



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Teknisk analys av konståkningens axelhopp

Ett bidrag till att utveckla konståkningen i Sverige

Kandidatuppsats på institutionen för Industri- och materialvetenskap PPUX03-17-24

EMELIE NYBERG
MARTIN TRIEU
GUSTAV ÖLUND

KANDIDATARBETE 2017

Teknisk analys av konståkningens axelhopp

Ett bidrag till att utveckla konståkningen i Sverige

EMELIE NYBERG
MARTIN TRIEU
GUSTAV ÖLUND



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Institutionen för Industri- och materialvetenskap
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2017

Teknisk analys av konståkningens axelhopp
Ett bidrag till att utveckla konståkningen i Sverige
EMELIE NYBERG
MARTIN TRIEU
GUSTAV ÖLUND

© EMELIE NYBERG, MARTIN TRIEU, GUSTAV ÖLUND, 2017.

Handledare: Magnus Evertsson, Institutionen för Industri- och materialvetenskap
Examinator: Erik Hulthén, Institutionen för Industri- och materialvetenskap

Kandidatarbete 2017
Institutionen för Industri- och materialvetenskap
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefonnummer +46 31 772 1000

Omslagsbild: Analysbild från programvaran, MVN studio.

Typesnitt L^AT_EX
Göteborg, Sverige 2017

Teknisk analys av konståkningens axelhopp
Ett bidrag till att utveckla konståkningen i Sverige
EMELIE NYBERG, MARTIN TRIEU, GUSTAV ÖLUND
Institutionen för Industri- och materialvetenskap
Chalmers tekniska högskola

Sammandrag

Syftet med rapporten är att undersöka vilka faktorer och parametrar som kan ha betydelse för ett lyckat utförande av konståkningens axelhopp. Det här för att sedan komma fram till ny information eller presentera information på ett nytt sätt.

Xsens motion capture-system har använts för analys av axelhopp. Två trådlösa system fanns tillgängliga vid starten av projektet, en intern trådbunden dräkt och ett internt trådlöst med band. Förstudier av systemen och dess funktionalitet gjordes på fast mark medan mätningar på åkare utfördes i ishallar kring Göteborg och Stockholm. Totalt utfördes mätningar på åtta personer varav samma system användes för sju personer och därav blev de intressanta för slutresultatet.

Data från mätningar sparades till Xsens egna mjukvara, MVN Studio BIOMECH. Användbar data som var intressanta exporterades till MATLAB för vidare analys och skapande av diagram.

Resultatet visar en tydlig relation mellan hopphöjd och rotationshastighet, där en ökning av ena parametern generellt minskar mängden av den andra. Många olika kombinationer av dessa går att utnyttja för utförande av axelhopp. Ett långsiktigt mål för åkare är att sikta mot en god hopphöjd. Däremot har alla åkare olika teknik och kroppsbyggnad, vilket gör att ingen exakt siffra kan dras för den generellt mest optimala hopphöjden och rotationshastigheten. Åkare har däremot lättare att kontrollera rotationshastigheten än hopphöjden. Diagrammen som har tagits fram kan utnyttjas som ett hjälpmedel för aktiva åkare och dess tränare som ett verktyg för utveckling inom axelhopp.

Nyckelord: Konståkning, dubbel axel, enkel axel, motion capture, biomekanik.

Technical analysis of axel jumps in figure skating
A contribution to develop figure skating in Sweden
EMELIE NYBERG, MARTIN TRIEU, GUSTAV ÖLUND
Institution of Industrial and Materials Science
Chalmers University of Technology

Abstract

The purpose of the report is to investigate the factors and parameters that may be important for the successful execution of the axel jump in figure skating. This in order to generate new information or present information in a new way.

Xsens's motion capture system has been used for analysis of the axel jumps. Two wireless systems were available at the start of the project, an internally wired suit and an internal cordless suit. Preliminary studies of the systems and its functionality were done on solid ground while measurements on skaters were performed in ice halls around Gothenburg and Stockholm. In total, measurements were made of eight people, of which the same system was used for seven persons. Hence the seven persons became interesting for the final results.

Data from measurements were saved to Xsens own software, MVN Studio BIO-MECH. Useful data which were interesting were exported to MATLAB for further analysis and creating of diagrams.

The results shows a clear relationship between jump height and rotational velocity, where increasing one parameter generally decreases the other one. Many different combinations of these are possible to use for axel jumps. One long term goal for the skaters are to aim for a good jump height. However, all skaters have techniques and physique, which makes that no exact figure can be drawn for the most general jump height and rotational velocity. Skaters have however easier to control their rotational velocity than their jump height. The diagrams that has been made can be used as a tool for active skaters and their coaches as one part of developing the skills on the axel jumps.

Keywords: Figure skating, double axel, single axel, motion capture, biomechanics.

Förord

Rapporten är ett arbete inom ett projekt där avgörande faktorer för utförandet av olika former av axelhopp har studerats med motion capture-teknik. Projektet gavs som ett kandidatarbete vid institutionen för Industri- och materialvetenskap på Chalmers tekniska högskola under vårterminen år 2017. Projektgruppen bestod av studenter på civilingenjörsprogramet i maskinteknik.

Projektgruppen vill rikta speciella tack till inblandade personer i projektet. Först och främst till handledare Magnus Evertsson som med sitt intresse, engagemang och kontaktnät har underlättat för genomförandet av projektet. Ytterligare tacksamhet riktas mot de aktiva konståkare, tränare och tekniska specialister som med sina kunskaper och färdigheter har gjort projektet möjligt.

Emelie Nyberg, Martin Trieu och Gustav Ölund, Göteborg, Maj 2017

Ordlista

MVN Studio BIOMECH - Mjukvara till Microsoft Windows från företaget Xsens som används i samband med animation och datavisning av mätningarna med Xsens motion capture.

MATLAB - Avancerat mjukvaruprogram för beräkningar och datasammanställning.

Enkelhopp - Hopp där åkaren roterar ett varv i luften.

Dubbelhopp - Hopp där åkaren roterar två varv i luften.

Trippelhopp - Hopp där åkaren roterar tre varv i luften.

Quadrupelhopp - Hopp där åkaren roterar fyra varv i luften.

Innehåll

Figurer	xiii
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Axelhoppet	1
1.3 Byte av bedömningssystem	2
1.4 Föregående projekt	2
1.5 Syfte	3
1.6 Avgränsningar	3
2 Teori	4
2.1 Kastparabel av hoppet	4
2.2 Energiomvandling	5
2.3 Bevarande av rörelsemängdsmoment	6
2.4 Antaganden	7
3 Metod	8
3.1 Motion capture systemen och dess specifikationer	8
3.2 Förstudie och val av motion capture-system	9
3.3 Datainsamling	11
3.4 Urvalskriterier och etiska ställningstagande	12
3.5 Analysmodell	12
3.5.1 Ingående moment i hoppet	13
3.6 Export och tolkning av data	15
4 Resultat	18
4.1 Antal varv roterade	18
4.1.1 Åkare 4	18
4.1.2 Åkare 6	19
4.1.3 Åkare 7	19
4.2 Antal roterade varv över tiden i luften	20
4.2.1 Åkare 4	20
4.2.2 Åkare 6	21
4.2.3 Åkare 7	22
4.3 Rotationshastigheten över tiden	22
4.3.1 Åkare 4	23
4.3.2 Åkare 6	23
4.3.3 Åkare 7	24
4.4 Rotation in och ut ur hoppet	24
4.4.1 Åkare 4	25
4.4.2 Åkare 6	25
4.4.3 Åkare 7	26
4.5 Tid till maximal rotationshastighet	26
4.5.1 Åkare 4	27

4.5.2	Åkare 6	27
4.5.3	Åkare 7	28
4.6	Sammanställda resultat	28
4.6.1	Medelvärde av antal varv roterade	29
4.6.2	Medelvärde av antal varv under tiden i luften	29
4.6.3	Medelvärde av rotationshastigheten över tiden	30
4.6.4	Medelvärde av rotation in och ut ur hoppen	30
4.6.5	Medelvärde av tid till maximal rotationshastighet	31
5	Diskussion	32
5.1	Metoddiskussion	32
5.2	Resultatdiskussion	33
6	Slutsats	35
7	Rekommendationer	36
	Bilagor	I
A	Förstudieresultat	I
B	MATLAB kod	II
C	Resultatsammanställning	XIII

Figurer

1.1	Enkel axel	2
2.1	Kastparabel där höjden beror på tiden	4
2.2	Energiomvandlingen under ett axelhopp	6
3.1	Linksystemet med sensorplacering	8
3.2	Awindasystemet med sensorplacering	9
3.3	N och T kalibreringspositioner	10
3.4	Bild från fältstudie	11
3.5	De olika delmomenten	12
3.6	Ingång	13
3.7	Upphopp	13
3.8	Rotation	14
3.9	Landning	14
3.10	Resultatplott hopp höjd mot medelrotationshastighet	15
3.11	Diagram av rotationshastighet under hopp	16
3.12	Diagram av rotationshastighet under hopp	16
3.13	Rotation in och ut ur ett hopp	17
3.14	Tid för att nå maximal rotation	17
4.1	Antal varv roterade för åkare 4	18
4.2	Antal varv roterade för åkare 6	19
4.3	Antal varv roterade för åkare 7	20
4.4	Antalet varv mot tiden i luften för åkare 4	21
4.5	Antalet varv mot tiden i luften för åkare 6	21
4.6	Antalet varv mot tiden i luften för åkare 7	22
4.7	Rotationshastigheten över tiden för åkare 4	23
4.8	Rotationshastigheten över tiden för åkare 6	23
4.9	Rotationshastigheten över tiden för åkare 7	24
4.10	Rotation in och ut ur hoppet för åkare 4	25
4.11	Rotation in och ut ur hoppet för åkare 6	25
4.12	Rotation in och ut ur hoppet för åkare 7	26
4.13	Tid i luften för att nå maximal rotationshastighet för åkare 4	27
4.14	Tid i luften för att nå maximal rotationshastighet för åkare 6	27
4.15	Tid i luften för att nå maximal rotationshastighet för åkare 7	28
4.16	Medelvärde av antal varv roterade av samtliga hopp	29
4.17	Medelvärde av antal varv under tiden i luften	29
4.18	Medelvärden av samtliga hopp	30
4.19	Medelvärde av rotation in och ut ur hoppen	30
4.20	Medelvärde av tid till maximal rotationshastighet	31

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Konståkningen är uppdelad i inriktningarna singel-, par-, synkroåkning, samt isdans. I singelåkningen består programmen av hopp, piruetter och fotarbete som skall genomföras på ett tilltalande och underhållande sätt samtidigt som åkaren uppnår de tekniska kraven. Programmet utförs i två delar, kortprogram och friåkning, där de utdelade poängen för respektive del summeras till det slutgiltiga resultatet. Historiskt sett baseras konståkning på mönstren som lämnas efter skridskospåren, därav det engelska namnet figure skating [1].

Grenen singelåkning utvecklas mot att fokusera mer på hoppen än isdans. Det går att se bland de manliga deltagarna i elitnivån som behöver genomföra trippel och quadrupell hopp i friåkningen. Eliten uppnår endast framgång genom att kombinera svåra hopp med estetisk och elegant åkning. På grund av att stort fokus har lagts på hoppen spekuleras det att unik konståkning håller på att nå sitt slut [2].

Forskning inom konståkningen har tidigare utförts. Exempelvis huruvida hopp på is förhåller sig till hopp utanför isen som träningsmetod. I studien undersöktes hastigheter både vertikalt och horisontellt samt vinklar vid upphoppet och landningen. Resultatet visade att hopp utanför isen inte är helt likt hopp på is [3]. Ett annat exempel är en undersökning om utbredningen av stressfrakturer hos elitåkare i junior och seniorklassen. Resultatet visade att den ackumulerade risken för stressfrakturer är hög inom konståkningen, särskilt för singelåkare och kvinnliga paråkare [4].

Enligt Svenska konståkningsförbund skall alla elitåkare från ungdomsklassen och uppåt utföra minst ett dubbel axelhopp i kortprogrammet under tävlingar [5]. Det är ett hopp som historiskt sett har, på grund av de högt ställda kraven på åkarna, lett till att många misslyckats i sina försök att utföra det. Under svenska mästerskapen 2016 för ungdomar lyckades endast tre av 18 åkare klara hoppet felfritt [6], samma år för juniorerna var det sju av 18 åkare som inte klarade hoppet [7]. Svårigheten med hoppet gör det intressant att studera ur ett tekniskt perspektiv.

1.2 Axelhoppet

Axelhoppet innebär att åkaren tar sats och hoppar framlänges som sker med vänster fot, vilket gör hoppet unikt då alla andra påbörjas baklänges. Hoppet inleds med att åkaren åker in i en båge baklänges innan positionen för att hoppa framlänges tas. Vidare sker rotationer i luften innan landningen sker baklänges på högra fotens ytterskär. Eftersom det påbörjas framifrån betyder det att åkaren måste snurra ytterligare ett halvt varv under hoppet jämfört med andra hopp. Alltså består en enkel axel av 1,5 varv och dubbel av 2,5 och så vidare [8]. En grafisk modell av utförandet av en enkel axel går att se i figur 1.1 nedan.



Figur 1.1: Enkel axel

Konståkning i sig är en individuell sport och hur åkaren lyckas med ett axelhopp varierar från individ till individ. Att bemästra dubbel axelhopp tar lång tid och för vissa kan det ta flera år. Eftersom axelhoppet är så pass svårt brukar det vara sista hoppet som åkaren börjar träna på oberoende på vilken grad det gäller, enkel, dubbel eller trippel [9].

För att chansen skall öka för att landa hoppet krävs det att åkaren hoppar så högt och roterar så fort som möjligt. Det som har identifierats bland åkare som kan landa enkel, dubbel och trippel axelhopp är att de tenderar till att hoppa lika högt vid alla hopp. Det här betyder då att det är rotationshastigheten som varierar mellan de olika hoppen och inte hopphöjden. Genom att komma in fortare med benen och armarna i en samlad position tätt intill kroppen kan åkarna styra rotationshastigheten [10].

1.3 Byte av bedömningssystem

År 2004 infördes ett nytt bedömningssystem för konståkning. Innan dess användes ISU 6.0 system som sedan ersattes av ISU Judging System. ISU 6.0 fungerade på ett sådant sätt att varje domare i panelen skulle bedöma ett program utifrån två skalor. De två skalorna baserades på åkteknik och presentation med fokus på artisteri, timing, musik, tolkning och uttryck. Poängen presenterades sedan efter utförandet av programmet. Anledningen till att systemet ersattes var för att uppnå en noggrannare och objektivare bedömning efter konståkningsskandalen i vinter-OS 2002 [11].

Det nya bedömningssystemet består av två paneler, den tekniska panelen och domarpanelen. De olika panelerna finns för att särskilja de utförande elementen från presentationen av programmet [11].

1.4 Föregående projekt

Det här projektet är en vidareutveckling på arbetet *Konståkares hoppteknik* som utfördes under vårterminen 2016 på Chalmers tekniska högskola inom institutionen

för Industri- och materialvetenskap. Under det projektet utvärderades olika tekniska hjälpmedel angående vilket som bäst lämpades för mätningar på is. Valet föll på två varianter av motioncapturesystem från företaget Xsens, vilka köptes in till institutionen [12]. Dessa system utnyttjas även i årets upplaga för datainsamling samt visualisering av åkarna.

1.5 Syfte

Svårigheten med axelhoppet är momentet att hoppa framlänges. Det blir ovant för åkarna vilket leder till att det krävs specifik träning på delmomenten i hoppet. De områden som är relevanta för analys är ingången, upphoppet, rotationen i luften och landningen. Varje tränare lär ut enligt egna metoder för hur hoppen skall tränas och genomföras, vilka bygger på egna erfarenheter. Det finns väldigt få objektiva underlag om vilka faktorer som faktiskt avgör huruvida hoppet är lyckat eller ej. Här finns ett utrymme för matematisk beskrivning och ingenjörskompetens att undersöka och utvärdera möjliga avgörande faktorer.

Projektets syfte är att analysera axelhoppet enkel, dubbel och trippel axel, för att ur ett tekniskt perspektiv ge information om avgörande parametrar vid utförandet av hoppen.

1.6 Avgränsningar

Avgränsningar som gjordes i studien var att det tidsmässigt utfördes från 2017-01-17 till 2017-05-23. De data insamlingssystem som användes var Xsens Motion Capture som var förutbestämda sedan tidigare projekt [12]. Andra konståkningshopp uteslöts för att avgränsa projektet tidsmässigt. Den estetiska delen av åkningen bortsågs från och endast den tekniska delen undersöktes. Systemet som användes i projektet var lämpligt att mäta förhållanden mellan kroppsdelar. Att bedöma estetiken och ett korrekt konståkningsmässigt utförande av hoppen eller åkningen mellan hoppen kräver annan specialistkompetens än projektet kunde erhålla.

2 Teori

I följande kapitel behandlas den teori och de antaganden som ligger till grund för projektets resultat. Eftersom projektet bygger på verkliga fältstudier bygger analysen på mekanik och fysikaliska lagar. Då åkaren utför sitt hopp antas det att det går att översätta till en kastparabel. Hoppets olika faser går att översätta till lagarna om energiomvandling. Tröghetslagen och bevarandet av rörelsemängdsmoment ger dessutom åkaren möjligheten att på egen hand påverka rotationen i luften. Dessa ingående områden förklaras mer i detalj nedan. Slutligen presenteras alla antaganden som har gjorts vid analyserna.

2.1 Kastparabel av hoppet

Åkarens tyngpunkt under ett konståkningshopp kan definieras som en kastparabel. Hur högt en åkare hoppar beroende på tiden i luften kan tas fram genom ekvation 2.1 som baseras på kastparabelns y-värden. I figur 2.1 visualiseras ett exempel på hur en kastparabel kan se ut.

$$y(t) = V_y t - \frac{1}{2} g t^2 \quad (2.1)$$

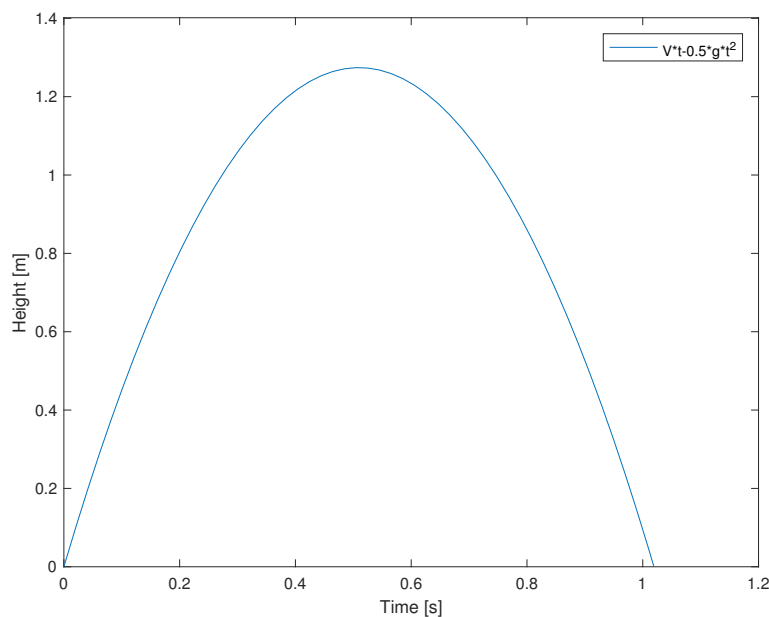
där

$y(t)$ - höjden

V_y - utgångshastighet i z-led

t - tid i sekunder

g - gravitationsaccelerationen



Figur 2.1: Kastparabel där höjden beror på tiden

För att ta reda på hur lång tid en åkare befinner sig i luften beräknas derivatan och då fås tiden ut vid z_{max} genom att sätta derivatan till noll. Vidare tillämpas ett antagande om att t_{tot} är den dubbla tiden då isen är en plan yta.

$$\frac{dy}{dt} = V_y - gt \quad (2.2)$$

$$t_{topp} = \frac{V_y}{g} \quad (2.3)$$

$$t_{tot} = 2t_{topp} \quad (2.4)$$

2.2 Energiomvandling

Enligt den klassiska energiprincipen kan inte energi skapas eller förstöras, endast omvandlas [13]. Varje axelhopp består av energiformerna rörelseenergi E_k , rotationsenergi E_{rot} och potentiell energi E_p .

