

QUANTIFYING BADMINTON PLAYER SKILL LEVEL AND THE EFFECT OF DIFFERENT RACKET SWINGWEIGHTS USING AN EMBEDDED IMU

Kaare M. Bendtsen & Marc N. Boesen

School of Medicine and Health, Aalborg University, Denmark

4. Semester, Sports Technology, Group 1049, 2015

Resume

Defining badminton player skills level and shuttlecock speed have often been done in a laboratory setting using motion capture or high speed cameras. Earlier studies have shown that racket kinematics, especially angular velocity can be used as an indicator of player skill level. In this project the group 1) validated a custom made Inertial Measurement Unit (IMU) (ROM), 2) defined three parameters to indicate player skill level and 3) the effect of four different racket swingweight. The study found all three parameters are able quantify player skill level and the effects of swingweight. The group also developed a method to embed the ROM in the racket handle and made suggestions to how the findings of the project can be used to optimize racket selection and lastly how the ROM can be used as a commercial device.

Indhold

1	Indledning.....	5
1.1	Projektets formål.....	5
1.2	Afgrænsning.....	6
1.3	Problemformulering.....	6
2	Teori.....	7
2.1	Ketsjeregenskaber.....	7
2.1.1	Vægt.....	7
2.1.2	Balancepunkt.....	7
2.1.3	Fleksibilitet.....	8
2.1.4	Inertimoment.....	8
2.2	Ketsjeranalyse.....	8
2.2.1	Inertimoment - analytisk beregning.....	8
2.2.2	Impuls.....	11
2.2.3	Impulsmoment.....	11
2.2.4	Impulsbevarelse – analytisk beregning.....	12
2.3	Udvalgte parametre.....	13
2.3.1	Vinkelhastighed.....	13
2.3.2	Rate of Angular Velocity Development (RAVD).....	13
2.3.3	Impulsmoment.....	14
3	Metode.....	15
3.1	Udstyr.....	15
3.1.1	Racket-O-Meter.....	15
3.1.2	Ketsjer.....	16
3.1.3	GOSEN GM31.....	16
3.2	Ketsjermodificering.....	18
3.3	Ketsjertilpasning.....	19
3.3.1	CAD modellering.....	19
3.4	Pilotforsøg.....	23
3.4.1	Del 1 - Pilotforsøg.....	24
3.4.2	Del 2 – Valideringsforsøg.....	26
3.5	Forsøg.....	29
3.5.1	Forsøgspersoner.....	29

3.5.2	Forsøgsopstilling	29
3.5.3	Forsøgsprotokol	30
3.5.4	Dataindsamling	31
3.5.5	Databehandling	31
3.6	Valideringsforsøg	31
3.6.1	Forsøgsprotokol	31
3.6.2	Dataindsamling	32
3.6.3	Databehandling	32
4	Resultater	33
4.1	Valideringsforsøg	33
4.1.1	Batterispænding	33
4.1.2	Omregningsfaktor	33
4.2	Forsøg	34
4.2.1	Repeated Measures ANOVA	35
4.2.2	One-Way ANOVA	39
5	Diskussion	47
5.1	Vinkelhastighed	47
5.2	RAVD	48
5.3	Impulsmoment	49
5.4	Validering, implementering og interface	50
5.5	Opsummering	51
6	Perspektivering	52
7	Bibliografi	56

1 Indledning

Flere end nogensinde før er blevet sportsaktive (Subic, et al., 2008). Den stigende deltagelse og konkurrence som ses på alle niveauer, samt den omfattende mediedækning af sportslige aktivitet, har medført en øget interesse for optimering af sportslige præstationer (Subic, et al., 2008). Denne interesse har bevirket, at sportsindustrien har spredt sig til adskillige fagområder på global skala, hvor producenter i samarbejde med specialiserede firmaer bestræber sig på at være førende på markedet med det bedste udsyr og nyeste teknologi. Sportsindustrien har herved oplevet en massiv udvikling, som beror sig på anvendelsen af teknologier. Dette har influeret næsten alle sportslige aspekter og henseender, hvilket har givet anledning til et øget markedspotentiale for producenter. (Subic, et al., 2008)

Sportsgrene, som kombinerer bold med slagredskab, har i tidens løb modtaget meget opmærksomhed, da interaktionen mellem design og præstation er kompliceret (Kwan, 2010). Dog har en populær sportsgren som badminton ikke modtaget nær så meget opmærksomhed som eksempelvis tennis, golf, baseball og softball, hvilket begrænser den forskningsbaserede viden inden for badminton¹. Grundet denne relativt begrænsede opmærksomhed designs og produceres ketsjere ud fra en heuristisk tilgang, hvor producenters og spilleres erfaringer og intuitioner analyseres og evalueres, så nye sammensætninger af ketsjeregenskaberne; vægt, balancepunkt, fleksibilitet og inertimoment samt anvendte materiale, kan afprøves (Kwan, 2010).

Firmaet Active Sportswear Int. A/S, der producerer badmintonketsjere, har i anledning af den begrænsede viden udtalt et ønske om at gøre op med den heuristiske tilgang og de subjektive mavefornemmelser, når spillere skal vælge ketsjere. På sigt har firmaet intentioner om at implementere teknologi i deres ketsjere, så et optimeret ketsjervalg er muligt, ved at kvantificere interaktionen mellem spillere, ketsjeregenskaber og præstation. Herved vil firmaets brand og positioneringsgrundlag kunne ekspanderes, da det vil adskille sig fra andre producenter ved at give en brugeroplevelse andre ikke kan levere.

1.1 Projektets formål

Aalborg Universitet har udviklet en sensor (Racket-O-Meter) (ROM), som blandt andet måler vinkelhastighed og acceleration i tre dimensioner. ROM'en er så lille, at den kan implementeres i et modificeret håndtag på en badmintonketsjer, hvor den kan registrere ketsjerens kinematik.

Projektet har til formål at:

1. Undersøge om Raket-O-Meter'en (ROM) kunne identificere forskelle mellem grupper på forskellige færdighedsniveauer ved brug af parametrene vinkelhastighed i træføjeblikket, Rate of Angular Velocity Development (RAVD) og impulsmoment.
2. Undersøge inertimomentets indflydelse mens andre variable holdes konstante.
3. Validere ROM'ens gyroscop, udvikle et stabilt interface til dataindsamling og implementere den i håndtaget på en badmintonketsjer.

Det er håbet at resultatet af projektet kan anvendes som et kommercielt redskab til blandt andet et optimeret ketsjervalg.

¹ Søgning på "National Center for Biotechnology Information" resulterede i 12.000, 10.000, 4.000, 4.500 og 1.500 hits for hhv. tennis, golf, baseball, softball og badminton. (www.ncbi.nlm.nih.gov/ Maj, 2015)

1.2 Afgrænsning

I projektet undersøges ROM'ens potentiale for at registrere og kvantificere badmintonspilleres færdighedsniveau og inertimoments indflydelse ved brug af tre udvalgte parametre i et maksimalt smashslag. I projektet vil ROM'ens gyroskop valideres og ROM'en implementeres i håndtaget på en badmintonketsjer.

1.3 Problemformulering

Hvordan kan ROM'en implementeres i en badmintonketsjer for efterfølgende at kvantificere færdighedsniveau og inertimomentets indflydelse på et maksimalt smashslag? Hvordan kan ROM'en anvendes kommercielt?

2 Teori

I dette kapitel vil begreber og teori, som projektgruppen finder relevant, blive beskrevet, samt udvalgte parametre der anvendes til kvantificering af færdighedsniveau.

2.1 Ketsjeregenskaber

2.1.1 Vægt

Badmintonketsjere fremstilles med forskellig vægt, hvor denne for de fleste ligger et sted mellem 70 og 90 g, uden strenge og greb, og 80-100 g med strenge og greb. En metode til at klassificere ketsjere efter vægt er Yonex's U system (Yonex, 2015), som er angivet i Tabel 1.

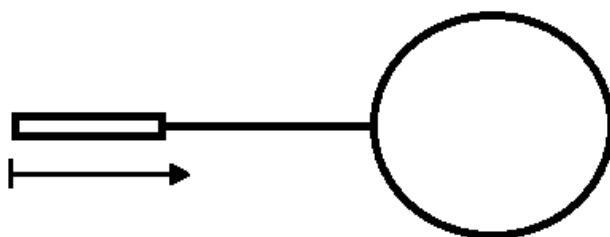
U1	95-100 gram	Meget tung
U2	90-94 gram	Tung
U3	85-89 gram	Almindelig/Normal
U4	80-84 gram	Let
U5	75-79 gram	Meget Let

Tabel 1. Ketsjer gruppering efter Yonex's U system.

Et studie af Hsieh et al. (2004) fandt, at badmintonketsjeres vægt kan være en betydende faktor for udgangshastigheden af en fjerbold i et smash. Studiet sammenlignede to ketsjere med forskellig vægt (85 g og 100 g), hvilket viste, at forsøgspersonerne kunne producere 5 % højere udgangshastighed af fjerbolden med den tunge ketsjer. Begge ketsjere havde i forsøget tilnærmelsesvis samme inertimoment og resultatet blev, at den tunge ketsjer både er bedre og hurtigere end den lette ketsjer.

2.1.2 Balancepunkt

De fleste badmintonketsjere har, fra producentens side, angivet en afstand på skaftet i millimeter, som indikerer, hvor langt oppe på skaftet balancepunktet findes, målt fra bunden af håndtaget og uden strenge, Figur 1. Ketsjere inddeles normalvis i tre forskellige grupper afhængig af, hvor på skaftet balancepunktet findes, hvor disse er; hovedlet, balanceret og hovedtung. Hvorledes en ketsjer klassificeres som det ene eller det andet, er der ingen konsensus om, da producenter klassificerer de tre grupper forskelligt.



Figur 1. Balancepunktet måles fra enden af håndtaget.

2.1.3 Fleksibilitet

En ketsjers fleksibilitet afhænger af det anvendte materiale og måden producenten fremstiller ketsjeren. Ketsjere fremstilles enten i stål, aluminium eller kulfiber, afhængig af pris og kvalitet.

Et studie af Kwan & Rasmussen (2010) fandt, at ketsjeres fleksibilitet og den elastiske deformation af skaftet i en smash bidrager med 4-6 % af fjerboldens udgangshastighed. Kwan (2010) bemærkede, at fleksible ketsjere ikke nødvendigvis er at foretrække, da der som følge af øget fleksibilitet er en højere varians mellem slagene, end ved stivere ketsjere.

2.1.4 Inertimoment

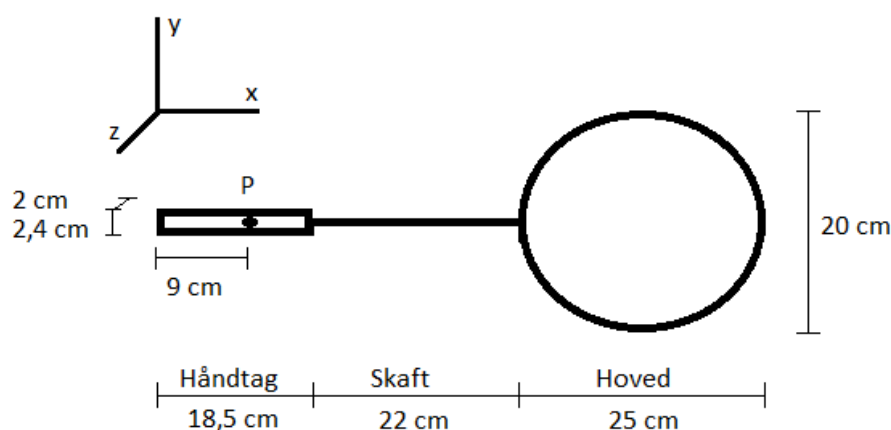
Inertimomentet skal intuitivt forstås som ketsjerens træghed mod rotation. For at bestemme inertimomentet skal en ketsjers vægtfordeling og omdrejningsakse kendes. Ketsjere med samme vægt men forskellige vægtfordeling, som f.eks. hovedtung, balanceret, og hovedlet, vil have forskellige inertimomenter. For at svinge en ketsjer med et højt inertimoment skal der teoretisk set tilføres mere energi, end ved en ketsjer med et lavere inertimoment ved samme rotationshastighed.

I studier baseret på baseball og softball (Fleisig, et al., 2002) (Smith, et al., 2003) blev der registreret, at svinghastigheden af de testede bat var næsten uafhængig af vægten. Studierne fandt derimod en korrelation mellem svinghastigheden og inertimoment, hvilket Kwan et al. (2010a) også fandt for badmintonketsjere. I studiet blev det observeret, for enkelte forsøgspersoner, at der var en nedgang i svinghastighed ved lave inertimomenter, hvilket blev tilskrevet en mulig manglende proprioception (Kwan, et al., 2010a). Denne forklaring kan også være årsag til, at Hsieh et al. (2004) fandt en højere svinghastighed af den tungere ketsjer.

2.2 Ketsjeranalyse

2.2.1 Inertimoment - analytisk beregning

I det følgende vil et estimat af inertimomentet, $I_{ketsjer}$, blive beregnet for en teoretisk ketsjers y-akse for et punkt, P , 9 cm oppe på håndtaget, Figur 2. Dette punkt er valgt, da projektgruppen senere gør brug af et apparat (GOSEN, GM31), som kan estimere ketsjeres inertimoment, hvilket bliver gjort 9 cm oppe på håndtaget. Beregningerne er baseret på antagelser om ketsjeres geometri, hvor håndtaget antages at være en "solid cylinder", skaftet en "long thin rod" og hovedet en "thin circular hoop".



Figur 2. Ketsjersens dimensioner for de i tre dele; håndtag, skaft og hoved, som bruges til beregning af ketsjersens inertioment.

En ketsjers dimensioner opmåles for håndtag, skaft og hoved, hvor disse anvendes for den teoretiske ketsjers tre dele. Ketsjeren skæres efterfølgende i stykker, for at veje hver af de tre dele individuelt. Det opmålte data er angivet i Tabel 2 sammen med formlerne for delenes respektive inertiomenter omkring deres massemidtpunkter (Serway & Jewett, 2014).

Ketsjerdel	Antaget geometri	Opmålt data	Formel til udregning af inertioment for antaget geometri
Håndtag	"Solid cylinder"	Masse $m = 0,034 \text{ kg}$ Gns.radius $r = 1,1 \text{ cm}$ Højde $h = 18,5 \text{ cm}$	$I_{\text{håndtag}} = \frac{1}{12} \cdot m \cdot (3 \cdot r^2 + h^2)$
Skaft	"Long thin rod"	Masse $m = 0,014 \text{ kg}$ Længde $l = 22 \text{ cm}$	$I_{\text{skaft}} = \frac{1}{12} \cdot m \cdot l^2$
Hoved	"Thin circular hoop"	Masse $m = 0,038 \text{ kg}$ Gns.radius $r = 11,25 \text{ cm}$	$I_{\text{hoved}} = \frac{m \cdot r^2}{2}$

Tabel 2. Oversigt af antaget geometri, opmåling og formler til udregning af ketsjerdelenes inertioment for rotation omkring ketsjersens y-akse.

Det opmålte data, for de tre dele, indsættes i formlerne til udregning af inertiomentet for deres respektive geometrier, hvilket giver følgende:

$$I_{\text{håndtag}} = 9,800 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad I_{\text{skaft}} = 5,647 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad I_{\text{hoved}} = 2,405 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Efter delenes individuelle inertiomenter, omkring deres massemidtpunkt, er beregnet, kan ketsjersens samlede inertioment, I_{ketsjer} , beregnes omkring punktet P. Dette gøres ved at addere flyttebidraget til ketsjerdelenes inertioment:

$$I_{\text{ketsjerdel+flyttebidrag}} = I_{\text{ketsjerdel}} + m_{\text{ketsjerdel}} \cdot r_{\text{afstand}}^2$$

hvor $I_{\text{ketsjerdel}}$ er inertiomentet omkring ketsjerdelens massemidtpunkt, $m_{\text{ketsjerdel}}$ er ketsjerdelens masse og r_{afstand} er afstanden til P fra hver af ketsjerdelenes massemidtpunkt.

Flyttebidraget bliver for de tre ketsjerdele:

$$I_{\text{h\aa ndtag}_{\text{flyttebidrag}}} = 4,048 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{\text{sk\aa ft}_{\text{flyttebidrag}}} = 6,448 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{\text{hoved}_{\text{flyttebidrag}}} = 7,185 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Ifølge parallelakse-teoremet kan de tre flyttebidrag summeres, hvilket giver et analytisk inertimoment, I_{ketsjer} , på $8,235 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ omkring punktet P .

Da nærværende projekt anvender ketsjere med forskellige inertimomenter, er der lavet beregninger for hvilken effekt en modificering har. Selve modificeringen er et lod, som betragtes som en punktmasse m anbragt i en afstand r til rotationspunktet P , Tabel 3.

Ketsjerdel	Antaget Geometri	Opmåling	Formel til udregning af inertimoment for antaget geometri
Lod	Partikel	Masse $m = 0,008 \text{ kg}$ Afstand $r_{12} = 12 \text{ cm}$ Afstand $r_{22} = 22 \text{ cm}$ Afstand $r_{30,5} = 30,5 \text{ cm}$ Afstand $r_{58,5} = 58,5 \text{ cm}$	$I_{\text{lod}} = m \cdot r^2$

Tabel 3. Loddets antagede geometri, opmåling og formel til udregning af loddets inertimoment omkring punktet P .

Loddets indflydelse på ketsjerens inertimoment ved de fire afstande er hhv.:

$$r_{12} = 1,152 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$r_{22} = 3,872 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$r_{30,5} = 7,442 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$r_{58,5} = 2,738 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Disse kan nu adderes til ketsjerens inertimoment, I_{ketsjer} , hvorved den modificerede ketsjers inertimomenter, $I_{\text{ketsjer_modificeret}}$, bliver følgende:

$$I_{\text{ketsjer}_{12}} = 8,350 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{\text{ketsjer}_{22}} = 8,622 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{\text{ketsjer}_{30,5}} = 8,979 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{\text{ketsjer}_{58,5}} = 1,097 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

(For fuldstændige udregninger se Bilag 1)

2.2.2 Impuls

Bevægelse defineres som en ændring i et objekts position i forhold til tid og/eller reference. Ifølge Newtons 1. lov vil et objekt i hvile forblive i hvile, og et objekt i bevægelse vil have en jævn retlinjet bevægelse, hvis det ikke udsættes for en resulterende kraft, F_{res} , dvs. accelerationen $a = 0$.

Anledningen til bevægelse kan forklares ud fra Newtons 2. lov der fremsætter, at et objekt med massen m , som påvirkes for en resulterende kraft, F_{res} , vil have en acceleration, a , i samme retning som den resulterende kraft:

$$F_{res} = m \cdot a$$

Bevægelse kan kvantificeres via bevægelsesmængde (impuls). Impuls kan betragtes som, at et tungt objekt har en større bevægelsesmængde end et let objekt i bevægelse ved samme hastighed. Objektet, som bevæger sig, har derfor en impuls, p , der er bestemt af objektets masse, m , og hastighed, v .

$$p = m \cdot v$$

Anskues impuls i forhold til tid, fås følgende:

$$\dot{p} = \frac{dp}{dt} = \frac{d(m \cdot v)}{dt} = m \frac{dv}{dt} = m \cdot a = F_{res}$$

Herved ses, at den resulterende kraft, F_{res} , er den tidsafledte af impulsen, p , og omvendt er p den resulterende krafts virkning integreret over tid, som er Newtons 2. lov for lineære bevægelser. (Pedersen, 2008)

2.2.3 Impulsmoment

Inertimoment beskriver et objekts træghed mod rotation, ligesom inerti er træghed mod lineær bevægelse. For roterende bevægelser er kræfter, masse og hastigheder erstattet af momenter, inertimomenter og vinkelaccelerationer. Newtons 2. lov bliver for rotation herved følgende:

$$M = I \cdot \alpha$$

hvor M er momentet, I er inertimomentet og α er vinkelacceleration.

Ligesom impuls for retlinjede bevægelser, kan roterende bevægelser også anskues i form af bevægelsesmængde svarende til impulsmoment. Et roterende objekts impulsmoment kan udtrykkes på følgende måde:

$$H = I \cdot \omega$$

hvor H er impulsmomentet, I er inertimomentet og ω er vinkelhastighed.

Impulsmomentet kan også anskues i forhold til tid, hvor følgende fås:

$$\dot{H} = \frac{dH}{dt} = I \frac{d\omega}{dt} = I \cdot \alpha = M$$

Igen ses, at det resulterende moment M er den tidsafledte af impulsmomentet H , og omvendt er H det resulterende moments virkning integreret over tid, som er Newtons 2. lov for roterende bevægelser.

2.2.4 Impulsbevarelse – analytisk beregning

Betragtes et lukket system, hvor to objekter støder sammen, er impulsen før og efter sammenstødet uændret. Hvis de to objekter er en badmintonketsjer og en fjerbold, som støder sammen i et smashslag, kan impulsbevarelsen skrives på følgende måde:

$$m_k v_{k1} + m_b v_{b1} = m_k v_{k2} + m_b v_{b2}$$

Ligningen oven over kaldes impulssætningen, hvor m er massen og v er hastigheden for hhv. ketsjer og fjerbold før og efter stødet.

Da projektet beskæftiger sig om slag med rotation, er det interessant at se på en ketsjers impulsmoment i træføjeblikket med en fjerbold, ved forskellige vinkelhastigheder og inertimomenter. Da fjerboldens masse og hastighed ikke kendes før og efter træføjeblikket, vil ketsjerens impulsmoment i træføjeblikket betragtes som indikator for systemets samlede impuls, selvom det reelt er to forskellige ting.

Vi opfinder af (næsten) fri fantasi følgende vinkelhastigheder:

$$\omega_1 = 2800 \frac{\text{grad}}{\text{s}} \quad \omega_2 = 2900 \frac{\text{grad}}{\text{s}} \quad \omega_3 = 3000 \frac{\text{grad}}{\text{s}} \quad \omega_4 = 3100 \frac{\text{grad}}{\text{s}}$$

Den teoretiske forsøgsketsjers impulsmoment i træføjeblikket kan nu beregnes ved at sætte de analytiske inertimomenter og vinkelhastighederne i $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$ ind i formlen for impulsmoment, hvilket giver følgende, Tabel 4:

Impulsmoment $\frac{(kg \cdot m^2)}{s}$		Vinkelhastighed $\left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)$			
		ω_1	ω_2	ω_3	ω_4
Inertimoment $(kg \cdot m^2)$	$I_{ketsjer_12}$	0,408	0,423	0,437	0,452
	$I_{ketsjer_22}$	0,421	0,436	0,451	0,466
	$I_{ketsjer_30,5}$	0,439	0,454	0,470	0,486
	$I_{ketsjer_58,5}$	0,536	0,555	0,575	0,594

Tabel 4. Impulsmomentet ved forskellige vinkelhastighed og inertimomenter.

