS OF ROWING, ITS EFFECTS AND MEASUREMENTS

The purpose of this thesis was to examine the biomechanics of Olympic rowing, its effects on the boat's speed, and how to examine and improve it. The work focused on the single scull in terms of biomechanics and stability in practice.

The first part of the thesis addresses the Olympic rowing as a sport. After this, the thesis discusses the stability and biomechanics of rowing at a theoretical level. The second part of the thesis focuses on biomechanics and stability of a Finnish national team lightweight male rower in practice, as well as the biomechanical measurements and its analyses.

The results illustrate that an understanding and analysis of biomechanics can give valuable information on how the rower is transferring power to the boat and what his impacts on the boat and its speed are. With that, it is possible to obtain a better understanding on how a rower can improve his or her rowing power in a competition.

This thesis utilizes the author's own understanding on Olympic rowing as a sport as well as the usage of BioRow equipment that enables the biomechanical measurements.

KEYWORDS:

Rowing, single scull, biomechanics, stability, power production, measurement, analysis

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 OLYMPIALUOKKIEN SOUTU	8
2.1 Soudun fyysiset ja henkiset vaatimukset	9
2.2 Soudun tekniikka	11
3 OLYMPIALUOKKIEN KALUSTO	14
3.1 Veneen rakenne	16
3.2 Airon rakenne	18
3.3 Vakavuus	19
4 OLYMPIALUOKKIEN SOUDUN BIOMEKANIikka	23
4.1 Voimantuotto	24
4.2 Vastusvoimat soudussa	28
4.3 Vedon pituus	29
4.4 Rytmi	30
5 SOUDUN BIOMEKAANISTEN MITTAUSTEN TOTEUTTAMINEN	31
5.1 Laitteiston kytkentä	31
5.2 Mittaaminen	36
5.3 Tulosten tulkitseminen	38
6 POHDINTA	41
LÄHTEET	42

LIITTEET

Liite 1. Biomekaniikan raportin kooste kisateholla

KUVAT

Kuva 1. Soutuvedon eri vaiheet	13
Kuva 2. Soutuluokat (World Rowing 2018)	15
Kuva 3. Vene pituussuunnassa	17
Kuva 4. Veneen jalkatila	17
Kuva 5. Veneen jalkatila sivusuunnasta	18
Kuva 6. Aivot	19
Kuva 7. Vakavuuden hahmotelma	20
Kuva 8. Veden lämpötilan vaikutus veneen nopeuteen (Filter 2000)	29
Kuva 9. BioRow-laitteisto nimettynä (BioRow Setup Guide En48)	31
Kuva 10. Airon kulmasensorin kiinnitys	32
Kuva 11. Penkkisensorin asennus	33
Kuva 12. Vartalosensorin asennus	34
Kuva 13. Pääyksikkö asennettuna	34
Kuva 14. Airon potentiometrin asennus	35
Kuva 15. Airon kalibrointi	36
Kuva 16. Mittauksien toteuttaminen ja BioRow-laitteisto	37
Kuva 17. Mittauksien toteuttaminen ja BioRow-laitteisto 2	37
Kuva 18. Veneen vakaus	38
Kuva 19. Soutajan airojen voimakäyrä	39

TAULUKOT

Taulukko 1. Tahti, maksimivoima, - nopeus, - ja -teho sekä keskiteho kilpailun eri vaiheissa yksiköllä (Steinacker 1993)	11
Taulukko 2. Yksikön vakavuus (Kerr 2013)	21
Taulukko 3. Airon pituus- ja nopeusmuuttujat veneluokka ja sukupuolikohtaisesti (Kleshnev 2007, 23)	25
Taulukko 4. Kädensijan voimat ja soututeho kilpailutehoilla eri soutuluokissa (Kleshnev 2007, 32)	27

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

Alkuvaihtokeskuskorkeus	Gm
Alkuvaihtokeskuksen etäisyys kölipisteestä	Km
Kahdeksikko	8+
Miehet kevyt luokka	Lm
Naiset kevyt luokka	Lw
Pariairokaksikko	2x
Pariaironelonen	4x
Perämiehetön kaksikko	2-
Perämiehetön nelonen	4-
Uppoaman tilavuuden painopisteen etäisyys kölipisteestä	Kb
Veneen painopisteen etäisyys kölipisteestä	Kg
Yksikkö	1x

1 JOHDANTO

Olympialuokkien kilpasoutu on yksi maailman kilpailluimmista ja harrastetuimmista kestävyyslajeista. Se on myös yksi vanhimmista olympialajeista ja on ollut olympiaohjelmassa aina vuoden 1900 kesäolympialaisista alkaen. Soutu on erittäin fyysinen mutta myös tekninen laji, joka vaatii urheilijalta hyvää ymmärrystä siitä, kuinka hän vaikuttaa veneeseensä niin positiivisesti kuin negatiivisestikin. Opinnäytetyön tarkoituksena onkin tarkastella ja tutkia olympialuokkien soudun biomekaniikkaa, sen vaikutuksia veneeseen ja sen vauhtiin sekä kuinka soutajan biomekaniikkaa parantamalla pystytään parantamaan soutajan kilpailuvauhtia.

Biomekaniikalla tarkoitetaan biologisten toimintojen tutkimista mekaniikan kautta ja olympialuokkien soutu onkin erittäin mielenkiintoinen ja monipuolinen biomekaniikan tarkastelun kohde. Biomekaniikan ja sen mittauksien kautta pystytään hyvin vahvistamaan, kuinka soutaja välittää voimansa veteen venettä eteenpäin liikuttavaksi voimaksi ja kuinka hän myös vaikuttaa toiminnoillaan veneensä vakavuuteen. Näin saadaan hyvä kokonaiskuva siitä, mitä soutaja tekee veneessä hyvin ja mitä huonosti. Tämä mahdollistaa sen, että soutaja pystyy kehittämään tekniikkaansa monipuolisesti.

Tämä opinnäytetyö jakaantuu kahteen erilliseen osioon. Ensimmäisessä osiossa perehdytään olympialuokkien kilpasoutuun lajina sekä perehdytään teoriassa biomekaniikkaan ja vakavuuteen. Työn toisessa vaiheessa suoritetaan biomekaaniset mittaukset Suomen maajoukkueetason kevyen luokan mies soutajalla yksiköllä ja saadaan käytännön dataa, kuinka soutaja vaikuttaa liikkeillään ja toiminnoillaan veneensä liikkeisiin. Työn lopussa on soutajan biomekaanisten mittausten analysointi ja tekniikan purkaminen biomekaanisten mittausten datan avulla.

2 OLYMPIALUOKKIEN SOUTU

Olympialuokkien soudulla tarkoitetaan kilpasoutua olympialuokkien veneillä. Kilpasoudussa kilpaillaan 2 000 metrin matkalla, joka on ainoa virallinen kilpailumatka. Kilpailun voittaja on kilpailija, jonka vene ylittää maaliviivan ensimmäisenä. Soutu on yksi vanhimmista olympialajeista ja onkin ollut modernien kesäolympialaisten ohjelmassa niiden alusta saakka aina Ateenan 1896 kisoista saakka. Ateenan 1896 olympialaisissa regatta jäi kuitenkin kilpailematta tuuliolosuhteiden vuoksi, ensimmäisen kerran soudussa kilpailtiin olympialaisissa Pariisin 1900 kilpailuissa. Soudussa kilpaillaan vuosittain kansainvälisesti maailmancupeissa, euroopan - ja maailmanmestaruuskilpailuissa ja joka neljännes vuosi olympialaisissa. Maailmanmestaruuskilpailut järjestetään niille veneluokille olympiavuosina, joita ei kilpailla olympialaisissa. Kansainvälisesti soutu on erittäin harrastettu ja kilpailtu laji. Soudun kansainvälinen kattojärjestö on nimeltään FISA (Fédération Internationale des Sociétés d'Aviron). Järjestöllä on alaisuudessaan lajiliittoja yli 151 maassa ja jokaisessa maanosassa. (World Rowing 2018.)

Kokonainen soutukilpailu koostuu useasta erästä esimerkiksi alkueristä, keräilyeristä, puolivälieristä, välieristä ja finaaleista. Yksittäisen soutukilpailun eli "lähdön" kesto on veneluokasta ja sukupuolesta riippuen noin 5.15–8.40 minuutin välissä. Usein kilpailujen pitkästä mittakaavasta johtuen kilpailut kestävät useamman päivän. Yhdessä lähdössä on maksimissaan kuusi venettä. Soudussa on eri veneluokkia ja kilpailtavia veneluokkia on niin miehille kuin naisillekin. Veneluokat jaetaan yksiköihin, kaksiköihin, nelosiin ja kahdeksikköihin. (World Rowing 2018). Veneluokkien ja sukupuolen mukaan jaettavien sarjojen lisäksi soudussa jaetaan niin miesten kuin naistenkin sarjat avoimiin ja kevyisiin luokkiin. Kevyissä luokissa urheilijan maksimipaino ei saa ylittää miehissä 72,5 kg ja naisissa 59 kg. Kevyissä luokissa lisäksi joukkueveneissä joukkueen keskipainon on oltava maksimissaan miehissä 70 kg ja naisissa 57 kg. (FISA 2017, 55.)

Soudussa voi kilpailla joko kahdella airolla tai yhdellä airolla soutaen. Soutajan käyttäessään airoa kummassakin kädessään liikuttaakseen venettä, puhutaan pariariosoudusta (lyhenne x) ja soutajan käyttäessä jommallekummalle puolelle itsestään sijoittuvaa airoa molemmilla käsillään veneen liikuttamiseen, puhutaan yhden airon soudusta (lyhenne -/+). Soutajien veneessä olevan lukumäärän ja soutuvedon mukaan soudussa veneluokat jaetaan seuraavasti (World Rowing 2018):

Miehet: 1x, lm1x, 2x, lm2x, 2-, lm2-, 4x, lm4x, 4- ja 8+

Naiset: 1x, lw1x, 2x, lw2x, 2-, lw2-, 4x, lw4x, 4- ja 8+

Kansainvälinen soutuliitto FISA on määrittänyt kilpasoudun seuraavasti: ”kilpasoutu on veneen liikuttamista yhden tai useamman soutajan lihasvoimin vipuna toimivien airojen avulla. Soutajien on istuttava veneessä selkä menosuuntaan. Soutuveneessä tulee kaikkien painoa kannattelevien osien olla kiinteästi asennettuja veneen runkoon, poikkeuksena soutajan istuin, joka saa liikkua veneen pituussuunnassa. Soutukilpailut jaetaan lähtöihin ja niiden eriin veneluokissa soutajien sukupuolen, iän ja painon mukaan”. (FISA 2017, 43).