Rörelseenergin, kinetiska energin, beskrivs med hjälp av dess karakteristiska ekvation:

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \quad (2.5)$$

Där m är åkarens totala massa och v är hastighetsvektorn. Den kinetiska energin verkar under hela hoppet men förändras under tiden. Innan upphoppet påbörjas finns en kinetisk energi som uppstår på grund av hastighetsvektorn vars riktning är parallell med underlaget. Därefter utvecklas den kinetiska energin när hastighet läggs på i y-led på grund av att åkaren hoppar upp från isen vilket påverkar storleken och riktningen av hastighetsvektorn. Slutligen ändras den kinetiska energin vid landning då hastighetsvektorn lägger sig parallell mot underlaget. Eftersom massan är konstant är det endast hastighetsvektorn som påverkar den kinetiska energin under ett axelhopp [13].

Den potentiella energin beskrivs genom följande ekvation:

$$E_p = mgh \quad (2.6)$$

Där m även i det här fallet är åkarens totala massa, g gravitationsaccelerationen och h är höjden från underlaget till åkaren. Eftersom den potentiella energin innehåller parametern h kan potentiell energi endast uppstå då en höjdskillnad sker. I det här fallet uppstår en förändring av den potentiella energin då åkaren lämnar isen fram till landning sker [13].

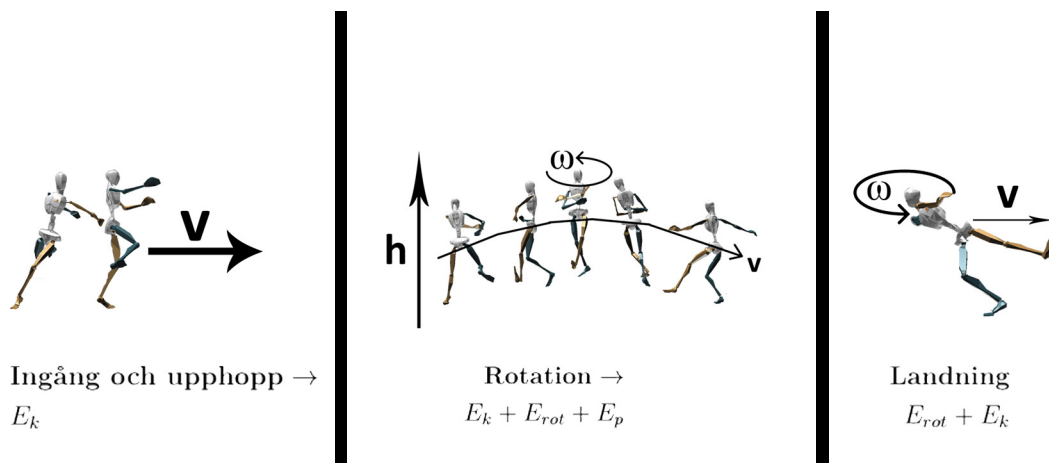
Rotationsenergin beskrivs på följande sätt:

$$E_{rot} = \frac{I\omega^2}{2} \quad (2.7)$$

Där I är tröghetsmomentet för en viss axel i rummet, z-, y-, eller x-axeln och ω är rotationshastigheten. Rotationsenergin uppstår inte innan åkaren börjat rotera, det

vill säga när hoppet påbörjas. Därefter kommer rotationsenergin vara konstant under hoppet fram till landningen då ingen energi kan tillföras under luftfärden. Däremot kommer de olika parametrarna tröghetsmoment och rotationshastighet förändras med tiden. Eftersom rotationsenergin kommer vara konstant betyder det även att I är konstant [13].

Under de olika faserna av hoppet omvandlas energin alltså tre gånger. Nedanstående i figur 2.2 går det att se när de olika parametrarna uppstår. Anledningen till att tröghetsmomentet och massan inte är med på bilderna är för att massan är konstant och tröghetsmomentet är för komplext för att illustrera.



Figur 2.2: Energiomvandlingen under ett axelhopp

2.3 Bevarande av rörelsemängdsmoment

När exempelvis en konståkare går från en öppen position med armarna rakt ut i sidan till en sluten position med armarna in mot bröstet ökar rotationshastigheten. Det här fenomenet uppstår på grund av att rörelsemängdsmomentet bevaras. Rörelsemängdsmomentet ges av:

$$L = I\omega \quad (2.8)$$

Där I =Tröghetsmomentet [kgm^2] och ω =rotationshastigheten [r/s] [13].

Av de två parametrarna är det tröghetsmomentet som beror på geometrin av kroppen. För att förstå tröghetsmomentet bättre kan kroppen delas upp i olika mindre delar med olika massor, $m_1, m_2, \dots, m_n$ därefter kan en summa av tröghetsmoment i Z, Y eller X-axel beräknas genom ekvation 2.9.

$$I_{z/y/x} = \sum_{i=1}^n m_i R_i^2 \quad (2.9)$$

där R_i är avståndet från kroppsdelen i masscentrum till den specifika rotationsaxeln [13].

Det betyder att när tröghetsmomentet minskar i y-axeln måste rotationshastigheten i y-axel öka för att bevara samma rörelsemängdsmoment L . Alltså går det att öka rotationshastigheten genom att minska tröghetsmomentet. För att minska tröghetsmomentet måste avstånd mellan masscentrum och rotationsaxeln minska, R_i^2 , som kan ses i ekvation 2.9 eftersom massorna är konstanta. Alltså är de kroppsdelar med stora massor eller långa avstånd från rotationsaxeln de som kommer påverka rotationshastigheten mest [13].

2.4 Antaganden

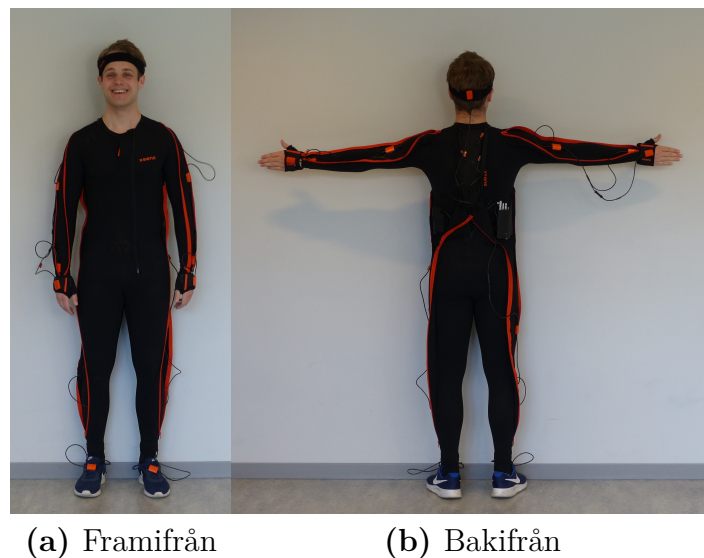
Antaganden har gjorts att luftmotståndet anses vara litet och på så vis inte påverkar utfallet av beräkningarna i det bestämda fallet. Isen som åkarna åker på anses vara friktionsfri vid beräkningarna.

3 Metod

Kapitlet behandlar de tillvägagångssätt som studien utförts enligt. Möten med sakkunniga inom området utfördes för att få en djupare förståelse av enkel och dubbel axelhopp samt idrotten som helhet.

3.1 Motion capture systemen och dess specifikationer

Under projektet fanns två olika motion capture system till förfogande, ett internt system MVN Link och ett trådlöst system MVN Awinda. Detaljerade specifikationer för båda systemen följer nedan [14]. Där sensorplaceringen för Link systemet ses i figur 3.1 och listan nedan. Sensorplaceringen för Awinda systemet ses i figur 3.2 och i listan nedanför.



Figur 3.1: Linksystemet med sensorplacering

MVN Link specifikationer

- Helkroppsdräkt
- 17 kabelbundna sensorer
- 20ms fördröjning
- 1kHz intern uppdateringsfrekvens
- 240Hz dataöverföringshastighet
- Räckvidd 50m inomhus och 150m utomhus
- Internt minne för de senaste 120s
- Batteripaket och sändare
- Batteritid max 9h 30min

MVN Link sensorplacering

- Bakhuvudet (1st)
- Skuldrorna (2st)
- Bröstbenet (1st)
- Utsidan av överarmarna (2st)
- Utsidan av underarmarna (2st)
- Händerna (2st)
- Bäckenet (1st)
- Utsidan av låren (2st)
- Utsidan av smalbenen (2st)
- Fötterna (2st)



(a) Framifrån

(b) Bakifrån

Figur 3.2: Awindasystemet med sensorplacering**MVN Awinda**

- Rembaserat system
- 17 trådlösa sensorer
- 30ms fördröjning
- 1kHz uppdateringsfrekvens
- 60Hz dataöverföringshastighet
- Räckvidd 20m inomhus och 50m utomhus
- Internt minne för de senaste 10s
- Batteritid för max 6h

MVN Awinda sensorplacering

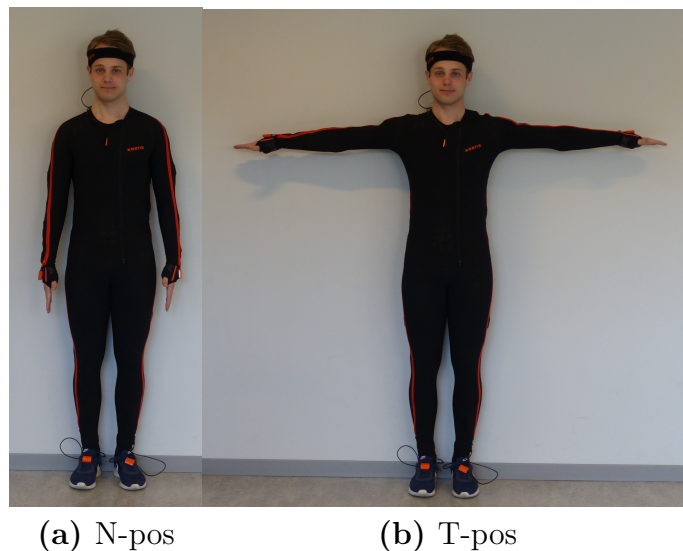
- Bakhuvudet (1st)
- Skuldrorna (2st)
- Bröstbenet (1st)
- Utsidan av överarmarna (2st)
- Utsidan av underarmarna (2st)
- Händerna (2st)
- Bäckenet (1st)
- Utsidan av låren (2st)
- Framsidan av smalbenen (2st)
- Fötterna (2st)

Sensorplaceringen applicerades på åkarna enligt anvisningar från Xsens [14]. Mätdata genererades från hårdvaran och den kompatibla mjukvaran Xsens MVN Studio 4.3 BIOMECH för Microsoft Windows. Slutligen illustrerades en visualiserad docka i mjukvaruprogrammet som representerade testpersonen samtidigt som data sammanställdes från alla individuella fysiska sensorer men även några mjukvarubaserade parametrar som systemet genererat.

3.2 Förstudie och val av motion capture-system

Validering av befintlig utrustning i form av Xsens motion capture-system, Awinda och Link utfördes. Huvudsyftet var att jämföra verkliga mätsträckor och rörelsemönster med de som systemen visade för att se differansen mellan systemen och

verkligheten, och på så vis validera utrustningen. Det gjordes även en precisionsjämförelse mellan de olika kalibreringsmetoderna som systemen har, N- och T-position [14]. Kalibreringspositionerna ses i figur 3.3.



Figur 3.3: N och T kalibreringspositioner

De moment som undersöktes för respektive kalibreringsprocess var följande övningar:

- Sätta sig och resa sig
- Föra handen till olika positioner
- Händerna på huvud, axlar, knäleder och tår

För händerna på huvud, axlar, knäleder och tår, "HAKT", betygsattes visualiseringarna subjektivt på en skala från noll till två poäng, där noll var underkänt, ett godkänt och två korrekt visualiserat. Var exempelvis händerna vid fötterna under tillfället för tår i HAKT ansågs det vara godkänt men om händerna var placerade vid fel kroppsdel ansågs det vara underkänt. Analysen och betygsättningen gjordes enskilt av två personer där diskussion mellan dessa angående poängsättningen fördes efteråt. Medlet av poängen redovisas i bilaga A. Vid övriga parametrar beräknades det normerade värdet på differensen mellan det i verkligheten uppmätta värdet och det som MVN Studio 4.3 gav vid de olika testerna.

Under valideringsprocessen gjordes en avvägning tillsammans med utlåtanden från aktiva konståkare om vilket system som skulle användas för mätningarna i studien.

En testmätning utfördes på en manlig åkare i Kållereds ishall, där Awindasystemet användes. Testet bestod av tio stycken enkel axelhopp och ett dubbel axelhopp. Resultaten från förstudien användes i kombination med ovanstående tester för att avgöra vilket system som senare skulle användas i studien. I slutändan togs beslutet att Link systemet med N-positions kalibrering skulle användas under mätningarna.

3.3 Datainsamling

Mätningarna utfördes i Göteborgsregionen i ett samarbete med Mölndals konståkningsklubb och Skärgårdens sportklubb konståkning. En mätning utfördes i Älta ishall i Stockholm, en i Öckerö ishall samt tre i Åby ishall. Totalt deltog sju åkare i studien. Datan samlades in med Xsens systemet Link samt med videoinspelning som utfördes med en Panasonic LUMIX DMC-FZ200 kamera. Datan från testerna samlades in och analyserades i mjukvaruprogrammet MVN Studio 4.3.

Vid mätningarna i ishallarna utfördes ett program baserat på åkarnas färdigheter. Först ombads åkarna till uppvärmning och applicering av systemet. Systemet som applicerades under fältstudierna ses i figur 3.4. Efteråt ombads åkarna att utföra ett grundprogram innehållandes tio enkel axelhopp följt av tio dubbel axelhopp. I ett specialfall ombads åkaren att utföra tio trippel axelhopp utöver dubbel axelhopp i grundprogrammet, detta då åkaren aktivt tränade på trippel axel. Alla hopp filmades för sig i mjukvaruprogrammet samtidigt som hoppen spelades in med kameran.



Figur 3.4: Bild från fältstudie

3.4 Urvalskriterier och etiska ställningstagande

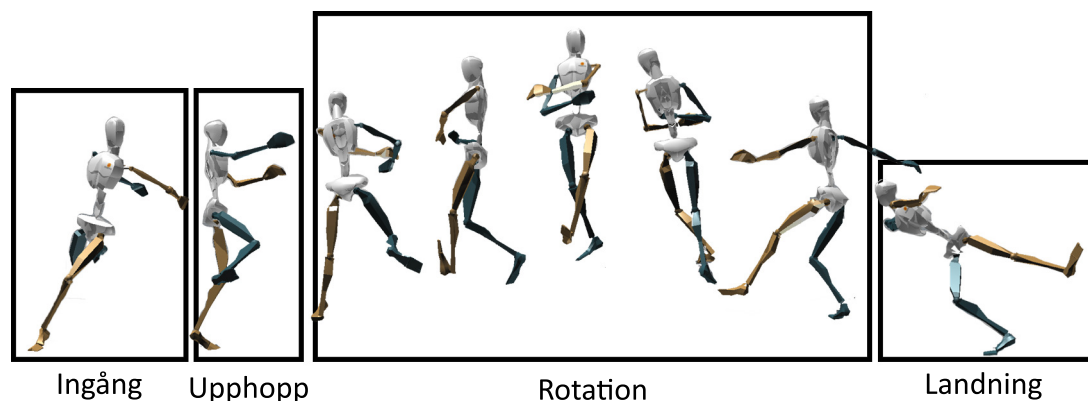
Studien utfördes på aktiva konståkare inom Västra Götalandsregionen och Stockholmsområdet med följande urvalskriterier:

- Klarade enkel axel.
- Minst påbörjad träning av dubbel axel.

Samtliga åkare fick muntlig information om studien innan studiemedverkan, samtliga tillfrågade valde att medverka i studien. Alla åkare hade vid testerna uppnått en ålder av minst 15 år vilket enligt etiska regler var godkänt för studiemedverkan på högskola och universitet [15]. Etiska ställningstagande diskuterades inom projektet innan studien påbörjades. Det här ansåns godkänt då urvalskriteriet hade som krav att åkarna skulle vara bekanta med de moment som skulle utföras under mätningarna. Dessutom påverkade inte den utrustning som adderades på åkarna inte utförandet av momenten. Åkarna var i åldrarna 15 till 23 år varav sex var kvinnor och en var man. Mannen testades vid två tillfällen. All data behandlades avkodat och anonymt. Godkännande för användning av bilder sattes som krav för de bilder som publicerades i rapporten.

3.5 Analysmodell

En teoretisk modell framställdes enligt mekaniken där de olika delmomenten i hoppet analyserades. Delmomenten var ingång, upphopp, rotation och landning. Först framställdes en förenklad modell av hoppet enligt figur 3.5.



Figur 3.5: De olika delmomenten

Datan analyserades i de olika delmomenten med en iterativ process. Hoppet analyserades i sin helhet för att sedan ingående analysera de olika delmomenten var för sig. Processen upprepades under arbetets gång. För att undersöka relevansen av datan som hade analyserats fördes diskussioner med sakkunniga inom konståkningen.

3.5.1 Ingående moment i hoppet

Ingången till hoppet studerades där hastigheten in sågs som viktigaste parametern. Försök gjordes med att rita linjer på isen för att kunna mäta ingångshastigheten då ingen data från systemet gav de uppgifterna. Linjerna suddades ut och gick inte att använda för att få valid data. Ett exempel på en ingång ses i figur 3.6.



Figur 3.6: Ingång

Upphoppet studerades i form av inbromsningen som åkarna gör precis innan de hoppar upp, för att initiera rotationsfasen. Ett upphopp visas i figur 3.7. Inga parametrar av värde kunde identifieras ur mjukvaruprogrammet.



Figur 3.7: Upphopp

Under rotationen i luften studerades huruvida positionen av kroppsdelarna påverkade rotationshastigheten under hoppet. Hur långt tid det tog för en åkare att uppnå sin maximala rotationshastighet har även varit av intresse. Hopphöjden gavs av tiden i luften. En rotation ses i figur 3.8.



Figur 3.8: Rotation

Landningen studerades i form av vinkeln mellan axelleder och höftleder, ingen signifikant skillnad kunde noteras mellan ett landat hopp och ett fall, landningspositionen ses i figur 3.9.



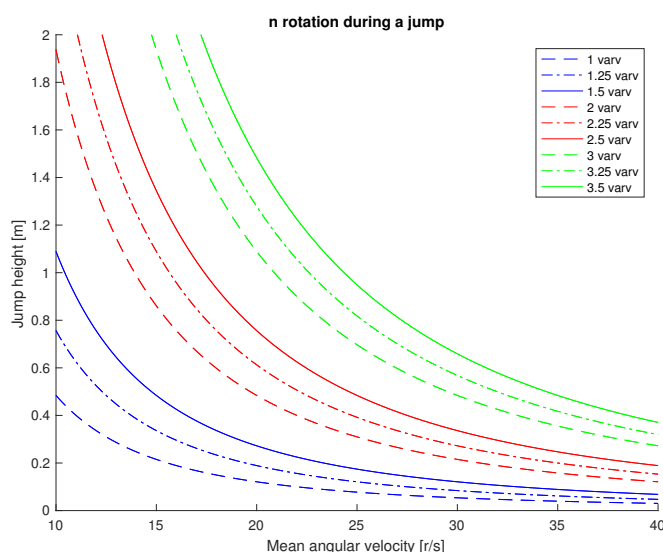
Figur 3.9: Landning

3.6 Export och tolkning av data

Med hjälp av en funktionsfil som hämtades från Xsens, exporterades data från MVN Studio 4.3 till MATLAB. Datan som varit användbar har varit accelerationen vid vänster och höger fot och rotationshastighet och position vid bäckenet. Accelerationen vid vänster och höger fot användes för att hitta tidpunkterna då hoppen påbörjades och avslutades. Samtliga hopp påbörjades med vänster fot vilket gjorde att punkten vid globalt maximum för accelerationen låg vid den tidpunkt då hoppen påbörjades. På samma sätt identifierades tidpunkten för landning, fast vid globala minimum för accelerationen av höger fot, då hoppen landades på höger fot.