Tabel 4 viser, at forskellige ketsjere kan have tilnærmelsesvis samme impulsmoment ved forskellige vinkelhastigheder, hvis inertimomentet ændres. Dette indikerer, at en lavere vinkelhastighed ikke nødvendigvis giver en lavere udgangshastighed for fjerbolden. I nærværende projekt antages det at stigningen i impulsmoment af ketsjeren vil resultere i højere udgangshastighed af fjerbolden. Dette er dog grove antagelser, som bl.a. ikke tager højde for restitutionskoefficienten mellem ketsjerens strenge og fjerbolden, træfpunkt og fleksibilitet. For en bedre estimering af hvorledes dette forholder sig, bør impulsen af ketsjeren udregnes i træføjeblikket og ikke impulsmomentet.

(Se Bilag 2 som bevis for, at højere impuls giver en højere udgangshastighed af fjerbolden efter træføjeblik)

2.3 Udvalgte parametre

Svingsløjfer varierer imellem spillere i forhold til adskillige faktorer og parametre, hvorfor projektgruppen kun har udvalgt tre parametre til analyse. Parametrene er afledt af vinkelhastigheden omkring ketsjerens y-akse, som er den primære akse til at generere kraft i et smash. Rotation om ketsjerens y-akse er ækvivalent til en pronation/supination af radioulnar leddet og indad/udad rotation af glenohumeral leddet.

2.3.1 Vinkelhastighed

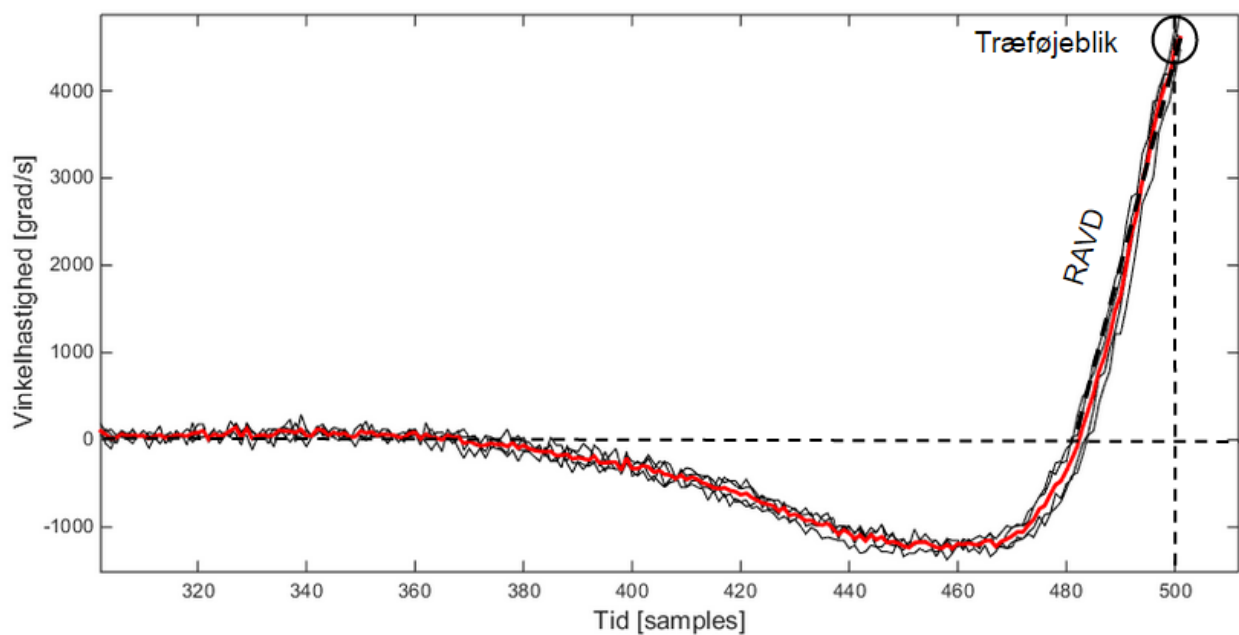
En af de typisk undersøgte ting i badminton har været udgangshastigheden af fjerbolden, som dog har visse komplikationer grundet fjerboldens hurtige deceleration efter kontakten med ketsjeren (Phomsoupha & Laffaye, 2014). Det er derfor valgt, at fokusere på rotationen der bidrager til udgangshastigheden af fjerbolden på baggrund af Kwan's anbefalinger (Kwan, et al., 2010b). Vinkelhastigheden defineres som den femte sidste sample fra gyroskopet inden første vibration opstår ved træføjeblikket, som illustreret på Figur 3 ved en cirkel.

2.3.2 Rate of Angular Velocity Development (RAVD)

Et anvendt udtryk i fysiologi- og træningsverdenen er Rate of Force Development (RFD), som måles ved maksimal isoleret isometrisk muskelkontraktion og bruges som indikator for eksplosiv styrke. Konceptet om eksplosivitet anvendes i projektet, under betegnelsen Rate of Angular Velocity Development (RAVD), som indikator for, hvor effektivt forsøgspersonerne opnår deres vinkelhastighed i træføjeblikket. En visuel illustration er angivet på Figur 3. Definition af RAVD er følgende:

$$\frac{\omega_{\text{træf}}}{\left(\frac{\text{sample}_{\text{træf}} - \text{sample}_0}{\text{samplerate}}\right)}$$

hvor sampleraten er 500 Hz, $\omega_{\text{træf}}$ er vinkelhastigheden, $\frac{\text{grad}}{\text{s}}$, i træføjeblikket, $\text{sample}_{\text{træf}}$ er sampleværdien i træføjeblikket og sample_0 er første sampleværdi hvor vinkelhastigheden overstiger 0 $\frac{\text{grad}}{\text{s}}$ i svingsløjfens fremsvingsfase. Herved får RAVD benævnelsen $\frac{\text{grad}}{\text{s}^2}$ og værdier som, i projektet, ligger i intervallet 10.000 – 200.000 $\frac{\text{grad}}{\text{s}^2}$. RAVD blev anvendt som parameter, da et højere færdighedsniveau burde give anledning til en bedre udnyttelse af den proximal til distal aktivering af kropssegmenterne (Phomsoupha & Laffaye, 2014), hvilket bør give en højere RAVD-værdi.



Figur 3. Vinkelhastigheder omkring y-aksen for fire smashslag (sort) og gennemsnittet af disse (rød) udført af forsøgsperson 11. Den stiplede trekant indikerer RAVD og cirkel indikerer træføjeblik.

2.3.3 Impulsmoment

Som beskrevet i afsnittet om impulsbevarelse kan impulsmomentet, H , anvendes som en indikator for fjerboldens udgangshastighed, på baggrund af følgende antagelser:

- 1) I træføjeblikket kan fjerbold og ketsjer betragtes som et lukket system.
- 2) Restitutionskoefficienten mellem fjerbold og ketsjer er ens for alle forsøgspersoner og for alle ketsjere.
- 3) Træfpunktet er det samme mellem alle spillere og slag.
- 4) Indgangshastighed og vinkel af fjerbolden varierer ikke.
- 5) Højere impulsmoment af ketsjeren vil resultere i en højere udgangshastighed af fjerbolden.

Til trods for at der ikke direkte kan prædikteres noget om fjerboldens udgangshastighed, så arbejder projektgruppen under antagelsen om, at et øget impulsmoment i træføjeblikket er bidragende til en højere udgangshastighed af fjerbolden. Impulsmomentet er udregnet på følgende måde:

$$H = I_{ketsjer} \cdot \omega_{træføjeblik}$$

3 Metode

Dette kapitel er en beskrivelse af projektets metodevalg, hvilket indebærer udstyr, kvantificering af ketsjeregenskaber, ketsjertilpasning, pilotforsøg, forsøg, valideringstest, dataindsamling og databehandling.

3.1 Udstyr

Følgende afsnit er en beskrivelse af udstyret anvendt i nærværende projekt.

3.1.1 Racket-O-Meter

Den nyudviklede ROM anvendes til kvantificering af forsøgspersonernes svingsløjfe, Figur 4. Kwan (2010) registrerede, at der i badminton kan forekomme acceleration og vinkelhastigheder over 50 g og $4600 \frac{\text{grad}}{\text{s}}$, hvorfor ROM'en er udviklet og fremstillet med to accelerometre på hhv. $\pm 16\text{ g}$ og $\pm 200\text{ g}$ og to gyroskoper på $\pm 6000 \frac{\text{grad}}{\text{s}}$, med en teoretisk samplingsfrekvens på 2000 Hz . Ved at anvende to accelerometre med forskellige målevidder øges sensitiviteten af målingerne ved de lave accelerationer, hvor det samtidig er muligt at måle høje accelerationer. De to gyroskoper er hhv. pitch/yaw og et pitch/roll, hvor de to pitch-akser er tilpasset, så data ikke er overbestemt. Under pilotforsøget, forsøget og valideringsforsøget var kun accelerometeret på $\pm 200\text{ g}$ og gyroskoperne på $\pm 6000 \frac{\text{grad}}{\text{s}}$ aktiveret samt samplingsfrekvensen var sat til 500 Hz .

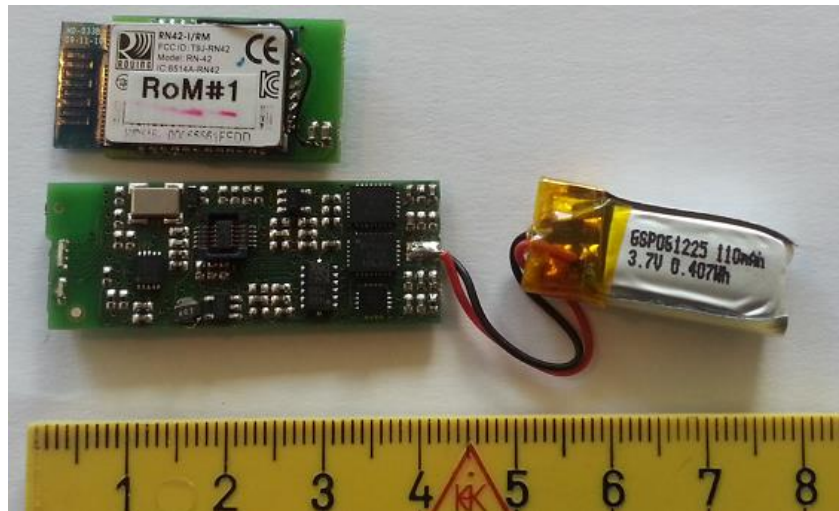
ROM'en afgiver data i form af heltal mellem 0 og 1023, hvor hvert niveau repræsenterer et konverteret analogt til digitalt signal (ADC-niveau). ADC-niveauet 512 skal betragtes som værende $0 \frac{\text{grader}}{\text{sek}}$ for gyroskopet og 0 g for accelerometeret når ROM'en ligger stille. Indledende blev omregningen fra ADC-niveau til vinkelhastighed og acceleration gjort på følgende måde:

$$\frac{\text{gyroskop målevidde}}{\text{antal adc niveauer}} \rightarrow \frac{12000 \frac{\text{grad}}{\text{s}}}{1024} = 11,7 \frac{\text{grad}}{\text{s}}$$

Omregningsfaktoren 11,7 fortæller, at ét ADC-niveau for gyroskopet repræsenterer $11,7 \frac{\text{grad}}{\text{s}}$. Den tilsvarende omregningsfaktor for accelerometer er følgende:

$$\frac{\text{accelerometer målevidde}}{\text{antal adc niveauer}} \rightarrow \frac{400\text{ g}}{1024} = 0,39\text{ g}$$

Omregningsfaktoren 0,39 fortæller, at ét ADC-niveau for accelerometeret repræsenterer $0,39\text{ g}$. Disse omregningsfaktorer blev anvendt under pilotforsøget, hvor der senere blev udført et valideringsforsøg for at undersøge omregningsfaktorerne nærmere.



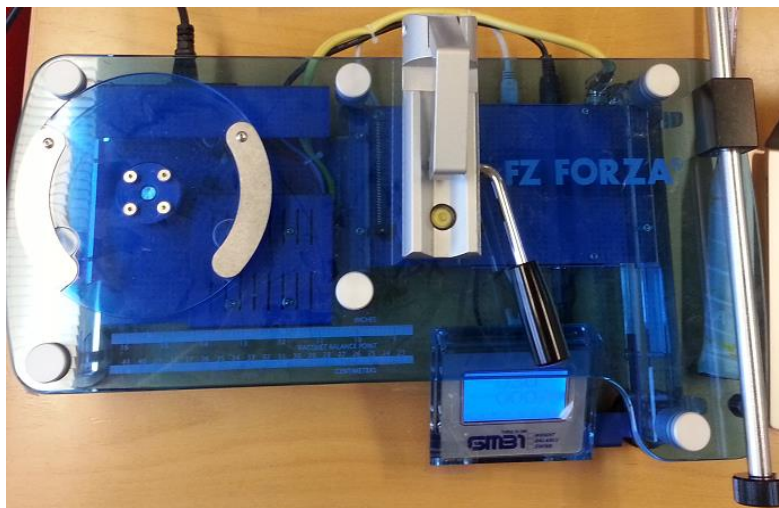
Figur 4. ROM med fastmonteret batteri og afmonteret bluetooth.

3.1.2 Ketsjer

I nærværende projekt blev en FZ FORZA Light 88 ketsjer anvendt. Ketsjermodellen blev valgt, da den angivne vægt er $80 \text{ g} \pm 2 \text{ g}$ med strenge og greb, hvilket betragtes som værende en meget let ketsjer. Ketsjeren blev udvalgt ud fra vægten og ikke ud fra inertimoment, da dette ikke var oplyst fra producentens side.

3.1.3 GOSEN GM31

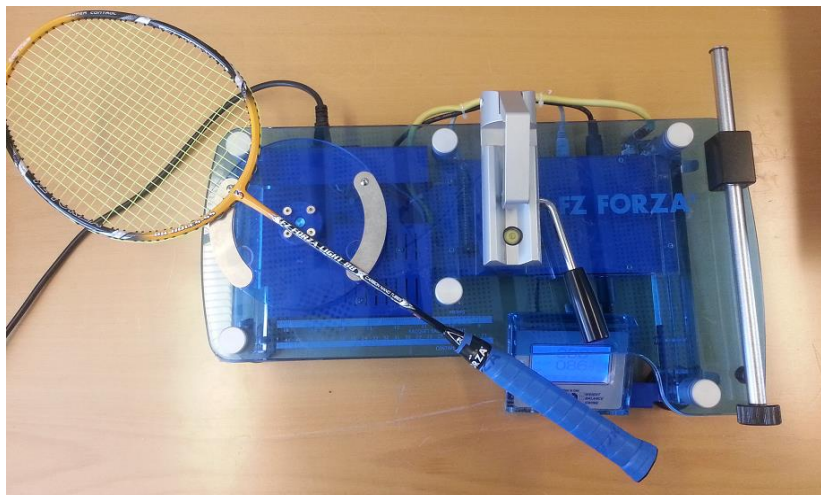
Til kvantificering af forsøgsketsjers egenskaber blev apparatet GOSEN GM31 (Osaka, Japan) anvendt, Figur 5. Da forsøgsketsjeren modificeres af flere omgange er vægt, balancepunkt og inertimoment målt for hver af disse, og kan ses i Tabel 5.



Figur 5. GOSEN GM31 der var anvendt til indsamling af ketsjer egenskaber.

3.1.3.1 Vægt

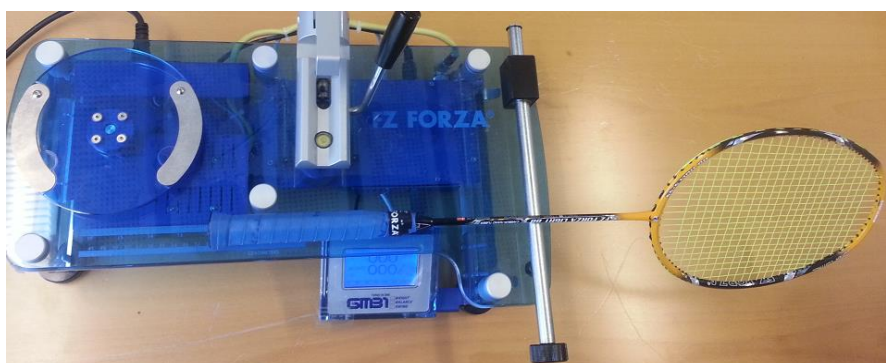
Til kvantificering af ketsjerens vægt lægges den på apparatets indbyggede vægt, Figur 6, hvor vægten måles ved hver af modificeringerne, og kan ses i Tabel 5.



Figur 6. Gosen GM31 der her blev anvendt til at måle ketsjerens vægt.

3.1.3.2 Balancepunkt

Balancepunktet findes ved at lægge ketsjeren som vist på Figur 7. Ketsjerhåndtaget hviler på pladen og skaftet på en drejemekanisme som drejes, så skaftets understøtning flyttes tættere på håndtaget indtil punktet, hvor håndtaget løftes fra pladen. Afstanden, fra enden af håndtaget til punktet på skaftet aflæses herefter, og angiver værdien for balancepunktet. Balancepunktet måles for hver af modificeringerne og kan ses i Tabel 5.



Figur 7. Måling af balancepunkt

3.1.3.3 Inertimoment

Til kvantificering af inertimomentet fastgøres ketsjeren som vist på Figur 8. Apparatets fjeder spændes ved, at ketsjeren drejes i urets retning til et punkt, hvor den ikke kan komme længere. Derefter gives slip på ketsjeren så den svinger frem og tilbage i en kortere periode, hvorefter apparatet angiver en værdi for ketsjerens inertimoment. Inertimomentet måles for hver af modificeringerne og kan ses i Tabel 5.

Apparatet estimerer inertimomentet, $I_{ketsjer}$, ud fra kendskabet til fjederkonstanten, k , og ketsjerens svingfrekvens, ω , i svingperioden, hvilket kan betragtes som en harmonisk svingning, på følgende måde (Pedersen, 2008):

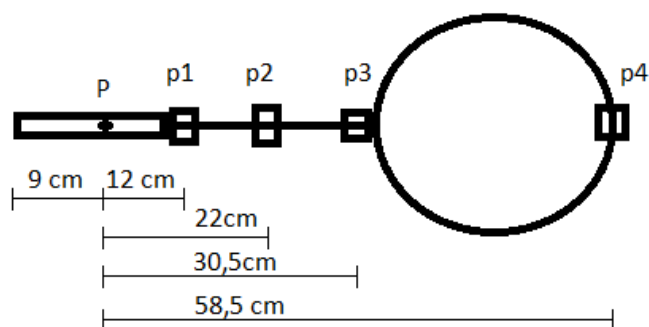
$$\omega = \sqrt{\frac{k}{I_{ketsjer}}} \rightarrow I_{ketsjer} = \frac{k}{\omega^2}$$



Figur 8. GOSEN GM31 her blev anvendt til at måle ketsjerens inertimoment

3.2 Ketsjermodificering

I studiet af Kwan et al. (2010a) blev en blyplade på 9 g placeret fire steder på en ketsjer, for at modificere ketsjerens inertimoment. Tilsvarende modificering laves i nærværende projekt, hvor et lod på 8 g placeres fire steder (p1, p2, p3, p4) på forsøgsketsjeren, Figur 9.



Figur 9. Ketsjerens rotationspunkt (p) og de fire placeringer af loddet (p1-p4)

Nedestående Tabel 5 viser, hvilke ændringer modificeringerne har givet anledning til, for de fire placeringer af loddet, for ketsjeregenskaber; vægt, balancepunkt og inertimomentet samt det analytisk beregnede inertimoment i forhold til de originale ketsjeregenskaber.

Ketsjer	Vægt (g)	Balancepunkt (mm)	Inertimoment ($kg \cdot m^2$)	
	Målt	Målt	Målt	Analytisk
KA - Original	81,5	300,0	0,00860	0,00823
KB - Modificeret (uden lod)	93,0	270,0	0,00870	0,00837
K1 - Modificeret (lod - p1)	102,0	265,0	0,00880	0,00835
K2 - Modificeret (lod - p2)	102,0	272,5	0,00900	0,00862
K3 - Modificeret (lod - p3)	102,0	280,0	0,00930	0,00898
K4 - Modificeret (lod - p4)	102,0	302,5	0,01120	0,01097

Tabel 5. Analytisk og målt vægt, balancepunkt og inertimoment for den originale ketsjer og dens modificeringer.

3.3 Ketsjertilpasning

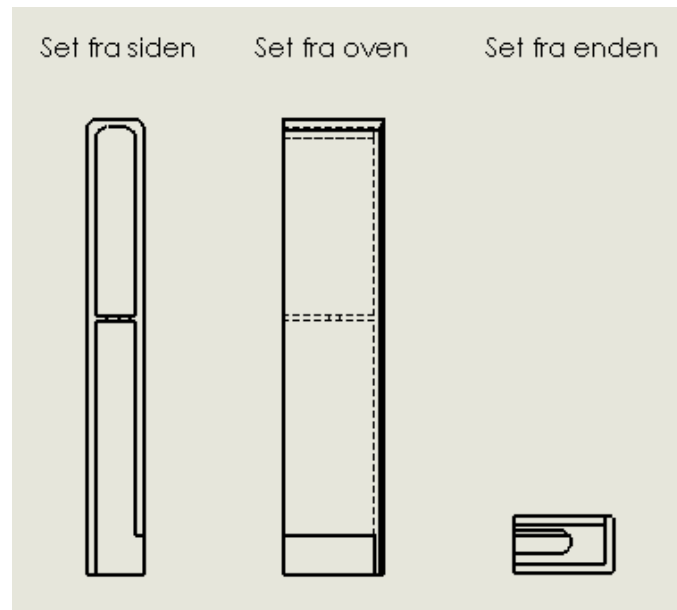
Computer-Aided Design (CAD) blev i nærværende projekt anvendt til konstruktion af ROM-holdere til implementering i ketsjerhåndtag og valideringsforsøg, samt modificering af ketsjerhåndtag. Til ændring af forsøgsketsjerens inertimoment blev et lod modelleret, som kunne placeres forskellige steder på ketsjeren. Designkriterierne blev gjort ud fra anvendelighed og minimering af vægt. CAD-modelleringen blev lavet i SolidWorks 2014 (Massachusetts, USA).

Efter CAD-modelleringen blev ROM-holderne og loddet 3D-printet på en Makerbot Replicator 2 og en Makerbot Replicator 2X (New York, USA) i PLA eller ABS plast. Alle 3D-print blev i MakerWare (MakerBot.com, 2014) konverteret fra STL format til x3g og printet med "fin" opløsning. Rafter blev tilføjet når det var nødvendigt for strukturen, men blev forsøgt undgået for så vidt muligt. Indstillingerne for temperatur og printhastighed blev sat til standard.