Olympialuokkien kilpasoutuveneet eroavat huomattavasti normaaleista soutuveneistä. Veneet ovat pitkiä, kapeita, matalia ja näin ollen kiikkeriä. Soutaja istuu veneessä veden pinnan tasolla veneessä kiskoilla liikkuvalla penkillä. Aivot ovat veneeseen kiinnitetyinä kiinteiden hankaimien kautta, joihin aivot kiinnitetään. Liikkuvan penkin ansiosta soutaja saa hyödynnettyä kaikkia kehon suuria lihasryhmiä ja suurin osa voimantuotosta tapahtuukin kehon vahvimmissa lihaksilla, jaloilla. Veneiden halkaisijat ovat valmistajasta ja veneluokasta riippuen leveimmistä kohdista noin 59–63 cm ja veneiden pituus, on veneluokasta riippuen 8–20 metriä (Filippi 2018). Veneiden suuntavakautta on parannettu veneenpohjassa olevalla pienellä evällä. Veneiden materiaali on nykypäivänä hiilikuitu ja yksikkö painaakin noin 14 kg (Filippi 2018). Aivot on myös valmistettu hiilikuidusta (Concept 2 2018).

2.1 Soudun fyysiset ja henkiset vaatimukset

Koska soudun kilpailumatka on 2 000 metriä, jonka taittamiseen kilpailussa menee noin 5.15–8.40 minuuttia, on soutu fyysisiltä vaatimuksiltaan selvästi kestävyyslaji. Urheilijan tuottamasta energiasta kilpailun aikana noin 80 % on aerobisesti ja 20 % anaerobisesti tuotettua energiaa (Secher ym. 2007, 43). Energian tuotollisesti soudussa urheilija käyttää anaerobista energiantuottoa etenkin kilpailun alku- ja loppuvaiheissa, kilpailun keskivaiheen tapahtuessa pääosin aerobisesti (Nuutila & Hautala 2017, 15). Vahvan kestävyyspohjan lisäksi soutu tarvitsee varsinkin kilpailumatkalla vahvoja voimaominaisuuksia urheilijoilta. Urheilijan on tuotettava suuri voima vedossa saavuttaakseen tarvittavan energian liikuttamaan venettään tarpeeksi tehokkaasti suhteessa veden, ilman ja kitkan vaikutuksiin (Kleshnev 2007, 26).

Suurimman osan vedon työstä tekevät jalkojen lihakset, mutta myös ylävartalon lihaksilla on tärkeä rooli vedon voimantuotossa. Jalkojen voimantuotto vedosta on kuitenkin 75–80 %, kun taas ylävartalon voimantuotto vedosta on 20–25 % (Jürimäe ym. 2007, 35).

Kilpailun lähdössä soutaja tuottaa keskimäärin yhdessä vedossa 1000–1500 Newtonia, keskivaiheilla noin 500–700 Newtonia ja loppukirivaiheen aikana tuotettu voima nousee hieman keskivaiheen voimantuotosta. Starttivaiheen aikana soutajan tahti on yleensä noin 40–44 vetoa minuutissa, keskivaiheilla matkatahti on 31–38 soutajasta ja vene-luokasta riippuen ja loppukirivaiheessa yleensä yli 40 vetoa minuutissa. (Steinacker 1993, 60-62.)

Soutajan tärkein ominaisuus on hapenottokyky, jolla mitataan urheilijoiden kestävyysominaisuuksia. Soutajilta on mitattu maailman korkeimmat absoluuttiset hapenottoarvot. Miehillä arvot ovat 5.5–6.5 L ja naisilla 4–4.4 L (Hiltunen 2017). Hapentoton aliarvo viittaa kansainvälisiin kevyeen luokkaan soutajiin ja ylä-arvo avoimen luokan soutajiin.

Soutajille tyypillistä ovat myös erittäin korkeat veren maitohappopitoisuudet. Soutajilta on mitattu jatkuvasti 11–19 mmol maitohappopitoisuuksia ja joiltain urheilijoilta on mitattu jopa 25 mmol maitohappopitoisuuksia (Secher ym. 2007, 47).

Soutajan syke nousee kilpailun alussa jo urheilijan maksimisykkeen lukemiin ja keskiarvollisesti tasaantuu kilpailun aikana noin 190 krt/min lukemiin.

Keskiarvollisesti kansainvälisen tason soutajien on mitattu tuottavan tehoa kilpailun aikana keskimäärin 450–550 wattia. Starttivaiheessa soutajien on jopa mitattu tuottavan tehoa yli 1200 wattia. (Steinacker 1993, 60-62.) Nämä tehontuoton arvot ovat todella korkeita urheilussa ylipäättään ja antavat hyvän kuvan soudun kansainvälisen tason kilpailusuorituksen yleisvaatimuksista tehontuotollisesti.

Taulukko 1. Tahti, maksimivoima, - nopeus, - teho ja keskiteho kilpailun eri vaiheissa yksiköllä (Steinacker 1993)

Vaihe	Aika (min,s)	Tahti (krt/min)	Maksimi voima (N)	Maksimi nopeus (m/s)	Maksimi teho (W)	Teho per veto (W)	Keskiteho (W)
Alkukiihdytys	0–10 s	36–42	1000– 1500	3.0–4.0	2500– 3000	800– 1200	600– 700
Startti	10– 60 s	34–38	600– 800	2.2.– 3.5	1400– 2800	700– 1000	450– 600
Matka	1–5 min	30–36	500– 700	2.0–2.2	1000– 1600	600– 900	350– 450
Loppukiri	5–6 min	34–38	600– 700	2.2–2.8	1300– 1800	750– 1000	400– 500

Henkisellä suorituskyvyllä on myös suuri merkitys soudussa. Henkinen vahvuus on suoraan verrannollinen siihen, kuinka hyvin urheilija pystyy ulosmittaamaan suorituskykynsä kilpailutilanteessa. Fyysisesti soutaja ajaa itsensä kilpailutilanteensa fyysisesti ääri rajoille, joka voi olla osalle itsessään jo stressaava tekijä. Lisäksi kilpailun ulkoinen paine tuo lisästressiä urheilijalle. Koska soutajan pitää pystyä viemään itsensä fyysisesti ja henkisesti ääri rajoille, on ehdottoman tärkeää, että soutaja uskoo itseensä koko kilpailun tai harjoituksen ajan. Henkisen vahvuuden merkitys kasvaa kilpailun edetessä ja on sitä suurempi mitä tiukempi kilpailu on kyseessä. Tilanteessa, jossa tiukka kilpailu on pahimmillaan jatkunut koko kilpailun ajan ja soutaja on joutunut tuottamaan jokaiseen vetoonsa niin paljon tehoa kuin hän pystyy vetotasolla, vaatii ehdottoman suurta voitontahtoa fyysisen kivun kasvaessa jatkuvasti. (Hiltunen 2017.)

2.2 Soudun tekniikka

Soutu on teknisesti katsottuna äärimmäisen haastava laji. Soudussa on teknisesti käytännössä mahdotonta saavuttaa täydellistä tekniikkaa. Koska soutu ei ole ihmiselle luontainen liike ja suoritus tapahtuu erittäin epästabiiililla alustalla oikean suoritustekniisen osaamisen ja koordinaation hankkimiseen voi helposti mennä vuosia ja tuhansia kilometrejä vesillä. Soututekniikka edellyttää kaikkien kehon isojen lihasryhmien yhtä

ketjuista ja koordinoitua käyttöä. Koska soututekniikka ei ole automaatio, hyvänkin tekniikan saavuttamisen jälkeen soututekniikkaa on pidettävä vahvasti yllä. Hyvin yleistä on tekniikan haastavuuden puolesta myös se, että urheilija ei saa ulosmitattua täyttä henkistä ja fyysistä suorituskykyään. Näin ollen urheilijan suoritustaso jää vajaaksi siitä mihin hänellä olisivat edellytykset. (Jokisipilä 2005, 17-18.)

Soudun teknisen suorittamisen tarkoituksena on mahdollistaa mahdollisimman nopea 2000 metrin kilpailumatkan eteneminen. Tekniikalla on soudussa erittäin suuri merkitys voimantuotossa ja sen välityksessä airon lapaan ja tätä kautta veteen. Soututekniikka on syklinen sekä dynaaminen että rytmikäs liike. Yksi soudun vetosykli koostuu kiinniotosta, alkuvedosta eli työvaiheesta, loppuvedosta ja palautusvaiheesta. Soutaja toistaa tämän sarjan kilpailun aikana yli 200 kertaa katkeamattomana ketjuna. (Kleshnev 2007, 28.)

Kiinniotossa soutaja asettaa airon lavan veteen kokonaan ja airon kädensijan liike vaihtaa suuntaa kohti veneen keulaa. Veneen kiihtyvyys on kiinniotto vaiheessa vielä negatiivista, vaikkakin pienet voimat vaikuttavat airon kädensijassa ja veneen svirvelissä. Alkuveto eli niin sanottu työvaihe alkaa jalkojen työllä, kun soutaja alkaa aktiivisesti työntämään jalkojaan suoraksi puristaen niitä kohti veneen jalkatukia. Työvaihe jatkuu jalkojen ojentumisen aikana ja sen jälkeen lantion ja selän ojentumisella. Tässä vaiheessa kädensijaan kohdistunut voima kasvaa jalkojen työn ansiosta ja jatkaa kasvuun vielä lantion ja selän ojentumisen vuoksi. Loppuveto vaiheessa ylävartalon lihakset tulevat yhä voimakkaammin mukaan vetoon käsien koukistuessa ja polvet ojentuvat suoriksi. Loppuveto päättyy airon pois nostoon vedestä. Loppuveto vaiheessa veneen kiihtyvyys on suurimmillaan ja veneen maksimikiihtyvyys saavutetaan juuri, kun soutaja poistaa aironsa vedestä ilmaan. Palautusvaiheessa soutaja suorittaa vetovaiheen käänteisessä järjestyksessä ja palaa loppuvedon ojennetusta asennosta kohti veneen perää. Palautuksen aikana soutaja koukistaa itsensä takaisin valmiiksi kiinniotto asentoon ja uuteen vetosykliin. Palautuksen alkamisesta kohti kiinniottoa veneen kiihtyvyys kääntyy hiljalleen negatiiviseksi. (Kleshnev 2007, 31.)

Koska vene on suljettu kineettinen systeeminsä, jokaisella voimaimpulsseilla on vastaimpulsinsa, joka vaikuttaa vastakkaiseen suuntaan. Tästä syystä onkin erittäin tärkeää, että soutaja minimoi tekniikallaan hukka energian, jota ei käytetä veneen eteenpäin liikuttamiseen. (Jokisipilä 2005, 18.)









Alla olevassa kuvassa (kuva 1) on esitetty soutuedon eri vaiheet. Ensimmäinen kuvapari esittää kiinniottovaihetta, toinen kuvapari työvaihetta, kolmas kuvapari loppuveto- vaihetta ja viimeinen kuvapari palautusvaihetta.