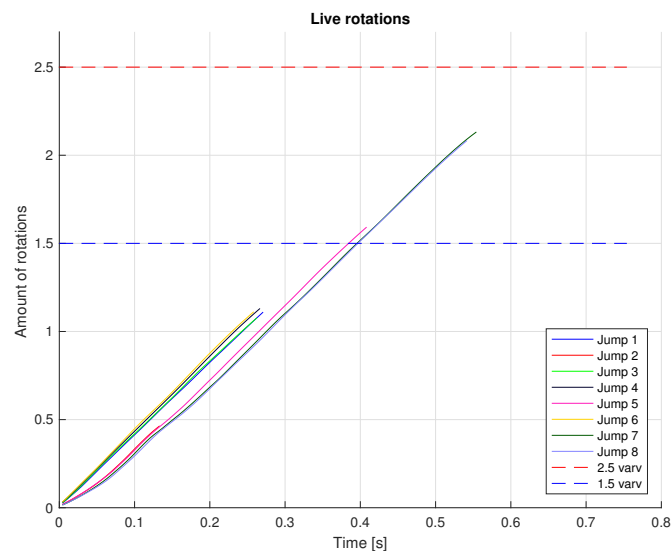
För att tolka datan som exporterades från MVN skapades en MATLAB-kod, bilaga B, som genererade fem olika diagram som behandlade ett eller flera hopp. Under projektet diskuterades diagrammen med sakkunniga inom konståkning för att verifiera att de var användbara för utveckling av axelhoppet. Det första diagrammet illustrerade hur nära åkarna var på att landa axelhoppet i de olika graderna enkel-, dubbel- och trippelhopp. Genom att rita upp linjer som var baserade på de fysiska fenomen som presenterades i teori-kapitlet kunde de minimala kraven för axelhoppet visualiseras där kraven var hopphöjd, y-led, och medelrotation, x-led.

I figur 3.10 visas ett exempel på hur diagrammet såg ut där de blåa linjerna motsvarar enkel axel, de röda dubbel axel och de gröna trippel axel. Varje hopp är indelat i tre linjer, där den första linjen för enkel axel motsvaras av ett varv, den andra ett och ett kvarts varv samt den sista ett och ett halvt varv, för dubbel och trippel axel adderas ett varv. Inom konståkningen avgörs antal varv roterade av vinkeln vid skridskon, där de tekniska specialisterna studerar skillnaden mellan upphopps- och landningsfoten. Vid beräkningar i diagrammet nedan mäts antalet varv roterade från bäckenet. Bäckenet roterar cirka ett kvarts varv mindre under ett axelhopp än skridskon. Hoppen som placeras till höger om mittenlinjen i diagrammet för de olika antal varven roterade räknas alltså som godkända.



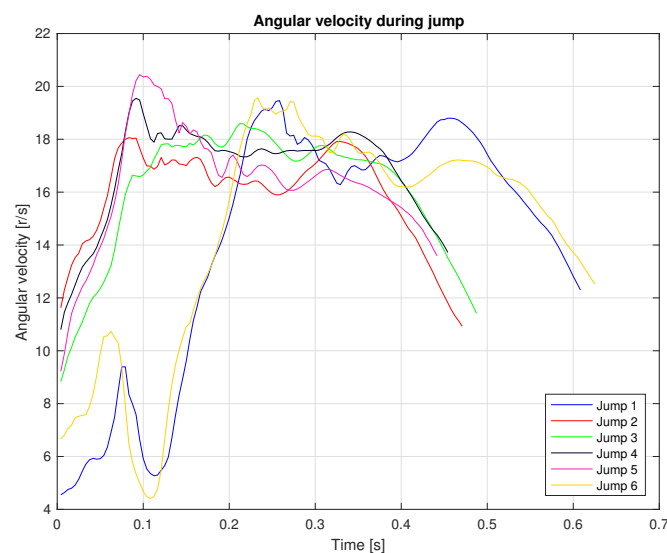
Figur 3.10: Resultatplott hopphöjd mot medelrotationshastighet

Det andra diagrammet fungerade som ett kompletterande diagram till det första. Diagrammet visar antal varv, y-led, som uppnås med tiden, x-led. Resultatet baserades från data på rotationshastighet i bäckenet som kan ses i exempeldiagrammet i figur 3.11.



Figur 3.11: Diagram av rotationshastighet under hopp

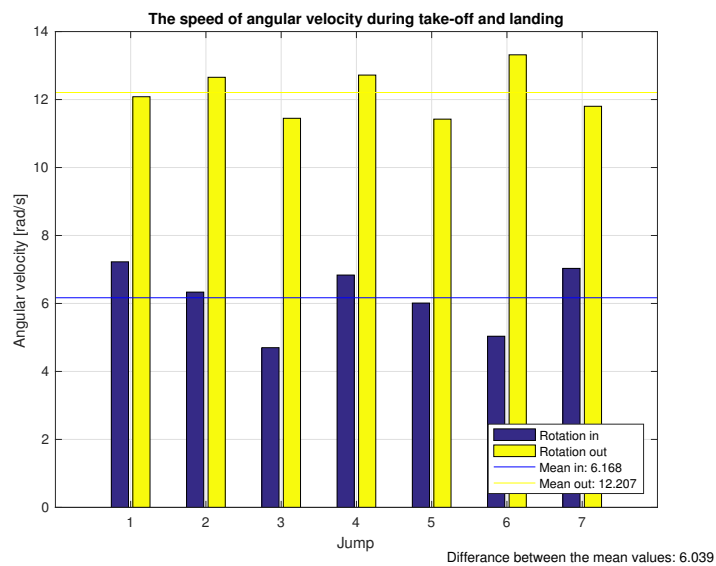
Tredje diagrammet visar derivatan av det andra diagrammet, alltså rotationshastigheten, y-led, under tiden vid hoppet, x-led. Diagrammet baserades även här på datan från rotationshastigheten i bäckenet. I figur 3.12 visas ett exempel.



Figur 3.12: Diagram av rotationshastighet under hopp

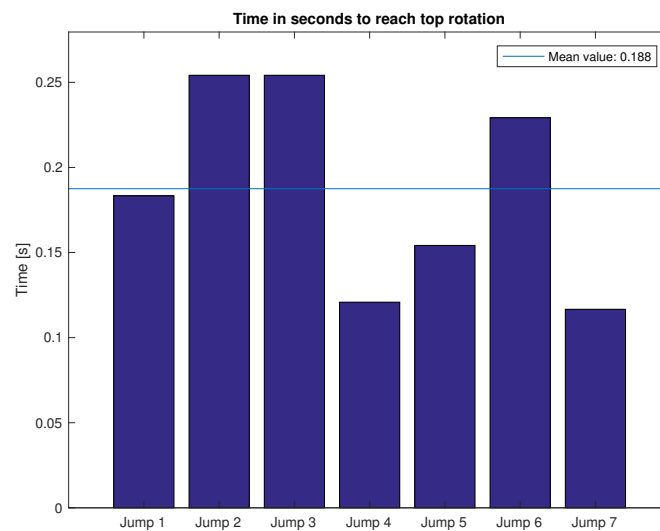
Därefter skapades ett fjärde diagram som baserades på första och sista värdet på rotationshastigheten för att presentera och jämföra rotationshastigheten en åkare

hade vid start av hopp och landning. I figur 3.13 visas ett exempel på hur det såg ut.



Figur 3.13: Rotation in och ut ur ett hopp

Till slut gjordes ett femte diagram som visade hur lång tid det tog för en åkare att uppnå sin maximala rotation under varje hopp, exempel går att se i figur 3.14.



Figur 3.14: Tid för att nå maximal rotation

4 Resultat

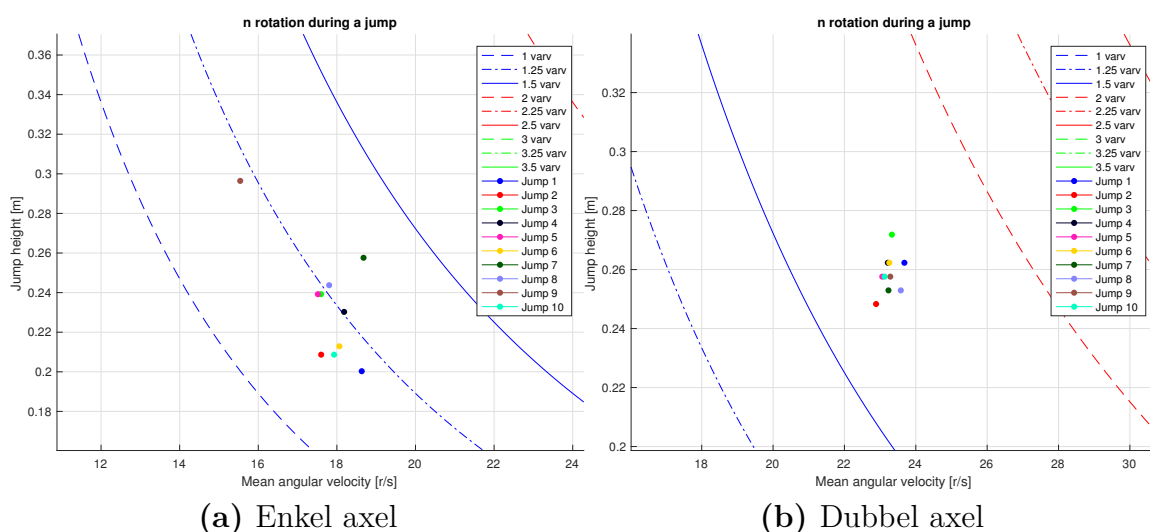
Följande kapitel behandlar resultaten från studien. Där tre åkare valts ut med olika hopptechnik. De åkare som valdes ut var åkare 4, 6 och 7. Samtliga sju åkares resultat finns att studera i bilaga C, där de benämns som åkare 1-7.

4.1 Antal varv roterade

Resultaten av antalet roterade varv för de tre utvalda åkarna presenteras nedan. Tillsammans med en tolkning av resultaten för diagrammet.

4.1.1 Åkare 4

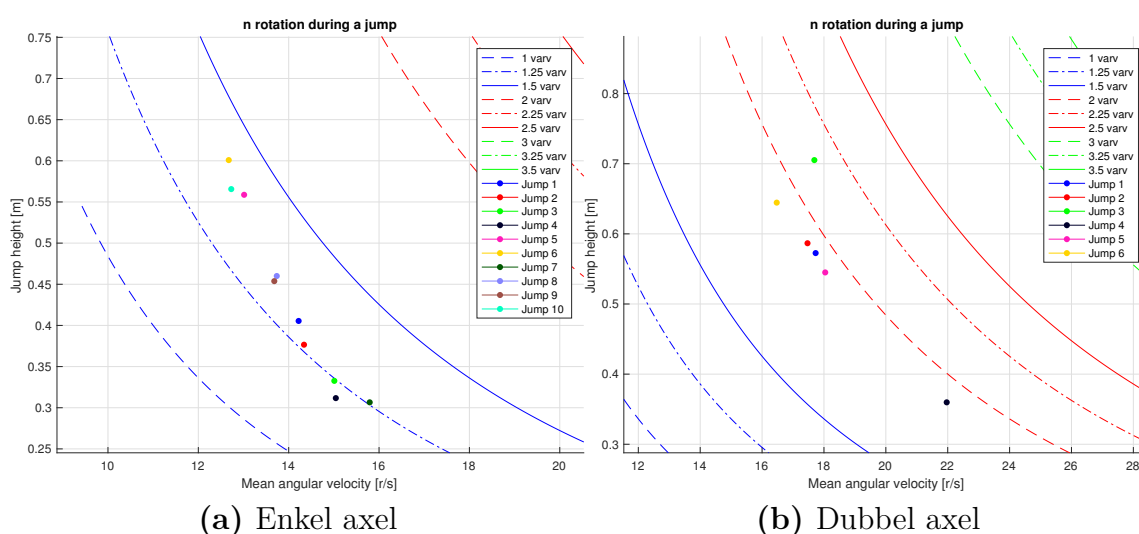
Figur 4.1 (a) visar att åkare 4 under enkel axel hoppar tillräckligt högt i förhållande till medelrotationen i tre av hoppen och inte tillräckligt i de resterande sju hoppen. Figur 4.1 (b) visar att åkaren inte lyckas komma nära en dubbel axel vid något hopp.



Figur 4.1: Antal varv roterade för åkare 4

4.1.2 Åkare 6

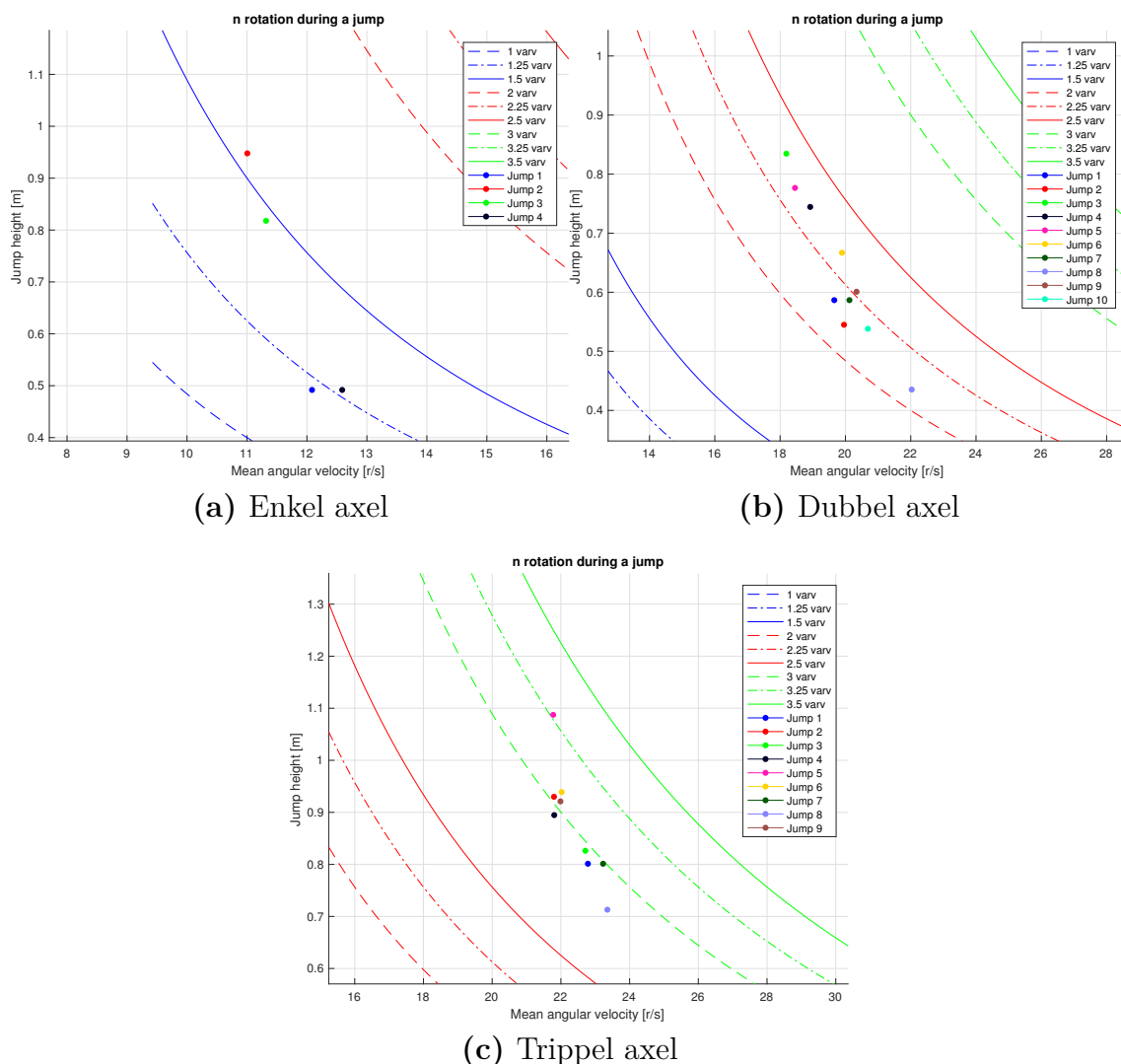
Figur 4.2 (a) visar att två av hoppen inte är tillräckliga gällande kombinationen av hopp höjd och medelrotation samtidigt som åtta av hoppen är tillräckliga. Figur 4.2 (b) visar att vid dubbel axel är endast ett hopp av tillräckligt högt i förhållande till medelrotationen samtidigt som de resterande fem hoppen inte är tillräckliga.



Figur 4.2: Antal varv roterade för åkare 6

4.1.3 Åkare 7

Figur 4.3 (a) visar att åkare 7 hoppar tillräckligt högt och är färdigroterad under enkel axel. Figur 4.3 (b) visar att åkaren under dubbel axel hoppar tillräckligt högt i förhållande till medelrotationen under sex hopp och inte tillräckligt under de andra fyra hoppen. Figur 4.3 (c) visar att vid trippel axel hoppar åkaren tillräckligt högt med hänsyn till medelrotationen fyra gånger och inte tillräckligt i de resterande fem hoppen.



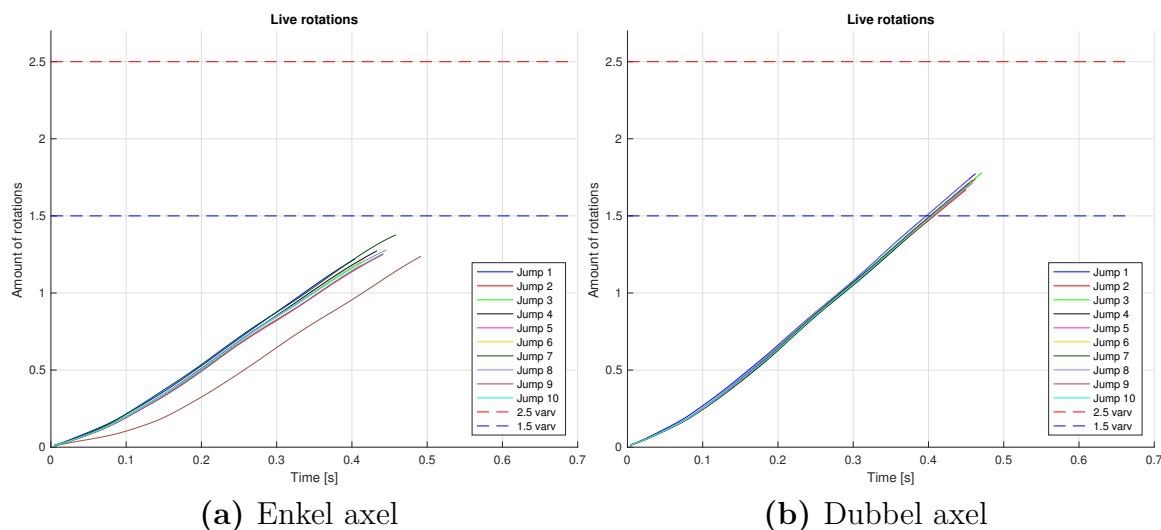
Figur 4.3: Antal varv roterade för åkare 7

4.2 Antal roterade varv över tiden i luften

Resultaten av antalet roterade varv över tiden i luften för de tre utvalda åkarna presenteras nedan. Tillsammans med en sammanställning för varje åkares resultat.