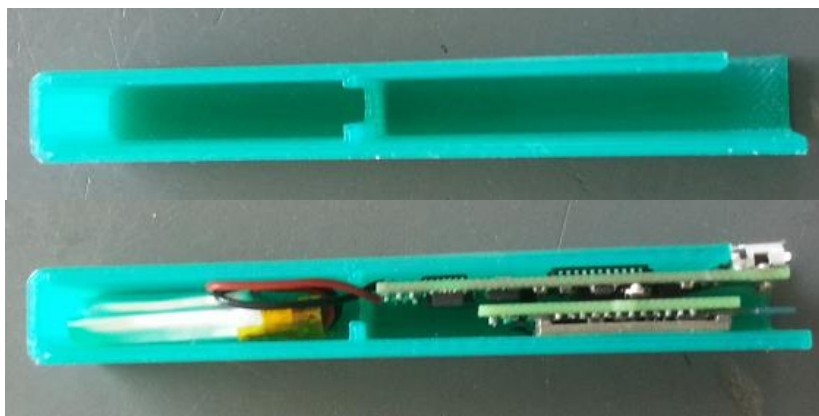
3.3.1 CAD modellering

3.3.1.1 ROM holder

Den endelige holder til ROM'en blev modelleret og printet med en godstykkelse på 1,5 mm, Figur 10 og 11, hvilket viste sig at være tilfredsstillende i forhold til vægt (7 g), styrke og kompatibilitet med den senere modificering af ketsjerhåndtag.



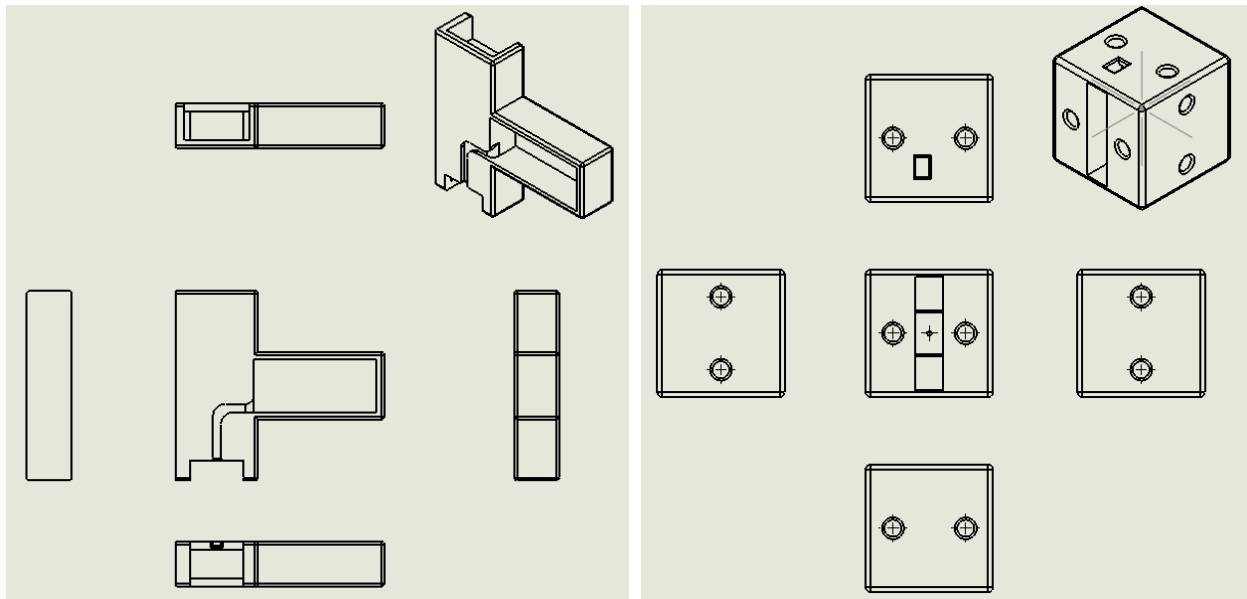
Figur 10. Arbejdstegningen for ROM-holderen til implementering i ketsjerhåndtag.



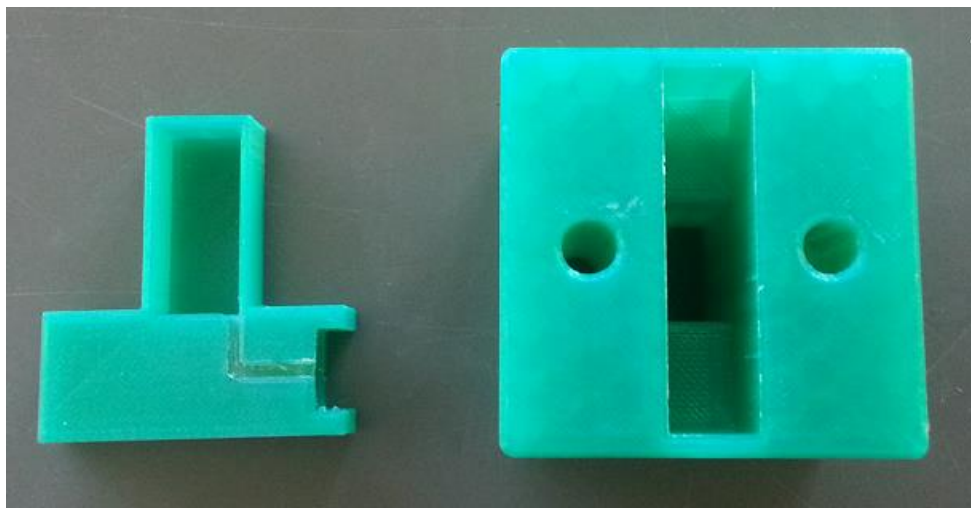
Figur 11. Det færdige resultat af den 3D-printede holder med og uden ROM.

3.3.1.2 Valideringsholder

For at kunne validere ROM'en, blev en holder modelleret og printet til dette formål, Figur 12 og 13. Da alle ROM'ens akser for gyroskop skulle kunne testes i positiv og negativ retning, blev holderens design en kubisk boks, som let kunne vendes i alle hovedretninger. Tanken ved at modellere valideringsholderen i to dele (indre og ydre) var, at ROM'en på denne måde bedst kunne fastgøres under valideringsforsøget.



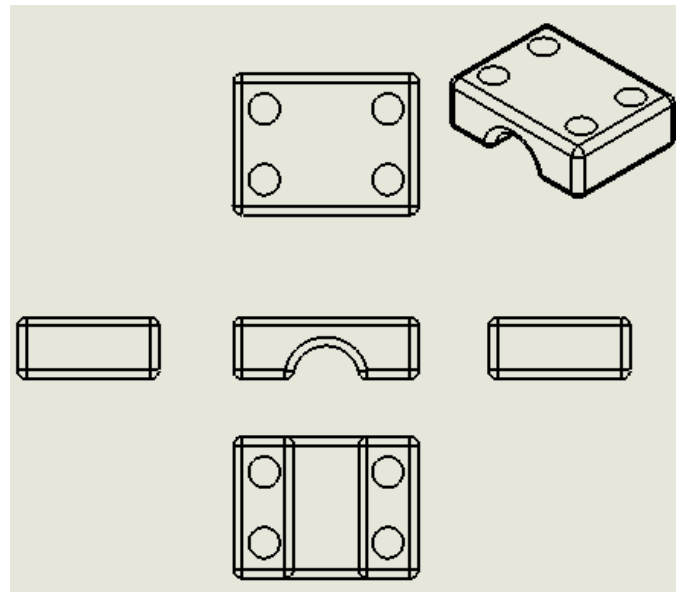
Figur 12. De to dele af valideringsholderen.



Figur 13. 3D-printet valideringsholder i to dele.

3.3.1.3 Lod

Til ændring af forsøgsketsjerens inertimoment blev et lod modelleret og printet, Figur 14 og 15. I studiet af Kwan et al. (2010a) blev en blyplade på 9 g anvendt, hvorfor loddet i dette projekt blev modelleret til at veje 8 g inklusiv skruer og bolte. Loddets vægt og forskellige placeringer gjorde det muligt at opnå samme ændringer af inertimomentet som Kwan opnåede med en blyplade på 9 g.



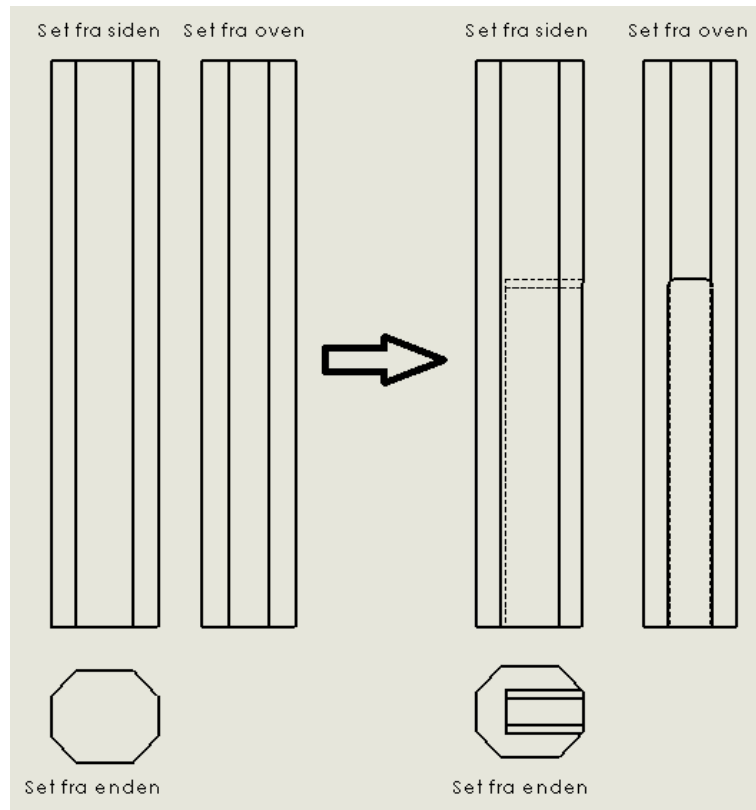
Figur 14. Modelleret lod.



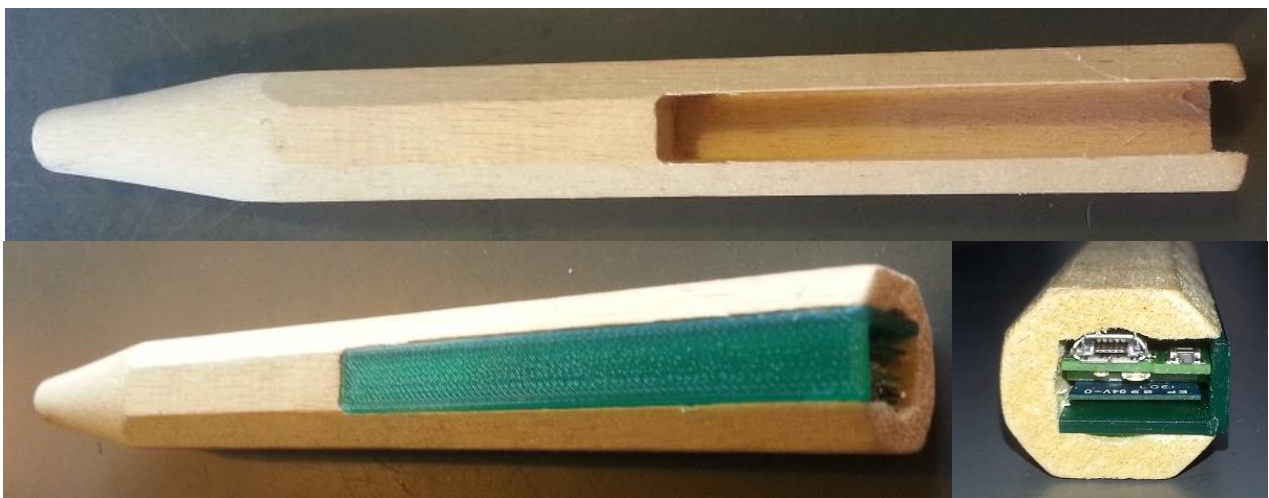
Figur 15. 3D-printet resultat af loddet inklusiv skruer og bolte.

3.3.1.4 Ketsjerhåndtag - modificering

Dimensionerne på forsøgsketsjerens håndtag blev opmålt, så den relevante del af håndtaget kunne modelleres og efterfølgende modificeres til implementering af den modellerede ROM-holder, Figur 16 og 17.



Figur 16. Modificeringen af det modellerede ketsjerhåndtag.



Figur 17. Modificeret råhåndtag med og uden ROM-holderen implementeret.

3.4 Pilotforsøg

Projektets pilotforsøg bestod af to dele, hvor første del omhandlede testning af forsøgsopstillingen, testprotokol, dataindsamling og databehandling. I anden del blev forsøgsopstillingen til valideringsforsøget testet. Under første del blev Ketsjer KB anvendt, Tabel 5.

3.4.1 Del 1 - Pilotforsøg

3.4.1.1 Forsøgspersoner

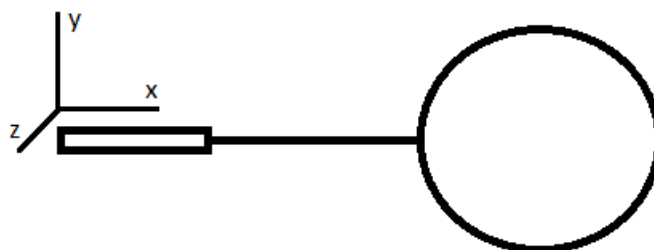
Otte forsøgspersoner med forskelligt færdighedsniveau blev rekrutteret til pilotforsøget, Tabel 6.

Forsøgsperson	Køn	Alder (år)	Højde (cm)	Vægt (kg)	Spillet (år)	Niveau (ungdom)
Fp1	M	29	188	118	0	Rekreationel
Fp2	M	24	180	75	3	B-række
Fp3	K	24	162	67	0	Rekreationel
Fp4	K	23	174	64	0	Rekreationel
Fp5	M	23	175	70	0	Rekreationel
Fp6	M	24	180	80	15	Elite
Fp7	M	24	181	82	0	Rekreationel
Fp8	M	23	178	65	0,5	D-række

Tabel 6. Personspecifikke data for de rekrutterede forsøgspersoners til pilotforsøgets.

3.4.1.2 Forsøgsprotokol

Indledningsvist blev ROM'en fastgjort i håndtaget på forsøgsketsjeren således, at fleksion og ekstension af håndledet roterer ketsjeren omkring x-aksen, pronation og supination af underarmen roterer ketsjeren omkring y-aksen og abduktion og adduktion af håndledet roterer ketsjeren omkring z-aksen, Figur 18. Kwan (2010) observerede, at øvede spillere fortrækker at blive feed'et af en oplægger i stedet for at slå til en fjerbold, som hænger stille i luften, men det anbefales også at fjerbolden ophænges i loftet for at minimere variation. På baggrund af dette blev det besluttet, at fjerbolden, som forsøgspersonerne skulle slå til, skulle hænges ned fra loftet. Inden de maksimale smashslag blev en selvvalgt badmintonspecifik opvarmning udført på minimum 5 min. Fjerboldens højde blev for hver forsøgsperson justeret til en individuelt foretrukken smashhøjde, hvor de fik mulighed for at øve slaget. Forsøgspersonerne blev derefter instrueret i at udføre ti på hinanden følgende maksimale smashslag som blev optaget.



Figur 18. Rotationsakserne af den anvendte badminton ketsjer.

3.4.1.3 Dataindsamling

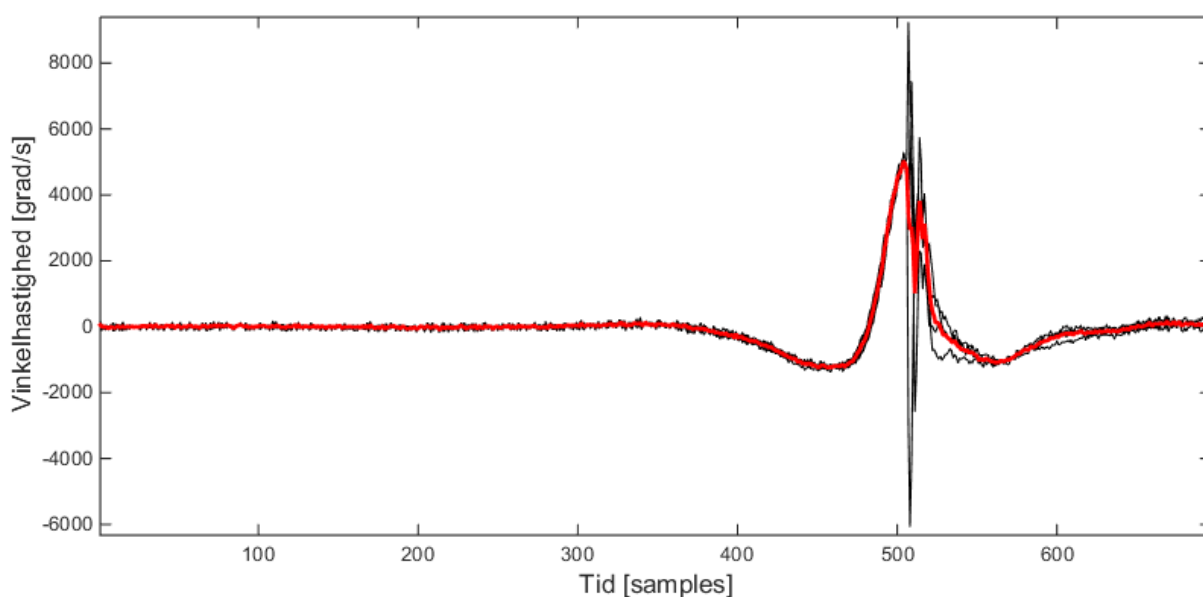
Projektgruppen har i samarbejde med John Hansen (M. Sc. EE., ph.d., Aalborg Universitet), udviklet et program i LabVIEW 2014 (v. 14.0f2 (32-bit), National Instruments Corporation, Texas), der blev anvendt til at optage og lagre forsøgsdata i en tekstfil, som ADC-niveauer mellem 0-1023, i følgende kolonner:

Gyro x-akse	Gyro y -akse	Gyro z-akse	Acc x-akse	Acc y-akse	Acc z-akse
-------------	--------------	-------------	------------	------------	------------

Dataindsamlingen blev gjort på en ASUS ZENBOOK UX32LN-R4077H med Bluetooth 4,0.

3.4.1.4 Databehandling

Data blev importeret i MATLAB R2014b (MathWorks, MA, USA) hvor de ti smashslag for hver forsøgsperson blev tilpasset hinanden, Figur 19. Tilpasningen blev gjort ud fra femte sample inden første vibration opstår i dataserien som følge af træføjeblikket mellem ketsjer og fjerbold. Slagene blev efterfølgende defineret som 500 samples op til det definerede træføjeblik. Den første vibration i træføjeblikket blev defineret når forskellen mellem to på hinanden følgende samples oversteg 35 ADC-niveauer, svarende til ca. $400 \frac{\text{grad}}{\text{s}}$.



Figur 19. Plottet smashslag (sort) og den gennemsnitlige smashslag (rød) for rotation omkring ketsjerens y-akse.

Den gennemsnitlige maksimale vinkelhastighed, vinkelhastighed i træføjeblikket og RAVD blev efterfølgende fundet for forsøgspersonernes ti smashslag. Det blev i databehandlingen også forsøgt at fitte en normalfordelingskurve på data for rotation omkring y-aksen. Der blev i pilotforsøget anvendt en sidste parameter, defineret som den maksimale vinkelhastighed i et smashslag. Dette blev gjort på baggrund af studiet af Kwan et al. (2010b) der fandt, at spillere havde maksimal vinkelhastighed før træføjeblikket. Projektgruppen havde derfor inkluderet denne som en parameter der kunne belyse noget omkring timing, hvis forskellen mellem denne og vinkelhastigheden i træføjeblikket var af en betydelig størrelse.

3.4.1.5 Resultater

Der kunne ikke spores nogen visuel forskel mellem grupperne ved inddeling efter niveau, for maksimal vinkelhastighed, vinkelhastighed i træføjeblikket og RAVD. Inddelingen efter køn viste, lavere maksimal vinkelhastighed, træf vinkelhastighed og RAVD for kvinderne.

Forsøgsperson	Maksimal vinkelhastighed ($\frac{grad}{s}$)	Træf vinkelhastighed ($\frac{grad}{s}$)	RAVD ($\frac{grad}{s^2}$)
Fp1	2293	2292	60382
Fp2	2392	2368	41441
Fp3	1547	1424	25255
Fp4	1557	1478	31454
Fp5	1916	1886	51428
Fp6	2088	2023	33566
Fp7	2117	2084	47250
Fp8	2015	2013	34438

Tabel 7. Gennemsnittet af ti smash for; maksimal vinkelhastighed, træf vinkelhastighed og RAVD.

3.4.1.6 Del 1 - Erfaring

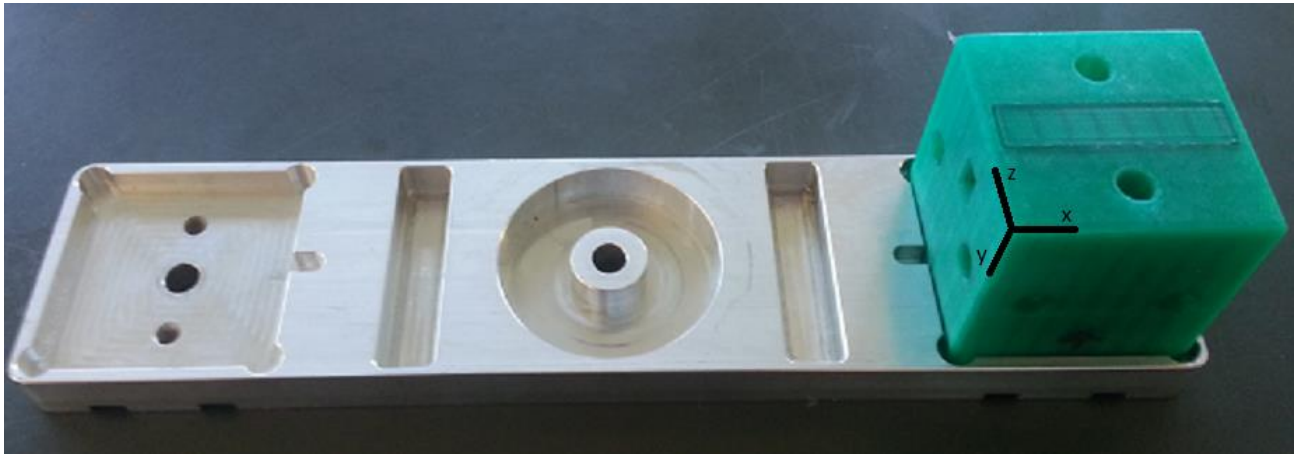
Ud fra pilotforsøget erfarede, at forsøgssopstillingen med fjerbolden hængende fra loftet medførte, at forsøgspersonernes smashslag ikke mindede om reelle smashslag, hvilket der også blev kommenteret på af flere forsøgspersoner. Dataindsamlingen fungerede delvist, dog med enkelte problemer i forhold til at opretholde en stabil Bluetooth-forbindelse mellem computer og ROM. Dette blev både tilskrevet en mulig okklusion af forbindelsen, samt komplikationer mellem ROM'ens firmware og LabVIEW programmet. Denne erfaring blev anvendt til at videreudvikle på LabVIEW-programmet for at skabe et mere stabilt optageinterface. Databehandlingen erfarede at fungere, da scriptet i MATLAB semiautomatisk kunne finde og tilpasse de ti slag for hver enkelt forsøgsperson. Derudover blev det valgt at stoppe med at anvende maksimal vinkelhastighed da denne blev fundet til at være næsten identisk med træf vinkelhastighed. Normalfordelingskurven blev også kasseret grundet uoverensstemmelser i forhold til de reelle resultater, der underestimerede vinkelhastigheden i træføjeblikket. Forklaring af påtænkte parametre fra normalfordelingskurven er beskrevet i Bilag 3.