Kuva 1. Soutuvedon eri vaiheet

3 OLYMPIALUOKKIEN KALUSTO

Olympialuokkien soudussa käytettävä kalusto jaetaan veneisiin ja airoihin. Veneet ja aivot voidaan taas luokitella sisäisesti soutuomotojen mukaan. Veneiden koot ovat tarkasti säännöstelltyjä. Veneille on asetettu minimi- ja maksimipituudet sekä minimipaino veneluokka kohtaisesti. Veneiden minimipituus on 7,2 metriä ja maksimipituus on määritetty niin, että yksikään kahdeksikon kolmesta erillisistä rungon osasta ei saa ylittää 11,9 metriä (FISA 2017, 60). Airojen pituudet ovat muunneltavissa ja yhden airon soudussa yksittäisen airon lavan pinta-ala on isompi kuin pariairosoudussa (Concept 2 2018). Lisäksi airoille on asetettu minimipaksuudet. Airojen minimipaksuudet ovat yhden airon soudussa 5 millimetriä ja 3 millimetriä pariairosoudussa (FISA 2017, 60). Airojen pituudet ovat yleensä noin 2,9 metriä pariairosoudussa ja 3,75 metriä yhden airon soudussa (Concept 2 2018). Kuvassa 2 on esitetty eri veneluokat ja niiden keskipituudet sekä minimipainot.

	Yksikkö (1x) 1 soutaja 8.2 m 14 kg
	Parirokaksikko (2x) 2 soutajaa 10.4 m 27 kg
	Pariironelonen (4x) 4 soutajaa 13.4 m 52 kg
	Perämiehetön kaksikko (2-) 2 soutajaa 10.4 m 27 kg
	Perämiehellinen kaksikko (2+) 2 soutajaa ja 1 perämies 10.4 m 32 kg
	Perämiehetön nelonen (4-) 4 soutajaa 13.4 m 50 kg
	Perämiehellinen nelonen (4+) 4 soutajaa ja 1 perämies 13.7 m 51 kg
	Kahdeksikko (8+) 8 soutajaa ja 1 perämies 19.9 m 96 kg

Kuva 2. Soutuluokat (World Rowing 2018)

3.1 Veneen rakenne

Olympialuokkien kilpaveneet ovat pitkiä, kapeita, matalia ja täten erittäin epävakaita. Veneiden pohjissa on pieni evä perässä parantamassa suuntavakautta ja stabiiliteettia. Veneessä soutaja istuu sen rakenteen vuoksi käytännössä vedenpinnan tasolla. Lisäksi yhdellä airolla soudettavista veneistä löytyy peräsin ohjaamista varten. Perämiehet tömissä 2- ja 4- veneluokissa yksi soutajista käyttää peräsinä veneen ohjaamiseen. Peräsin on tällöin kiinnitettynä yhden joukkueen soutajan kenkään vaijerin avulla ja ohjauskenkä kääntyy jalkatuessa kääntäen samalla peräsinä. Kahdeksikossa peräsinä käyttää perämies ja ohjaus tapahtuu käsillä käytettävillä ohjausvaijereilla. Veneen jalkatuet ovat kiinteät ja soutukengät ovat kiinnitettynä jalkatukiin kiinteästi. Veneen pyörillä liikkuva penkki on kiinnitettynä veneessä oleville kiinteille kiskoille. Tämä mahdollistaa jalkojen täysimääräisen käytön soutuliikkeen aikana. Veneessä on säädettävät kiinteät hankaimet, joihin airot kiinnitetään. Hankaimia on useampaa eri mallia mutta nykyään yleisimmät käytettävät mallit ovat etusiipi ja takasiipi hankaimet. Etusiipi hankaimessa hankain on kiinnitettynä soutajan eteen. Takahankain eli niin sanottu ”aliante” hankain kiinnitetään soutajan taakse siipimallisesti. Hankainten materiaalina käytetään joko hiilikuitua tai alumiinia. Keulasoutajan takaa löytyy keulakolmio. Keulakolmion tarkoituksena on estää aaltojen ja vesiroiskeiden kulkeutuminen veneeseen. Veneiden keulaan on lisäksi kiinnitetty valkoinen kuminen pallo. Keulapallon tarkoituksena auttaa lähtölinjauksessa ja maalityöskentelyssä sekä vähentää törmäysvoimaa mahdollisissa törmäyksissä. (Filippi 2018.)

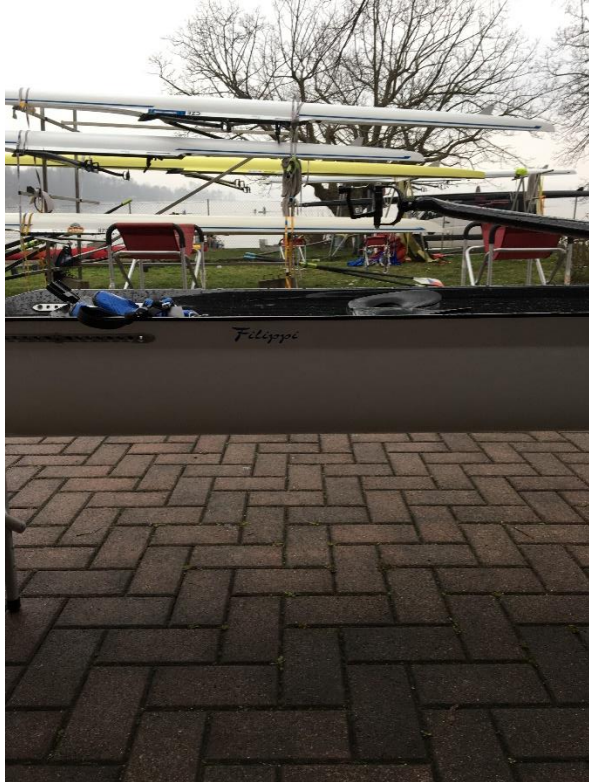
Veneiden rakenne on ontto kantavuuden ja keveyden saavuttamisen vuoksi. Vene on jaettu rakenteellisesti kolmeen osaan, keulaan, jalkatilaan ja perään. Keulatila ja perättila ovat jalkatilasta erikseen suljettuja tiloja ja veneen ainoa avonainen tila on jalkatila. Ilmanpaineen tasaamiseksi keulassa ja perässä on avattavia luukkuja. Veneiden laidat ovat ulkonevat ja veneet ovat leveimmiltä kohdiltaan veneluokasta riippuen 59–63 cm. Veneen laidan korkeus ja täten veneen kokonaiskorkeus vaihtelee veneen ja joukkueen painon mukaan. Näin saadaan lisättyä veneen kantavuutta ja vähennettyä veden pääsyä jalkatilaan. Veneiden rakenne on nykyään hiilikuitu. (Filippi 2018.)



Kuva 3. Vene pituussuunnassa



Kuva 4. Veneen jalkatila



Kuva 5. Veneen jalkatila sivusuunnasta

3.2 Airon rakenne

Olympialuokkien soudussa käytettävät aivot on valmistettu nykyään hiilikuidusta. Kevyden saamiseksi aivot ovat myös onttoja rakenteeltaan. Airon lapa ja sen pinta-alan koko, vaihtelee soutuvedon mukaan. Yhden airon soudussa yksittäisen lavan pinta-ala on isompi kuin yksittäisen pariairosoudussa käytettävän airon pinta-ala. Airo jaetaan lapaan, varsiosaan, hihaan, kaulukseen ja kädensijaan. Airo kiinnittyy veneen hankaimeen kauluksesta, joka nojaa soutuessa hankaimen svirveliin. Kaulus myös jakaa airon ulko- ja sisävipuihin. Kaulus taas sen sijaan on kiinnitettynä airon hihaan. Airojen pituudet ovat muunneltavissa kokonaispituuden ja airon sisävivun osalta. Airon kädensijaa voidaan liikuttaa haluttuun suuntaan ja näin saavuttaa haluttu airon pituus soutajalle. Airon sisävivun muokkaus tapahtuu kaulusta siirtämällä. (Concept 2 2018.)

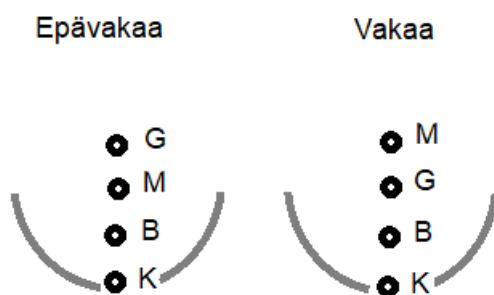


Kuva 6. Aivot

3.3 Vakavuus

Olympialuokkien veneet ovat epästabiileja ja niiden soutaminen vaatii hyvää tasapainoa ja koordinaatiota urheilijalta. Veneen labiili luonne on selitettävissä vakavuuden kautta. Täten saadaan myös hyvä kuva, miksi olympialuokkien veneet ovat niin kiihkeitä kuin ne ovat.

Vakavuuden määrittämisessä veneen ollessa vakaa, veneen painopisteen korkeus kölipisteestä KG on jonkin verran veneen uppoaman tilavuuden painopisteen korkeus kölipisteestä KB yläpuolella. Vene on vakaa sen kallistuessa sivuttaissuunnassa, jos KB liikkuu sivuttaissuunnassa nopeammin kuin KG . Tämä vakavuuden ehto täyttyy, jos veneen KG on veneen alkuvaihtokeskuskorkeuden GM alapuolella. Tällöin veneen alkuvaihtokeskuksen korkeus kölipisteestä KM mahdollistaa, että kelluntavoimat suorittavat ja vakavoittavat veneen tehokkaasti sen kallistuessa sivuttaissuunnassa. Jos taas veneen KG sijaitsee korkeammalla kuin sen KM , vene kaatuu sen kallistuessa pienimmästäkin häiriöstä. (Räisänen 2000, 6-1.) Alla olevassa kuvassa (kuva 7) on hahmoteltu vakavuutta. Vasemmanpuoleinen kuva kuvaa olympialuokan yksikön vakavuutta ja oikeanpuoleinen kuva kuvaa vakaata normaalia soutuvenettä.



Kuva 7. Vakavuuden hahmotelma

Olympialuokkien kilpasoutuveneessä veneen GM sijaitsee vain muutamia senttejä vesiviivan yläpuolella. Soutaja istuu penkillään kuitenkin useita senttimetrejä veneen GM ja vesiviivan yläpuolella saavuttaakseen tehokkaan soutuvedon. Veneen ja soutajan muodostaman systeemin KG koostuu suurimmaksi osaksi vain soutajasta ja sijaitsee täten paljon veneen ja soutajan muodostaman systeemin KM yläpuolella. (Kerr 2013, 2-3.) Tästä johtuu olympialuokkien kilpasoutuveneiden kiikkeryys ja labiili luonne. Esimerkiksi veneen kääntyessä sivuttaissuunnassa oikealle veneeseen vaikuttava noste vaikuttaa vielä alkuvaihtokeskuksen kautta suoraan ylöspäin mutta systeemin alaspäin vaikuttava voima ja veneen painopiste ovatkin siirtyneet tässä vaiheessa oikealle. Tämä tilanne aiheuttaa kääntävän momentin oikealle veneessä ja vene kaatuu sen oikealle laidalleen

Alla olevassa taulukossa (taulukko 2) on esitetty yksikön ja soutajan vakavuuden sekä tyhjän yksikön vakavuuden ja siihen vaikuttavien pisteiden sijaintien vertailu. Kuten taulukosta voidaan havainnoida, on veneen ja soutajan KG huomattavasti KM yläpuolella. Täten voidaan myös havainnollistaa lastatun veneen epävakavuus. Tyhjä yksikkö taas mielenkiintoisesti täyttääkin vakavuuden määritelmän, sillä tyhjän veneen KG on alempana kuin tyhjän veneen KM. Tyhjän veneen tapauksessa on kuitenkin huomioitavaa, että KG ja KM ero on niin pieni, että todennäköisesti pienenkin painon lisäyksen seurauksena vene menettää stabiilitteettinsa. Kummassakin tapauksessa KB sijaitsee vesiviivan alapuolella ja KG ja KM alapuolella. KG ja KM sijaitsevat vesiviivan yläpuolella kummasakin tapauksessa.