4.2.1 Åkare 4

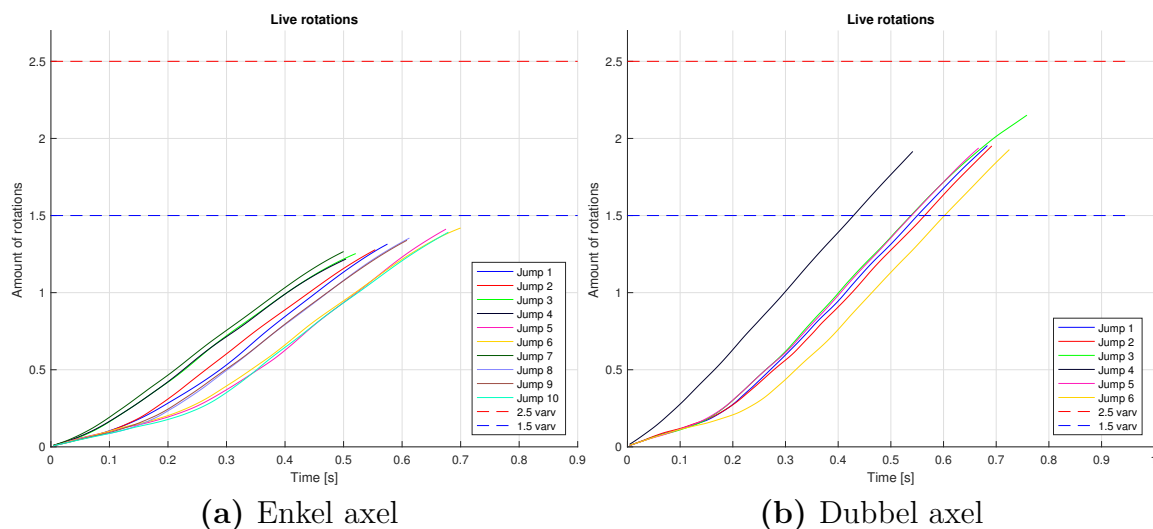
Figur 4.4 (a) visar att alla enkel axelhopp förutom nummer nio utförs enligt väldigt liknande mönster. Skillnaden är att hopp nio har en långsammare utgångsrotation. Figur 4.4 (b) visar tydligt att alla dubbel axelhopp utförs närmare identiskt.



Figur 4.4: Antalet varv mot tiden i luften för åkare 4

4.2.2 Åkare 6

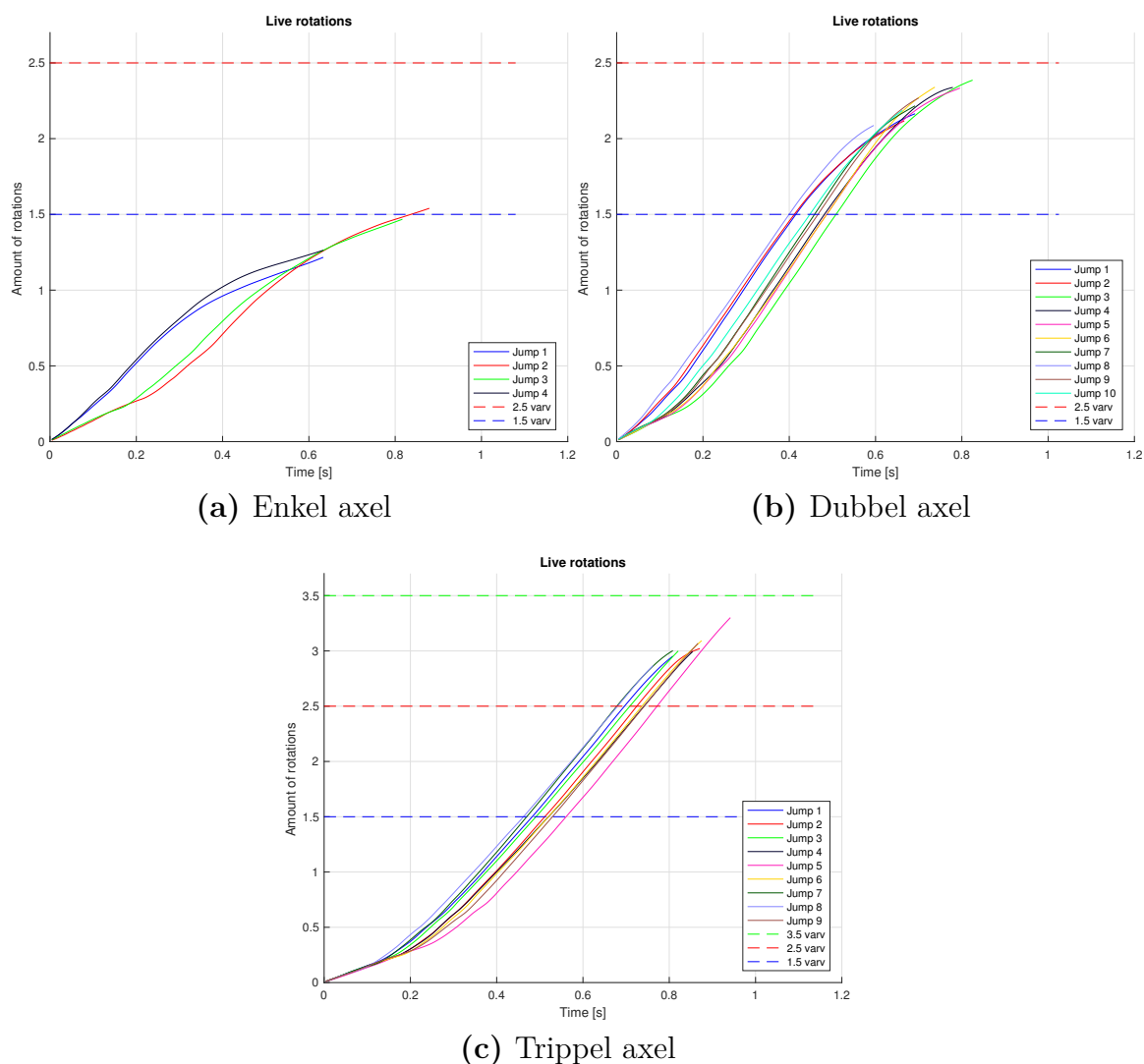
Figur 4.5 (a) visar att alla enkel axelhopp utförs enligt liknande mönster efter starten men att det tar olika lång tid för hoppen att komma upp i rotationshastighet. Figur 4.5 (b) visar på väldigt liknande start för alla hopp utom ett och sedan en jämn utveckling av rotationen efteråt.



Figur 4.5: Antalet varv mot tiden i luften för åkare 6

4.2.3 Åkare 7

Figur 4.6 (a) visar att åkaren utför sina hopp med ett relativt konstant mönster i två av hoppen och ett annat relativt konstant mönster i de andra två fallen. Figur 4.6 (b) visar att alla hoppen följer ett liknande mönster och att tiden under rotationsfasen är något förlängd i jämförelse med enkel axel. Figur 4.6 (c) visar att starten av trippel axel är väldigt snarlik under alla hoppen och att resten av hoppen utvecklar sig enligt liknande mönster.



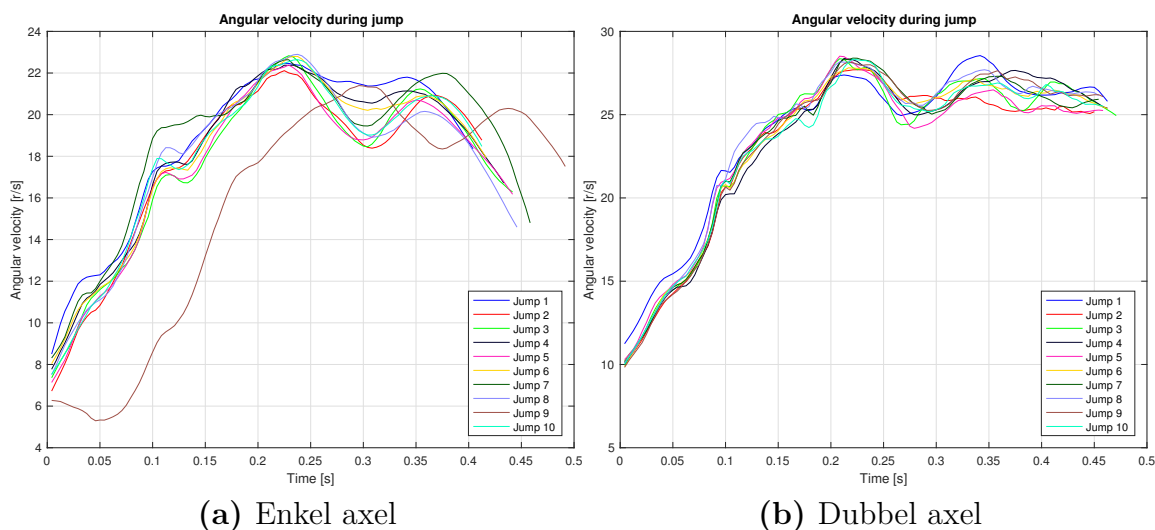
Figur 4.6: Antalet varv mot tiden i luften för åkare 7

4.3 Rotationshastigheten över tiden

Resultaten av rotationshastigheten över tiden för de tre utvalda åkarna presenteras nedan.

4.3.1 Åkare 4

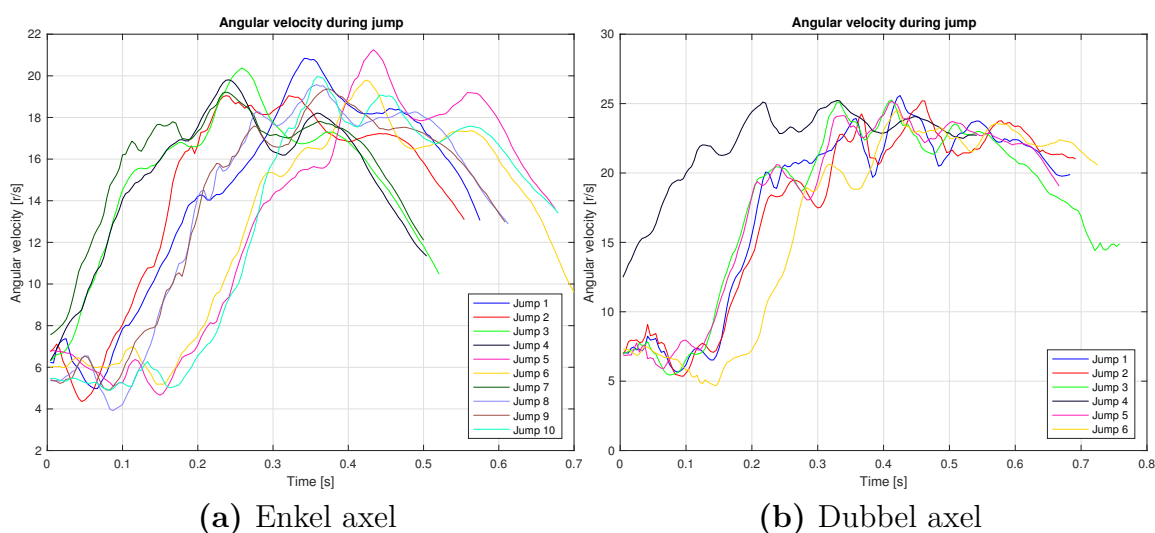
För enkel axel figur 4.7 (a) avslutar åkaren rotationen. För dubbel axel 4.7 (b) avslutas inte rotationen. Rörelsemönstret för enkel och dubbel axel för åkare 4 följer samma mönster.



Figur 4.7: Rotationshastigheten över tiden för åkare 4

4.3.2 Åkare 6

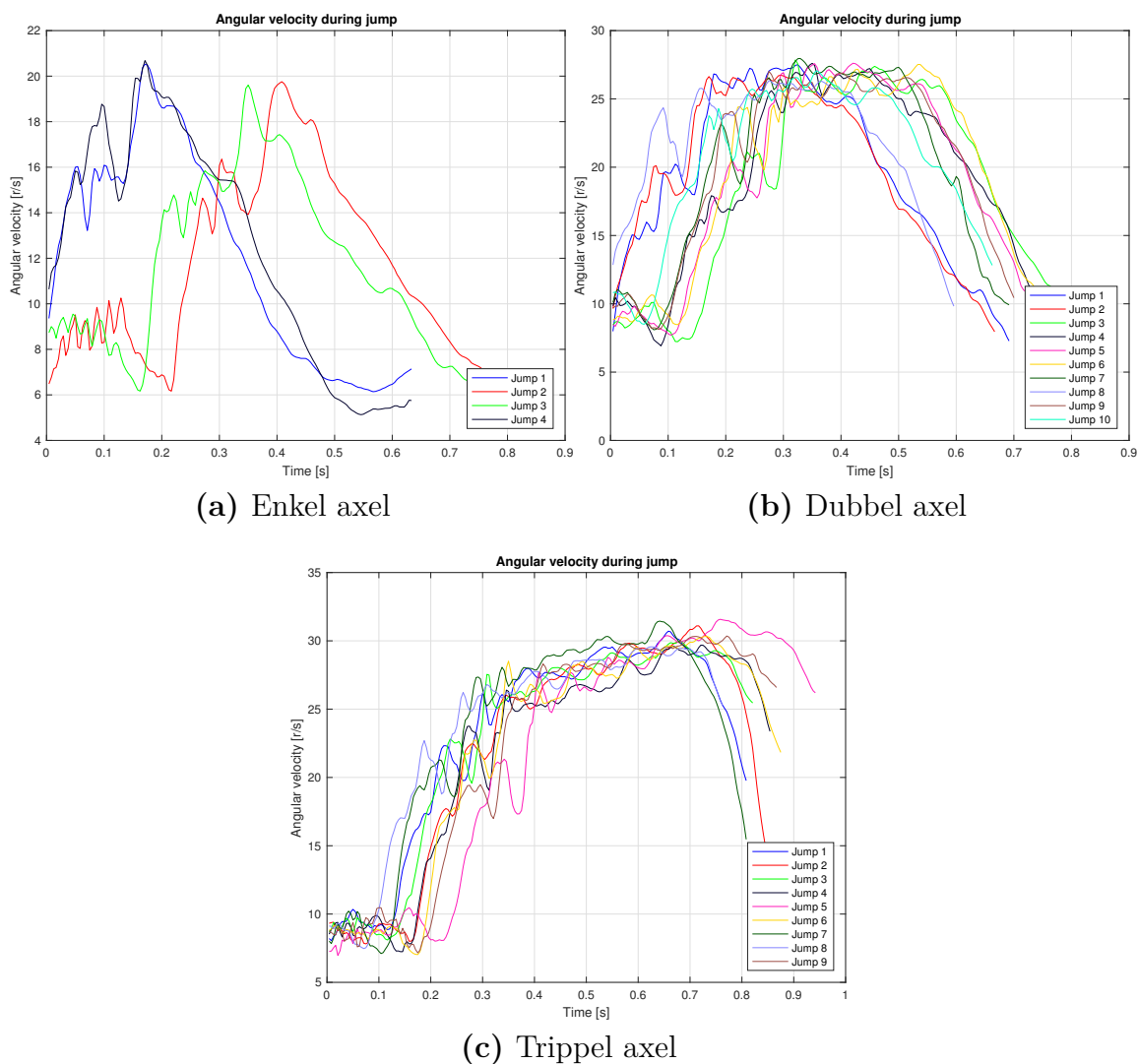
För enkel axel noteras endast tidsförskjutningar där hopparen ökar sin rotationshastighet ses i figur 4.8 (a) där samtliga hopp också avslutas med en inbromsning av rotationen. För dubbel axel se figur 4.8 (b) noteras en liten minskning av rotationshastigheten i slutet av hoppet. Rörelsemönstret för enkel och dubbel axel för åkare 6 följer samma mönster.



Figur 4.8: Rotationshastigheten över tiden för åkare 6

4.3.3 Åkare 7

Samtliga hopp avslutas med att rotationen bromsas upp när hoppet är färdigroterat ses i figur 4.9. Hoppmönstret för samtliga hopp följer liknande mönster.



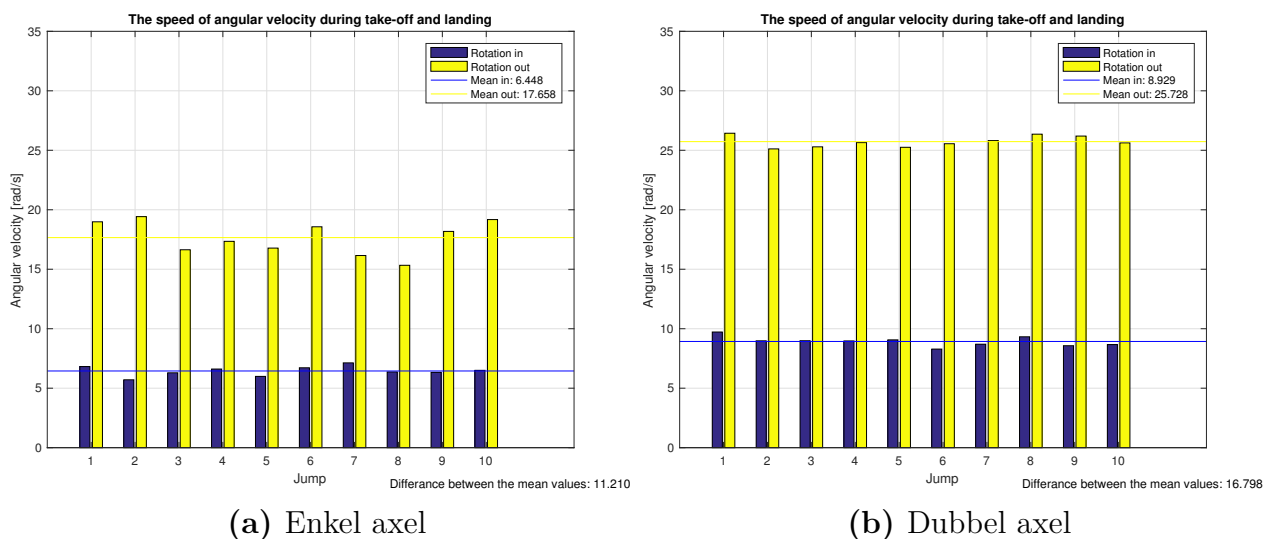
Figur 4.9: Rotationshastigheten över tiden för åkare 7

4.4 Rotation in och ut ur hoppet

Resultaten av rotationen in och ut ur hoppen för de tre utvalda åkarna presenteras nedan, där även medelvärdet mellan rotationen in och ut ur hoppet presenteras.

4.4.1 Åkare 4

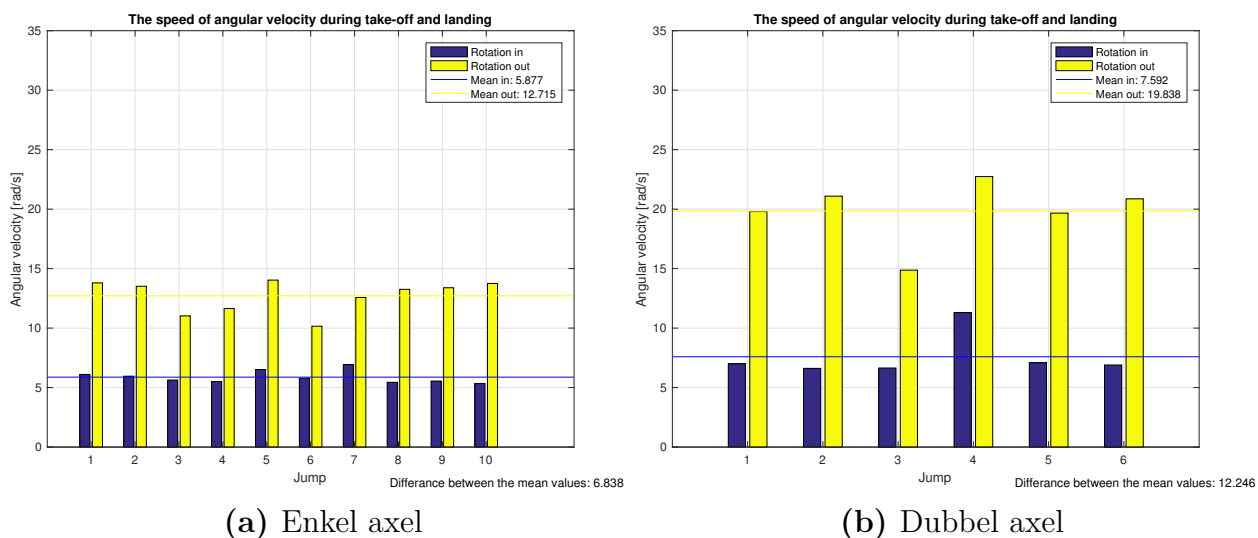
Utgående rotation överstiger i medelvärde 11,210rad/s för enkel och 16,798rad/s för dubbel axel ingående rotation, se figur 4.10.