3.4.2 Del 2 - Valideringsforsøg

Til valideringsforsøget udsættes ROM'en for en kendt roterende bevægelse udført af en numerisk styret fræsemaskine (Deckel Maho, DMU 60T, Sweden), som projektgruppen anser for at være en gylden standard. Fræserens rotationshastighed ved forskellige målinger sammenholdes med gyroskopets ADC-niveauer, og en omregningsfaktor udregnes. I dette pilot-valideringsforsøg tester projektgruppen kun gyroskopets y-akse i negativ retning.

3.4.2.1 Forsøgssopstilling

Indledningsvist blev et fikstur fremstillet, som ROM'en og valideringsholderen kunne fastgøres til, under valideringsforsøget, Figur 20. For at afbalancere fiksturet under forsøget, blev der lavet plads til to valideringsholdere.



Figur 20. Placeringen af ROM i valideringsholderen.

3.4.2.2 Forsøgsprotokol

Pilot-valideringsforsøget bestod af tre etaper for at teste dataindsamling samt at få en indledende ide om hvilke, hvis nogen, ændringer der skulle foretages til det rigtige valideringsforsøg. De tre etaper var:

- 1) ROM'en tændes og indsættes i valideringsholderen.
- 2) Valideringsholderen fastgøres til fiksturet således, at rotationen er omkring gyroskopets y-akse.
- 3) Fræseren sættes til at rotere med hhv. 0, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200 og 1400 RPM i negativ retning omkring gyroskopets y-akse. Hver rotationshastighed fastholdes i minimum 5 sekunder.

3.4.2.3 Dataindsamling

Dataindsamling blev gjort i LabVIEW-programmet på samme måde som i ovenstående pilotforsøg.

3.4.2.4 Databehandling

Databehandlingen blev kun gjort for negativ retning med intervaller på 200 RPM op til 1200 RPM, da gyroskopet ved 1400 RPM gik i mætning. Ved hver rotationshastighed blev der udvalgt 1000 sammenhængende samples og et gennemsnit af dette blev fratrasket det registrerede offset. Det gennemsnitlige ADC-niveau blev derefter divideret med den angivne rotationshastighed og ganget med omregningsfaktoren fra RPM til $\frac{\text{grad}}{\text{s}}$, udregningen er vist nedenfor.

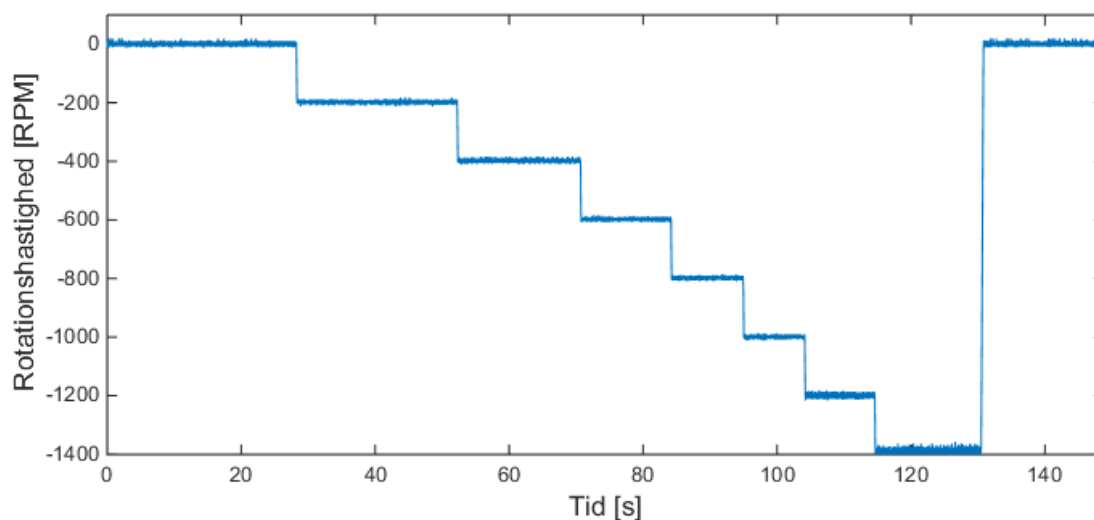
$$\text{omregningsfaktor} = \frac{RPM_{\text{niveau}}}{RPM_{\text{niveau}_0} - ADC_{\text{gennemsnit}}_{RPM_{\text{niveau}}}} * 6$$

Efterfølgende blev en Pearson korrelationsanalyse foretaget i MATLAB for at undersøge hvorvidt resultaterne ved forskellige rotationshastigheder var lineære.

3.4.2.5 Resultater

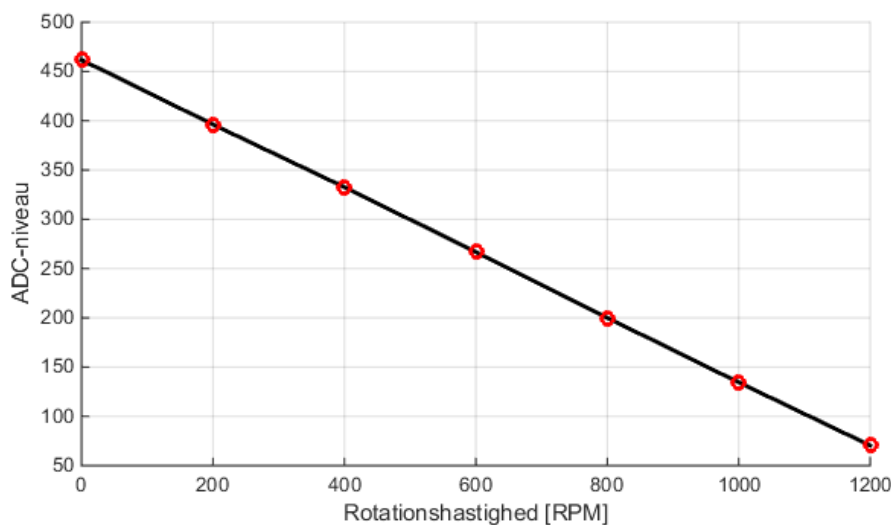
På Figur 21 er data fra valideringsforsøget angivet. Det ses, at gyroskopet har et offset på omkring 50,5 ADC-niveauer, da startværdien gennemsnitligt bør være 512 ved 0 RPM og ikke gennemsnitligt 461,5. Videre ses det, at data er gået i mætning ved 1400 RPM, hvorfor data kun behandles for 0-1200 RPM.

Der blev udregnet en gennemsnitlig omregningsfaktor fra ADC-niveau til $\frac{\text{grad}}{\text{s}}$ på 18,4 i stedet for den tidligere anvendte på 11,7.



Figur 21. Rådata fra pilot-valideringsforsøget

En korrelations koefficient, "*corrcoef*" i MATLAB, blev fundet af de syv forskellige spotmålinger og angivne vinkelhastighed af fræseren, hvor der blev fundet et lineært forhold ($r = -1$). Den lineære sammenhæng mellem ADC niveauer og RPM er illustreret på Figur 22.



Figur 22. Lineære sammenhæng mellem ADC-niveauer og RPM, røde cirkler er spot målingerne.

3.4.2.6 Del 2 - Erfaring

Ud fra validerings-pilotforsøget erfarede, at forsøgssopstillingen fungerede hensigtsmæssigt, da fræserens blast-screen ikke forhindrede eller komplicerede optagelsen. Fræseren gav ikke uønskede vibrationer i optagelserne eller anledning til at afslutte forsøget inden data gik i mætning ved 1400 RPM. Der blev fundet en omregningsfaktor fra ADC-niveau til $\frac{\text{grad}}{\text{s}}$ på 18,4 i negativ retning, i stedet for den tidligere antagede omregningsfaktor på 11,4. Slutteligt blev der fundet en lineær sammenhæng mellem rotationshastighed og ADC-niveauer. Der blev ikke fundet anledning til at ændre på væsentlige dele til valideringsforsøget udover en udvidelse til alle rotationsakser og retninger.

3.5 Forsøg

Følgende er en beskrivelse af projektets endelige forsøgsopstilling og protokol.

3.5.1 Forsøgspersoner

To forskellige grupper blev rekrutteret til forsøget bestående af mænd (Gruppe 1) og kvinder (Gruppe 2), i hhv. Tabel 7 og Tabel 8.

Der blev opstillet tre inklusionskriterier for forsøgspersonerne.

- 1) Alder mellem 15-30 år.
- 2) Ingen skader der vanskeliggjorde et maksimalt smashslag.
- 3) Ingen hård fysisk aktivitet 24 timer inden forsøget.

Gruppe 1	Køn	Alder (år)	Højde (cm)	Vægt (kg)	År spillet	Niveau (ungdom)	Niveau (senior)
Fp1	M	22	180	61	7	A-række	n/a
Fp2	M	16	173	69	0	Rekreationel	n/a
Fp3	M	25	175	92	0	Rekreationel	n/a
Fp4	M	25	183	88	6	C-række	n/a
Fp5	M	24	180	80	15	Elite	n/a
Fp6	M	25	184	76	13	Elite	n/a
Fp7	M	25	193	97	19	Mester	Danmarksserie
Fp8	M	22	186	75	6	A-række	n/a
Fp9	M	22	176	77	8	Mester	n/a
Fp10	M	22	183	94	1	Rekreationel	n/a
Fp11	M	22	188	73	14	Elite	1. Division
Fp12	M	26	190	80	0	Rekreationel	n/a
Fp13	M	23	183	78	1	Rekreationel	n/a
Fp14	M	25	184	80	0	Rekreationel	n/a
Fp15	M	22	187	85	6	A-række	Serie 2
Fp16	M	25	171	82	2	D-række	n/a

Tabel 7. Mandegruppens personspecifikke data.

Gruppe 2	Køn	Alder (år)	Højde (cm)	Vægt (kg)	År spillet	Niveau (ungdom)	Niveau (senior)
Fp1	K	24	162	67	0	Rekreationel	n/a
Fp2	K	23	174	64	0	Rekreationel	n/a
Fp3	K	23	170	54	13	A-række	Jyllandsserie
Fp4	K	24	164	61	0	Rekreationel	n/a
Fp5	K	20	177	59	2	Rekreationel	n/a
Fp6	K	23	171	58	4	C-række	n/a
Fp7	K	25	164	64	17	Mester	n/a

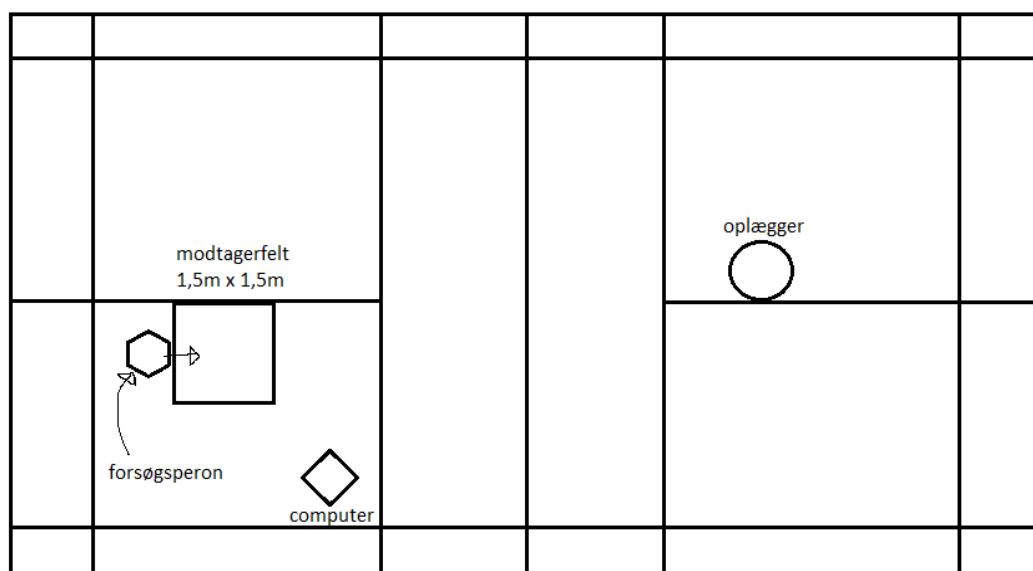
Tabel 8. Kvindegruppens personspecifikke data.

3.5.2 Forsøgsopstilling

På baggrund af erfaringerne fra pilotforsøget blev forsøgsopstillingen ændret således, at forsøgspersonerne skulle slå til en fjerbold i bevægelse, da udførelse af slaget i pilotforsøget ikke mindede om et reelt

smashslag. Forsøget blev udført på en badmintonbane, hvor en erfaren badmintonspiller lavede høje serve ind i et modtagerfelt på 1,5 x 1,5 meter, som forsøgspersonerne skulle starte bagved. Herved nødsages forsøgspersonerne til at træde et skridt frem og ind i fjerbolden, hvilket projektgruppen erfarede, gav et mere reelt smashslag, Figur 23. Modtagerfeltet var med til at standardisere oplæggerens serve og modtagelsen af oplægget, således at en eventuel feeder-faktor blev minimeret.

Til forsøget anvendes de modificerede forsøgsketsjere K1-K4, Tabel 5.



Figur 23. Illustration af forsøgsopstillingen.

3.5.3 Forsøgsprotokol

Indledningsvist blev der lavet en randomiseret rækkefølge for anvendelse af forsøgsketsjeren for forsøgspersonerne. Forsøgsproceduren blev forklaret mundtligt til alle forsøgspersonerne, hvorefter et mundtligt samtykke blev givet.

Forsøgsprotokollen var følgende:

- a) Selvalgt badmintonspecifik opvarmning på 5-10 minutter.
- b) Tilvænning af forsøgsopstilling, instruktion af fokuspunkter og min. fem submaksimale smash.
- c) Tilvænning af smashudførelsen af ketsjeren ved tre sub-maksimale smash.
- d) Seks maksimale smashslag.

Punkt c) og d) blev gentaget for hver ketsjer. Under forsøget var forsøgspersonerne iført sporstøj for ikke at begrænse deres bevægelser under forsøget. Såfremt forsøgspersonerne udviste eller informerede om udmattelse blev der holdt en pause. Under forsøget blev forsøgspersonerne gentagende gange informeret om fem fokuspunkter i prioriteret rækkefølge.

- 1) Udførelsen af slagene skulle være med maksimal kraft.

- 2) Hvis forsøgsperson eller oplæggeren vurderede oplægget til at være dårligt skulle fjerbolden falde til jorden.
- 3) Ketsjeren skulle vende samme vej.
- 4) Hvis de følte sig udtrættet var der mulighed for pause.
- 5) Forsøgspersonen til en hver tid kunne afbryde forsøget.

Tiden mellem hvert af de seks smashslag ved hver modificering blev ikke standardiseret grundet det lave slagvolumen og den varierende tid. Den varierende tid kom som konsekvens af fejloplæg og missede slag.

3.5.4 Dataindsamling

Dataindsamlingen blev gjort på samme måde som i pilotforsøget, dog i en nyere version af LabVIEW-programmet, hvor batteriets spændingsniveau var tilføjet.

3.5.5 Databehandling

Databehandlingen blev foretaget i MATLAB, hvor forsøgspersonernes seks smashslag, for hver ketsjer, blev tilpasset hinanden som i pilotforsøget. Grundet gyroskopets varierende offset mellem forsøgspersonerne blev vinkelhastighederne udregnet som forskellen mellem gyroskopet i hvile og bevægelse. For hvert af de seks slag anvendes de fire første registrerede smashslag til videre databehandling. For de fire slag blev gennemsnit og standardafvigelser udregnet for de tre parametre. Resultaterne blev derefter gemt i Excel 2010 (Microsoft, Redmond, USA) og importeret til SPSS 22 (IBM, New York, USA), hvor Repeated Measures ANOVA'er og One-Way ANOVA'er blev gennemført. Repeated Measures ANOVA'erne anvendes til at undersøge indflydelsen ved modificering af inertimoment mens andre variable holdes konstante, hvor en efterfølgende LSD post hoc test blev udført, hvis en signifikant forskel blev fundet. One-Way ANOVA'erne anvendes til at undersøge om ROM'en kunne identificere forskelle mellem grupper på forskellige færdighedsniveauer ved brug af de udvalgte parametre. Hvis en signifikant forskel blev fundet, blev der udført en Tukey's post hoc test for at identificere signifikansen.

3.6 Valideringsforsøg

Pilot-valideringsforsøget viste, at forsøgsopstillingen og dataindsamlingen fungerede efter hensigten. Derfor laves samme forsøgsopstilling, hvor alle gyroskopets akser testes, både i positiv og negativ retning. Derudover blev der også testet for at undersøge om batteriets spændingsniveau har en indflydelse - dette blev kun gjort for gyroskopets y-akse.

3.6.1 Forsøgsprotokol

Med henblik på at validere samtlige af gyroskopets akser udvides forsøget fra pilot-valideringsforsøget. Det endelige valideringsforsøg bestod af tre etaper for hver af de tre akser, i positiv og negativ retning.

- 1) ROM'en tændes og indsættes i valideringsholderen.
- 2) Valideringsholderen fastgøres til fiksturet således, at rotationen sker omkring ROM'ens ønskede akse.
- 3) Fræseren sættes til at rotere med hhv. 0, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200 og 1400 RPM. Hver rotationshastighed fastholdes i minimum 5 sekunder.

Efterfølgende blev indflydelsen af batteriets spændingsniveau testet, ved at lade fræseren rotere med 200 RPM imens data blev optaget, indtil batteriet løb tør for strøm.

3.6.2 Dataindsamling

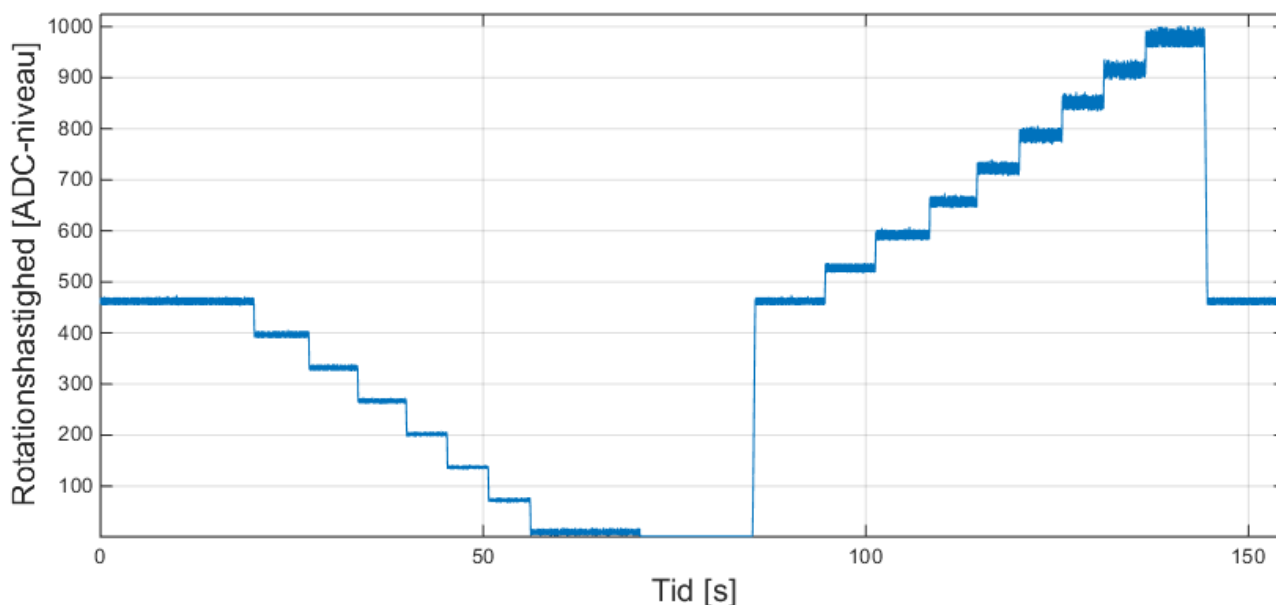
Dataindsamlingen blev gjort på samme måde som i pilot-valideringsforsøget, med den tilføjelse, at batteriets spænding er tilføjet i syvende kolonne.

Gyro x-akse	Gyro y-akse	Gyro z-akse	Acc x-akse	Acc y-akse	Acc z-akse	Batterispænding
-------------	-------------	-------------	------------	------------	------------	-----------------

3.6.3 Databehandling

Data blev for begge tests behandlet i MATLAB. Omregningsfaktoren blev udregnet for hver akse RPM-niveau og retning, hvilket viste, at der var en forskel mellem akserne og mellem retningerne. På Figur 24 ses, at gyroskopets y-akse er gået i mætning ved 1400 RPM i negativ retning, hvor det for den positive retning kan måle op til 1600 RPM. Omregningsfaktoren blev fundet ud fra et gennemsnit af 1000 samples ved hver rotationshastighed.

$$\text{omregningsfaktor} = \frac{RPM_{\text{niveau}}}{RPM_{\text{niveau}_0} - ADC_{\text{gennemsnit}}_{RPM_{\text{niveau}}}} * 6$$

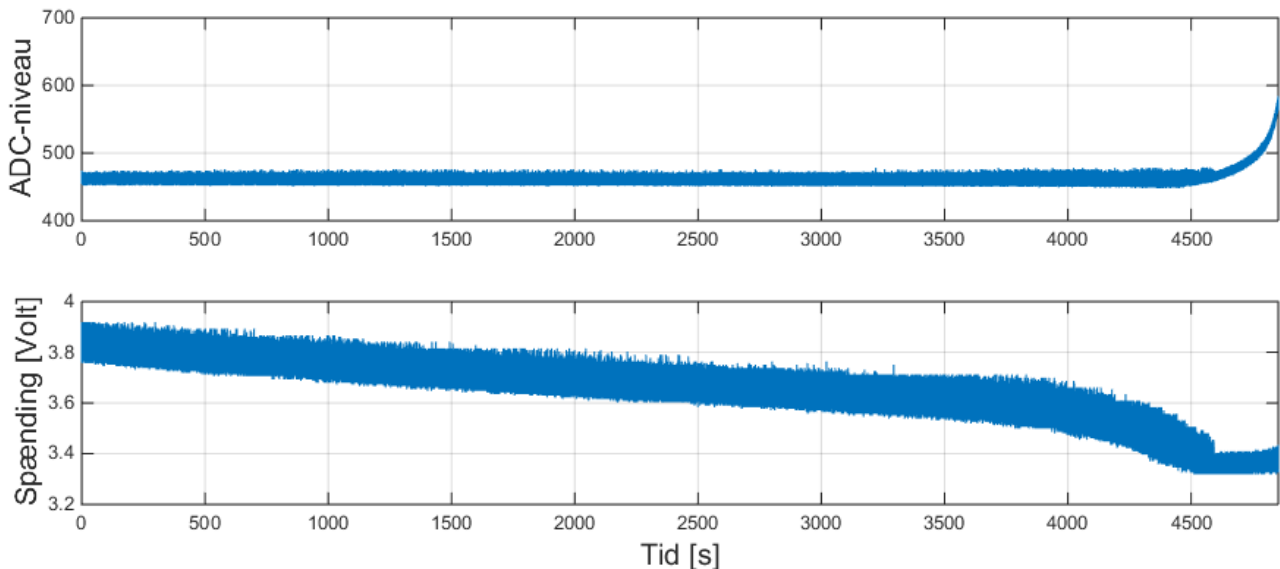


Figur 24. Rådata af rotation omkring y-aksen fra valideringsforsøget.