Taulukko 2. Yksikön vakavuus (Kerr 2013)

	Yksikkö sou- tajalla	Tyhjä yksikkö ilman soutajaa
Rungon maksimi vesiviivan leveys (cm)	27	18
Rungon maksimi upotettu poikki pinta- ala (cm ²)	220	38
Kb etäisyys vesiviivaan (cm)	-4.5	-1.1
Km etäisyys Kb (cm)	7.7	13
Km etäisyys vesiviivaan (cm)	3.2	12
Kg etäisyys vesiviivan (cm)	30	9
Penkki etäisyys vesiviivasta (cm)	11	

Veneiden rungon malli vaikuttaa itsessään jo vakavuuteen. Veneet, jotka ovat rakenteeltaan lyhyempiä, leveämpiä ja syväykseltään matalampia ovat vakaampia kuin veneet jotka ovat rakenteeltaan pitkiä, kapeita ja syväykseltään syviä (Kerr 2013, 2).

Aivot toimivat tasapainottavina tekijöinä soutajalle veneessä. Aivot toimivat vipuvarsina ja kummankin puolen airon liikkeellä soutaja pystyy tasapainoittamaan veneensä. Aivot tekevät soutuvetosyklin aikana jatkuvaa ylös alas liikettä niitä asettaessa ja pois otettaessa vedestä. Nämä ylös ja alas tehtävät liikkeet airoilla vaikuttavat välittömästi veneen tasapainoon ja veneen kallistukseen soudettaessa. Jos soutaja palauttaa toisen aironsa ilmassa ja toisen vastaavasti veden pintaa raahaten, aiheuttaa tämä veneen välittömän kallistumisen sille puolelle, jonka airo laahaa veden pintaa. Vastaavasti kummankin airon ollessa ilmassa veden pinnan yläpuolella ja veneen ollessa tasapainossa, toisen airon äkillinen liike kallistaa myös venettä. On kuitenkin huomattava, että airojen ollessa lappeellaan veden pinnalla palautuksessa yksikkö on täysin vakaa. Tämä pätee myös paikallaan olevaan veneeseen. Tämä johtuu airojen lapoihin ja varsiin vaikuttavasta nosteesta. Negatiivinen puoli airojen palauttamisessa veden pintaa pitkin on kuitenkin sen veneen vauhtia hidastavat tekijät, jotka vaikuttavat merkittävästi veneen vauhtiin soudettaessa. Vetovaiheessa venettä voidaan myös tasapainottaa airojen työn avulla. Kiinniottovaiheessa soutaja kääntää airon lapansa pystyyn ja asettaa lavat veden. Työn alkaessa soutaja aiheuttaa tuottamalla voimillaan airon lapojen kautta veneen suoristumisen ja tasapainotuksen venettä liikuttavan työn kautta. Veneen ollessa paikallaan ja airojen ollessa pystysuorassa vetoasennossa vedessä airojen lapojen ja varsien noste ei kuitenkaan vielä riitä vakavoittamaan venettä ja vene jatkaa keikkumistaan. (Kerr 2013, 8.)

Veneeseen vaikuttaa myös sen liikkeessä ollessa dynaamisista vakavuutta aiheuttavia voimia. Suurin dynaamista vakavuutta lisäävä vaikuttaja tekijä on veden virtaus runkoa vasten veneen ollessa liikkeessä. Dynaamista vakavuutta aiheuttavat tekijät vaikuttavat merkittävästi veneen vakavuuteen ja siksi liikkuvan veneen tasapainoiseksi saaminen onkin huomattavasti helpompaa kuin paikallaan olevan veneen. Yleisesti vakavuusteoriassa näillä dynaamisilla suoristavilla voimilla ei niinkään ole merkitystä mutta olympialuokkien kilpasoudussa ne ovat erittäin merkittäviä, sillä olympialuokkien kilpaveneet ovat kevyitä ja erittäin vastaanottavia täten pienille dynaamisille voimille. Veneen vakavuudella sen ollessa paikallaan ei ole soutajalle merkitystä. Veneen on kuitenkin oltava riittävän vakaa sen ollessa liikkeessä, jotta soutaja pystyy oikealla teknisellä suorittamisellaan tuottamaan rennosti ja taloudellisesti venettä eteenpäin vievää voimaa. (Kerr 2013, 6.)

4 OLYMPIALUOKKIEN SOUDUN BIOMEKANIikka

Biomekaniikalla tarkoitetaan yleisesti biologisten toimintojen tutkimista mekaniikan kautta (Jyväskylän yliopiston liikuntatieteellinen tiedekunta 2018). Olympialuokkien soudun biomekaniikkaa voidaan tutkia ja mitata nykyään käytännöllisesti esimerkiksi Tri Valery Kleshnevin kehittämällä BioRow nimisellä laitteistolla. BioRow-laitteisto on kansainvälisesti eniten käytetty biomekaniikan mittausteisto. BioRow-mittausteisto on kehitetty mittaamaan soudussa soutajan tai soutajien tuottamaa voimaa, tehoa ja näiden vaikutuksia veneeseen ja sen stabiliteettiin. (BioRow 2018.) Koska olympialuokkien soutu on herkkä laji ja altis muutoksille, onkin tärkeää, että soutaja ymmärtää kuinka hän välittää voimansa airon lavan kautta veteen venettä eteenpäin liikuttavaksi voimaksi oikein ja mahdollisimman taloudellisesti, samalla veneen liikettä häiritsemättä. Biomekaanisilla mittauksilla voidaan helposti ja toistuvasti mitata soutajan tuottamia voimia, tuotantotapoja ja niiden vaikutuksia. Näin soutaja saa helposti konkreettisen hahmotelman siitä, mitä hän tekee veneessä hyvin ja mitä ei. Mittauksia voidaan tehdä itse laitteistolla tai tilaamalla testauksen suoraan BioRow-yritykseltä (BioRow 2018).

Biomekaanisesti voidaan tutkia ja mitata esimerkiksi veneen nopeutta (m/s), veneen kiihtyvyyttä (m/s^2), veneen kitkavastusta (drag factor), soutajan tekemää työtä (jouleina), soutajan tuottamaa tehoa (watteina), soutajan tuottamaa voimaa (Newtonina), veneen vakavuutta ja liikehdintää (keinunta, jyskintä ja mutkailu), jotka mitataan asteina nollakohdasta jolloin vene on vakaa, vedon pituutta (asteina), eri kulmia vetosyklin aikana, kuten kiinniottoa ja airon poistoa vedestä (asteina), vedon rytmiä (prosentteina rytmistä veto ja palautusvaiheen välillä), airojen tekemän propulsiyon työtä (jouleina), airoihin tuotettujen voimien taloudellisuutta (prosentteina), airojen syvyyttä ja liikerataa, eri kehonosien tuottamia yksittäisiä voimia (Newtonina), niiden ajankäyttöä vedon aikana sekä tekemän työn matkaa (metreinä) ja airojen kädensijan nopeutta (m/s). Näistä arvoista saadaan koostettua kattava raportti, josta pystytään objektiivisesti datan valossa tulkitsemaan soutajan tekniikkaa ja vaikutuksia veneeseen. (BioRow 2018.)

4.1 Voimantuotto

Voima on syy kaikelle liikkeelle maailmassa. Tämä pätee yhtä lailla myös biologisesti aiheutettuihin liikkeisiin. Jotta minkään biologisen kappaleen liike olisi mahdollinen, sen on tuotettava voima, joka ylittää sitä vastustavat ulkoiset voimat: inertian, painovoiman ja kitkan.

Soudussa tuotettua voimaa voidaan mitata monesta eri sijainnista. Soutaja ja vene muodostavat systeemin, jossa tuotettuja voimia voidaan mitata airon kädensijasta ja lavasta, svirvelistä ja tapista, jalkatuista sekä penkistä. Kenttäoloissa kuitenkin suurimman huomion saa kädensijaan kohdistunut voima, sillä tämä korreloi hyvin vahvasti airon lapaan välittyvän voiman kanssa. Airon kädensijan ja lavan, svirvelin ja tapin voimat ovat sidonnaisia toisiinsa ja täten kenttäoloissa luotettavasti mitattavissa. Jalkatukiin ja penkkiin kohdistuneet voimat ovat hankalemmin mitattavissa ja näitä ei suoranaisesti mitata kenttäoloissa. Jalkatukeen ja penkkiin kohdistuneet voimat kuitenkin vaikuttavat vahvasti lapaan välittyneeseen voimaan, joten kokonaisuudessaan airon kädensijan voiman mittaaminen antaa luotettavan kuvan koko systeemin kokonaisvoimantuotosta. Yksinkertaistettuna veneen nettovauhdin mahdollistava voimantuotto on veneen hankaintappiin ja jalkatukiin kohdistuneiden työntövoimien summa vähennettynä veden ja ilmanvastusvoimilla. Käytännössä yhtälö ei kuitenkaan ole näin yksiselitteinen ja tästä johtuukin esimerkiksi penkin ja jalkatuen voimien hankala mittaaminen. Tässä yhtälössä on huomioitava vastusvoimien lisäksi myös haitalliset voimaimpulssit. Kuitenkin näistä sijainneista monet ovatkin tärkeitä soutu-tekniikkaa analysoidessa. On kuitenkin huomioitava, että vain airon lavan voima on ainoa, joka aiheuttaa propulsiota vedessä. Tämä voima mahdollistaa soutajan ja veneen muodostama systeemin liikuttamisen. (Kleshnev 2016, 37.)

Soudussa soutaja tuottaa voimaa airon ja sen lavan kautta veteen. Airon taloudellisuuden ja tehokkuuteen vipuvartena vaikuttavat sen sisäivun, että koko airon pituudet. Nämä vaihtelevat soutajasta ja veneluokasta riippuen. Airojen kädensijojen nopeuksissa eri veneluokkien välillä on havaittavissa selkeitä eroja. Yksikön ja kahdeksikön kädensijan nopeuksissa vetovaiheessa voi olla suuriakin 12–14 % eroja. Tästä johtuvat tahtierot eri veneluokkien välillä kilpailuissa. (Kleshnev 2007, 22-23.)