Figur 4.10: Rotation in och ut ur hoppet för åkare 4

4.4.2 Åkare 6

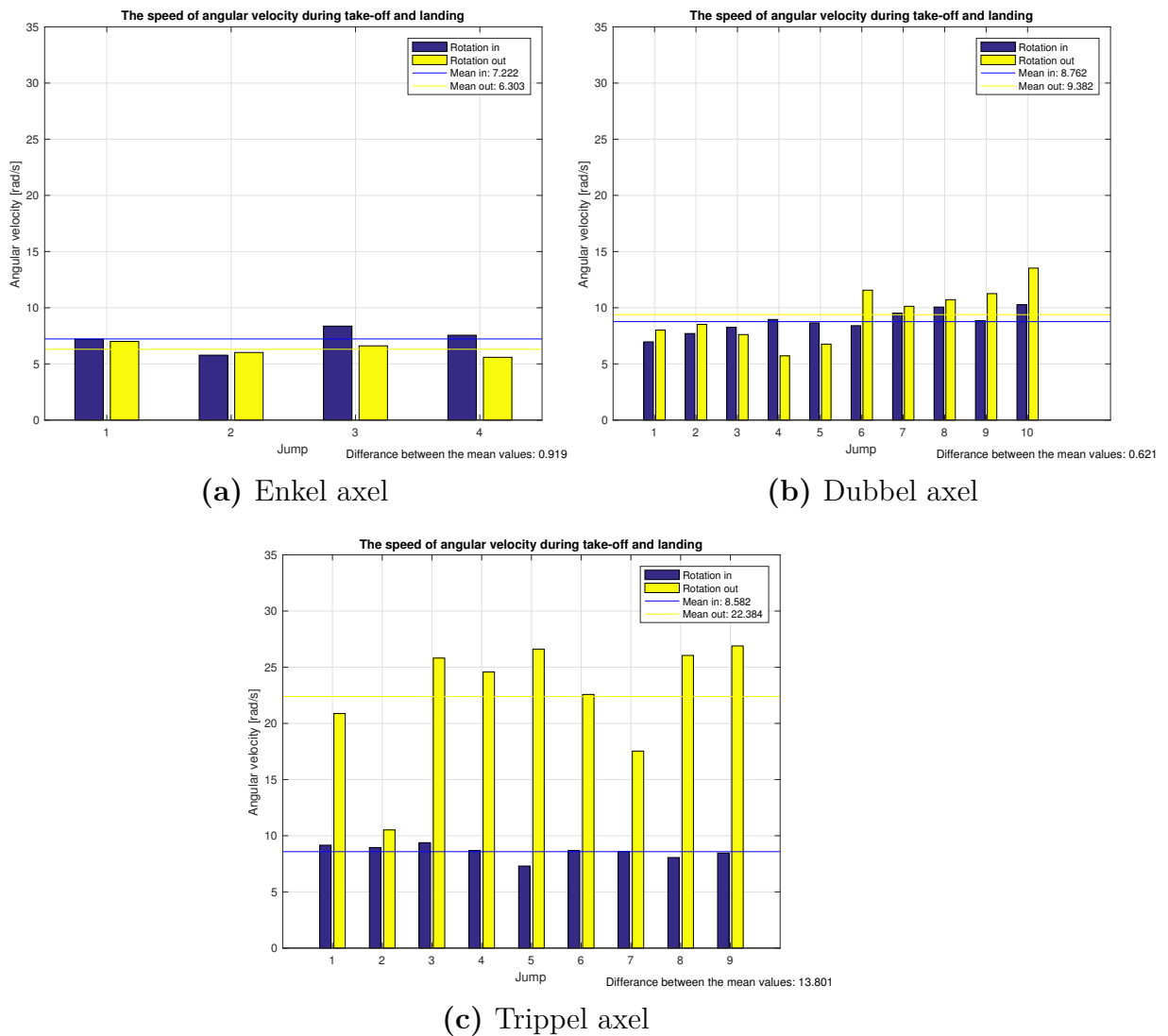
Utgående rotation överstiger i medelvärde 6,838rad/s för enkel och 12,246rad/s för dubbel axel ingående rotation, se figur 4.11.



Figur 4.11: Rotation in och ut ur hoppet för åkare 6

4.4.3 Åkare 7

Ingående rotation överstiger utgående rotation med i medelvärde $0,919\text{rad/s}$ för enkel axel, utgående rotation överstiger i medelvärde $0,621\text{rad/s}$ för dubbel axel och $13,801\text{rad/s}$ för trippel axel, se figur 4.12.



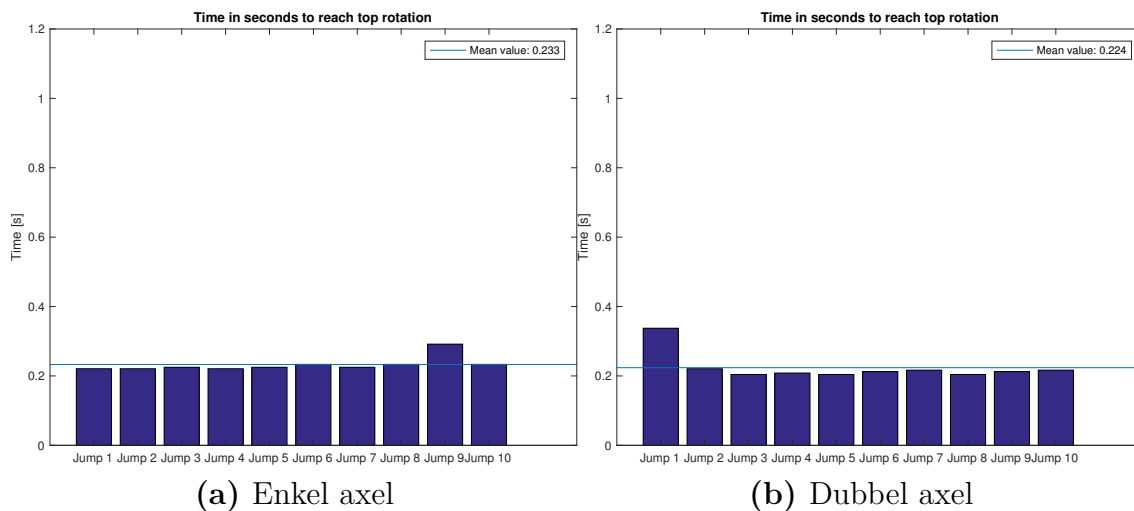
Figur 4.12: Rotation in och ut ur hoppet för åkare 7

4.5 Tid till maximal rotationshastighet

Resultaten av tiden till maximal rotationshastighet för de tre utvalda åkarna presenteras nedan. Medelvärdet av tiden för åkarna att nå maximala rotationshastigheten vid de olika hoppen redovisas även.

4.5.1 Åkare 4

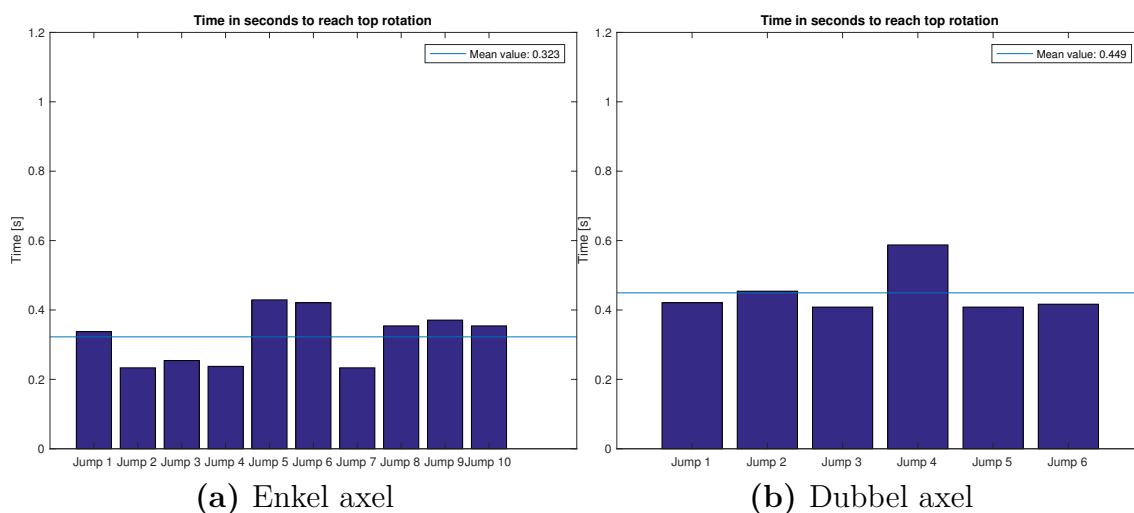
Medelvärde för tiden att nå maximal rotationshastighet för åkaren är 0,233s för enkel axel och 0,224s för dubbel axel, samtliga resultat ses i figur 4.13.



Figur 4.13: Tid i luften för att nå maximal rotationshastighet för åkare 4

4.5.2 Åkare 6

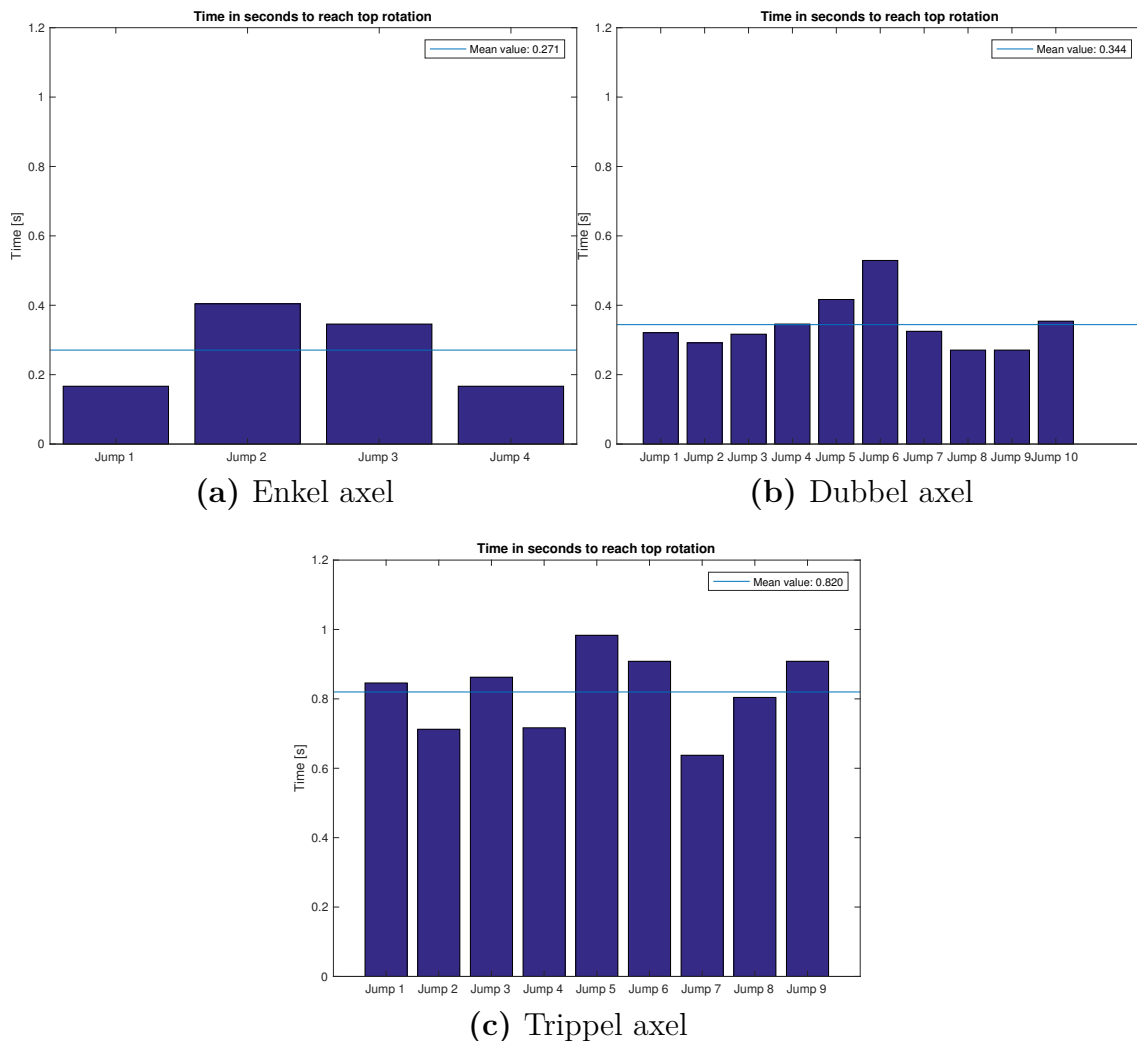
Medelvärde för tiden att nå maximal rotationshastighet för åkaren är 0,323s för enkel axel och 0,449s för dubbel axel, samtliga resultat ses i figur 4.14.



Figur 4.14: Tid i luften för att nå maximal rotationshastighet för åkare 6

4.5.3 Åkare 7

Medelvärde för tiden att nå maximal rotationshastighet för åkaren är 0,271s för enkel axel, 0,344s för dubbel axel, 0,820s för trippel axel, samtliga resultat ses i figur 4.15.



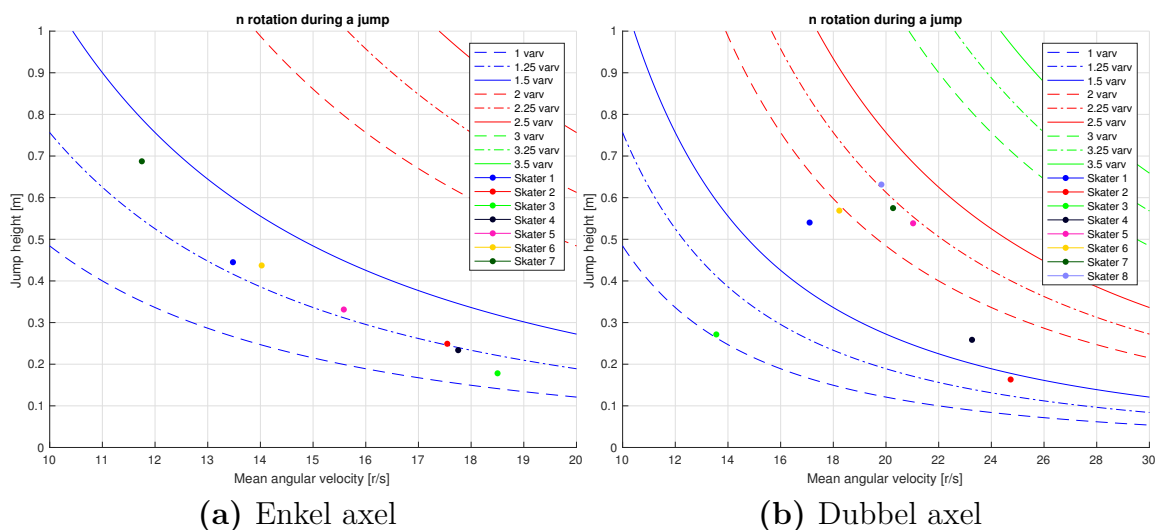
Figur 4.15: Tid i luften för att nå maximal rotationshastighet för åkare 7

4.6 Sammanställda resultat

En sammanställning av samtliga åkares resultat gjordes och visas nedan, där medelvärdet för samtliga enkel och dubbel axelhopp visas. I diagrammen där dubbel axelhopp presenteras finns det även en åttonde åkare vilket är samma åkare som nummer sju. Det här eftersom mätningar har tagits vid två tillfällen på åkare sju.

4.6.1 Medelvärde av antal varv roterade

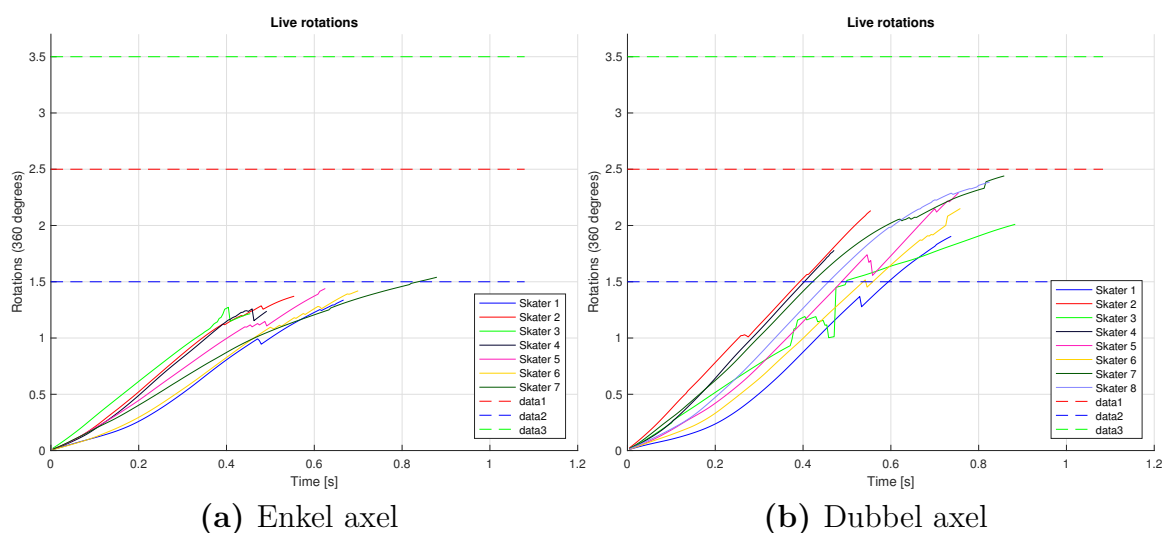
Figur 4.16 (a) visar medelvärdet för de olika åkarna för enkel axel, samt figur 4.16 (b) för dubbel axel.



Figur 4.16: Medelvärde av antal varv roterade av samtliga hopp

4.6.2 Medelvärde av antal varv under tiden i luften

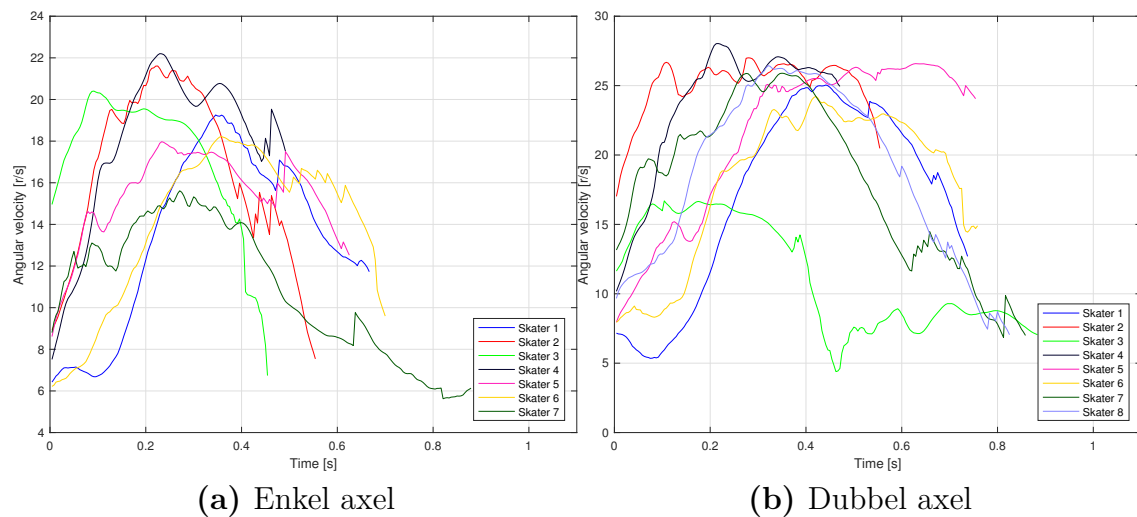
Figur 4.17 visar medelvärdet på de olika åkarnas uppnådda antal varv i luften under tiden för hoppet.