Til analyse af batterispændingens indflydelse på ROM'ens output, blev data for gyroskopets y-akse og batterispænding plottet til visuel inspektion, Figur 25. Data som viste fræserens opstart/acceleration, blev

fjernet med MATLAB's "Brush/select data" værktøj, inden yderligere behandling. For den første times optagelse blev der lavet en lineær regression for gyroskopets tre akser, da denne giver hældningskoefficienten a , der fortæller om output ændrer sig over tid, hvis $a \neq 0$.

$$f(x) = a \cdot x + b$$



Figur 25. Data for gyroskopets y-akse i forhold til batteriets spændingsniveau, øverst gyroskop, nederst batterispænding.

4 Resultater

I dette kapitel vil resultaterne fra forsøget og valideringsforsøget blive præsenteret. Først præsenteres resultaterne fra valideringsforsøget, da disse har direkte indflydelse på resultaterne fra det reelle forsøg.

4.1 Valideringsforsøg

4.1.1 Batterispænding

Tabel 9 viser resultatet af den lineære regression og den udregnede hældningskoefficient, a , for de tre akser.

Rotationsakse	a	b
x	-0,00021	480
y	-0,0000441	461,1
z	-0,0000419	469,1

Tabel 9. Resultater af den lineære regression for alle tre rotationsakser.

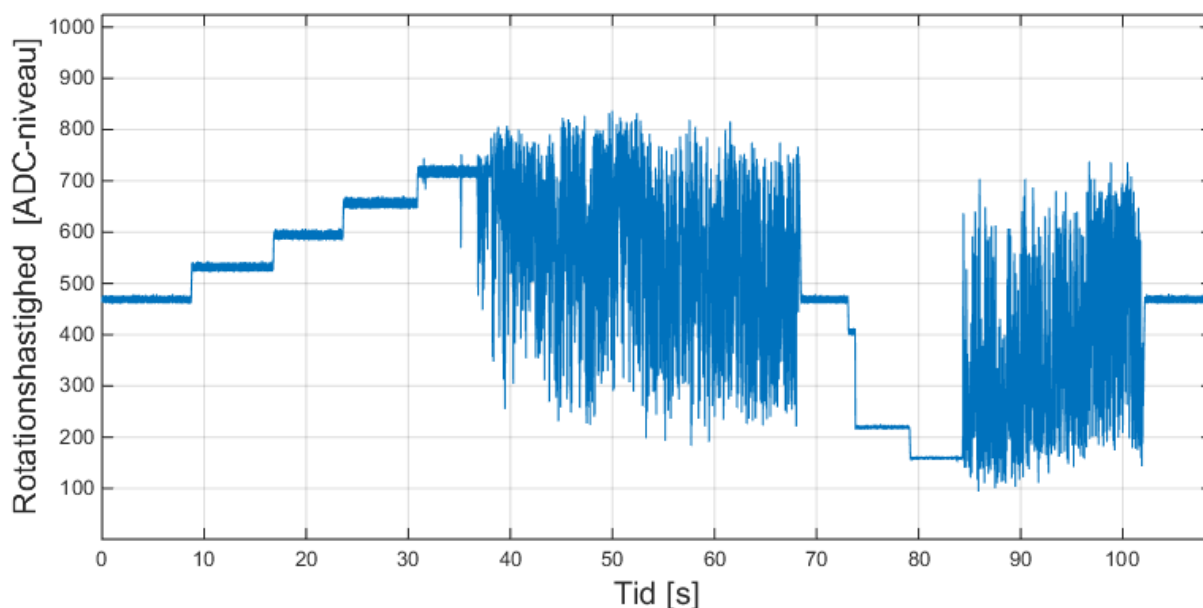
4.1.2 Omregningsfaktor

Omregningsfaktoren fra ADC-niveauer til $\frac{\text{grad}}{\text{s}}$ blev udregnet for alle akser, retninger og RPM-niveauer. Resultaterne for gyroskopets y-akse er angivet i Tabel 10, hvor det ses, at omregningsfaktoren er højere i positiv retning end negativ retning ($< 0,1 \frac{\text{grad}}{\text{s}}$). Fremadrettet er omregningsfaktoren $18,5 \frac{\text{grad}}{\text{s}}$ anvendt for begge retninger og alle rotationshastigheder for y-aksen.

Rotationshastigheder	Positiv retning $\left(\frac{\text{grad}}{\text{s}}\right)$	Negativ retning $\left(\frac{\text{grad}}{\text{s}}\right)$
200 RPM	18,52	18,43
400 RPM	18,51	18,43
600 RPM	18,48	18,44
800 RPM	18,48	18,44
1000 RPM	18,48	18,46
1200 RPM	18,50	18,49

Tabel 10. Omregningsfaktoren for gyroskopets y-akse ved de anvendte RPM-niveauer.

For x- og z-akserne blev den gennemsnitlige omregningsfaktor fundet til at være hhv. $19 \frac{\text{grad}}{\text{s}}$ og $18,5 \frac{\text{grad}}{\text{s}}$. Omregningsfaktoren for z-aksen blev kun udregnet op til 800 RPM, da resultaterne blev ustabile i begge retninger ved rotationshastigheder over 800, Figur 26. Resultaterne x- og z-aksen er at finde i Bilag 4.



Figur 26. Rådata af z-aksen fra valideringsforsøget.

4.2 Forsøg

Indledningsvist blev der testet for om data var normalfordelt, ved brug af Shapiro-Wilks test. Alt data for både mænd og kvinder var normalfordelt på nær kvindernes vinkelhastighed og impulsmoment for Ketsjer 2 og den mandlige elitegruppe for vinkelhastighed med Ketsjer 4. Til trods for dette, er der stadig angivet standardafvigelser og samme statistiske metoder er anvendt som hvis alt var normalfordelt. Resultaterne for Shapiro-Wilks testen kan ses i Bilag 5.

For overskuelighedens skyld er vinkelhastigheder afrundet til nærmeste hele 100, for RAVD afrundet til nærmeste hele 1000 og to betydende decimaler for impulsmoment, undtagen i Tabel 11.

4.2.1 Repeated Measures ANOVA

For at undersøge indflydelsen ved modificering af inertimomentet, mens andre variable holdes konstante, udføres en Repeated Measures ANOVA for den mandlige og kvindelige gruppe, for hver parameter. Dette gøres ved at teste H_0 hypotesen som angiver, at alle ketsjere er ens. Den alternative hypotese H_a bliver herved, at der er en forskel mellem ketsjerne.

For alle Repeated Measures ANOVA'er testes for sfæricitet ved en Mauchly's Test of Sphericity. Hvis Mauchly's Test of Sphericity viste, at data ikke var sfærisk blev en Greenhouse-Geisser korrektion udført og resultaterne af denne angivet. Hvis Mauchly's Test of Sphericity viste data var sfærisk fordelt blev dette angivet og Sphericity Assumed (SA) anvendt. Hvis der blev fundet en signifikant forskel ($p < 0,05$) blev en Least Significant Difference (LSD) post hoc test udført for at identificere signifikansen.

I det følgende er den procentuelle forskel angivet i forhold til Ketsjer 1 på følgende måde.

$$\text{Procentforskel} = \left(\frac{\text{Parameter}_{\text{Ketsjer}_1}}{\text{Parameter}_{\text{Ketsjer}_{1-4}}} - 1 \right) \cdot 100 \%$$

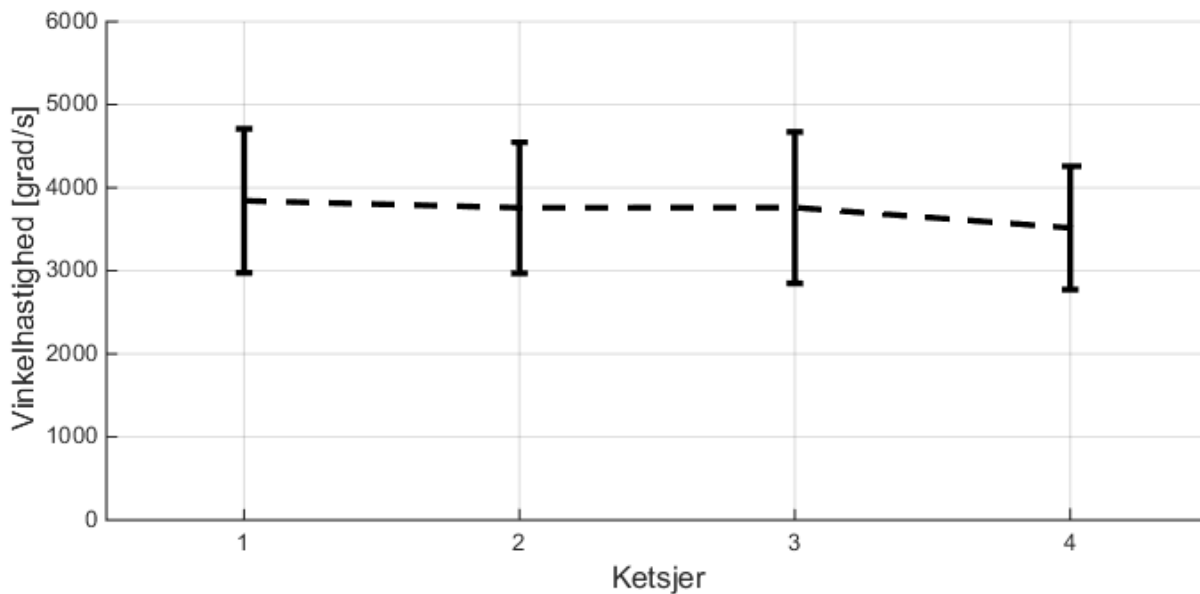
4.2.1.1 Mænd

4.2.1.1.1 Vinkelhastighed

Data for vinkelhastighederne viste sig ikke at være sfærisk fordelt ($p = 0,045$). Greenhouse-Geisser korrektionen indikerede en signifikant forskel ($p = 0,03$). Efterfølgende post-hoc test identificerede forskellen til at være mellem Ketsjer 1 og 4 ($p = 0,01$) og Ketsjer 2 og 4 ($p = 0,045$). Gennemsnit af ketsjerne, samt standardafvigelser og procentmæssig forskel er angivet i Tabel 11 og Figur 27.

Vinkelhastighed	n	Gennemsnittet ($\frac{\text{grad}}{\text{s}}$)	Standardafvigelse	Procentforskel (%)
Ketsjer 1	16	3.842	± 867	0
Ketsjer 2	16	3.759	± 788	2
Ketsjer 3	16	3.761	± 911	2
Ketsjer 4	16	3.517	± 742	9

Tabel 11. Gennemsnittet af vinkelhastighederne for mandegruppen, standardafvigelserne samt den procentmæssige forskel for de fire ketsjere.



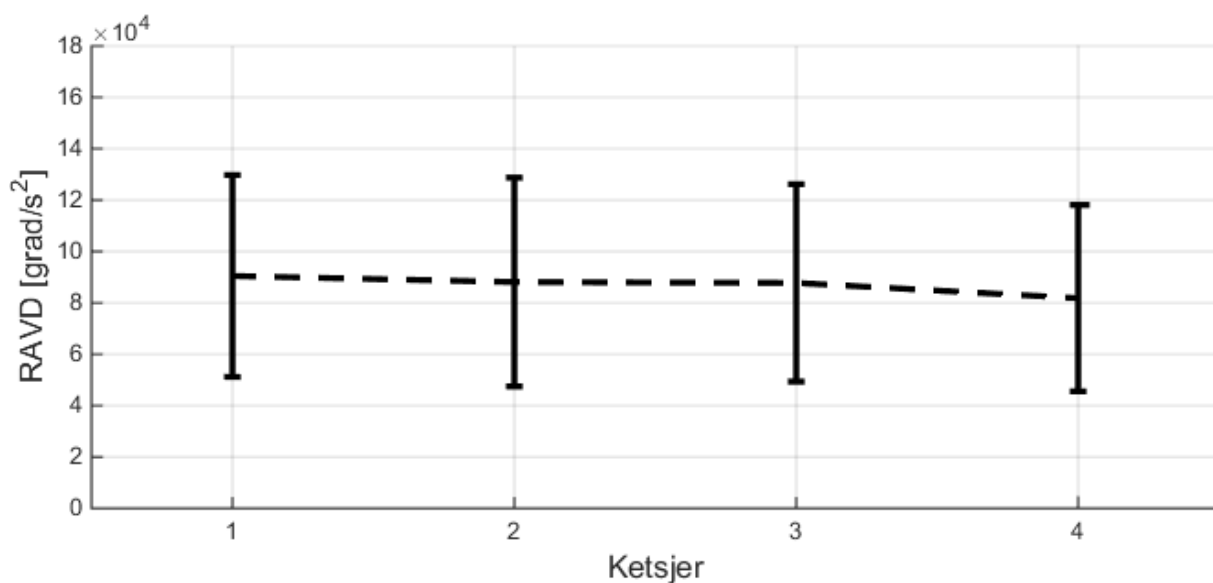
Figur 27. Gennemsnitsværdier og standardafvigelse for vinkelhastighederne for de fire ketsjere for mandegruppen.

4.2.1.1.2 RAVD

Data for RAVD viste sig at være sfærisk fordelt ($p=0,22$). SA indikerede ikke en signifikant forskel ($p=0,35$). Der blev fundet en numerisk forskel på mellem 3 og 11 % mellem ketsjerne. Gennemsnit af ketsjerne, samt standardafvigelse og procentmæssig forskel er angivet i Tabel 12 og Figur 28.

RAVD	n	Gennemsnittet ($\frac{grad}{s^2}$)	Standardafvigelse	Procentforskel (%)
Ketsjer 1	16	90.000	± 39.000	0
Ketsjer 2	16	88.000	± 41.000	3
Ketsjer 3	16	88.000	± 38.000	3
Ketsjer 4	16	82.000	± 36.000	11

Tabel 12. Gennemsnittet af RAVD for mandegruppen, standardafvigelse samt den procentmæssige forskel for de fire ketsjere.



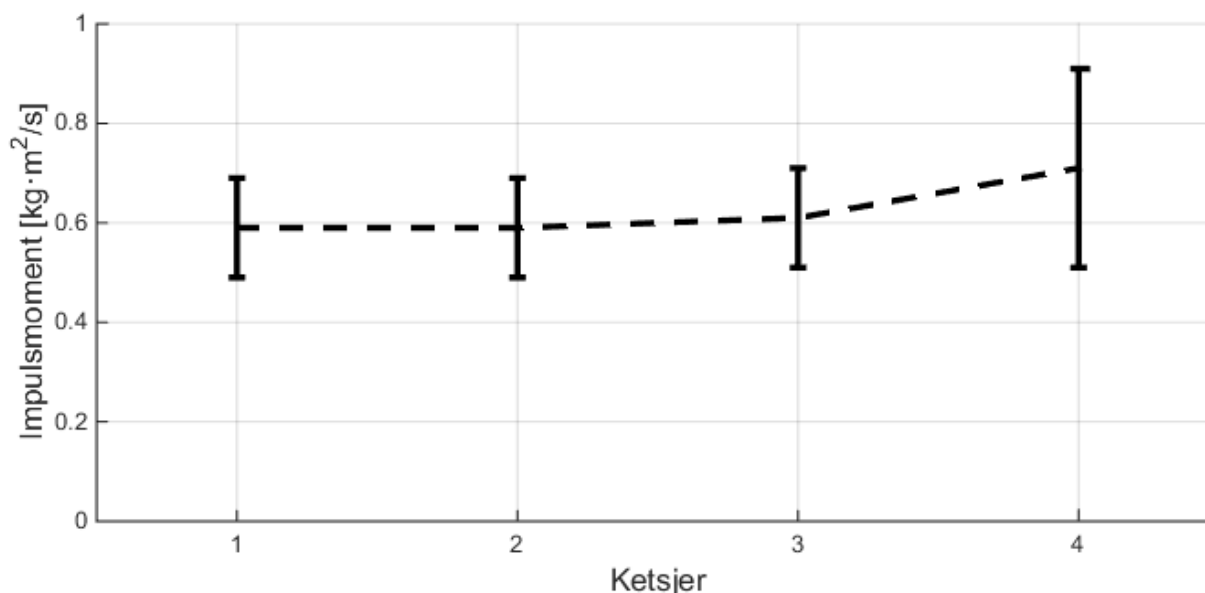
Figur 28. Gennemsnitsværdier og standardafvigelse for RAVD for de fire ketsjere i mandegruppen.

4.2.1.1.3 Impulsmoment

Data for impulsmoment viste sig at være sfærisk fordelt ($p=0,15$). SA indikerede en signifikant forskel ($p<0,01$). Efterfølgende post hoc test identificerede forskellen til at være mellem Ketsjer 1 og 4 ($p<0,01$), Ketsjer 2 og 4 ($p<0,001$) og Ketsjer 3 og 4 ($p<0,001$). Der blev fundet en numerisk forskel på mellem 0 og 17 % mellem ketsjerne. Gennemsnit af ketsjerne, samt standardafvigelser og procentmæssig forskel er angivet i Tabel 13 og Figur 19.

Impulsmoment	n	Gennemsnit ($\frac{kg \cdot m^2}{s}$)	Standardafvigelse	Procentforskel (%)
Ketsjer 1	16	0,60	$\pm 0,13$	0
Ketsjer 2	16	0,60	$\pm 0,12$	0
Ketsjer 3	16	0,61	$\pm 0,15$	3
Ketsjer 4	16	0,71	$\pm 0,16$	17

Tabel 13. Gennemsnittet af RAVD for mandegruppen, standardafvigelserne samt den procentmæssige forskel for de fire ketsjere.



Figur 29. Gennemsnitsværdier og standardafvigelserne for impulsmoment for de fire ketsjere i mandegruppen.

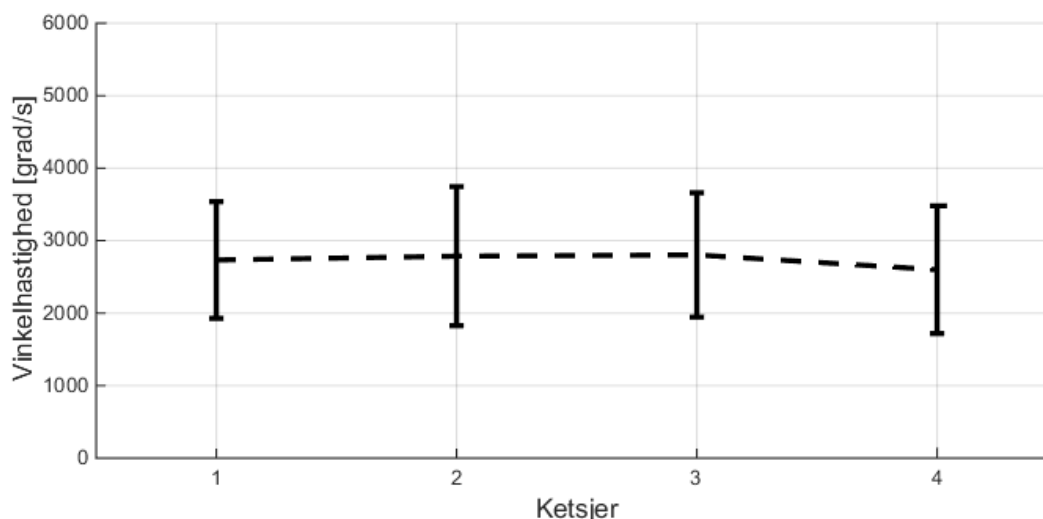
4.2.1.2 Kvinder

4.2.1.2.1 Vinkelhastighed

Data for vinkelhastighederne var sfærisk fordelt ($p=0,11$). SA indikerede ikke en signifikant forskel ($p=0,119$). Der var fundet en numerisk forskel på mellem 2 og 5 % mellem ketsjerne. Gennemsnit af ketsjerne, samt standardafvigelser og procentmæssig forskel er angivet i Tabel 14 og Figur 30.

Vinkelhastighed	n	Gennemsnittet ($\frac{grad}{s}$)	Standardafvigelse	Procentforskel (%)
Ketsjer 1	7	2.700	± 800	0
Ketsjer 2	7	2.800	± 1000	2
Ketsjer 3	7	2.800	± 900	3
Ketsjer 4	7	2.600	± 900	5

Tabel 14. Gennemsnittet af vinkelhastigheder for kvindegruppen, standardafvigelserne samt den procentmæssige forskel for de fire ketsjere.



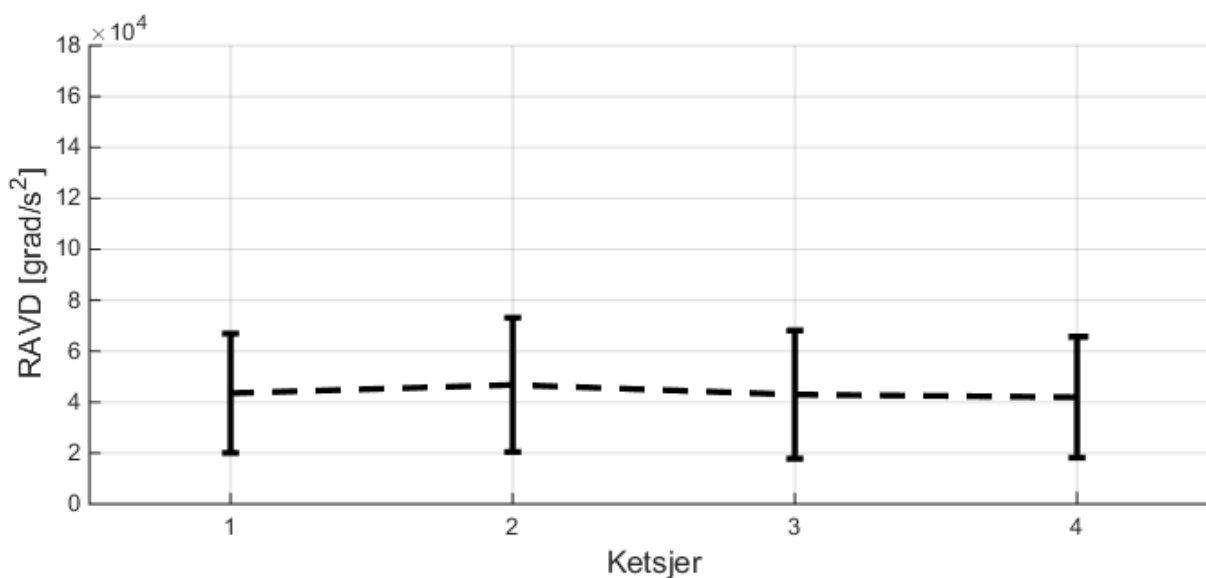
Figur 30. Gennemsnittet af vinkelhastigheder for kvindegruppen og standardafvigelserne for de fire ketsjere.