Taulukko 3. Airon pituus - ja nopeusmuuttujat veneluokka ja sukupuolikohtaisesti (Kleshnev 2007, 23)

Veneluokka	Airon pituus (m)	Airon sisävivun pituus (m)	Kädensijan nopeus miehet ja naiset (m/s)		Veneen nopeus miehet ja naiset (m/s)	
			M	N	M	N
1x	2.88	0.88	2.38	2.21	5.05	4.68
2x	2.88	0.88	2.59	2.37	5.49	5.02
4x	2.89	0.875	2.76	2.51	5.92	5.39
2-	3.72	1.16	2.40	2.17	5.34	4.83
4-	3.73	1.15	2.59		5.86	
8+	3.73	1.14	2.72	2.44	6.25	5.61

Soudun voimantuoton prosessissa pätee Newtonin kolmas laki eli voiman ja vastavoiman laki. Tässä tapauksessa soutaja tuottaa airon lapaan reaktiovoiman, joka puolestaan liikuttaa soutajan ja veneen muodostamaa systeemiä eteenpäin. Tämä reaktiovoima on kitkan ja nosteen aiheuttamien voimien summa. Kun vedon aikana airon ja veneen suhteellinen kulma muuttuu muuttuvat kitkan ja nosteen voimien suhteetkin. Alkuvedossa soutajan kiinniottaessa vedestä noin 60° kulmassa kitka ja noste voimien suhde on 1:2 ja se muuttuu vedon aikana 1:0 airon ja veneen kulman saavuttaessa kohtisuoran pisteen. Vedon työvaiheen aikana soutajan ja veneen muodostaman systeemin massan keskipiste siirtyy eteenpäin ja airon lapa siirtyy veteen. Veteen siirtyessään lapa muodostaa kiinnityspisteen ja kiinnittyy veteen muodostaen tukipisteen. Mitä liikkumattomampi tämä tukipiste on, sitä ihanteellisempaa se on systeemin voimantuoton kannalta. Airon lapa voi kuitenkin vedon aikana myös liikkua veden läpi ja näin ollen "livetä" vedessä. Soutajan onkin tärkeää pystyä minimoimaan tämä vedon aikainen lipeäminen, jotta suurin osa voimasta kohdistuisikin hankaintappiin eikä airon lavan liikuttamiseen vedessä. Näin ollen soutaja maksimoi propulsioon voimantuoton ja liikuttaa venettä mahdollisimman taloudellisesti. (Kleshnev 2007, 24-25.)

Propulsioon hyötysuhde riippuu airon lavan suhteellisesta paineesta eli soutajan tuottaman lavan paineen ja sen pinta-alan suhteesta. Soutajan tuottaessa pienempää painetta airon lapaan on airon lipeäminen myös pienempää kuin soutajan tuottaessa isompaa

painetta esimerkiksi kilpailutilanteessa. Näin ollen propulsioon hyötysuhde paranee pienemmällä paineella vedon aikana ja näin ollen veneen nopeuksilla, koska lavan pinta-alan kokoon soutaja ei pysty vaikuttamaan. Isommilla veneluokilla, nelosilla ja kahdeksikoilla propulsioon hyötysuhde on kuitenkin parempi kuin pienemmällä veneluokilla yksiköillä ja kaksikoilla johtuen suuremmista keskinopeuksista mikä lisää systeemin nostetta merkittävästi. Vastaavasti naisten kevyen luokan (lw) kilpailijoilla on parempi propulsioon hyötysuhde kuin avoimen luokan miehillä, johtuen pienemmästä voimankäytöstä ja näin ollen pienemmästä suhteellisesta airon lavan paineesta ja näin ollen myös pienemmästä airon lavan lipeämisestä. (Kleshnev 2007, 25-26.)

Voimantuotto aika on soudussa melko pitkä 0,7–0,9 s. Tärkeää onkin tuottaa vedon aikana voima mahdollisimman tasaisesti, jotta sen aiheuttama impulssi olisi mahdollisimman suuri ja veden aiheuttama vastus saataisiin ylitettyä. (Nuutila & Hautala 2017, 12.)

Jalkojen osuus voimantuotosta vedon aikana on suurempi kuin ylävartalon. Jalkojen osuus voimantuotosta on noin 75–80 % ja ylävartalon 20–25 % (Jurimae ym. 2007, 35). Jalkojen osuus voimantuotosta kasvaa jatkuvasti suuremmilla tahdeilla, koska keskivartaloa ei voida hyödyntää enää maksimaalisesti. On kuitenkin muistettava, että soutajan soututyylillä ja tekniikalla vaikuttavat vartalonosien suhteellisiin osuuksiin voimantuotosta vedon aikana. Miehillä airon kädensijasta mitatut maksimivoimat ovat 30–40 % suurempia kuin naisilta mitatut maksimivoimat (Kleshnev 2007, 32).

Taulukko 4. Kädensijan voimat ja soututeho kilpailutehoilla eri soutuluokissa (Kleshnev 2007, 32)

Veneluokka	Kädensijan maksimivoima (N)	Keskimääräinen voima vedon aikana (N)	Keskimääräinen teho (W)
Miesten pariairo	766	405	526
Miesten kevyt pariairo	692	360	464
Miesten yhden airon soutu	671	331	520
Miesten kevyt yhden airon soutu	590	294	425
Naisten pariairo	547	286	329
Naisten kevyt pariairo	477	253	285
Naisten yhden airon soutu	479	238	308

Haitallisista tuotetuista voimaimpulsseista on soudussa merkittävä haitta, sillä niillä on myös merkittävä vaikutus veneen vauhtiin ja sen ylläpitoon varsinkin veneen liukuman aikana. Haitallinen voima kohdistuu usein veneen hankaintappiin, jalkatukiin tai penkkiin poikittain, sivusta tai pystysuorasti ja vaikuttaa veneen liikkeisiin lisäten sen märkäpinta-alaa ja uppoamaa. Esimerkkinä haitallisesta tuotetusta voimasta on palautuksen aikana penkillä ryntääminen, josta johtumana on veneen perän huomattava uppoaminen ja jopa pahimmillaan veneen vauhdin pysähtyminen juuri ennen kiinniotta. (Kleshnev 2016, 34.)

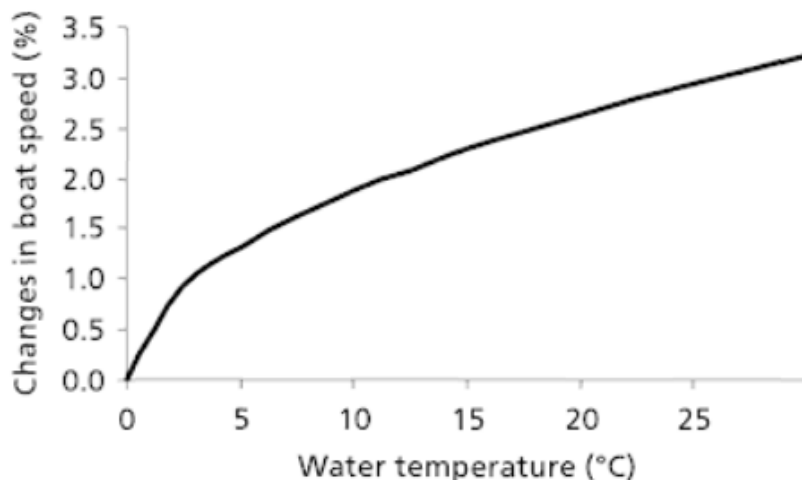
4.2 Vastusvoimat soudussa

Kilpasoutuveneeseen ja soutajan systeemin kokonaisvastus koostuu veden hydrodynaamisesta vastuksesta sekä ilmanvastuksesta. Näistä veden hydrodynaamisen vastuksen osuus kokonaisvastuksesta on huomattavampi ja se on noin 85 % systeemin kokonaisvastuksesta, ilmanvastuksen osuuden ollessa 15 % systeemin kokonaisvastuksesta. (Kleshnev 2007, 26-27.)

Veden hydrodynaaminen vastus koostuu 70 % veden ja rungon välisestä kitkasta (skin drag), 10 % aaltojen ja niiden muodostuksen vastuksesta (wave drag) ja loppu 5 % selittyy paineen vastuksella (pressure drag). Ilmanvastuksen 15 % osuus kokonaisvastuksesta taas koostuu 75 % soutajan vartalosta, 20 % airoista ja 5 % veneen rungosta. Ilmanvastuksen osuus kokonaisvastuksesta voi kuitenkin nousta merkittävästi useilla kymmenillä prosenteilla tuulen seurauksena esimerkiksi kovaan vastatuuleen soutuessa. 5 m/s vastatuulella ilmanvastuksen osuus kokonaisvastuksesta nousee jo jopa 30 %. (Kleshnev 2007, 26-27.)

Onkin mielenkiintoista huomata, että kilpasoutuveneeseen veden vastusvoimien osuus eroaa huomattavasti muista veneistä. Muilla veneillä suurimman vastusvoiman aiheuttaa aaltojen muodostus kuin kilpasoutuveneellä suurimman vastusvoiman aiheuttaa veneen rungon ja veden välinen kitka.

Lisäksi veden lämpötila vaikuttaa myös systeemin vastusvoimiin. Veden viskositeetti pienenee korkeammilla veden lämpötiloilla ja vähentää näin veden hydrodynaamista vastusta. Tämä mahdollistaakin suuremmat nopeudet ja näin ollen paremmat ajat kilpailuissa soudettaessa lämpöisissä vesissä. (Kleshnev 2007, 26-27.)



Kuva 8. Veden lämpötilan vaikutus veneen nopeuteen (Filter 2000)

Veden virtauksen aiheuttama vastuksen kasvu on suoraan verrannollinen veneen nopeuden neliöön. Jos soutaja haluaa kaksinkertaistaa nopeutensa, vaatii tämä nelinkertaisen työmäärän ja kahdeksankertaisen voimantuoton soutajalta (Kleshnev 2007, 26).

4.3 Vedon pituus

Riittävän vetopituuden saaminen soudussa on erittäin tärkeää, sillä vedon pituus on yksi soudun kolmesta soutu-tehoa määrittävästä tekijästä yhdessä vedon voiman ja tahdin kanssa. Soutuvedon pituus lasketaan biomekaniikassa asteina ja sen nollakulma lasketaan airon ollessa kohtisuorassa asennossa suhteessa veneeseen. Kiinniotto-kulma ilmoitetaan negatiivisena arvona ja loppuvetokulma positiivisena arvona. Vedon kokonaispituus lasketaan kiinniottokulman ja loppuvetokulman summana. Pariairo soudussa vetopituudet ovat suurempia kuin yhden airon soudussa ja vastaavasti miehillä vetopituudet ovat suurempia kuin naisilla. Vetopituudessa onkin määritetty tavoitearvot niin sukupuoli kuin veneluokka kohtaisesti. Esimerkiksi avoimen luokan miesten yksiköllä tämä tavoitearvo on 114° ja miesten kevyen luokan yksiköllä tavoitearvo on 110°. (Kleshnev 2007, 29-32.)