Figur 4.17: Medelvärde av antal varv under tiden i luften

4.6.3 Medelvärde av rotationshastigheten över tiden

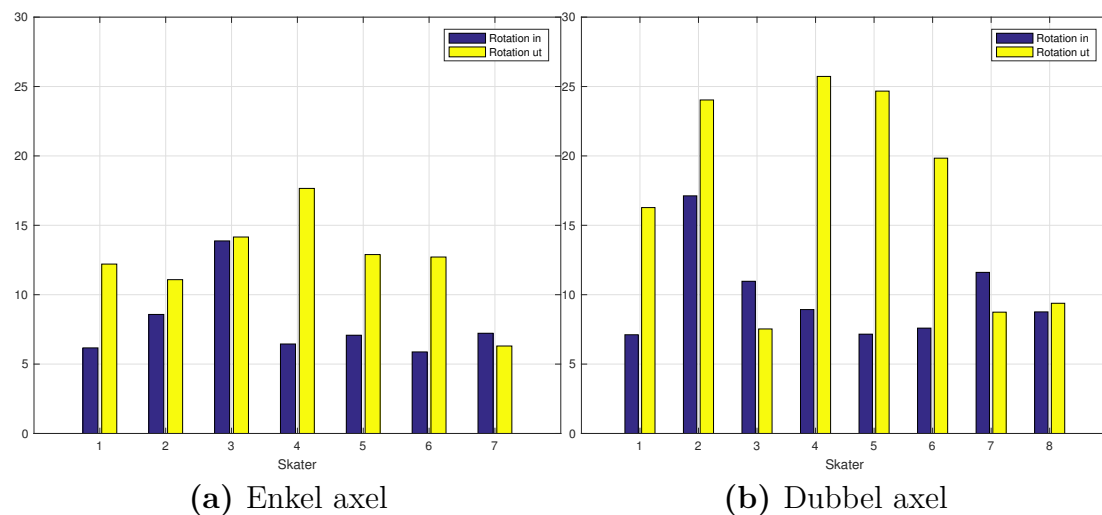
Figur 4.18 visar på de olika åkarnas medelrotationshastighet över tiden för hoppet, där tydliga skillnader mellan åkarnas sätt att utföra hoppet kan noteras.



Figur 4.18: Medelvärden av samtliga hopp

4.6.4 Medelvärde av rotation in och ut ur hoppet

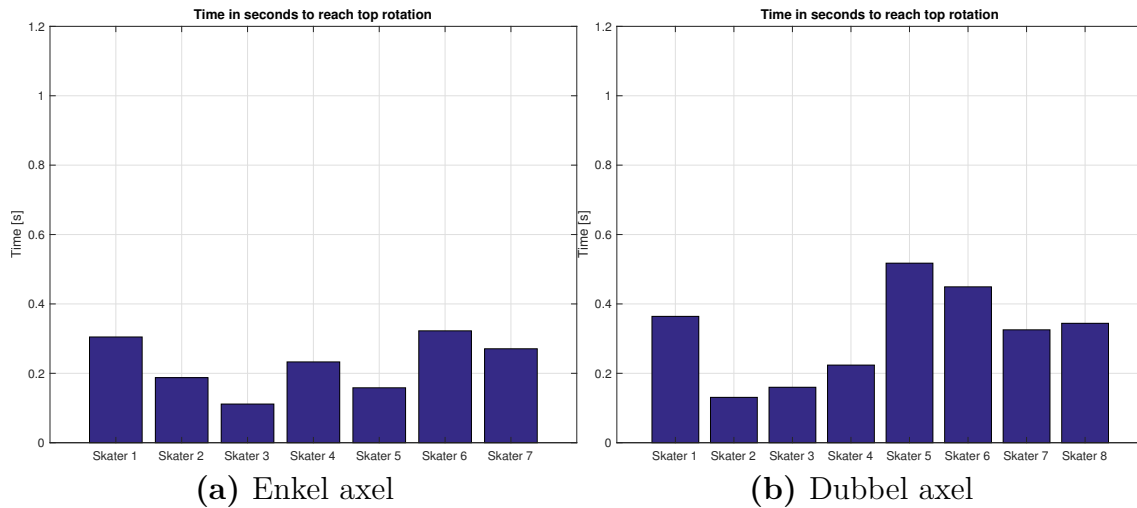
Figur 4.19 visar medelvärdet av in- och utrotationen i hoppet för samtliga åkare.



Figur 4.19: Medelvärde av rotation in och ut ur hoppet

4.6.5 Medelvärde av tid till maximal rotationshastighet

Figur 4.20 visar på medelvärdet för att nå maximal rotationshastighet för samtliga åkare för enkel och dubbel axelhopp.



Figur 4.20: Medelvärde av tid till maximal rotationshastighet

5 Diskussion

Det här kapitel kommer bestå av två delkapitel, en för metoden som använts och en för de resultat som genererats.

5.1 Metoddiskussion

Syftet med rapporten var att analysera hoppen enkel, dubbel och trippel axel och ur ett tekniskt perspektiv ge information angående avgörande parametrar vid utförandet av hoppen. Då projektets struktur var väldigt öppen från början gick mycket arbete åt att försöka välja ett mål att sträva efter. De två tillgängliga motion capture-systemen Link och Awinda undersöktes för att identifiera dess styrkor och svagheter.

Initialt var tanken att utföra undersökningarna med det trådlösa Awinda-systemet eftersom intressenter föredrog systemet med motiveringen att de lättare sensorerna och den fria rörligheten var fördelaktiga. Vid den första fältstudien uppmärksammades Awindas brister, där den mest signifikanta var den låga dataöverföringshastigheten på 60Hz. Vid snabba rörelser tappade Awindasystemet kontrollen över visualiseringen av åkaren, vilket ledde till felaktig mätdata. Efter detta genomfördes jämförelsen mellan Link och Awinda i MVN Studio 4.3. Nackdelarna med Link var det mer begränsade rörelsemönstret på grund av helkroppsdräkten. En annan nackdel var batteriet på ryggen som bidrog med extravikt och distanserade sig från ryggen vid snabba rotationer. Nackdelarna vägdes dock upp av systemets högre dataöverföringshastighet på 240Hz.

Båda systemen utnyttjar jordens magnetfält för att skapa referenspunkter kring sensorerna. Det här ger systemen en gemensam brist då det blir svårt att visualisera åkaren och registrera trovärdig mätdata i närheten av sargen i ishallarna. Det här beror på att sargen ger ifrån sig ett eget magnetfält på grund av metallen den är uppbyggd av. Därför ombads åkarna att utföra sina hopp och kalibreringen en bit från sargen där systemet inte registrerade störningar.

MVN studio 4.3 skapade egna grafer av rådata som sensorerna skickade till programmet. Datan gick inte att behandla eller modifiera i MVN studio 4.3. Med hjälp av ett MATLAB-skript, skapat av Xsens, kunde rådatan konverteras till MATLAB. Genom MATLAB kunde datan därefter användas för att rita upp fem olika diagram.

En egenskap med motion capture-systemen var att de utnyttjade åkaren som referens, vilket innebär att när åkaren enbart glider på isen tror systemet att åkaren står still. Det här gör det omöjligt att beräkna en ingångshastighet med hjälp av systemet. Försök att mäta hastigheten på andra sätt gjordes men inget som gav ett tillfredsställande resultat. På grund av detta uteslöts analysen för ingången av hoppet. Upphoppet undersöktes men då ingen relevant information om exempelvis

inbromsningen gick att hitta uteslöts det.

För att studera rotationen utnyttjades accelerationen vid vänster och höger fot vid starten respektive landningen av hoppet, där tidpunkterna avgjordes genom globala minimipunkter och maximipunkter. I vissa fall gav det inte korrekta tidpunkter och manuella justeringar av längden på inspelningarna behövde utföras. Ett mer optimalt sätt att registrera tidpunkterna vore med integrerade tryckplattor, exempelvis pedar soles, i skridskorna där utslag ges vid ett visst tryck.

Ytterligare en kritisk del av analysen som undersöktes var vilken del av kroppen som skulle utnyttjas för att analysera rotationen. En fördel var att utgå från en position där en sensor fanns utplacerad samtidigt som området var stabilt under hela hoppet. Diskussion fördes om en av fötterna var ett bra alternativ för analys, det uteslöts på grund av att det inte var möjligt att endast studera en fot och att fötterna inte var stabila under hoppet. Ett annat alternativ var att studera vänster axel som till skillnad från fötterna är stabil under rotationen. Vidare testades bäckenet, där den insamlade datan var stabil och okänslig vid fall då positionen för sensorn var fast oavsett kroppens rörelse. Bäckenet ansågs tillslut vara den mest tillförlitliga sensorn att använda.

För att avgöra hur stabila åkarna var under luftfärden analyserades vinkeln mellan axlarna och höften då det enligt sakkunniga var viktigt för positionen i hoppet. I sin tur skulle detta underlätta för utförandet och för landningarna av hoppet. Ingen signifikant skillnad noterades vid beräkningar och uteslöts på grund av det ur projektet.

5.2 Resultatdiskussion

Alla åkare genomförde och klarade enkel axel under mätningarna. Däremot går det att observera i resultaten i figur 4.16 att hopphöjd och rotationshastighet varierar mellan åkarna. Eftersom funktionslinjerna är baserade på de båda parametrarna förväntas det att en ökning av hopphöjden generellt minskar rotationshastigheten och tvärtom. Det här betyder att alla åkare hade olika hopptechniker där de antingen fokuserade på rotation eller hopphöjd. Något som också bör nämnas är att det endast är åkare 7 som klarat av att genomföra dubbel axelhopp under mätningarna.

Figur 4.18 illustrerar tydligt i (a) hur de olika åkarna roterar under enkel axelhoppet. Åkarna med lite tid, låga hopp, uppnår högre rotationshastigheter vilket kräver mer ansträngning för att bromsa innan landning. Åkare 7 uppnår däremot inte höga rotationshastigheter men det behövs inte då åkaren har så pass mycket tid i luften, vilket kan användas för att bromsa ner rotationshastigheten. Ändå visar figur 4.17 i (a) att åkare 7 har roterat flest varv. I figur 4.19 i (a) har åkare 7 väldigt låg rotationshastighet vid landning jämfört med de andra. Däremot har åkare 4 högst rotationshastighet vid landning fastän det är åkare 3 som har minst tid i luften. Det här beror på att åkare 3 redan kommer in med en högre rotationshastighet.

I figur 4.16 i (b) är det endast två åkare som har tillräckligt med rotation och hopp-höjd för dubbel axel. Däremot trillade åkare 5 vid varje försök. Skillnaden mellan åkare 5 och 7 i figur 4.20 är tiden det tar för dem att nå maximal rotationshastighet. Eftersom åkare 5 når topprotation långsammare betyder det att åkaren även har mindre tid på sig att bromsa. Samtidigt har även samma åkare hoppat lägre, vilket betyder mindre tid i luften. Detta resulterar till att åkare 5 inte hinner bromsa upp lika mycket rotation som åkare 7 har gjort och kan vara en avgörande faktor till varför åkare 5 misslyckas men 7 lyckas med hoppet. Det ses i figur 4.19 i (b) att åkare 5 har en betydligt större rotationshastighet ut jämfört med åkare 7.

Skillnaden mellan åkarna i figur 4.19 är intressanta att jämföra. I enkel axel-diagrammet går de flesta in med låg rotation men det är endast åkare 7 som landar med nästan lika låg rotation, vilket diskuterades tidigare. I dubbel axel-diagrammet kan samma resultat observeras. Skillnaden är att alla klarade enkel axel men inte dubbel axel. Eftersom ett dubbel axelhopp kräver mer rotation från åkarna betyder det att åkarna kommer upp i högre rotationshastigheter vid dubbel axel. Jämförs varje åkare för sig har de högre rotationshastigheter in och ut vid dubbel axel. Anledningen till att åkarna trillar kan bero på skillnaden i rotationsenergin vid landningen eftersom deras kropp inte är van vid att den är så stor. Det här går även att se i figur 4.3 i (C) då åkare 7 försöker utföra ett trippel axelhopp. I alla hopp har differensen mellan rotation in och ut varit små men under trippeln var rotationshastigheten vid landning 13,8 rad/s högre än rotationshastigheten in.

Under träning bör åkarna alltså träna på hopphöjden när de utför enkel axelhopp för att kunna bromsa in ännu mer rotationshastighet. Inom det långa loppet kan det leda till bättre chanser till att klara dubbel axelhopp. Något mer som talar för det här är resultaten från åkare 7. I figur 4.3 är det inte hopphöjden som skiljer sig mest mellan enkel, dubbel och trippel axelhopp men rotationshastigheten är annorlunda. Det här betyder att åkare 7 är mest bekväm med att reglera sin position under luftfärden. Eftersom hopphöjden endast beror på en tidpunkt, vid initieringen av hoppet, blir det svårare att styra då krafterna är så pass explosiva. Däremot kan en åkare positionera sin hållning över en längre tid och därmed ha bättre kontroll på hoppet genom att reglera rotationshastigheten.

6 Slutsats

Syftet med projektet var att försöka göra en teknisk analys av enkel, dubbel och trippel axelhopp. Sedan med den tekniska analysen generera ny information eller presentera information på ett nytt sätt om axelhoppet.

Utifrån de resultat som presenterats samt diskuterats kan följande slutsatser dras:

Ett lyckat hopp beror på både rotationshastigheten och hopphöjden. Hopphöjden avgör hur lång tid en åkare har på sig för att utföra hoppet vilket betyder att ju lägre hopphöjd en åkare har desto högre rotationshastigheter behövs.

Som långsiktigt mål bör en åkare sikta mot att förbättra sin hopphöjd. Detta kommer tillåta åkaren att ha mer tid i luften och bättre möjligheter att bromsa ner rotationshastigheten innan landning. Ett mål en åkare kan sträva efter redan vid enkel axel är att ha armarna och fribenet öppna precis innan landning. Ifall en åkare lyckas med detta är det ett tecken på en god hopphöjd.

Samtliga åkare har unika tekniker och kroppsbyggnader och därmed finns ingen exakt siffra att sträva efter gällande hopphöjd och rotationshastighet. Eftersom landningen handlar om balans och styrka kan några åkare kanske hantera höga rotationshastigheter men chanserna med att lyckas ökar med större inbromsning av rotationshastighet innan landning.

Åkare har lättare för att kontrollera rotationshastigheten än hopphöjden. Detta då kraften en åkare tillför vid initiering av hopp är explosiv och plötslig medan rotationen sker över en längre tid.

7 Rekommendationer

Vid framtida forskning kring konståkning rekommenderas två olika delar att fokusera på. Det ena är ett direkt vidarearbete på denna rapport med fortsatta analyser och undersökningar kring antingen axelhoppet eller ett helt annat hopp som utgångspunkt. Den andra möjligheten vid fortsatt arbete är att påbörja en utformning av ett nytt hårdvarusystem, samt mjukvara till den. Detta skulle kunna vara ett system som endast innehåller en mätningssensor vid bäckenet samt två tryckplattor, en för vardera fot, där ett visst tryck för startfoten indikerar för systemet att påbörja mätningen och där landningen på den andra foten stannar inspelningen.

Referenser

- [1] M. Nilsson. "Guide till Konståkningens grenar". I: (2015).
- [2] J. A. S. Farris. "The History of Figure Skating". I: (2017).
- [3] A. Mazurkiewicz m. fl. "Biomechanics of figure skating jump double axel performed in on ice off ice conditions". I: (2015).
- [4] S. Dubravcic-Simunjak m. fl. "Stress fracture prevalence in elite figure skaters". I: (2008).
- [5] L. Nilsson. *III. TEKNISKA REGLER, SINGELÅKNING för säsongen 2016/2017*. Utg. av svenskkonstakning.se. [Online; hämtad 03-Maj-2017]. Sept. 2016.
- [6] "USM DAMER SHORT PROGRAM". I: (2016).
- [7] "JSM DAMER SHORT PROGRAM". I: (2016).
- [8] L. Nilsson. *Hoppskola*. Utg. av L. Nilsson. [Online; hämtad 03-Maj-2017].
- [9] J. A. S. Farris. "How To Do an Axel Figure Skating Jump". I: (2016).
- [10] D. King, A. Arnold och S. Smith. "A Biomechanical Comparison Of Single, Double, and Triple Axels". I: (1993).
- [11] "Frequently Asked Questions FAQ on the ISU New Judging System". I: (2003).
- [12] I. Andersson m. fl. *Konståkares hoppteknik*. Tekn. rapport. Institutionen för Produkt- och produktionsutveckling vid Chalmers Tekniska Högskola, 2016.
- [13] R. Grahn och P.-Å. Jansson. *Mekanik - Statik och dynamik*. Studentlitteratur, (2002).
- [14] *MVN BIOMECH*. [Online; hämtad 03-Maj-2017]. 2017.
- [15] S. Eriksson. *Forskning som involverar barn*. Utg. av S. Eriksson. <http://www.codex.vr.se> [Online; hämtad 03-Maj-2017]. Febr. 2016.
- [16] S. Hamilton. *Figure skating*. 2017. URL: <https://global.britannica.com/sports/figure-skating>.

Bilaga

A Förstudieresultat

Jämförelse Link och Awinda				
Parametrar	Link N	Link T	Awinda N	Awinda T
HAKT profil 1	1	2	0	0
HAKT frontalt 1	1	1	0	0
HAKT profil 2	1	1	0	0
HAKT frontalt 2	1	1	0	0
Hand 70-100	0	2	4	2
Hand 70-100	0	1	3	0
Hand 70-100	0	2	3	1
Hand 70-100	1	3	1	1
Hand 70-150	3	8	16	13
Hand 150-0	18	21	22	20
Längdhopp	7	12	5	27
Längdhopp	11	25	10	18
Längdhopp	26	31	14	26
Stol långsam	3	1	2	3
Stol långsam	2	1	1	1
Stol långsam	6	1	0	1
Stol snabb	4	0	1	1
Stol snabb	1	0	1	1