4.2.1.2.2 RAVD

Data for RAVD viste sig at være sfærisk fordelt ($p=0,21$). SA indikerede ikke en signifikantforskel ($p=0,328$). Der blev fundet en numerisk forskel på mellem 1 og 7 % mellem ketsjerne. Gennemsnit af ketsjerne, samt standardafvigelser og procentmæssig forskel er angivet i Tabel 15 og Figur 31.

RAVD	n	Gennemsnittet ($\frac{grad}{s^2}$)	Standardafvigelse	Procentforskel (%)
Ketsjer 1	7	43.000	± 23.000	0
Ketsjer 2	7	47.000	± 26.000	7
Ketsjer 3	7	43.000	± 25.000	1
Ketsjer 4	7	42.000	± 24.000	4

Tabel 15. Gennemsnittet af RAVD for kvindegruppen, standardafvigelserne samt den procentmæssige forskel for de fire ketsjere.



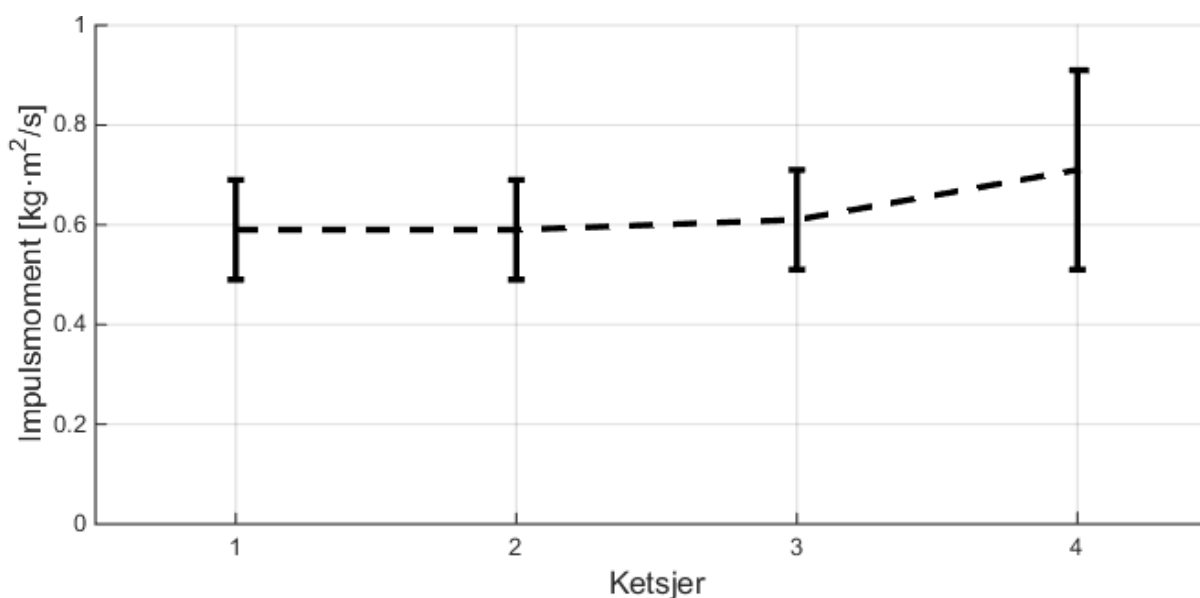
Figur 31. Gennemsnittet af RAVD for kvindegruppen og standardafvigelserne for de fire ketsjere.

4.2.1.2.3 Impulsmoment

Data for impulsmoment viste sig at være sfærisk fordelt ($p=0,11$). SA indikerede en signifikant forskel ($p=0,01$). Efterfølgende post hoc testen identificerede forskellen til at være mellem Ketsjer 1 og 3 ($p<0,01$), Ketsjer 1 og 4 ($p=0,01$) og Ketsjer 2 og 4 ($p=0,01$). Der var fundet en numerisk forskel på mellem 4 og 17 % mellem ketsjerne. Gennemsnit af grupperne, samt standardafvigelser og procentmæssig forskel er angivet i Tabel 16 og Figur 32.

Impulsmoment	n	Gennemsnit ($\frac{kg \cdot m^2}{s}$)	Standardafvigelse	Procentforskel (%)
Ketsjer 1	7	0,42	$\pm 0,12$	0
Ketsjer 2	7	0,44	$\pm 0,15$	4
Ketsjer 3	7	0,46	$\pm 0,14$	8
Ketsjer 4	7	0,51	$\pm 0,17$	17

Tabel 16. Gennemsnittet af impulsmoment for kvindegruppen, standardafvigelserne samt den procentmæssige forskel for de fire ketsjere.



Figur 32. Gennemsnittet af impulsmoment for kvindegruppen og standardafvigelserne forskel for de fire ketsjere.

4.2.2 One-Way ANOVA

For at undersøge om ROM'en kunne identificere forskelle mellem grupper af forskellige færdighedsniveauer, ved brug af de udvalgte parametrene, laves en One-Way ANOVA for hhv. den mandlige og kvindelige gruppe. Dette gøres ved at teste H_0 hypotesen som angiver, at alle færdighedsniveauer er ens. Den alternative hypotese H_a bliver herved, at der er en forskel mellem færdighedsniveauerne.

For alle One-Way ANOVA'erne blev der testet for en statistisk forskel mellem grupperne i forhold til færdighedsniveau. Hvis der blev fundet en signifikant forskel ($p<0,05$) blev en Tukey HSD post hoc test udført for at identificere forskellen.

Indledningsvist inddeles forsøgspersoners færdighedsniveauer i følgende tre grupper; Elite (Elite/Mester), Øvede (A, B, C, D) og Rekreationel (Rekreationel) for at muliggøre post hoc testning. For kvinderne var det ikke muligt at udføre post hoc test grundet lav gruppestørrelse.

I det følgende er den procentmæssige forskel angivet som den absolutte procentforskel i forhold til Elite gruppen.

$$\text{Procentforskel} = \left(\frac{\text{Parameter}_{Elite}}{\text{Parameter}_{Elite/\text{Øvede}/\text{Rekreationel}}} - 1 \right) * 100\%$$

4.2.2.1 Mænd

4.2.2.1.1 Vinkelhastighed

For alle fire ketsjere blev der fundet en signifikant forskel med p-værdier mellem 0,002 og 0,029.

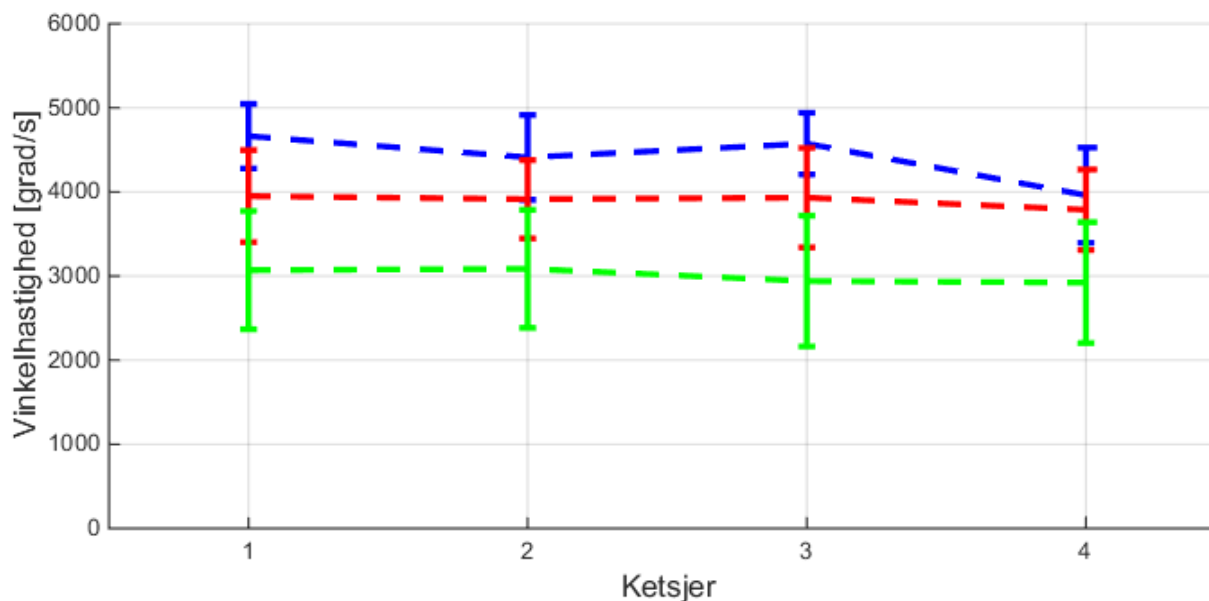
Den efterfølgende post hoc test viste følgende signifikans mellem grupperne for:

- Ketsjer 1: Elite og Rekreationel (p = 0,001).
- Ketsjer 2: Elite og Rekreationel (p = 0,006).
- Ketsjer 3: Elite og Rekreationel (p = 0,002), Øvede og Rekreationel (p = 0,049).
- Ketsjer 4: Elite og Rekreationel (p = 0,036).

Der blev fundet numeriske forskelle mellem grupperne på 5-56 %. Gennemsnit af gruppernes, standardafvigelser og procentmæssig forskel er angivet i Tabel 17 og Figur 33.

Vinkelhastighed		n	Gennemsnit ($\frac{grad}{s}$)	Standardafvigelse	Procentforskel (%)
Ketsjer 1	Elite	5	4.700	± 400	0
	Øvede	5	3.900	± 600	18
	Rekreationel	6	3.100	± 700	51
Ketsjer 2	Elite	5	4.400	± 500	0
	Øvede	5	3.900	± 500	13
	Rekreationel	6	3.100	± 700	43
Ketsjer 3	Elite	5	4.600	± 400	0
	Øvede	5	3.900	± 600	16
	Rekreationel	6	2.900	± 800	56
Ketsjer 4	Elite	5	4.000	± 600	0
	Øvede	5	3.800	± 500	5
	Rekreationel	6	2.900	± 700	36

Tabel 17. Gennemsnittet af de tre grupper for hver ketsjer, standardafvigelser samt den procentmæssige forskel mellem grupperne.



Figur 33. Gennemsnitsværdier og standardafvigelser for vinkelhastighederne af de tre grupper for de fire ketsjere. Elite (blå), Øvede (rød) og Rekreationel (grøn).

4.2.2.1.2 RAVD

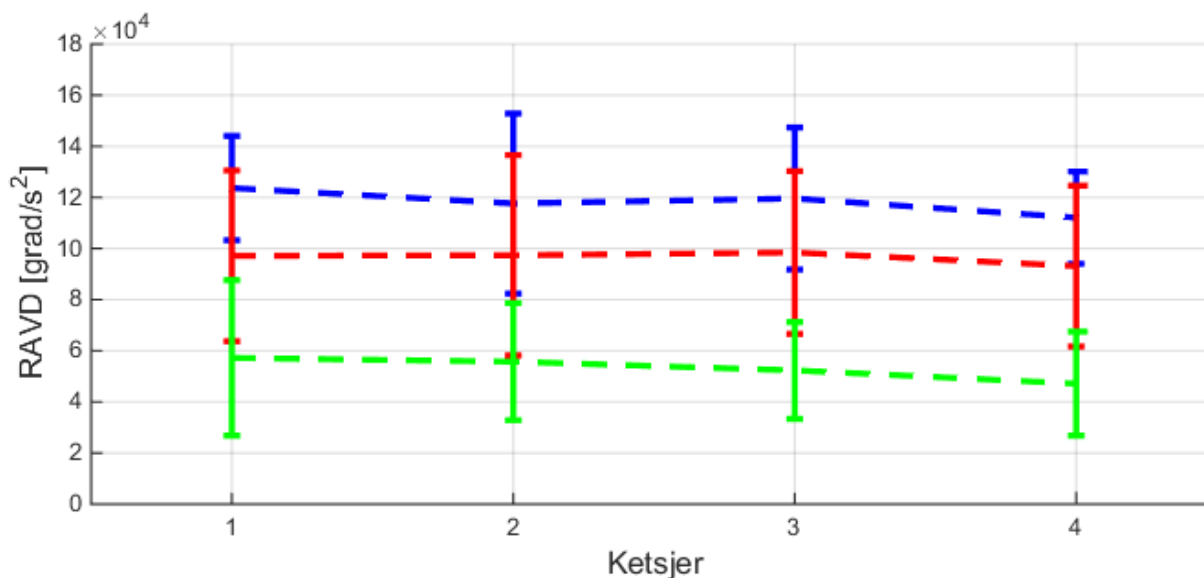
For alle fire ketsjere i forhold til RAVD blev der fundet en signifikant forskel med p-værdier mellem 0,002 og 0,021. Den efterfølgende post hoc test viser følgende signifikans mellem grupperne for:

- Ketsjer 1: Elite og Rekreationel ($p = 0,01$).
- Ketsjer 2: Elite og Rekreationel ($p = 0,02$).
- Ketsjer 3: Elite og Rekreationel ($p < 0,01$), Øvede og Rekreationel ($p = 0,03$).
- Ketsjer 4: Elite og Rekreationel ($p < 0,01$), Øvede og Rekreationel ($p = 0,02$).

Der blev fundet numeriske forskelle i mellem grupperne på 20-138 %. Gennemsnit af grupperne, standardafvigelser og procentmæssig forskel er angivet i Tabel 18 og Figur 34.

RAVD		N	Gennemsnit ($\frac{grad}{s^2}$)	Standardafvigelse	Procentforskel (%)
Ketsjer 1	Elite	5	124.000	± 20.000	0
	Øvede	5	97.000	± 33.000	27
	Rekreationel	6	57.000	± 30.000	116
Ketsjer 2	Elite	5	118.000	± 35.000	0
	Øvede	5	97.000	± 39.000	21
	Rekreationel	6	56.000	± 23.000	111
Ketsjer 3	Elite	5	120.000	± 28.000	0
	Øvede	5	98.000	± 32.000	22
	Rekreationel	6	52.000	± 19.000	129
Ketsjer 4	Elite	5	112.000	± 18.000	0
	Øvede	5	93.000	± 31.000	20
	Rekreationel	6	47.000	± 20.000	138

Tabel 18. Gennemsnittet af de tre grupper for hver ketsjer, standardafvigelser samt den procentmæssige forskel mellem grupperne.



Tabel 34. Gennemsnitsværdier og standardafvigelser for RAVD af de tre grupper for de fire ketsjere. Elite (blå), Øvede (rød) og Rekreationel (grøn).

4.2.2.1.3 Impulsmoment

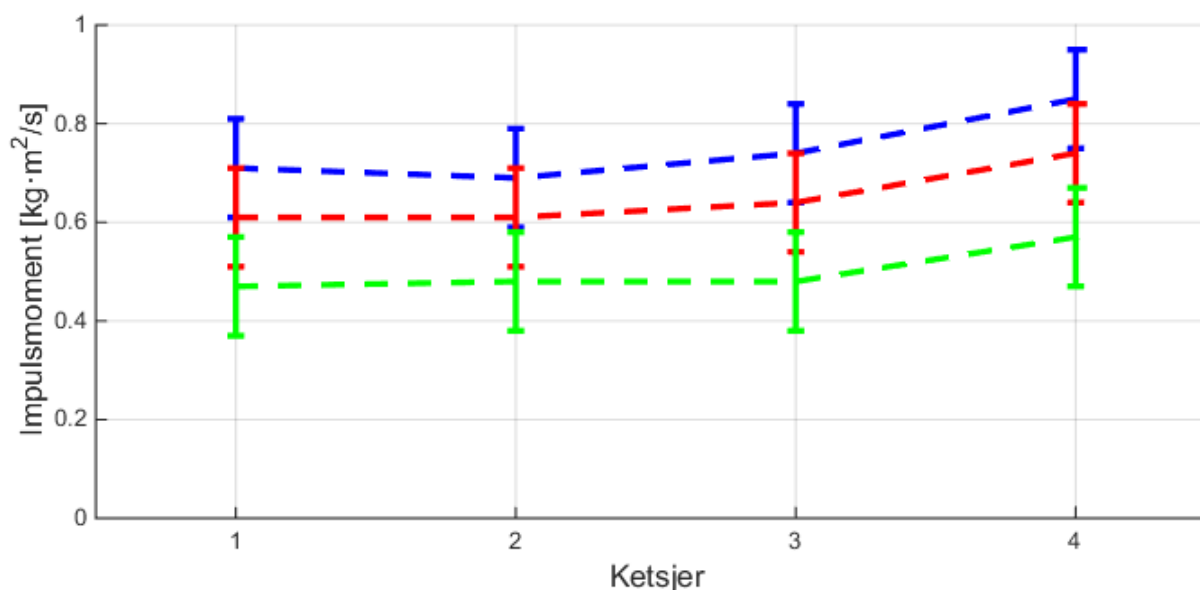
For alle fire ketsjere i forhold til impulsmoment blev der fundet en signifikant forskel med p-værdier mellem 0,002 og 0,007. Den efterfølgende post hoc test viser følgende signifikans mellem grupperne:

- Ketsjer 1: Elite og Rekreationel ($p = 0,001$).
- Ketsjer 2: Elite og Rekreationel ($p = 0,006$).
- Ketsjer 3: Elite og Rekreationel ($p = 0,002$), Øvede og Rekreationel ($p = 0,049$).
- Ketsjer 4: Elite og Rekreationel ($p = 0,003$).

Der blev fundet numeriske forskelle i mellem grupperne på 14-56 %. Gennemsnit af grupperne, samt standardafvigelser og procentmæssig forskel er angivet i Tabel 19 og Figur 35.

Impulsmoment		n	Gennemsnit ($\frac{kg \cdot m^2}{s}$)	Standardafvigelse	Procentforskel (%)
Ketsjer 1	Elite	5	0,71	0,06	0
	Øvede	5	0,60	0,08	18
	Rekreationel	6	0,47	0,11	52
Ketsjer 2	Elite	5	0,69	0,08	0
	Øvede	5	0,61	0,07	13
	Rekreationel	6	0,48	0,11	43
Ketsjer 3	Elite	5	0,74	0,06	0
	Øvede	5	0,64	0,10	16
	Rekreationel	6	0,48	0,13	56
Ketsjer 4	Elite	5	0,85	0,08	0
	Øvede	5	0,74	0,10	14
	Rekreationel	6	0,57	0,14	48

Tabel 19. Gennemsnittet af de tre grupper for hver ketsjer, standardafvigelser samt den procentmæssige forskel mellem grupperne.



Figur 35. Gennemsnitsværdier og standardafvigelser for impulsmomentet af de tre grupper for de fire ketsjere. Elite (blå), Øvede (rød) og Rekreativ (grøn).

4.2.2.2 Kvinder

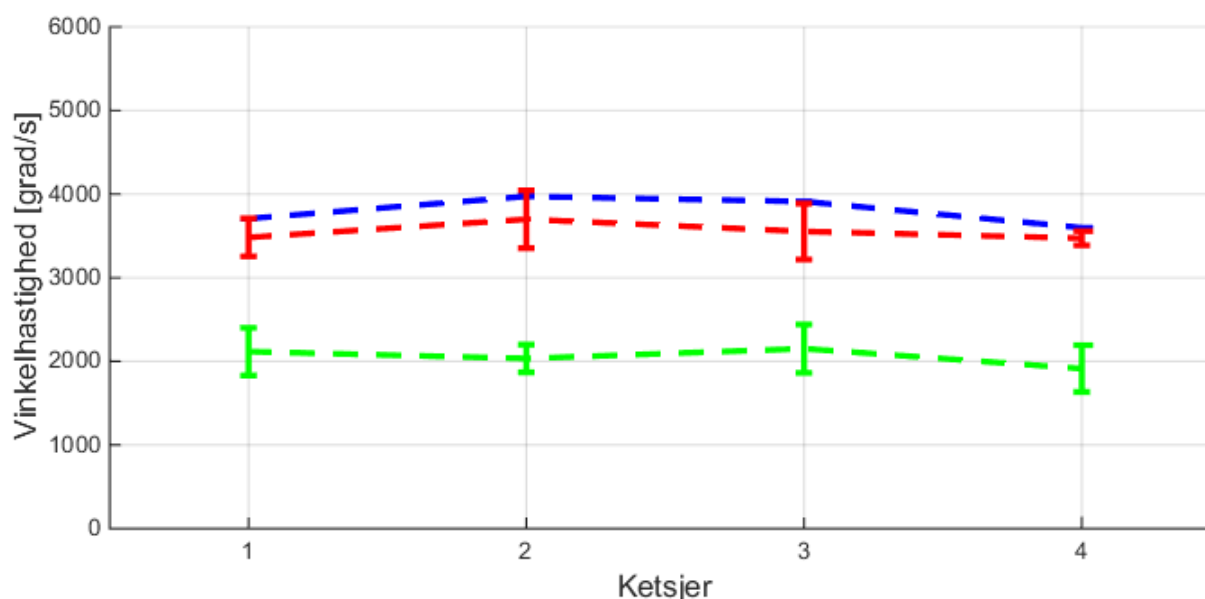
Ligeledes for de kvindelige forsøgspersoner laves en One-Way ANOVA, for at undersøge om ROM'en kunne identificere forskelle mellem grupper af forskellige færdighedsniveauer ved brug af de udvalgte parametre. Grundet lav gruppe størrelse var det ikke muligt at udføre en efterfølgende post hoc test. Det var ligeledes heller ikke muligt at lave en standardafvigelse af Elite gruppen, hvorfor denne er angivet som "n/a".

4.2.2.2.1 Vinkelhastighed

For alle fire ketsjere blev der fundet en signifikant forskel med p-værdier mellem 0,001 og 0,007. Der blev fundet numeriske forskelle i mellem grupperne på 4-95 %. Gennemsnit af grupperne, standardafvigelser og procentmæssig forskel er angivet i Tabel 20 og Figur 36.

Vinkelhastighed		n	Gennemsnit ($\frac{grad}{s}$)	Standardafvigelse	Procentforskel (%)
Ketsjer 1	Elite	1	3.700	n/a	0
	Øvede	2	3.500	± 200	7
	Rekreativ	4	2.100	± 300	75
Ketsjer 2	Elite	1	4.000	n/a	0
	Øvede	2	3.700	± 300	7
	Rekreativ	4	2.000	± 200	95
Ketsjer 3	Elite	1	3.900	n/a	0
	Øvede	2	3.600	± 300	10
	Rekreativ	4	2.200	± 300	81
Ketsjer 4	Elite	1	3.598	n/a	0
	Øvede	2	3.472	± 100	4
	Rekreativ	4	1.913	± 300	88

Tabel 20. Gennemsnittet af de tre grupper for hver ketsjer, standardafvigelser samt den procentmæssige forskel mellem grupperne.