Vetopituuteen vaikuttavat soutajan pituus, liikkuvuus ja tekninen suorittaminen. Usein myös vetopituus hieman lyhenee tahdin noustessa varsinkin kilpailun startti ja loppuki-

rivaiheissa. Tämä ei kuitenkaan ole optimaalista vaan tavoitteena olisikin pystyä pitämään vetopituus vakiona. (Kleshnev 2016, 22.)

4.4 Rytmi

Rytmillä tarkoitetaan soudussa vetovaiheen ja kokonaisvetosyklin suhdetta. 50 % rytmi tarkoittaa 1:1 vetovaiheen ja palautusvaiheen välillä. Rytmien vaikutuksella onkin suuri vaikutus veneen kokonaisvauhtiin. (Kleshnev 2016, 17.)

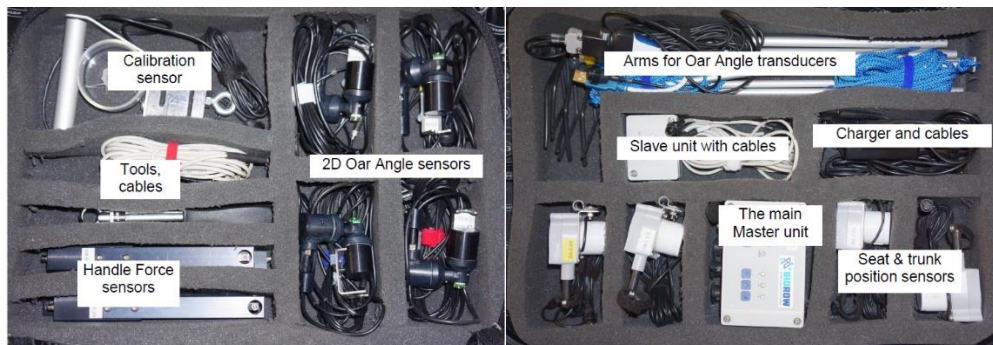
Rytmiin voidaan siis vaikuttaa joko lyhentämällä työvaiheeseen käytettyä aikaa tai palautusvaiheeseen käytettyä aikaa. Lähtökohtaisesti onkin parempi, jos vetovaiheeseen käytettyä aikaa lyhennetään mutta tahtien noustessa myös palautusvaiheen nopeuden on kasvettava, jotta tahtia pystytään nostamaan. Jos soutaja säilyttää hyvän vetopituisuuden mutta työvaiheen kesto lyhenee suhteessa palautusvaiheeseen edullisemmin, on tällä merkittäviä teknisiä hyötyjä ja täten veneen vauhdille positiivisia vaikutuksia. Esimerkiksi soutaja näin ollen pystyy hyvän rytmensä ansiosta pitämään veneen vauhtinsa tasaisempana veto ja palautusvaiheiden välillä, soututehonsa suurempana ja hänellä on enemmän aikaa tehdä teknisesti puhdasta soutua, joka on taloudellisempaa. (Kleshnev 2016, 17-18.)

5 SOUDUN BIOMEKAANISTEN MITTAUSTEN TOTEUTTAMINEN

BioRow-laitteistolla voidaan hyvin luotettavasti, kätevästi ja monipuolisesti mitata ja tutkia soudun biomekaniikkaa kenttäoloissa. Laitteistosta saadaan hyvin ja selkeästi ulos dataa, joista pystytään hyvin hahmottamaan numeroiden valossa soutajan vaikutuksia veneeseen ja mitä hän tekee hyvin ja mitä ei. On kuitenkin huomioitavaa, että pelkkiin numeroihin ja arvoihin pääseminen ei ole itseisarvo hyvälle soututekniikalle ja kilpailuvauhdille. Soutaja ja vene ovat yksilöllisiä systeemejään ja onkin tärkeää osata tarkastella näitä myös objektiivisesti omina kokonaisuuksinaan verrattaessa toisiin soutajiin. Jokin asia voi toimia toisella soutajalla, mutta vastaavasti aiheuttaa negatiivisen impulssin toisella. Työssä käsitelty mittausta on toteutettu yhteistyössä Suomen miesten kevyen luokan maajoukkuesoutajan kanssa. Mittaukset on toteutettu yksiköllä.

5.1 Laitteiston kytkentä

BioRow-mittauslaitteisto voidaan kytkeä minkä tahansa venevalmistajan veneisiin. Alla olevissa kuvissa on esitetty laitteisto ja sen osat nimettyinä.



Kuva 9. BioRow-laitteisto nimettyinä (BioRow Setup Guide En48)

Laitteiston kytkentää ennen tulee varmistaa, että pääyksiköllä on tarpeeksi virtaa, käytössä olevan tarpeeksi teippiä ja metallikiinnike kappaleita kiinnityksiä varten sekä oikeiden kiinnitysavaimien saatavilla olevuus kiinnittämistä ja purkamista varten.

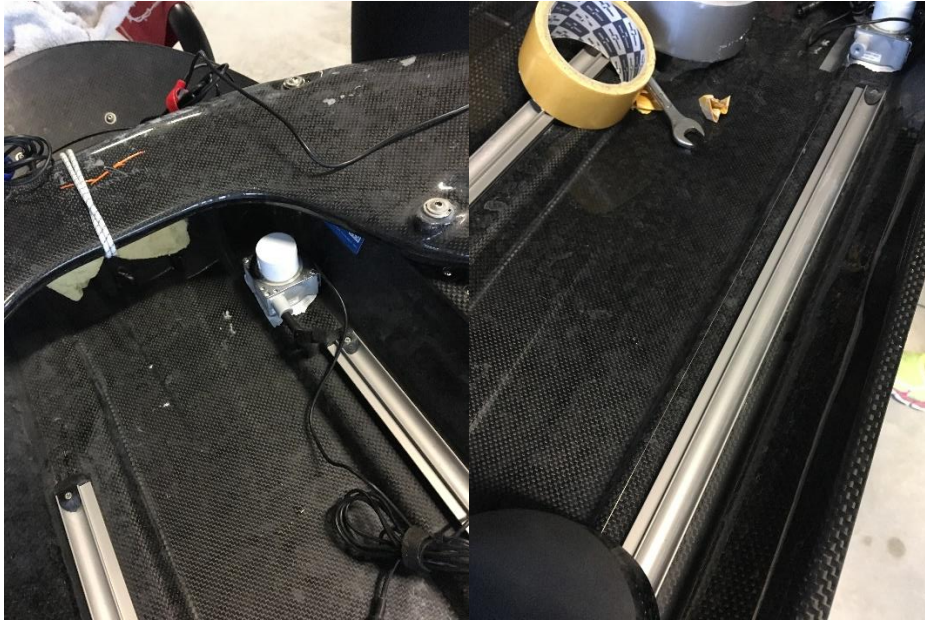
Itse laitteiston asennus veneeseen aloitetaan asettamalla ensin vene oikeinpäin pukeille, jotta asentaminen on mahdollista. Seuraavaksi asennetaan 2D airon kulmamittaus

sensorit veneen hankaimiin. Hankaimen ylämutteri, joka pitää osaltaan svirveliä paikallaan, aukaistaan ja sensorit asennetaan niin, että se suuntautuu kohti veneen perää ja veneen laitaa kohden. Mutteri kiristetään paikalleen ja sensorin kaapeli ohjataan kulmasensoriin kiinnitettävän suojausputken läpi. Tämän jälkeen kaapeli ohjataan teippien avulla hankainta pitkin veneen jalkatilaa kohden.



Kuva 10. Airon kulmasensorin kiinnitys

Toisena asennetaan penkinsensori, joka mittaa tietoa penkin liikkeistä. Itse anturi teipataan kiinni veneen kiskojen taakse. Anturista vedetään vaijeri itse penkkiin, joka kiinnitetään penkin peräpäähän akseliin. Tässä vaiheessa on huomioitava, että vaijerin tulee olla kohtisuorassa eikä se saa mennä vinoon kiinnitettäessä sitä penkkiin.



Kuva 11. Penkkisensorin asennus

Vartalon liikkeet ja tämän vaikutukset mitataan veneen keulatäkkiin asennettavalla anturilla. Anturi tulee itsessään keulatäkkiin kiinni teippaamalla ja tukemalla se kolmella eri narulla. Kaksi naruista kiinnitetään laitoihin hankaimen taakse ja kolmas kiinnitetään veneen keulapalloon. Naruja asennettaessa tulee kuitenkin huomioida, että kiinnitysvaijerit eivät saa olla liian kireällä taikka löysällä. Näin varmistetaan anturin pysyminen oikeassa asennossa ja mittausten onnistuminen. Itse anturista tulee vaijeri kiinni soutajaan selkään pienellä koukulla ja täten anturi pystyy mittaamaan soutajan vartalon liikkeitä ja voimantuottoa.



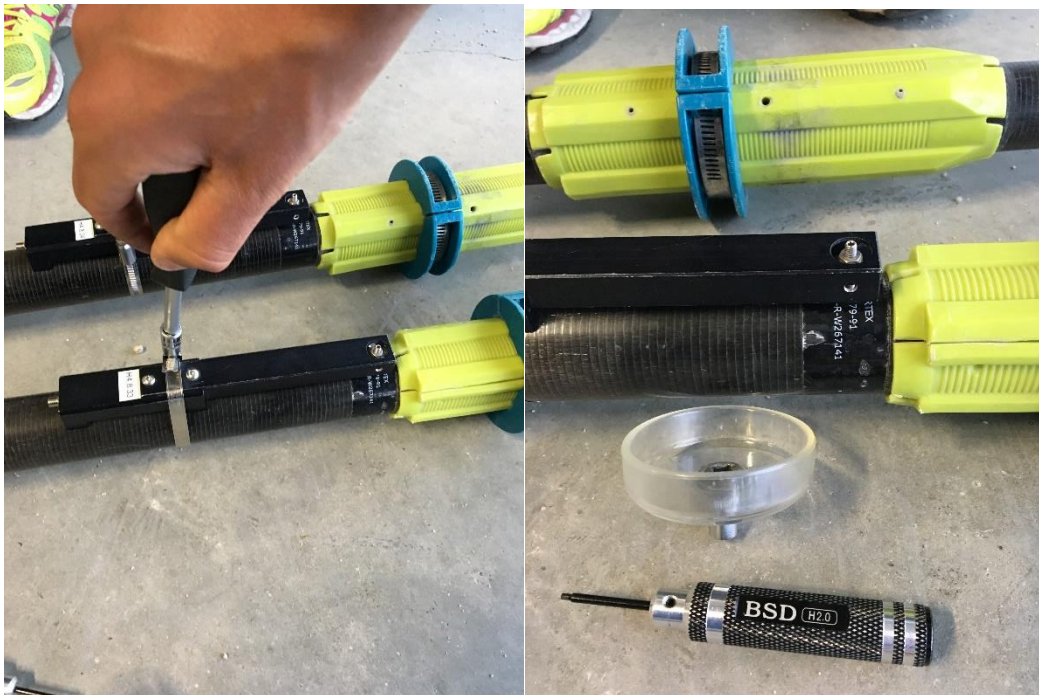
Kuva 12. Vartalosensorin asennus

Pääyksikkö kiinnitetään penkkisensori viereen ja laitteisto yhdistetään pääyksikköön. Airon kulmasensorit yhdistetään pääyksikköön siten, että oikea airo porttiin yksi ja vasen airo porttiin kaksi. Penkki ja vartalosensorit yhdistetään pääyksikköön siten, että penkkisensori yhdistetään porttiin yksi ja vartalosensori porttiin kaksi.