B MATLAB kod

```
%% Sammanställning av data fr?n MVN STUDIO BIOMECH
% Analys av konst?kningens axelhopp
% Genererar fem olika diagram f?r analys

clc
clear variables
close all

%% V?rden
g=9.81; % Gravitationsacc.
%% Inl?sning av mapp
folder=input('which folder do you wanta to analyze? \n','s');
% Fr?gar efter vilken mapp du vill analysera
mapp=dir(folder);
namn1=cell(1,length(mapp)-2);
for i=1:(length(mapp)-2) % Tar ut namnen fr?n mappen
    namn1{i}=mapp(i+2).name;
end
num=length(namn1);
tf=strcmp(namn1{1},'DS_Store');
if tf==1
    namn(1:(num-1))=namn1(2:num);
else
    namn(1:num)=namn1(1:num);
end
n1=length(namn);

%% Analysv?rden
Rot_tott=zeros(1,n1); % F?rbereder de olika v?rderna som v?xer i for-loop
z_maxt=zeros(1,n1);
slutrot=zeros(1,n1);
T1=zeros(1,n1);
T2=zeros(1,n1);
T_max=zeros(1,n1);
vz_t=zeros(1,n1);
varv=cell(1,n1);
ss_rot=zeros(n1,2);
z_rot_int=cell(n1,1);

n=1; % F?rbereder en uppr?kningsvariabel
for k=1:n1
    tree = load_mvnx(namn{n});

    if isfield(tree.subject,'sensors') && isstruct(tree.subject.sensors)
```

```
        sensorData = tree.subject.sensors.sensor;
    end
    %retrieve segment labels
    %creates a struct with segment definitions
    if isfield(tree.subject,'segments') && isstruct(tree.subject.segments)
        segmentData = tree.subject.segments.segment;
    end
    %retrieve the data frames from the subject
    nSamples = length(tree.subject.frames.frame);
    %pre allocate

%% Acceleration i vanster fot
%pre allocate some memory for the acceleration of Segment22 (Vanster fot)
a_Segment22 = zeros(nSamples,3); % Forbereder inmatning
%read the data from the structure e.g. segment 1
if isfield(tree.subject.frames.frame(1),'acceleration') %***
    for i=3:nSamples
        a_Segment22(i,:)=tree.subject.frames.frame(i).acceleration(64:66);
    end
    %Plot
    % figure('name','Acceleration i vanster fot')
end
%% Acceleration i hoger fot
%pre allocate some memory for the acceleration of Segment18 (Höger fot)
a_Segment18 = zeros(nSamples,3); % Forbereder inmatning
%read the data from the structure e.g. segment 1
if isfield(tree.subject.frames.frame(1),'acceleration') %***
    for i=3:nSamples
        a_Segment18(i,:)=tree.subject.frames.frame(i).acceleration(52:54);
    end
end
end

%% Rotationshastighet i b?ckenet
%pre allocate some memory for the position of Segment1 (B?ckenet)
av_Segment1 = zeros(nSamples,3); % Forbereder inmatning
%read the data from the structure e.g. segment 1
if isfield(tree.subject.frames.frame(1),'angularVelocity') %***
    for i=3:nSamples
        av_Segment1(i,:)=tree.subject.frames.frame(i).angularVelocity(1:3);
    end
end
end

%% Orientering och sortering av data

T2_L=find(a_Segment18(:,3)==min(a_Segment18(:,3)))-3; % Tar ut landning
z_rot=av_Segment1(:,3); % Vinkelhastighet i z-axel
```

```
T_max(n)=find(av_Segment1(:,3)==max(av_Segment1(:,3))); % Tidpunkt da ma

T2(n)=T2_L;
a_S22=a_Segment22(1:T2(n),3); % Acceleration i vanster fot fram till la
T1(n)=find(a_S22==max(a_S22))-3; % Hittar lokala maximum i acc. i van
Rot_tot=sum(z_rot((T1(n)-3):(T2_L-3)))/(T2_L-T1(n)); % Totala rotationen u

varvt=zeros(1,n1);
varvt(n)=Rot_tot*(T2(n)-T1(n))/240/(2*pi); % Antal varv i luften
tid=(T2(n)-T1(n))/240; % Tiden i luften
z_max=0.5*g*(tid/2)^2; % Maxhojd under hoppet

%% Sammanstaller alla varden fr?n alla filer i mappen
Rot_tott(n)=Rot_tot;
z_maxt(n)=z_max;
slutrot(n)=z_rot(T2(n)-3); % Rotation ut

%% Plot for antal varv
z_rot_t=z_rot./240; %
z_rot_int{n}=z_rot(T1(n):(T2(n)-1));
z_sum=zeros(1,(T2(n)-T1(n)));
for i=1:(T2(n)-T1(n))
    z_sum(i)=sum(z_rot_t(T1(n):T1(n)+i));
end

varv{n}={z_sum};

%% Rotation in och ut
st_rot=z_rot(T1(n)-3); % Rotation in
ss_rot(n,:)=[st_rot slutrot(n)];

n=n+1;
end
T_topp=(T_max-T1)/240;

%% Rotation kontra hopp?jd - Axelhopp
figure(1)
hold on
grid on
%% Rotationshastighet mot hopp?jd
omega=3*pi:pi/100:20*pi; % Best?mmer rotationshastighetsintervallet

Z_max3l=zeros(1,length(omega));
for i=1:length(omega) % J?mf?r hopp?jd - rotationshastighet, 3 varv
Z_max3l(1,i)=((((6*pi*g)/(2*omega(1,i)))^2)/(2*g));
end
```

```
Z_max32=zeros(1,length(omega));
for i=1:length(omega) % J?mf?r hopph?jd - rotationshastighet , 3 1/4 varv
Z_max32(1,i)=((((6.5*pi*g)/(2*omega(1,i)))^2)/(2*g));
end

Z_max33=zeros(1,length(omega));
for i=1:length(omega) % J?mf?r hopph?jd - rotationshastighet , 3 1/2 varv
Z_max33(1,i)=((((7*pi*g)/(2*omega(1,i)))^2)/(2*g));
end

Z_max21=zeros(1,length(omega));
for i=1:length(omega) % J?mf?r hopph?jd - rotationshastighet , 2 varv
Z_max21(1,i)=((((4*pi*g)/(2*omega(1,i)))^2)/(2*g));
end

Z_max22=zeros(1,length(omega));
for i=1:length(omega) % J?mf?r hopph?jd - rotationshastighet , 2 1/4 varv
Z_max22(1,i)=((((4.5*pi*g)/(2*omega(1,i)))^2)/(2*g));
end

Z_max23=zeros(1,length(omega));
for i=1:length(omega) % J?mf?r hopph?jd - rotationshastighet , 2 1/2 varv
Z_max23(1,i)=((((5*pi*g)/(2*omega(1,i)))^2)/(2*g));
end

Z_max11=zeros(1,length(omega));
for i=1:length(omega) % J?mf?r hopph?jd - rotationshastighet , 1 varv
Z_max11(1,i)=((((2*pi*g)/(2*omega(1,i)))^2)/(2*g));
end

Z_max12=zeros(1,length(omega));
for i=1:length(omega) % J?mf?r hopph?jd - rotationshastighet , 1 1/4 varv
Z_max12(1,i)=((((2.5*pi*g)/(2*omega(1,i)))^2)/(2*g));
end

Z_max13=zeros(1,length(omega));
for i=1:length(omega) % J?mf?r hopph?jd - rotationshastighet , 1 1/2 varv
Z_max13(1,i)=((((3*pi*g)/(2*omega(1,i)))^2)/(2*g));
end

hold on
plot(omega,Z_max11,'b--','DisplayName','1 varv')% Plottar zoner for att l
plot(omega,Z_max12,'b-.','DisplayName','1.25 varv')
plot(omega,Z_max13,'b','DisplayName','1.5 varv')
plot(omega,Z_max21,'r--','DisplayName','2 varv')
```

```
plot(omega,Z_max22,'r-.','DisplayName','2.25 varv')
plot(omega,Z_max23,'r','DisplayName','2.5 varv')
plot(omega,Z_max31,'g--','DisplayName','3 varv')
plot(omega,Z_max32,'g-.','DisplayName','3.25 varv')
plot(omega,Z_max33,'g','DisplayName','3.5 varv')

color=distinguishable_colors(n1); % Skapar variation p? f?rger baserad
jump= cell(1,n1);
for i=1:n1
    jump{i}=sprintf('Jump %d',i); % D?per varje punkt till Jump X
    plot(Rot_tott(i),z_maxt(i),'Color',color(i,:), 'Marker','.', 'MarkerSize',10)
% Plot av f?rsta diagrammet
    hold on
end
xlim([min(Rot_tott)*0.7 max(Rot_tott)*1.3]) % Zoomar in f?rstret f?r att
ylim([min(z_maxt)*0.8 max(z_maxt)*1.25])
xlabel('Mean angular velocity [r/s]')
ylabel('Jump height [m]')
title('n rotation during a jump')
legend('show')

%saveas(gcf,sprintf('%s_1',folder),'epsc') % Sparar diagram i samma mapp
%% Tid f?r att n? maximal rotationshastighet
figure (2)

h1=bar(T_topp); % G?r ett stapeldiagram av varden i T_topp
T_topp_mean=mean(T_topp); % Tar ut medelvardet i T_topp
hold on
h2=plot(xlim,[T_topp_mean T_topp_mean]); % Ritar linje vid medelvardet
legend(h2,sprintf('Mean value: %0.3f',T_topp_mean))
set(gca, 'XTick', 1:length(jump), 'XTickLabel', jump);

title('Time in seconds to reach top rotation')
ylabel('Time [s]')
ylim([0 1.2]);

saveas(gcf,sprintf('%s_2',folder),'epsc')
%% Antal rotationer ?ver tiden i luften
figure (3)
hold on
grid on
X_t_max=zeros(1,n1);
varv_dim=zeros(1,n1);
for i=1:n1
    X_t=(1:length(varv{i}{1}))/240; % G?r om Hz till sekunder
```

```
    plot(X_t, varv{i}{1}/(2*pi), 'Color', color(i,:), 'DisplayName', jump{i})
    hold on
    varv_dim(i)=length(varv{i}{1}); % s?tter in alla dim-storlekar
    X_t_max(i)=max(X_t);
end
varv_dim_max=max(varv_dim);
varv_mtx=zeros(n1, varv_dim_max);
for i=1:n1
    y=varv{i}{1};
    b=zeros(1, (varv_dim_max-varv_dim(i)));
    varv_mtx(i,:)=[y b];
end

varv_mean=zeros(1, varv_dim_max);
for i=1:varv_dim_max
    A=varv_mtx(:, i);
    varv_mean(i)=mean(A(A~=0));
end

plot([0, max(X_t_max)+0.2], [3.5 3.5], 'g--', 'DisplayName', '3.5 varv')
plot([0, max(X_t_max)+0.2], [2.5 2.5], 'r--', 'DisplayName', '2.5 varv')
plot([0, max(X_t_max)+0.2], [1.5 1.5], 'b--', 'DisplayName', '1.5 varv')
ylim([0 3.7])

title('Rotation during jump')
legend('show', 'Location', 'southeast')
title('Live rotations')
xlabel('Time [s]')
ylabel('Amount of rotations')

%saveas(gcf, sprintf('%s_3', folder), 'epsc')
%% Rotationshastigheter in och ut
figure(4)
ss_rot_mean=mean(ss_rot); % Medelv?rdet av rotation in och ut
ss_rot_dif=abs(ss_rot_mean(1)-ss_rot_mean(2));
y_dif=ss_rot_dif/2+min(ss_rot_mean);
f(:,1)=bar(ss_rot);
ylim([0 35]);
hold on
f(:,2)=plot(xlim, [ss_rot_mean(1) ss_rot_mean(1)], 'b', xlim, [ss_rot_mean(2)
ss_rot_mean(2)]);
ss=[ 'Rotation in' 'Rotation out' ];
ss=strcat(ss, sprintf('Mean in: %0.3f', ss_rot_mean(1)));
ss=strcat(ss, sprintf('Mean out: %0.3f', ss_rot_mean(2)));
ylabel('Angular velocity [rad/s]')
xlabel('Jump')

xa=xlim;
text(xa(2)-0.35*xa(2), -3, sprintf('Difference between the mean values: %0.3f', y_dif));
```

```
legend(f(:),ss,'Location','northeast');
grid on
title('The speed of angular velocity during take-off and landing')

%saveas(gcf,sprintf('%s_4',folder),'epsc')
%% Rotationshastighet under tiden
figure(5)
zrot_dim=zeros(1,n1);
for i=1:n1
    X_t=(1:length(varv{i}{1}))/240;
    plot(X_t,z_rot_int{i},'Color',color(i,:), 'DisplayName',jump{i})
    hold on
    zrot_dim(i)=length(z_rot_int{i});
end
zrot_dim_max=max(zrot_dim);
zrot_mtx=zeros(n1,zrot_dim_max);
for i=1:n1
    v=z_rot_int{i};
    f=zeros(1,(zrot_dim_max-zrot_dim(i)));
    zrot_mtx(i,:)=[v' f];
end

legend('show','Location','southeast')
ylabel('Angular velocity [r/s]')
grid on
xlabel('Time [s]')
title('Angular velocity during jump')

%saveas(gcf,sprintf('%s_5',folder),'epsc')

%% Sammanställning
clear variables
clc
name=input('Vilka filer vill du lasa? \n','s');
[A,B]=xlsread(name);
n=length(B);

Rot_tott_mean=cell(1,n);
z_maxt_mean=cell(1,n);
T_topp_mean=cell(1,n);
varv_mean=cell(1,n);
ss_rot_mean=cell(1,n);
zrot_mean=cell(1,n);

for i=1:n
    [Rot_tott_mean{i},z_maxt_mean{i},T_topp_mean{i},varv_mean{i},ss_rot_m
```

```
end
```



```
%% Varden
g=9.81;

omega=3*pi:pi/100:20*pi;    % Best?mmer rotationshastighetsintervallet

%% Rotationshastighet mot hopp?jd
Z_max31=zeros(1,length(omega));
for i=1:length(omega) % J?mf?r hopp?jd - rotationshastighet, Dubbel axel
Z_max31(1,i)=((((6*pi*g)/(2*omega(1,i)))^2)/(2*g));
end

Z_max32=zeros(1,length(omega));
for i=1:length(omega) % J?mf?r hopp?jd - rotationshastighet, Dubbel axel
Z_max32(1,i)=((((6.5*pi*g)/(2*omega(1,i)))^2)/(2*g));
end

Z_max33=zeros(1,length(omega));
for i=1:length(omega) % J?mf?r hopp?jd - rotationshastighet, Dubbel axel
Z_max33(1,i)=((((7*pi*g)/(2*omega(1,i)))^2)/(2*g));
end

Z_max21=zeros(1,length(omega));
for i=1:length(omega) % J?mf?r hopp?jd - rotationshastighet, Dubbel axel
Z_max21(1,i)=((((4*pi*g)/(2*omega(1,i)))^2)/(2*g));
end

Z_max22=zeros(1,length(omega));
for i=1:length(omega) % J?mf?r hopp?jd - rotationshastighet, Dubbel axel
Z_max22(1,i)=((((4.5*pi*g)/(2*omega(1,i)))^2)/(2*g));
end

Z_max23=zeros(1,length(omega));
for i=1:length(omega) % J?mf?r hopp?jd - rotationshastighet, Dubbel axel
Z_max23(1,i)=((((5*pi*g)/(2*omega(1,i)))^2)/(2*g));
end

Z_max11=zeros(1,length(omega));
for i=1:length(omega) % J?mf?r hopp?jd - rotationshastighet, enkel axel
Z_max11(1,i)=((((2*pi*g)/(2*omega(1,i)))^2)/(2*g));
end

Z_max12=zeros(1,length(omega));
for i=1:length(omega) % J?mf?r hopp?jd - rotationshastighet, enkel axel
Z_max12(1,i)=((((2.5*pi*g)/(2*omega(1,i)))^2)/(2*g));
end
```

```
Z_max13=zeros(1,length(omega));
for i=1:length(omega) % J?mf?r hopp?jd - rotationshastighet, enkel ax
Z_max13(1,i)=((((3*pi*g)/(2*omega(1,i)))^2)/(2*g));
end

close all
%%
figure(1)
hold on
grid on
plot(omega,Z_max11,'b--','DisplayName','1 varv')
plot(omega,Z_max12,'b-.','DisplayName','1.25 varv')
plot(omega,Z_max13,'b','DisplayName','1.5 varv')
plot(omega,Z_max21,'r--','DisplayName','2 varv') % Plottar zoner f?r att
plot(omega,Z_max22,'r-.','DisplayName','2.25 varv')
plot(omega,Z_max23,'r','DisplayName','2.5 varv')
plot(omega,Z_max31,'g--','DisplayName','3 varv')
plot(omega,Z_max32,'g-.','DisplayName','3.25 varv')
plot(omega,Z_max33,'g','DisplayName','3.5 varv')

color=distinguishable_colors(n);
jump= cell(1,n);
for i=1:n
    jump{i}=sprintf('Skater %d',i);
    plot(Rot_tott_mean{i},z_maxt_mean{i},'Color',color(i,:), 'Marker','.',
    hold on
end

xlabel('Mean angular velocity [r/s]')
ylabel('Jump height [m]')
xlim([10 30])
ylim([0 1])
title('n rotation during a jump')

legend('show')

%saveas(gcf,sprintf('%s_1',name),'epsc')
%% Tid f?r att n? maximal rotationshastighet
figure(2)

T_topp_mean_v=zeros(1,n);
for i=1:n
    T_topp_mean_v(i)=T_topp_mean{i};
end
h=bar(T_topp_mean_v);
```

```
set(gca, 'XTick', 1:length(jump), 'XTickLabel', jump);
title('Time in seconds to reach top rotation')
ylabel('Time [s]')
ylim([0 max(T_topp_mean_v)*1.1]);

grid on
%legend(h,jump)
title('Time in seconds to reach top rotation')
ylabel('Time [s]')
ylim([0 1.2]);

saveas(gcf,sprintf('%s_2',name),'epsc')
%% Antal rotationer ?ver tiden i luften
figure(3)
hold on
grid on
%varv_max=zeros(1,length(namn));
X_t_max=zeros(1,n);
varv_dim=zeros(1,n);
for i=1:n
    X_t=(1:length(varv_mean{i}))/240;
    plot(X_t,varv_mean{i}/(2*pi),'Color',color(i,:), 'DisplayName',jump{i})
    hold on
    X_t_max(i)=max(X_t);
end

plot([0,max(X_t_max)+0.2],[2.5 2.5], 'r--')
plot([0,max(X_t_max)+0.2],[1.5 1.5], 'b--')
plot([0,max(X_t_max)+0.2],[3.5 3.5], 'g--')
ylim([0 3.7])
legend('show','Location','southeast')
title('Live rotations')
xlabel('Time [s]')
ylabel('Rotations (360 degrees)')
%saveas(gcf,sprintf('%s_3',name),'epsc')

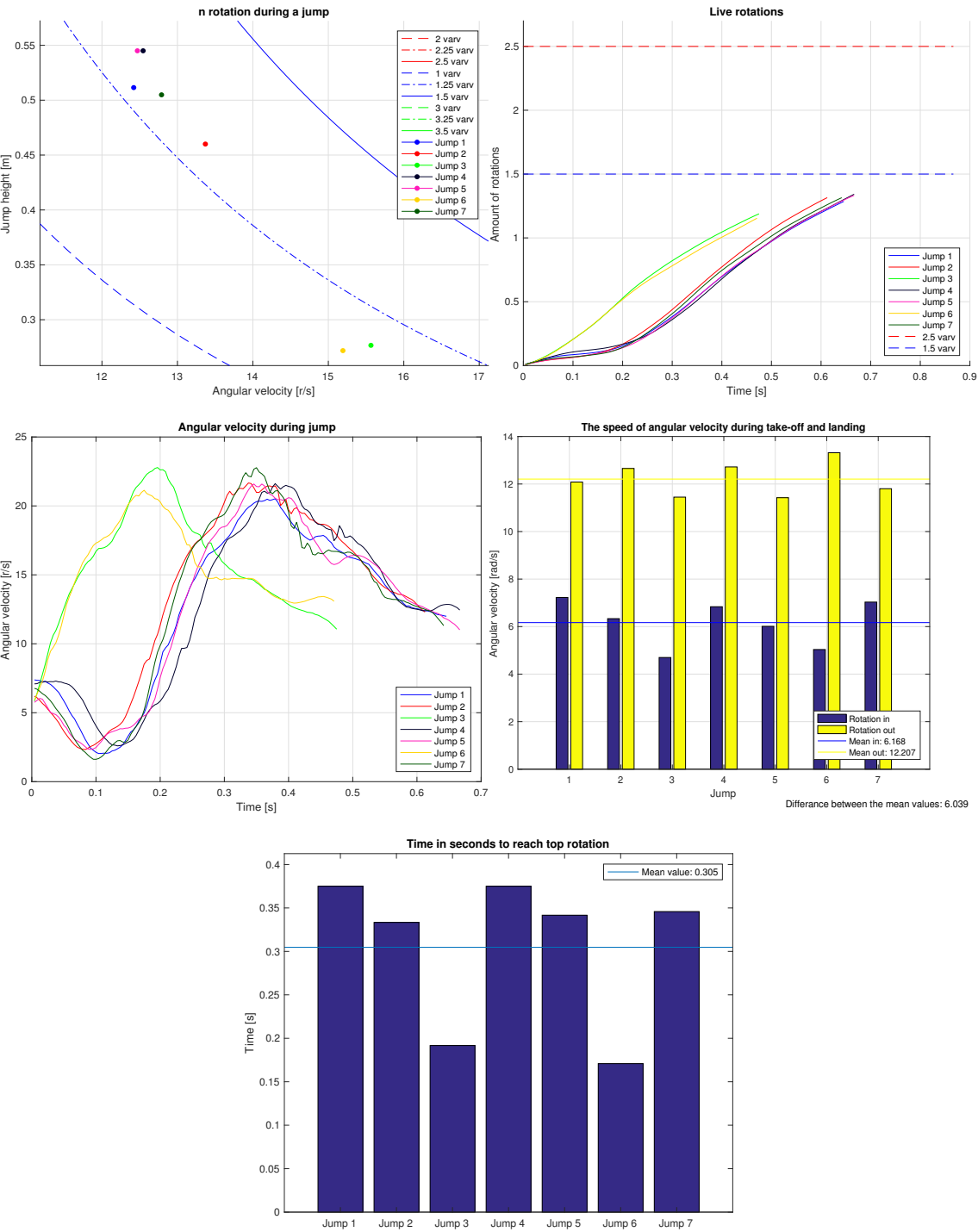
%% Rotationshastigheter in och ut
figure(4)
s=zeros(n,2);
for i=1:n
    s(i,:)=(ss_rot_mean{i});
    f=bar(s);
end
ss=[{'Rotation in'} {'Rotation ut'}];
ylim([0 20])
```

```
legend(f,ss);
xlabel('Skater')
grid on
%saveas(gcf,sprintf('%s_4',name),'epsc')
%% Rotationshastighet under tiden
figure(5)
for i=1:n
    X_t=(1:length(zrot_mean{i}))/240;
    plot(X_t,zrot_mean{i},'Color',color(i,:), 'DisplayName',jump{i})
    hold on
end

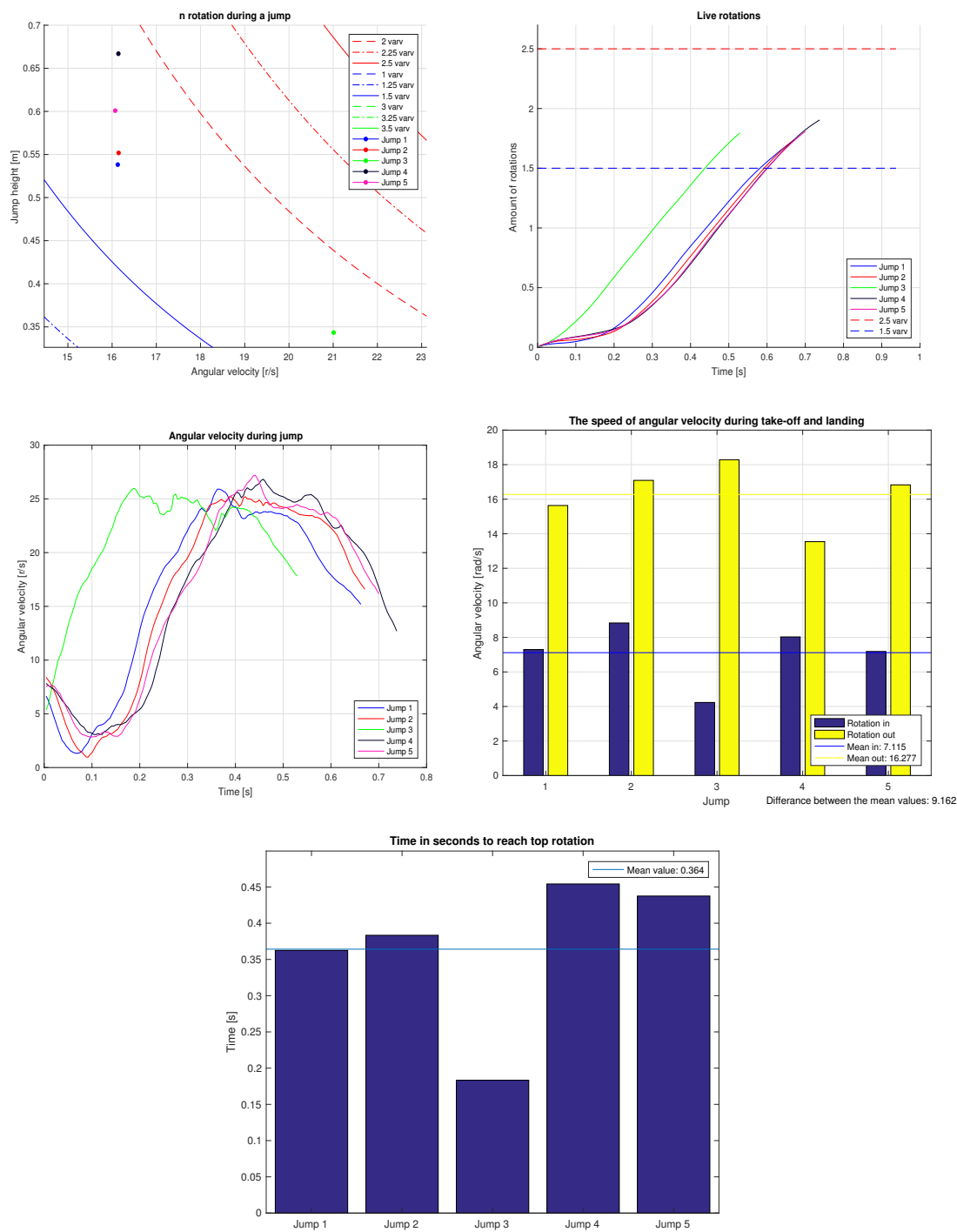
legend('show','Location','southeast')
ylabel('Angular velocity [r/s]')
xlim([0 1.1])
grid on
xlabel('Time [s]')
%saveas(gcf,sprintf('%s_5',name),'epsc')
```