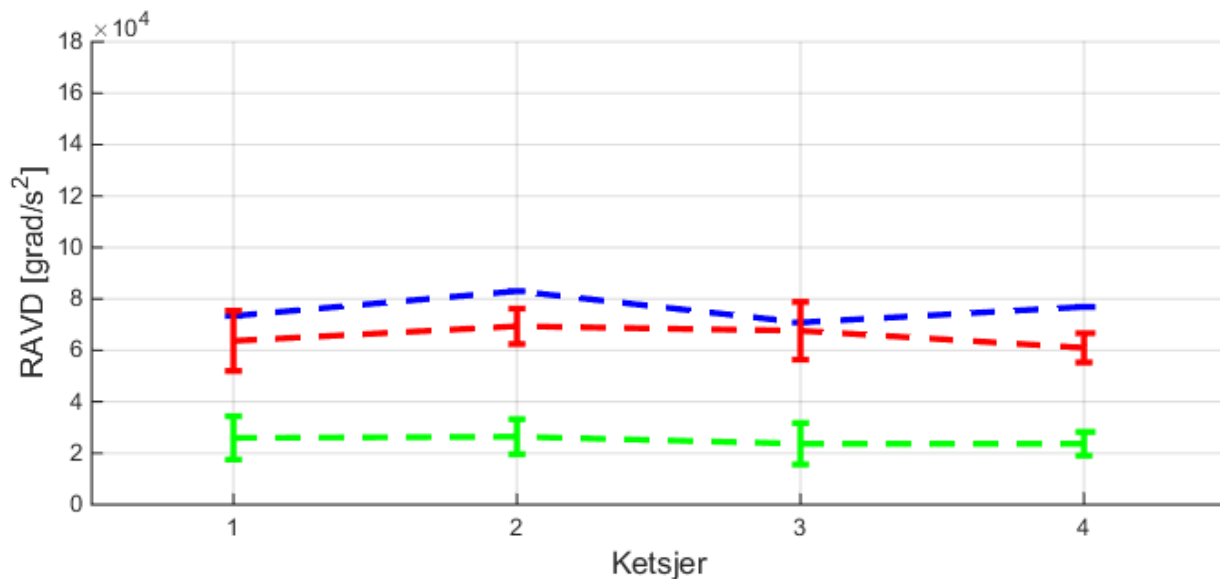
Figur 36. Gennemsnitsværdier og standardafvigelser for vinkelhastigheder af de tre grupper for de fire ketsjere. Elite (blå), Øvede (rød) og Rekreativ (grøn).

4.2.2.2.2 RAVD

For alle fire ketsjere blev der fundet en signifikant forskel med p-værdier mellem 0,001 og 0,01. Der blev fundet numeriske forskelle i mellem grupperne på 5-214 %. Gennemsnit af grupperne, standardafvigelser og procentmæssig forskel er angivet i Tabel 21 og Figur 37.

RAVD		n	Gennemsnit ($\frac{grad}{s^2}$)	Standardafvigelse	Procentforskel (%)
Ketsjer 1	Elite	1	73.000	n/a	0
	Øvede	2	64.000	± 12.000	15
	Rekreativ	4	26.000	± 8.000	183
Ketsjer 2	Elite	1	83.000	n/a	0
	Øvede	2	69.000	± 7.000	19
	Rekreativ	4	26.000	± 7.000	214
Ketsjer 3	Elite	1	71.000	n/a	0
	Øvede	2	68.000	± 11.000	5
	Rekreativ	4	24.000	± 8.000	199
Ketsjer 4	Elite	1	77.000	n/a	0
	Øvede	2	61.000	± 6.000	26
	Rekreativ	4	24.000	± 5.000	225

Tabel 21. Gennemsnittet af de tre grupper for hver ketsjer, standardafvigelser samt den procentmæssige forskel mellem grupperne.



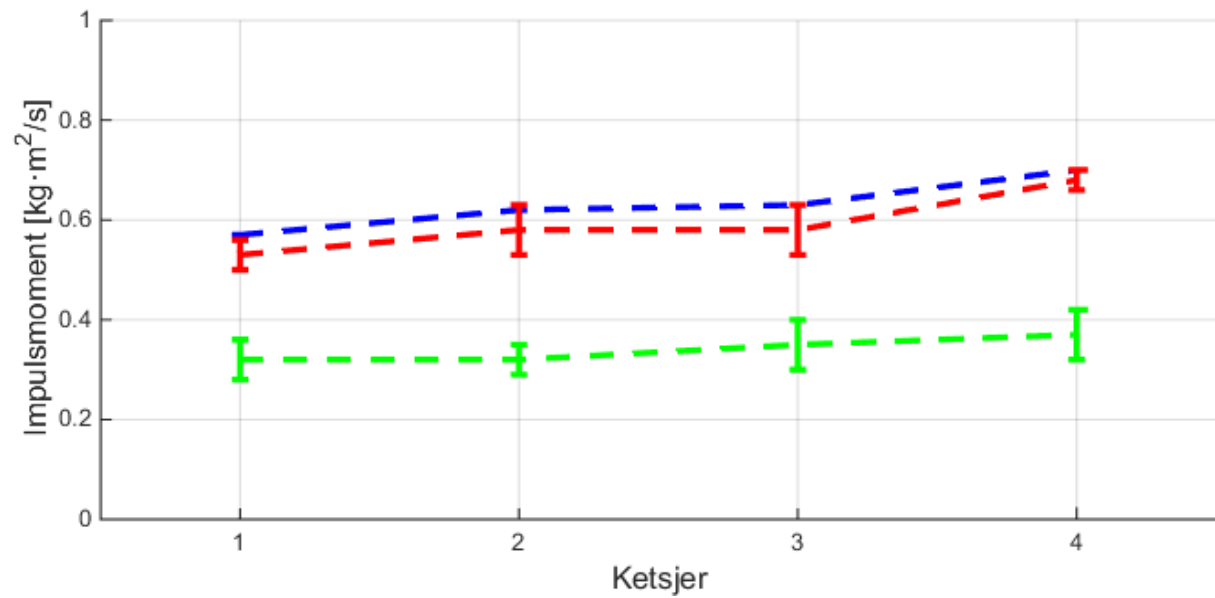
Figur 37. Gennemsnitsværdier og standardafvigelser for RAVD af de tre grupper for de fire ketsjere. Elite (blå), Øvede (rød) og Rekreationel (grøn).

4.2.2.2.3 Impulsmoment

For alle fire ketsjere blev der fundet en signifikant forskel med p-værdier mellem 0,001 og 0,01. Der blev fundet numeriske forskelle i mellem grupperne på 7-95 %. Gennemsnit af grupperne, standardafvigelser og procentmæssig forskel er angivet i Tabel 22 og Figur 38.

Impulsmoment		n	Gennemsnit ($\frac{kg \cdot m^2}{s}$)	Standardafvigelse	Procentforskel (%)
Ketsjer 1	Elite	1	0,57	n/a	0
	Øvede	2	0,53	± 0,03	7
	Rekreationel	4	0,32	± 0,04	75
Ketsjer 2	Elite	1	0,62	n/a	0
	Øvede	2	0,58	± 0,05	7
	Rekreationel	4	0,32	± 0,03	95
Ketsjer 3	Elite	1	0,63	n/a	0
	Øvede	2	0,58	± 0,05	10
	Rekreationel	4	0,35	± 0,05	82
Ketsjer 4	Elite	1	0,70	n/a	0
	Øvede	2	0,68	± 0,02	4
	Rekreationel	4	0,37	± 0,05	88

Tabel 22. Gennemsnittet af de tre grupper for hver ketsjer, standardafvigelser samt den procentmæssige forskel mellem grupperne.



Figur 38. Gennemsnitsværdier og standardafvigelser for impulsmomentet af de tre grupper for de fire ketsjere. Elite (blå), Øvede (rød) og Rekreativ (grøn).

5 Diskussion

Formålet med nærværende projekt var at:

- 1) Undersøge om Raket-O-Meter'en (ROM) kunne identificere forskelle mellem grupper på forskellige færdighedsniveauer ved brug af parametrene vinkelhastighed i træføjeblikket, Rate of Angular Velocity Development (RAVD) og impulsmoment.
- 2) Undersøge inertimomentets indflydelse mens andre variable holdes konstante.
- 3) Validere ROM'ens gyroskop, udvikle et stabilt interface til dataindsamling og implementere ROM'en i håndtaget på en badmintonketsjer.

Til trods for at del 3 ikke har været så omfangsrigt beskrevet i forhold til del 1 og 2 i metoden og resultatafsnittet, har der ligget meget arbejde i dette, hvorfor denne del også er medtaget i diskussionen. Diskussionen er for overskuelighedens skyld delt op i underafsnittene a-d.

- a) Vinkelhastigheds resultater i forhold til færdighedsniveau og inertimomentets indflydelse.
- b) RAVD resultater i forhold til færdighedsniveau og inertimomentets indflydelse.
- c) Impulsmoment resultater i forhold til færdighedsniveau og inertimomentets indflydelse.
- d) Diskussion af validering, implementering og interface af ROM'en.

De fire anvendte ketsjere var reelt set den samme ketsjer, hvor et lod på 8 g blev placeret forskellige steder på skaftet (jf. afsnit 3.2 Ketsjermodificering) således, at inertimomentet blev ændret, mens massen blev holdt konstant. Inertimomentet for Ketsjer 1-4 blev målt til at være hhv. 88, 90, 93 og 112 $kg \cdot cm^2$. Diskussionen af resultaterne vil primært gøres ud fra mandegruppen ($n=16$). Kvindegruppens ($n=7$) resultater anvendes som efterfølgende støtte, grundet den lavere population og manglende post hoc test af One-Way ANOVA'en.

5.1 Vinkelhastighed

Vinkelhastigheden for ROM'ens y-akse i træføjeblikket blev anvendt som parameter, da dette er den primære rotation af ketsjeren mod fjerbolden. Tidligere studier har vist, at rotation bør kunne anvendes som indikator for færdighedsniveau, da øvede spillere har en højere vinkelhastighed end begyndere (Kwan (2010) og Kwan et al., (2010b)). Den niveaubestemte forskel fremkommer som følge af en proksimal til distal aktivering af kropssegmenterne, som øvede spillere er mere effektive til at udnytte (Phomsoupha & Laffaye, 2014). Den initiale forventning var, at et højere inertimoment ville resultere i en lavere vinkelhastighed, og at der kunne registreres en forskel imellem de tre grupper for alle fire ketsjere.

Der blev i One-Way ANOVA'en fundet signifikante forskelle ($p<0,05$). Post hoc testen identificerede forskellen til at være mellem Elite gruppen og den Rekreationelle gruppe, med numeriske forskelle mellem 36 og 56 %. For Ketsjer 3 blev der også fundet en signifikant forskel mellem den Øvede gruppe og den Rekreationelle gruppe. Der blev ligeledes observeret konstant højere gennemsnitsværdi for Elite gruppen i forhold til den Øvede gruppe, mellem 5 og 18 %. Lignende resultater er fundet af Kwan et al. (2010b), hvor forskellen mellem Elite gruppen og den Øvede gruppe var mindre udtalt i forhold til forskellen mellem Elite/Øvede og Rekreationelle badmintonspillere. Dette antyder, at Elite/Øvede er mere homogene end de Rekreationelle i forhold til udnyttelse af den proksimale til distale aktivering, men at aktiveringen stadig forbedres når færdighedsniveauet stiger. Dette resultat indikerer også at vinkelhastighed i træføjeblikket kan anvendes til at bestemme færdighedsniveau.

For Repeated Measures ANOVA'en blev der fundet signifikante forskelle imellem Ketsjer 1 og 4 og Ketsjer 2 og 4. Næsten identiske resultater blev registreret for Ketsjer 1, 2 og 3, hvor disse kun afveg fra hinanden med 2 % for vinkelhastigheden. Denne lille forskel kan til dels forklares ved, at forskellen på $5 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$, mellem Ketsjer 1 og 3, er for lav til at kunne påvirke den proksimale til distale aktivering af kropssegmenterne, da disse har et højere inertimoment. Det er muligt, at et studiedesign med mindre varierende population, vil kunne identificere en signifikant forskel, da nærværende projekts standardafvigelser for vinkelhastighederne ligger på omkring 20 % i forhold til gennemsnitsværdierne. En anden mulighed er, at badmintonspillere har en individuel præference i forhold til inertimoment på baggrund af færdighedsniveau og antropometri. Dette medfører, at gennemsnitsværdierne for de fire ketsjere ender med at blive den samme, hvilket også er foreslået af tidligere studier (Phomsoupha & Laffaye (2014) og Kwan, et al. (2010a)). Hvis denne antagelse er korrekt, vil det kunne forklare, hvorfor der ikke blev fundet forskelle mellem ketsjerne i forhold til vinkelhastighed i træføjeblikket. Det virker plausibelt, at personer, hvis kropssegmenter har lavere inertimoment, i højere grad vil blive påvirket ved modificering af inertimomentet, i forhold til personer med kropssegmenter, der har højere inertimoment.

For kvindegruppen blev der fundet lignende resultater i One-Way ANOVA'en, der også fandt en signifikant forskel blandt grupperne. Det var dog ikke muligt at udføre en post hoc test og identificere, hvor denne forskel befandt sig. De numeriske forskelle mellem Elite gruppen og den Rekreationelle gruppe var mellem 75 og 95 %. Repeated Measures ANOVA'en kunne ikke påvise signifikante forskelle ($p=0,119$) mellem ketsjerne til trods for en numerisk forskel på op til 8 % mellem Ketsjer 3 og 4. Den manglende signifikante forskel kan muligvis tilskrives den høje standardafvigelse, samt den mindre gruppestørrelse, sammenlignet med mændene. Derudover var vinkelhastighederne for Ketsjer 2 og 3 højere end for Ketsjer 1, hvilket indikerer, at kvinderne foretrækker en ketsjer med inertimoment i dette område. Kvindegruppen bestod primært af Rekreationelle badmintonspillere, hvorfor denne forskel også kan være en tilfældighed som følge af inter-participant varians.

5.2 RAVD

RAVD blev anvendt som parameter, da bedre teknisk færdighed formodes at give en bedre udnyttelse af den proksimale til distale aktivering af kropssegmenterne (Phomsoupha & Laffaye, 2014) og føre til en højere RAVD-værdi. Rate of Force Development (RFD) er en eksplosiv styrkeparameter målt ved maksimale isolerede isometriske muskelkontraktioner, og er både påvirket af muskelstørrelsen og nervesystemet. RAVD adskiller sig fra RFD ved at være et produkt af flere segmenter og aktiveringssekvenser samt timingen af disse. I en proksimal til distal kinetisk kæde overføres kræfterne primært af leddene, som ikke er begrænset af styrke og aktiveringsdynamik på samme måde som musklerne (jf. afsnit 2.3.2). Uantastet af forskellene mellem RFD og RAVD anvendes RAVD som indikator for eksplosivitet og er udvalgt til at definere færdighedsniveau. Et højere inertimoment ville resultere i en lavere RAVD samtidig med, at et højere færdighedsniveau ville resultere i højere RAVD og vice versa.

Der blev i One-Way ANOVA'en fundet signifikante forskelle. Post hoc testen identificerede denne forskel til at være mellem Elite gruppen og den Rekreationelle gruppe for alle fire ketsjere, med numeriske forskelle mellem 111 og 138 %. For Ketsjer 3 og 4 blev der også fundet en signifikant forskel mellem den Øvede gruppe og den Rekreationelle gruppe. Der blev også observeret en konstant højere gennemsnitsværdi for

Elite gruppen i forhold til den Øvede gruppe, mellem 20 og 27 %. Dette resultat indikerer at RAVD kan anvendes til at bestemme færdighedsniveau. Disse resultater stemmer overens med det forventede, at et højere færdighedsniveau ville resultere i en hurtigere acceleration af ketsjeren.

Der blev i Repeated Measures ANOVA'en ikke fundet nogen signifikante forskelle til trods for numeriske forskelle på 3-11 %. Dette kan tilskrives den høje standardafvigelse for grupperne, som er omkring 40 % i forhold til gennemsnitsværdierne. Den høje standardafvigelse vurderes til at stamme fra den markante forskel mellem forsøgspersonerne, da alle forsøgspersonerne indgik i samme gruppe for hver af de fire ketsjere. Selvom at RAVD ikke fandt signifikante forskelle var det alligevel muligt at detektere numeriske forskelle som følge af en øgning af inertimomentet. Disse resultater stemmer overens med det forventede, at et højere inertimoment ville resultere i en langsommere acceleration af ketsjeren.

For kvindegruppen blev der fundet lignende resultater i One-Way ANOVA'en, der fandt signifikant forskel mellem grupperne. Det var dog ikke muligt at udføre en post hoc test for at identificere denne forskel. De numeriske forskelle mellem Elite gruppen og den Rekreative gruppe var mellem 183 og 225 %. Repeated Measures ANOVA'en kunne ikke påvise signifikante forskelle ($p=0,328$) mellem de fire ketsjere til trods for en numerisk forskel på 11 % mellem Ketsjer 2 og 4. Dette kan tilskrives den lave populationsstørrelse samt de høje standardafvigelser der var omkring 50 % i forhold til gennemsnitsværdierne.

5.3 Impulsmoment

Impulsmoment blev udvalgt som den tredje parameter. Det var ikke muligt at måle udgangshastigheden af fjerbolden direkte, men den antages at kunne beskrive ketsjerens impuls. Denne antagelse stammer fra en kombination af impulssætningen og formelen for restitutionskoefficienten, som viser en lineær sammenhæng mellem udgangshastighed af fjerbolden og ketsjerens impuls (Bilag 2). Antagelsen om at et højere impulsmoment resulterer i en højere udgangshastighed er også foreslået i studiet af Kwan et al. (2010a). Det blev antaget, at en lavere vinkelhastighed ville kompenseres for af det højere inertimoment og resultere i det samme impulsmoment samtidig med, at et højere færdighedsniveau ville resultere i højere impulsmoment.

Der blev i One-Way ANOVA'en fundet signifikante forskelle ($p<0,05$). Post hoc testen identificerede forskellen til at være mellem Elite gruppen og den Rekreative gruppe, med numeriske forskelle mellem 13 og 56 %. For Ketsjer 3 blev der også fundet en signifikant forskel mellem den Øvede gruppe og den Rekreative gruppe. Der blev ligeledes observeret en konstant højere gennemsnitsværdi for Elite gruppen i forhold til den Øvede gruppe, mellem 13 og 18 %. Dette resultat indikerer at impulsmoment kan anvendes til at bestemme færdighedsniveau. Disse resultater stemmer overens med det forventede, at et højere færdighedsniveau ville resultere i et højere impulsmoment og muligvis højere udgangshastighed af fjerbolden.

For Repeated Measures ANOVA'en blev der fundet signifikante forskelle mellem Ketsjer 1 og 4, Ketsjer 2 og 4 og Ketsjer 3 og 4. Næsten identiske resultater blev fundet for Ketsjer 1, 2 og 3, med en forskel på 0 -3 %. Det er interessant, at den signifikante forskel ikke ligger i favør for de lette ketsjere, men at det øgede inertimoment har kompenseret for den lavere vinkelhastighed, at det gennemsnitlige impulsmoment for Ketsjer 4 er 14-17 % højere end de andre ketsjere. Det er dog ikke muligt at bestemme præcist hvor stor indflydelse det øgede impulsmoment har bidraget med til udgangshastigheden af fjerbolden, da det kræver

en måling af ketsjerens vinkelhastighed efter træføjeblik, hvilket ikke var muligt grundet vibrationer i systemet. Antagelsen om at ketsjere med højere inertimoment resulterer i højere udgangshastigheder af fjerbolden konflikt med resultaterne fundet i studiet af Kwan, et al. (2010a), hvor et højere inertimoment ikke gav anledning til en generel stigning i målt udgangshastighed. Dette til trods for at de anvendte inertimomenter på 87, 94, 100 og 112 $kg \cdot cm^2$ er sammenlignelige med nærværende projekts inertimomenter på hhv. 88, 90, 93 og 112 $kg \cdot cm^2$. Studiet af Kwan anvendte fem personer, hvor hver ketsjer blev slået med ti gange uden angivet randomisering af ketsjerrækkefølgen, hvorfor der kan forekomme en øget udtrætning samt andre forstyrrende faktorer der kan påvirke resultatet.

Flere af forsøgspersonerne tilkendegav, at Ketsjer 4 med det højeste inertimoment var svær at styre og i enkelte tilfælde slog forsøgspersonerne sig selv over benene. Ligeledes kan et for højt inertimoment være årsag til en tidligere udmatning i forhold til en ketsjer med lavere inertimoment. Metoden anvendt i nærværende projekt repræsenterer kun et øjebliksbillede for det modificerede inertimoment og ikke en akkumuleret effekt hen over en kamp. Senere studier vil kunne belyse denne effekt ved anvendelse af ROM'en. I forhold til at udføre ét smashslag med maksimal udgangshastighed én gang, indikerer resultaterne at højt inertimoment er fordelagtigt til maksimering af fjerboldens udgangshastighed, såfremt at andre faktorer holdes konstante.

For kvindegruppen blev der fundet lignende resultater i One-Way ANOVA'en, der også fandt en signifikant forskel mellem grupperne. Det var dog ikke muligt at udføre en post hoc test for at identificere forskellen. De numeriske forskelle mellem Elite gruppen og den Rekreative gruppe var mellem 75 og 95 %. Repeated Measures ANOVA'en fandt signifikante forskelle mellem Ketsjer 1 og 3, Ketsjer 1 og 4 og Ketsjer 2 og 4. Den numeriske forskel var mellem 4 og 17 %, hvor der for kvindegruppen blev målt de højeste gennemsnitsværdier for Ketsjer 4.

5.4 Validering, implementering og interface

Valideringen af ROM'en blev gjort ad to omgange, hvor den første omgang forsøgte at finde en omregningsfaktor fra ADC-niveau til $\frac{grad}{s}$, samt undersøge om denne varierede ved forskellige rotationshastigheder og retninger. Den anden omgang bestod af at undersøge, om batteriets spændingsniveau influerede ROM'ens output, og om batterispændingen bør medtages som en ekstra variabel for at opnå valide resultater.

Første del af forsøget blev udført ved at udsætte ROM'en for syv forskellige kendte rotationshastigheder i en numerisk styret fræsemaskine. Resultaterne viste, at omregningsfaktoren for rotation omkring y-aksen ikke varierede i forhold til rotationshastighed. Det viste sig dog, at omregningsfaktoren i negativ retning konstant var lavere, hvor denne forskel var omkring $0,1 \frac{grad}{s}$, hvilket ville resultere i en forskel mellem de to retninger på $50 \frac{grad}{s}$ ved rotationshastighed på $9000 \frac{grad}{s}$. Der blev fundet en højere omregningsfaktor på $19 \frac{grad}{s}$ for rotation omkring x-aksen. Om z-aksen blev omregningsfaktoren estimeret ud fra færre rotationshastigheder da denne blev ustabil i begge retninger ved rotationshastigheder over 800 RPM. Dette fænomen blev vurderet til at forekomme som en følge af manglende fastspænding af ROM'en, da en rotation i netop denne retning kunne få ROM'en til at bevæge sig. Dette negligeres i nærværende projekt hvor kun rotation omkring y-aksen indgår. Hvis vinkelhastighederne skal anvendes til at bestemme vinkelpositioner skal forskellen mellem positiv og negativ retning korrigeres for. Ellers vil værdiforskellen

overtid akkumuleres og give et forkert billede af, hvordan ROM'en har bevæget sig. På baggrund af den fundne forskel i omregningsfaktor anbefales det ved fremtidig brug af andre ROM, at udføre samme valideringsforsøg for at finde de korrekte omregningsfaktorer for den specifikke ROM.