Kuva 13. Pääyksikkö asennettuna

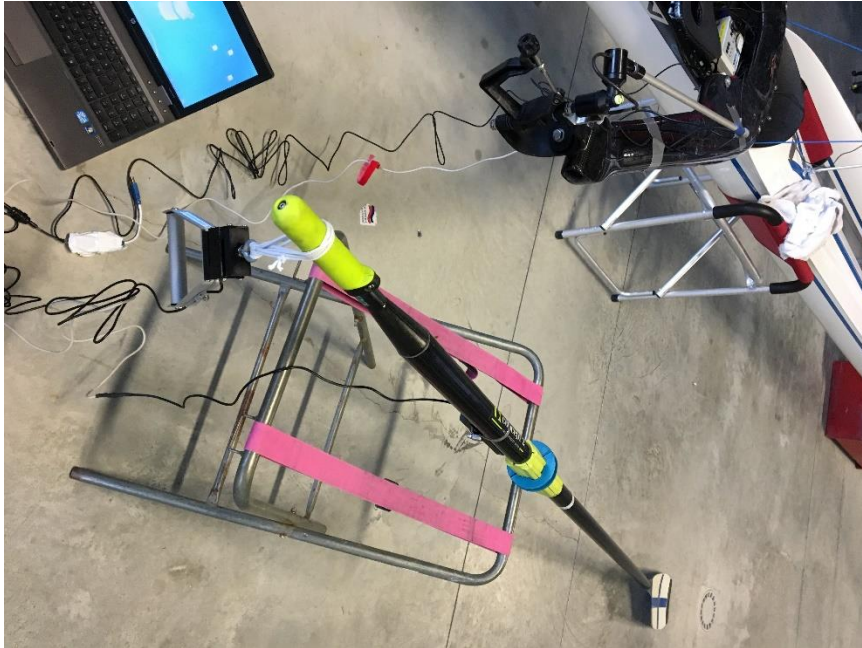
Airoihin kiinnitettävien potentiometrien asennus aloitetaan varmistamalla, että airoihin ei ole kiinnitettyinä mitään ylimääräistä, kuten teipin kappaleita tai tarroja jotka voisivat jäädä potentiometrin alle. Jos antureiden alle jää materiaalia, mittausprotokola voi olla vaarassa epäonnistua. Potentiometri kiinnitetään airon varteen niin, että se sijaitsee airon sisävivun puolella ja on suorassa linjassa kohti airon hihaa ja sensorin reuna osuu hihan reunaan. On myös huomioitava, että metallinen kiristinklemmari on sijoitettuna oikeaoppisesti. Kiristimen tulee sijaita anturin keskiosassa. On myös huomioitava, että anturin on koskettava airon varta kokomatkalta, eli sen tulee olla oikeaoppisesti kiristettynä airon varteen koko sen matkalta. Tämän jälkeen airon taipumaa mittaava ruuvi kiristetään sopivasti airoa vasten ja potentiometri on asennettu.



Kuva 14. Airon potentiometrin asennus

Airojen kalibrointi tapahtuu kytkemällä pääyksikkö ja yksi potentiometreistä vuorotellen samaan aikaan tietokoneeseen ja kalibroimalla ne BioRow-ohjelman avulla. Ohjelman auetessa ohjelma kysyy kalibrointia aloittaessa testattavan soutajan tietoja, kuten nimen, painon ja painoluokan sekä veneluokan. Tietojen syötön jälkeen haetaan oikea kalibrointi kansio ja varmistetaan kanavien toimivuus. Kun on varmistettu, että penkki-sensori ja vartalosensori toimivat voidaan kalibroida aivot. Vasen airo löytyy kanavalta 23 ja oikea kanavalta 19 ohjelmassa. Kalibroinnissa airon kädensijasta vedetään neljä kertaa voimakkaasti alaspäin airon nojatessa varresta venepukkia vasten. Jotta kä-

densijasta vedettäessä airo potentiometri voisi mitata airon taipumaa, pitää lavan pysyä paikallaan. Kalibroinnissa käytettävä vetokahva on sijoitettava 6 cm päähän airon kädensijan päästä. Kalibrointi on onnistunut, kun ohjelma antaa airon taipuman ja kädensijan voiman korrelaatioksi vähintään 0,9. Mitä isompi tämä kerroin on, sitä onnistuneempi kalibrointi on ollut.



Kuva 15. Airon kalibrointi

Vesille lähtiessä on suoritettava vielä horisontaalisten kulmien kalibrointi veneen ollessa vedessä vaakatasossa. Kalibroitaessa horisontaaleja kulmia on varmistettava, että aivot ovat päällekkäin kuten soudettaessakin ja kohtisuorassa veneeseen nähden. Kun horisontaaliset kulmat on kalibroitu, varmistetaan vielä mittauksen tallentuminen pääyksikköön. Kun tämä on tehty, voidaan aloittaa mittaus.

5.2 Mittaaminen

Itse datan mittaus on tapahtunut 90 min peruskestävyysharjoituksen yhteydessä. Mittauksessa on soudettu peruskestävyysharjoittelun ohella eri mittaisia nostoja halutuilla tehoilla, joista on saatu vetokohtaisesti haluttu data halutulla teholla. Mittauksella haluttiin saada kokonaiskuva soutajan tekniikasta ja hänen teknisensä säilymisestä aina peruskestävyysvauhdista kisa - ja loppukirivauhteihin. Halutut mittausvedot toteutettiin soudamalla ensiksi viisi minuuttia peruskestävyysvauhtia tahdilla 20, jonka

jälkeen suoritettiin yhden minuutin mittaisia nostoja tahdeilla 24, 26, 28 ja 30 sekä 45 sekunnin mittaisia nostoja tahdeilla 32, 34 ja 36. Soutajan kilpailun matkastahti oli 34 ja varsinkin tämän tehon data kiinnosti mittauksista. Vetojen välissä soutaja souti aina yhden minuutin mittaiset palautukset todella hiljaa, jotta halutut datasegmentit erottuisivat selkeästi dataa purkaessa myöhemmin.



Kuva 16. Mittauksien toteuttaminen ja BioRow-laitteisto



Kuva 17. Mittauksien toteuttaminen ja BioRow-laitteisto 2

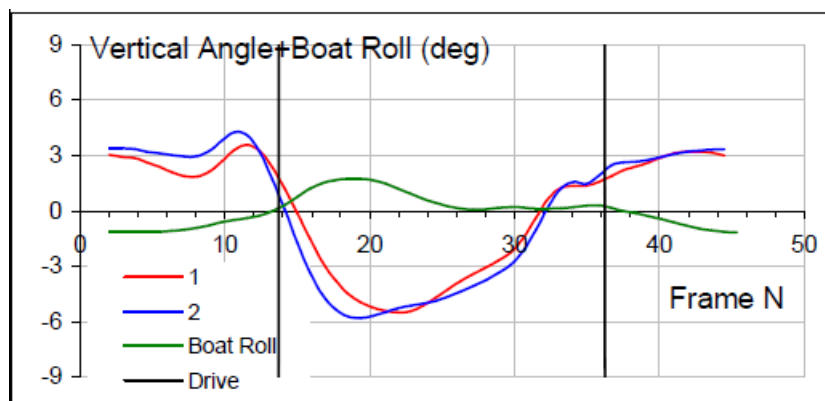
5.3 Tulosten tulkitseminen

Tässä analyysissä keskityimme käsittelemään ja tulkitsemaan soutajan biomekaniikkaa kilpailuteholla. Liitteessä 1 on soutajan biomekaanisten mittausten kooste kilpailuteholla. Mittauksia toteuttaessa keli oli tyyni.

Koosteessa on esitetty erikseen miesten kevyen yksikön biomekaaniset tavoitearvot sekä soutajan biomekaaniset arvot ja tavoitearvojen sekä soutajan biomekaanisten arvojen ero prosentuaalisesti.

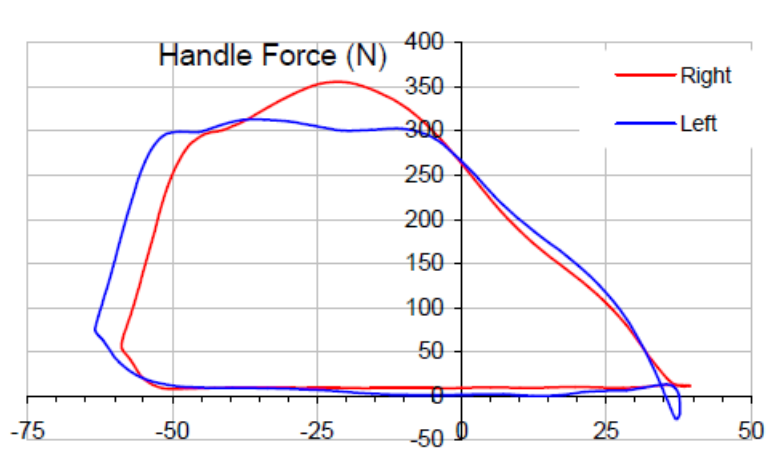
Kilpailuteholla tahti oli 34.6 krt/min. Tavoitekilpailutahti on asetettu biomekaniikan osalta 36 krt/min, mutta kilpailutahtiin vaikuttavat vahvasti myös soutajan henkilökohtaiset ominaisuudet, tekniikka ja keli. Tahti on kuitenkin riittävän korkea varmistaakseen riittävän vetotiheyden ja täten veneen nopeuden. Tärkeämpää kuin vain tahdin tuijottaminen numeroiden valossa onkin kokonaisuuden näkeminen. Soutaja onkin saanut selvästi taloudellisempaa ja tehokkaampaa soutuja aikaan kuin aiempina vuosina korkeammilla kilpailutahdeilla. Näinä vuosina hänen kilpailutahtinsa on ollut noin 36–37 krt/min. Hänen tämän hetken kilpailutehollaan 2 000 metrin kilpailun loppuaika olisi tasaisella vauhdin jakaumalla tyneen keliin datan mukaan 7 min 1.1 s, joka on hyvää vauhtia kevyen luokan yksiköllä tyynellä kelillä. Onkin osattava huomioida kelien vaikutus aikoihin, joka on soudussa aina suurta.

Lisäksi yksi analysoinnin kohde oli soutuveneiden vakaus eri vetovaiheissa. Kuva 18 osoittaa, että veneen vakaus on keinunnan osalta hyvissä arvoissa. Veneen keinunta (boat roll) on noin asteen luokkaa molemmille puolille. Tämä on suhteellisen pieni sivuttaissuuntainen kallistuma vedon ja palautuksen aikana.



Kuva 18. Veneen vakaus

Soutajan vetopituus on lyhyenlainen, ollen vain 99.6° tavoitearvon ollessa 110° . Alkuvetopituus on 61° ja loppuvetopituus on 38.6° . Pidempi veto olisi numeroiden välillä selvästi hyödyksi tehokkaamman vedon saamiseksi mutta vetoa ei saisi alkaa pidentämään väkisin, vaikkakin alkuvetopituus ja loppuvetopituus tavoitearvot ovatkin 66° ja 44° . Vetoa vain numeroiden perusteella väkisin pidentämällä voi olla voimanvälitykselle negatiivisia vaikutuksia, jos soutaja ei pysty pääsemään rennosti haluttuihin asentoihin sekä ääripäihin. Tämä voidaan päätellä jalkojen työn pituudesta, sillä jalkojen työn pituus on yli tavoitearvon ja vetopituus pitäisikin tässä tapauksessa hakea lantion ja ylävartalon liikkeen kautta. Tähän vaikuttavatkin kuitenkin soutajan liikkuvuus ja välitykset. Jatkossa voisi tavoitteena olla silti hieman noin $3\text{--}5^\circ$ kokonaisuutena pidempi veto varsinkin loppupäästä. Soutajan voimakäyrä on kuitenkin kokonaisuudessaan hyvä, vaikka eri elementeissä olisikin kehitettävää. Kuvassa 19 on kuvattu kummankin airon voimakäyrää. Vaikkakin airojen voimakäyrät eroavatkin hieman toisistaan, on niiden käyrän muoto hyvin samanlainen.



Kuva 19. Soutajan airojen voimakäyrä

Soutajan tehokas vetopituus on 67% tavoitearvon ollessa 84% . Tämä johtuu airon vetosyvyydestä vedon aikana, joka on 5.4° . Vetosyvyyden tavoitearvon katsotaan olevan 7.5° ja vedon katsotaan olevan laskennallisesti tehokkain, kun se tapahtuu yli 6° syvyydessä. Tästä johtuukin tehokkaan vetopituuden arvo, sillä airo alkaa nousta vedessä pinnempaan liian aikaisin kohti loppuvetoa tullessa.

Soutajalla on vetonsa aikana hieman airon lipeämistä. Alkuvetossa lipeäminen on 9° tavoitearvon ollessa 6° ja loppuvetossa lipeäminen on 23.2° tavoitearvon ollessa 12° . Alkuvetossa airon lipeäminen on pientä ja vain vähän halutusta tavoitearvosta mutta

loppuvedossa airon lipeäminen on huomattavasti selvempää. Tämä johtuu vetopaineen "loppumisesta" liian aikaisin vedon aikana, sillä soutaja ei saa tehokkaasti käytettyä pakarän ja lantion alueen lihaksiaan loppuvendon aikana. Tämä johtaa samalla myös airon liian aikaiseen nousuun vedon aikana kohti vedenpintaa.

Soutajan vedon keskivoima on hyvällä tasolla sen ollessa 394.8 N tavoitearvon ollessa 390 N. Soutaja tuottaa keskiarvollisesti vetonsa aikana riittävän suuren keskivoiman liikuttamaan venettä tehokkaasti eteenpäin. Soutajan mekaaninen työ ja teho jäävät kuitenkin tavoitearvoista selvästi osaltaan johtuen lyhyestä vetopituudesta. Soutajan maksimivoima jää tavoitearvon alle mutta maksimivoiman sijainti prosentuaalisesti voimakäyrällä on hyvä, sijoittuen 34 %.

Yleisesti koosteen valossa voidaankin tulkita, että soutajan alkuveto ja työvaihe ovat hyvällä tasolla mutta loppuveto on selvästi heikompi. Loppuvetoon parantamalla soutaja pystyy selvästi kasvattamaan veneenvauhtiaan kilpailutilanteessa.

6 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia olympialuokkien soudun biomekaniikkaa, sen vaikutuksia ja mittauksia. Opinnäytetyöstä käy hyvin ilmi olympialuokkien kilpasoudun haastava luonne. Soutajan on yleisesti ottaen haastavaa saada tuotettua voimansa soutuvetoon oikein ja taloudellisesti, jotta vene liikkuisi mahdollisimman hyvin eteenpäin. Olympialuokkien kilpasoudussa on monia teknisiä ja fyysisiä liikkuvia palasia ja näin ollen vaikutuksia veneeseen ja tämän liikkeisiin soudettaessa. Biomekaniikkaa tutkimalla ja ymmärtämällä voidaan kuitenkin helpottaa soutajan tekniikkaa ja voimavälitystä ja näin ollen kilpailuvauhtia. On kuitenkin muistettava, että pelkästään numeroiden jahtaaminen ei ole suotavaa, sillä on osattava tarkastella soutajan tekniikkaa, voimavälitystä ja itse soutajaa kokonaisuutena, joissa yksittäiset tekijät ovat vain osasia isompaa kuvaa. Tärkeintä on löytää soutajalla henkilökohtainen ja luontainen tapa kuljettaa venettään taloudellisesti, tehokkaasti ja nopeasti 2 000 metrin matkalla.

Työssä esiteltiin olympialuokkien soutu lajina ja saatiin kuva lajin vaativasta mutta herkästä luonteesta. Lisäksi työssä perehdyttiin käytännön tasolla biomekaniikan vaikutuksiin ja mittauksiin. Työ jakautui kahteen erilliseen osioon. Ensimmäisessä osiossa perehdyttiin tieteellisesti biomekaniikkaan sekä sen tekijöihin ja seurauksiin. Työn toisessa osassa perehdyttiin biomekaniikkaan käytännön tasolla ja toteutettiin biomekaaniset mittaukset. Näin saatiin kattava kuva kokonaisuudessa biomekaniikan teorian pätemisestä ja vaikutuksista käytännössä sekä, miten soutajan tekniikkaa voidaan parantaa biomekaniikkaa apuna käyttäen.

Halusin työssäni tutkia ja tuoda esille olympialuokkien kilpasoudun voimavälitystä ja tekniikkaa sekä näiden yhteisvaikutuksia veneeseen ja täten kilpailuvauhtiin. Työssä onnistuttiin tutkimaan olympialuokkien kilpasoutua monipuolisesti biomekaniikan avulla ja saamaan kattava kuva lajin vaativasta ja herkästä luoneesta niin teoriassa kuin käytännössäkin.

LÄHTEET

Biorow. 2018. Viitattu 27.3.2018. <http://biorow.com/>

Biorow. Setup Guide En48: Rowing Telemetry System: BioRowTel v.4.8. 2015

Concept 2. Oar Manual. 2018. Viitattu 21.3.2018. http://www.concept2.com/files/pdf/us/oars/Oar_Manual.pdf

Concept 2. Oar Options. 2018. Viitattu 21.3.2018. <http://www.concept2.com/oars/oar-options/blades/smoothie2-vortex-edge>

Filippi. Technical Suggestions. 2018. Viitattu 19.3.2018. <http://www.filippiboats.com/fi/about-us/technical-suggestions/>

Filter, K. 2000. Effect of wind on boat speed

FISA. Complete Rule Book 2017 - English. 2018. Viitattu 18.3.2018. http://www.worldrowing.com/mm/Document/General/General/12/68/94/FISARulebookEN2017finalweb4_Neutral.pdf

Hiltunen, I. Kestävyysseminaari 16.10.2017. 2017. Viitattu 17.3.2018. <http://melontajasoutuliitto-fi-bin.directo.fi/@Bin/f2930b56f5e5c57a6fd97c3fd879ca55/1524230457/application/pdf/1361952/Kest%C3%A4vyysseminaari%2016.10.2017%20Olympiasoutu.pdf>

Jokisipilä, M. 2005. Soudun lajianalyysi.

Jyväskylän Yliopisto Liikuntatieteellinen Tiedekunta. 2018. Viitattu 27.3.2018. <https://www.jyu.fi/sport/fi/biomekaniikka>

Jürimäe, J., Jürimäe, T., & Maestu, J. 2007. The Oarsman. Teoksessa Secher, N. H., & Volianitis, S. 2007. Rowing Handbook of Sports Medicine and Science.

Kerr, S. 2013. Balance of Racing Rowing Boats. Viitattu 24.3.2018. http://eodg.atm.ox.ac.uk/user/dudhia/rowing/physics/Balance_of_Racing_Rowing_Boats_v3.pdf

Kleshnev, V. 2007. Biomechanics. Teoksessa Secher, N. H., & Volianitis, S. 2007. Rowing Handbook of Sports Medicine and Science.

Kleshnev, V. 2016, The Biomechanics of Rowing.

Nuutila, O., & Hautala, J. 2017. Olympiasoudun Lajianalyysi ja Valmennuksen Ohjelmointi.

Räisänen, P. 2000. Vakavuus. Teoksessa Laivatekniikka: Modernin laivanrakennuksen käsikirja.

Secher, N. H., Volianitis, S. & Jurimae, J. 2007. Physiology. Teoksessa Secher, N. H., & Volianitis, S. 2007. Rowing Handbook of Sports Medicine and Science.

Steinacker, J. M. 1993. Physiological aspects of training in rowing. Evaluation

World Rowing. 2018. Viitattu 15.3.2018. <http://www.worldrowing.com/>

Biomekaniikan raportin kooste kisateholla



	Stroke Rate (str/min)	34.6	LM1x	12.04.18
Criteria	Target	Actual Data	%% Difference	
1	Time over 2000m (m:s)	06:47.0	07:01.1	-3.5%
2	Prognostic speed at target rate (Effective Work per Stroke)	06:47.0	06:55.6	-2.1%
3	Racing Stroke Rate (1/min)	36.0	34.6	-3.9%
4	Total angle (deg)	110.0	99.6	-9.5%
5	Average Force (N)	390.0	394.8	1.2%
6	Work Per Stroke (J)	783	653.6	-16.6%
7	Rowing Power (W)	470	377	-19.8%
8	Catch Angle (deg)	-66.0	-61.0	-7.6%
9	Finish Angle (deg)	44.0	38.6	-12.3%
10	Catch Slip (deg)	6.0	9.6	60.7%
11	Release Slip (deg)	12.0	23.2	93.2%
12	Effective Angle (deg)	84 %	67.0%	-19.8%
13	Max.Blade Depth (deg)	-7.5	-5.4	-27.4%
14	Max. Force (N)	750.0	653.8	-12.8%
15	Ratio Aver / Max Force (%)	55 %	60.4%	9.8%
16	Position of peak force (% of SL)	38 %	34.0%	-10.5%
17	Catch force gradient (deg)	11.0	7.4	-32.5%
18	Finish force gradient (deg)	28.6	34.7	21.2%
19	Legs drive (m)	0.54	0.55	2.0%
20	Legs Max. Speed (m/s)	1.40	1.12	-20.1%