Anden del af forsøget blev udført for at belyse batterispændingens indflydelse på ROM'ens output, da vinkelhastighederne så ud til at stige, når batterispændingen faldt. Der blev derfor foretaget en lineær regression i MATLAB for den første time, hvor ROM'en blev udsat for en konstant rotationshastighed. Den lineære regression viste, at ROM'en ikke var påvirket af den faldende spænding, da hældningskoefficienten gav værdier på -0,00021, -0,0000441 og -0,0000419 for de tre akser. Det anbefales, at der anvendes en konservativ cut-off spænding mellem 3,4 og 3,5 volt, således at senere brug ikke vil være i risiko for at blive påvirket af ukorrekte resultater som følge af lav batterispænding.

Den endelige implementering af ROM'en i en 3D-printet holder og den videre implementering af denne i et ketsjerhåndtag, viste sig at være anvendelig i forhold til projektets formål. Der blev fundet en konstruktiv løsning, som ikke kompromitterede håndtagets strukturelle holdbarhed samtidig med, at ROM'en blev tilstrækkelig fastholdt og var let udtagelig til omprogrammering og validering. Implementering af ROM'en i et ketsjerhåndtag, som gjort i nærværende projekt, tillader ROM'en at blive indsat i alle badmintonketsjere, hvis en simpel modificering er foretaget. Et vedvarende problem er dog, at Bluetooth-forbindelsens transmission af data er følsom overfor objekter mellem ROM'en og optageenhed. Det er adskillige gange erfaret, at der mistes en eller flere datapakker, hvilket forringer dataanvendelsen. Anledningen til tab af disse pakker har været svært at identificere og ser ud til at ske på vilkårlige tidspunkter, hvorfor en videreudvikling af systemet med fordel kunne indeholde en identificering af datapakker.

5.5 Opsummering

Generelt fungerede de tre udvalgte parametre efter hensigten, da de viste lignende resultaterne i forhold tidligere studier, som også har undersøgt niveauforskelle mellem badmintonspillere (Phomsoupha & Laffaye (2014) og Kwan (2010)). Specielt RAVD var succesfuld til at identificere signifikante og numeriske forskelle mellem grupperne. Dette skyldes formodentligt at RAVD er effektiv til at registrere præstationsforskelle ved den proksimale til distale aktivering, der leder frem til et maksimalt smashslag, da den kombinerer to betydningsfulde parametre i form af vinkelhastighed i træføjeblikket og "time to impact". Resultaterne for RAVD viste, at Elite gruppen og den Øvede gruppe havde højere gennemsnitsværdier end den Rekreative gruppe, og at Elite gruppen havde højere værdier end den Øvede gruppe, hvilket var konsistent på tværs af alle ketsjere og parametre. Der blev ligeledes fundet belæg for, at Ketsjer 4 med det højeste inertimoment potentielt producerer de højeste udgangshastigheder af fjerbolden. Indflydelsen ved modificering af inertimoment for de Ketsjer 1, 2 og 3 viste sig generelt ikke at have en signifikant betydning for grupperne, selvom der blev observeret et mindre fald i gennemsnitsværdierne for vinkelhastigheder og RAVD. Det er vigtigt at bemærke, at de rapporterede resultater repræsenterer et øjebliksbillede af en enkelt slagtype, hvor ketsjerens præstation over en hel kamp er påvirket af mange andre parametre, eksempelvis udtrætning og præcision. En fordel ved at anvende en indlejret optageenhed er, at der ikke går information tabt som følge af den relative bevægelse mellem hånd og ketsjerhåndtag, som belyst af Sørensen (2010), hvor andre fordele også er; brugervenlighed, anvendelighed uden for laboratoriet, kun mindre påvirkning af ketsjerens inertimoment og øjeblikkelig visuel inspektion af data. Valideringen af ROM'en viste at gyroskopet var lineært både i positiv og negativ rotationsretning med negligerbare afvigelser og med forskellige omregningsfaktorer for

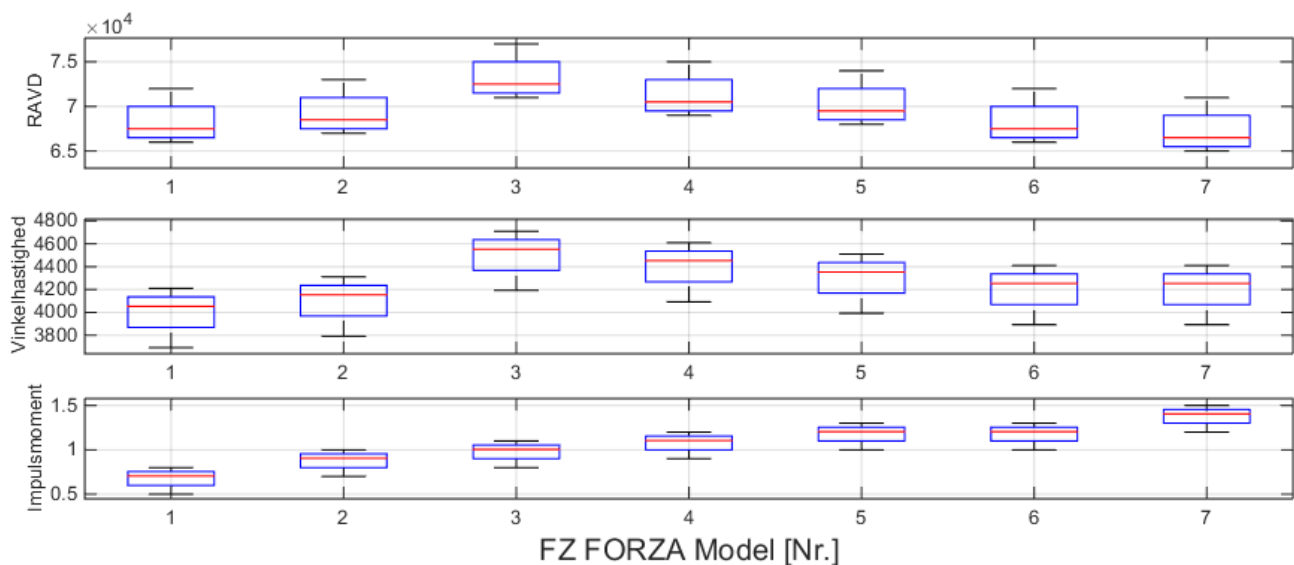
de tre akser. Det viste sig yderligere at batterispændingen ned til 3,4 volt ikke påvirker outputtet. ROM'en fungerede som optageenhed og muliggør en let tilgang til optagelse af ketsjerkinematik, men er ikke i stand til direkte at registrere ketsjerens deformation.

6 Perspektivering

I forhold til anvendelse af ROM og resultaterne i et kommercielt henseende, er det nærmest kun fantasien der sætter grænser for, hvad den kan anvendes til. Der vil i nedenstående afsnit præsenteres forslag til, hvorledes ROM'en kan anvendes til et optimeret ketsjervalg ud fra de anvendte parametre. Efterfølgende vil der gives et bud på, hvorledes ROM'en kan anvendes af privatpersoner til at dokumentere træningsudvikling, som kan sammenlignes med resultater fra andre badmintonspillere. Graferne er fiktive og fremstillet for at illustrere forskellige tænkelige senarier, og er ikke baseret på reel data. Udsagnene forekommer på baggrund af projektet og projektgruppens samlede badmintonerfaring.

Når kunder skal erhverve sig en ny badmintonketsjer, sker dette oftest på baggrund af en ekspedients eller bekendte anbefalinger, samt kundens umiddelbare fornemmelse af den anbefalede ketsjer i forhold til tidligere erfaringer med ketsjeregenskaberne; vægt, balancepunkt, fleksibilitet og "power". Hvis metoden fra projektet udføres i en hal, hvor kunden prøver forskellige ketsjermodeller med forskellige inertimomenter, kunne resultatet være noget lignende Figur 39. Hvis et optimeret ketsjervalg skal foretages ved brug af de tre anvendte parametre og erfaringer fra nærværende projekt, kan dette gøres ud følgende betragtninger. Ønskes en hurtig ketsjerføring, bør kunden vælge en ketsjer med lavt inertimoment, hvilket ketsjermodel 3 illustrerer, da vinkelhastighed og RAVD er højest for disse. Kwan et al. (2010a) fandt dog, at et lavt inertimoment for nogle spillere ikke nødvendigvis fører til en hurtigere ketsjerføring, hvilket ketsjermodel 1 og 2 illustrerer. Ønskes derimod "et hårdere slag" og en maksimering af fjerboldens udgangshastighed bør kunden vælge ketsjermodel med højt inertimoment, da disse producerer højest impulsmomenter. I nærværende projekt slog forsøgspersonerne sig i enkelte tilfælde over benene med Ketsjer 4, hvilket tyder på, at ketsjere med det høje inertimoment kan være svær at styre for nogle spillere. I tilfældet med Ketsjer 5 og 6 ses, at disse har lige stort impulsmoment, hvilket betyder, at ketsjermodel 5 er at foretrække, da denne har højere vinkelhastighed og RAVD, og dermed en hurtigere ketsjerføring. Ud fra dette kan der argumenteres for, at der findes forskellige optimale spillerafhængige ketsjermodeller, som kunder bør vælge iblandt. Disse betragtninger stammer fra erfaringerne fra resultat- og diskussionsafsnittet, hvor der blev fundet signifikante og numeriske forskelle mellem færdighedsniveauer og ketsjere. På figuren er også illustreret, hvor meget kunden varierer ved de forskellige ketsjere, da variationen også kan anvendes som grundlag for ketsjervalg, hvor en mindre variation er at foretrække.

Målingerne er lavet for ketsjerens kinematik, hvilket betyder, at ketsjerens fleksibilitet ikke tages i betragtning. Ikke desto mindre, er dette en metode, som kan tilbyde et optimeret ketsjervalg ud fra erfaringer gjort i nærværende projekt. Ved fremtidig indsamling af lignende data kunne det være interessant, at belyse om alle spillere fortrækker samme inertimoment, for optimering af vinkelhastighed og RAVD, eller om der findes det foreslåede spillerafhængige foretrukket inertimoment.



Figur 39. Boksplots for hhv. vinkelhastighed, RAVD og impulsmoment for syv forskellige fiktive ketsjermodeller med stigende inertimoment.

Anden del omhandler anvendelse af ROM'en i træningssituationer, hvor både spillere og træner kan drage nytte af denne. En kendt gadget til privat brug inden for tennis er Babolat PLAY (<http://en.babolatplay.com/>), som, ifølge Babolat, kan kvantificere forskellige aspekter såsom slagtyper, hastighed, energi, power, teknik og udholdenhed for efterfølgende at give feedback på disse i forhold til tidligere spilsessioner eller professionelle spillere. Det er projektgruppens overbevisning, at ROM'en på sigt kan anvendes på samme måde inden for badminton. I det følgende er det forsøgt at komme med forslag til kvantificering af disse parametre i badminton.

Indledningsvis oprettes en personlig spillerprofil med: højde, vægt, alder, køn, færdighedsniveau, ketsjermodel og højre/venstre hånd og anvendes efterfølgende til kvantificering af følgende parametre.

Slagtype: I en kombination af gyroskop og accelerometer, bør det være muligt at korrelere en registreret svingsløjfe med en slag-database, hvor alle slagtyper på forhånd er defineret. Såfremt korrelationen er over en tærskelværdi vil svingsløjfen blive registreret og gemt som den respektive slagtype, hvor korrelationen er højest. Herved vil tilfældigt registrerede stød ikke blive registreret som slag. Svingsløjfen kan efterfølgende sammenlignes med en gylden standard fra eksempelvis en professionel eller spillerens tidligere registrerede slag, som illustreret på Figur 40.

Hastighed: Hvis hastigheden af ketsjeren, $v \left(\frac{m}{s} \right)$, skal identificeres, kan denne findes ved at multiplicere vinkelhastigheden omkring y-aksen i træføjeblikket, $\omega \left(\frac{rad}{s} \right)$, med afstanden ud til ketsjehoved, r (m). Dette er dog kun hastigheden fundet ud fra rotation, hvorfor den lineære hastighed lægges til efterfølgende. Den lineære hastighed er tidligere fundet til at være mellem 8 og 20 %, af den totale hastighed af ketsjehovedet, stigende i forhold til faldende færdighedsniveau (Kwan, et al., 2010b). Anden variable der skal inkluderes er om der anvendes en voksen eller børneketsjer da dette ændre afstanden, r , til ketsjehovedet.

Energi: Hvis mængden af brugt energi, kcal, skal udregnes over en træningssession eller kamp, kan man anvende antal slag foretaget til at estimere dette, da der mellem hvert slag forekommer bl.a. løb, hop og lunges. Hvis der laves en analyse af, hvor ofte dette forekommer, kan et gennemsnitligt energiforbrug per slag estimeres. Eksempelvis hvis der forekommer hop 40 % og lunges 20 % af gangene en spiller skal bevæge sig til punktet fjerbolden bliver slået til og afstanden gennemsnitlig er to meter. Så ville et slag kunne estimeres til at være gældende for denne mængde energi på følgende måde:

$$1 \text{ hop (kcal)} \cdot 40 \% + 1 \text{ lunge (kcal)} \cdot 20\% + \text{masse}_{\text{spiller}}(\text{N}) \cdot 2 \text{ (m)} = \text{Gennemsnit per slag (kcal)}$$

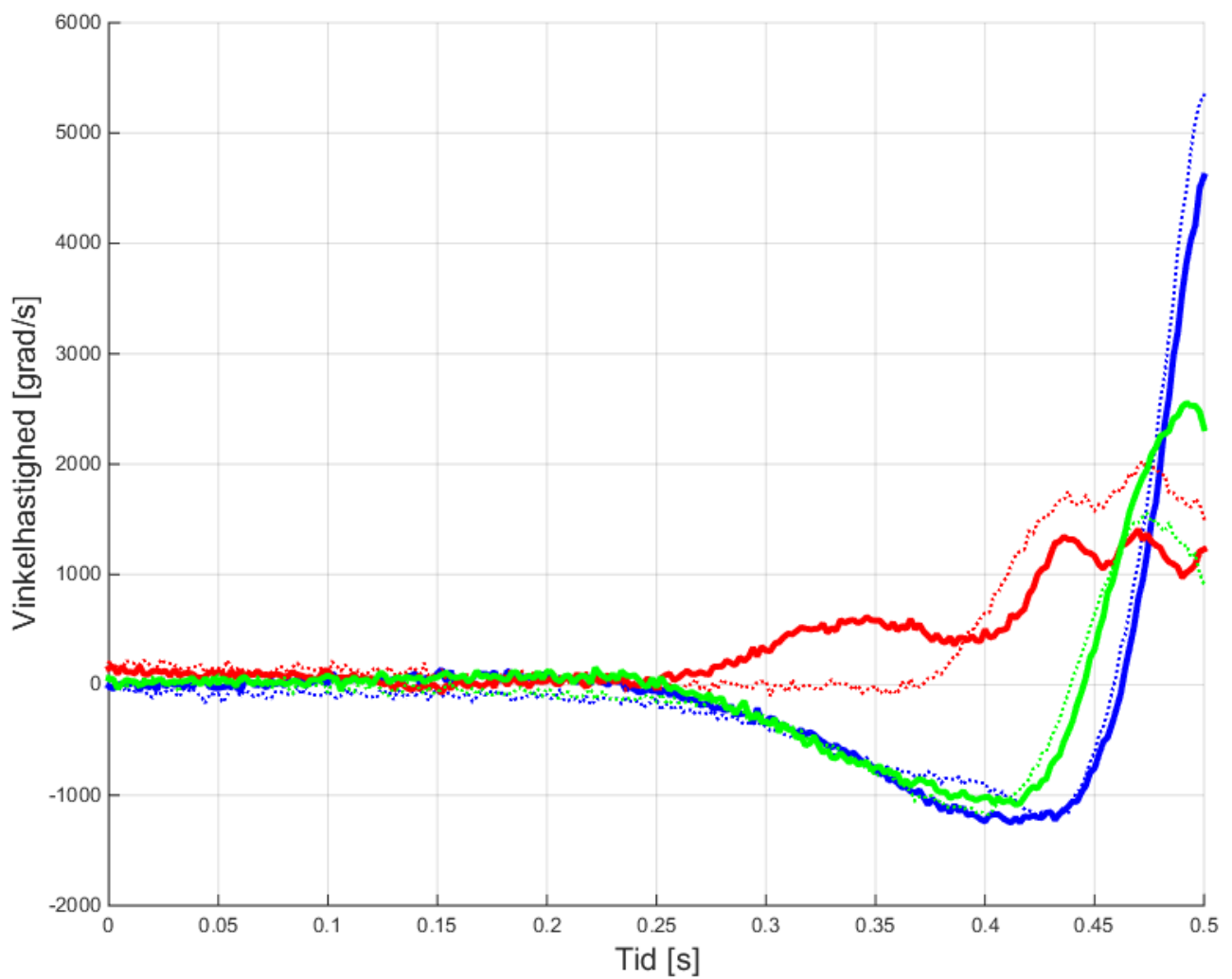
Power: Power bliver ofte anvendt i sport, men en endelig definition er ikke fundet. Power kunne i nærværende projekt anskues i form af ketsjerens impulsmoment, $\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}}$, men mere korrekt ville være anvendelse af ketsjerens impuls, $\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$. Ketsjerens impuls kan udregnes hvis den anskues som en partikel med en masse, m (kg), afstand, r (m), til hånden og ganget med rotationshastigheden, ω $\left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)$, og den translatoriske hastighed af ketsjeren. Den translatoriske hastighed er tidligere fundet til at være mellem 8 og 20 % af den totale hastighed af ketsjerkhovedet stigende i forhold til faldende færdighedsniveau (Kwan, et al., 2010b). Et eksempel af en spiller med lavt færdighedsniveau kunne være følgende:

$$\left(r_{\text{ketsjer}} (\text{m}) \cdot \omega_{\text{ketsjer}} \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right) \cdot 125 \% \right) \cdot m_{\text{partikel ketsjer}} (\text{kg}) = \text{Power} \left(\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}} \right)$$

Teknik: Umiddelbart er der to måder hvorpå teknik kan defineres hvis der fokuseres svingsløjfen af et helt slag. Den ene er, hvor konsistent spillere er i forhold til udførslen af hans eget gennemsnitlige slag, hvor en Root Mean Square (RMS) eller standardafvigelse (STD) mellem slagene kan udregnes, hvor en høj RMS eller STD ville resultere i lav teknik-rating. Den anden er, at sammenligne svingsløjfen af et helt slag med svingsløjfen af en udøver med god teknik og ketsjeføring, og så anvende RMS, STD eller en kombination for at udregne teknik-rating.

Udholdenhed: Det må antages, at der i løbet af en kamp forekommer udmattelse, hvilket vil komme til udtryk i form af lavere værdier for flere af de ovenstående parametre. Nedgangen af de forskellige parametre kan sammenlignes med en forventet udtrætning af en gennemsnitlig badmintonspiller og hvorledes der over- eller underpræsteres i forhold til denne gennemsnitlige udmattelse. Dette vil også være anvendeligt til, at afklare om et højere inertimoment giver anledning til øget udmattelse. Udmattelsen vil primært være registrerbar i de maksimale slagtyper som eksempelvis smash.

Udover ovenstående parametre vil det også muligt, at sammenligne hele svingsløjfer fra tidligere spilsessioner eller af andre spillere. På Figur 40 er dette illustreret for en 1. divisionsspiller (stiplet linje) og en mesterrække (solid linje) for gyroskopets tre akser. Dette vil kunne anvendes som en motiverende faktor til vedvarende motion eller venskabelig konkurrence. Trænere kan herved også kunne anvende dette til, at dokumentere en spillers fremgang og udvikling som følge af træning, og til at identificere eventuelle tekniske problemer. Redskabet vil også kunne anvendes til at evaluere om træningen har den ønskede effekt eller træningen er redundant.



Figur 40. Vinkelhastigheder for en 1. divisions spiller (stiplet) og mester rækker spiller (solid) omkring gyroskopets x-akse (rød), y-akse (blå) og z-akse (grøn).

7 Bibliografi

Fleisig, G. S., Zheng, N., Stodden, D. F. & Andrews, J. R., 2002. Relationship between bat mass properties and bat velocity. *Sports Engineering*, Februar, pp. 1-8.

Hsieh, C.-C., Wong, T.-L., Wang, J.-c. & Chung, M.-J., 2004. *The effect of two different weighted badminton rackets about velocity and torque when outstanding badminton players was performing smash movement*. Ottawa: Mario Lamontagne, D. Gordon, E. Robertson, Heidi Sveistrup (Editors).

Kwan, M., 2010. *Designing the World's Best Badminton Racket*, Aalborg: s.n.

Kwan, M. et al., 2010b. Investigation of high-speed badminton racket kinematics by motion capture. *Sports Engineering*, 13(2), pp. 57-63.

Kwan, M., de Zee, M. & Rasmussen, J., 2010a. Effects of racket swingweight on racket power in badminton. *Journal of Sports Science*.

Kwan, M. & Rasmussen, J., 2010. The importance of being elastic: Deflection of a badminton racket during a stroke. *Journal of Sports Science*, Årgang 28.

Pedersen, L., 2008. *Fysik 112*. 3 red. København V: Nyt Teknisk Forlag.

Phomsoupha, M. & Laffaye, G., 2014. The Science of Badminton: Game Characteristics, Anthropometry, Physiology, Visual Fitness and Biomechanics. *Sports Medicine*, December.

Serway, R. A. & Jewett, J. W., 2014. *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics*. 9 red. Boston, MA: Brooks/Cole Cengage Learning.

Smith, L., Broker, J. & Nathan, A., 2003. *A study of softball player swing speed*. s.l.:<http://baseball.physics.illinois.edu/SwingSpeed.pdf>.

Subic, A., Mehta, R. & Fuss, F. K., 2008. The impact of technology on sport — new frontiers. 1(1).

Sørensen, K., 2010. *A Biomechanical Analysis of Clear Strokes in Badminton Executed by Youth Players of Different Skill Levels*, Aalborg: Unpublished - Master Thesis.

Yonex, 2015. <http://www.yonex.com>. [Online]

Available at: http://www.yonex.com/assets/files/2014-Badminton-Catalogue_P30-33_Racquet-Specs-Technologies.pdf

[Senest hentet eller vist den 31 maj 2015].