C Resultatsammanställning

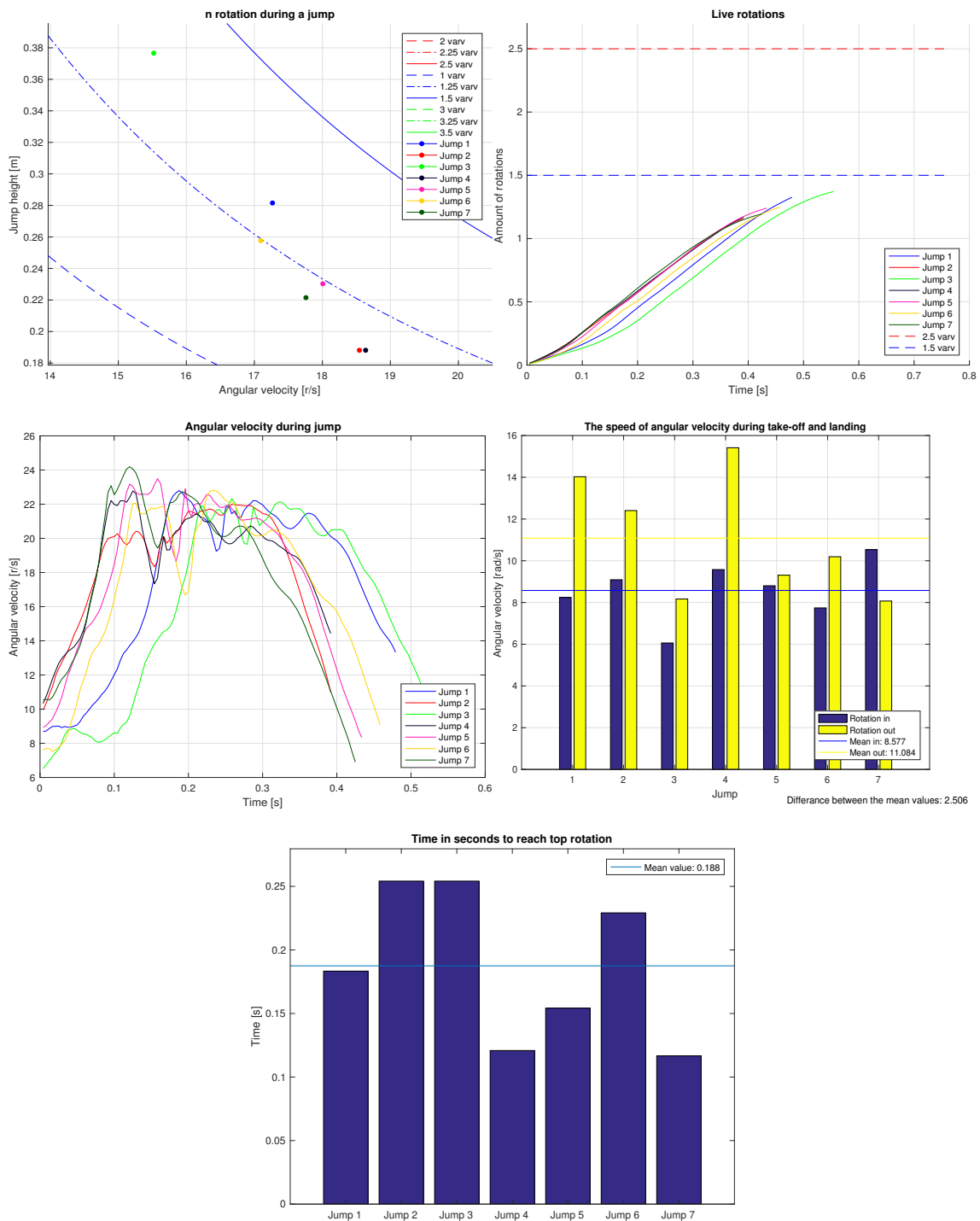
Åkare 1 enkel axel



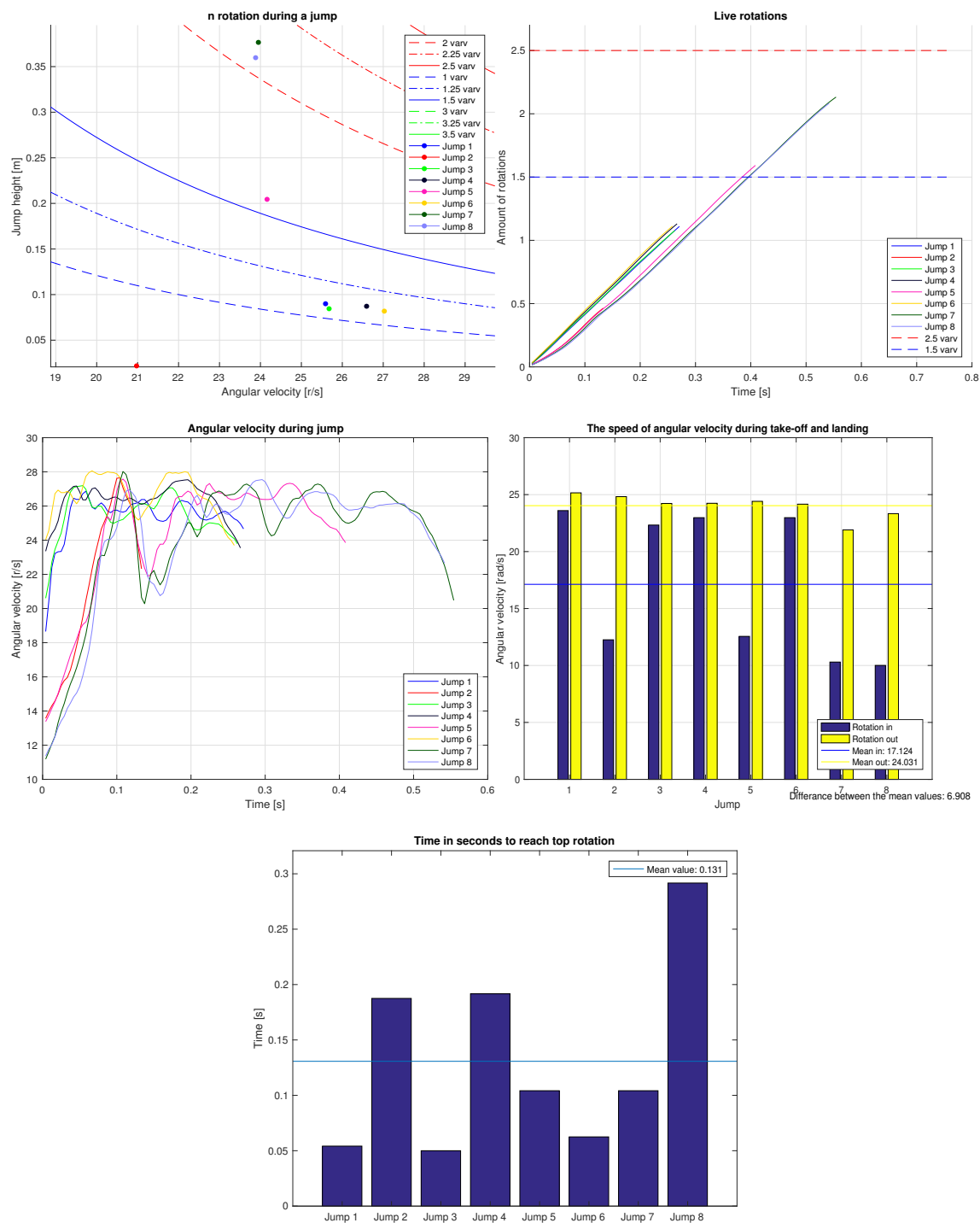
Åkare 1 dubbel axel



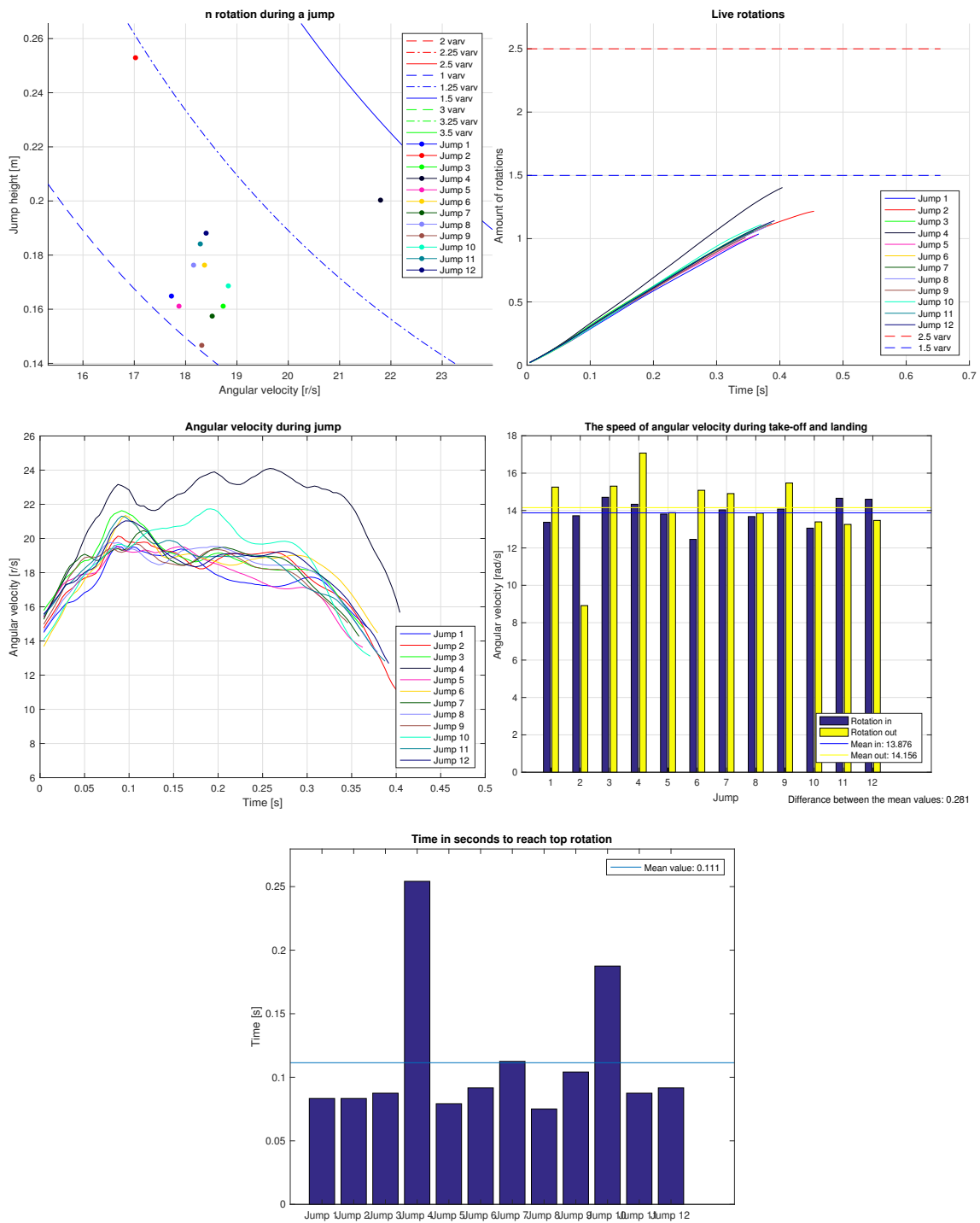
Åkare 2 enkel axel



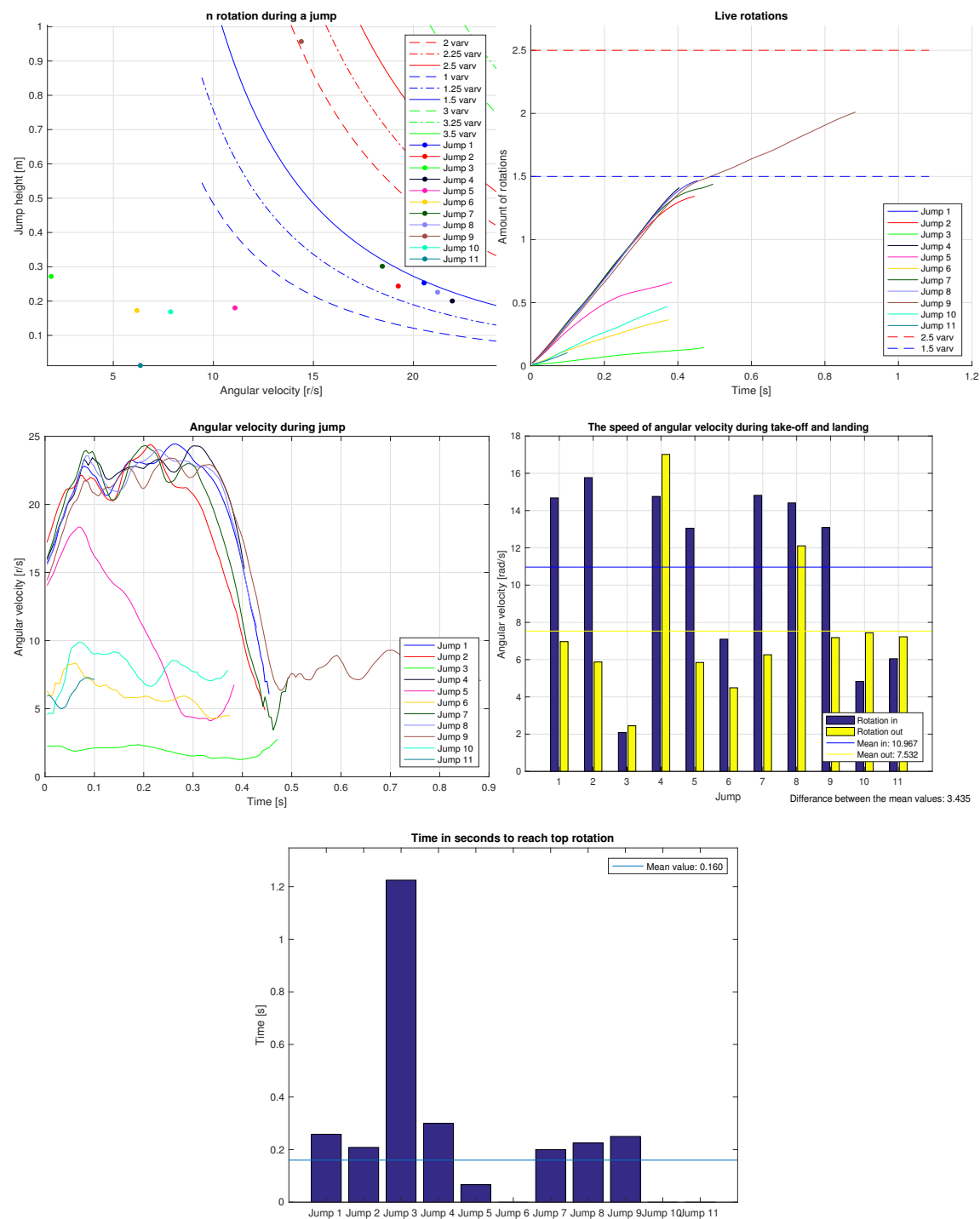
Åkare 2 dubbel axel



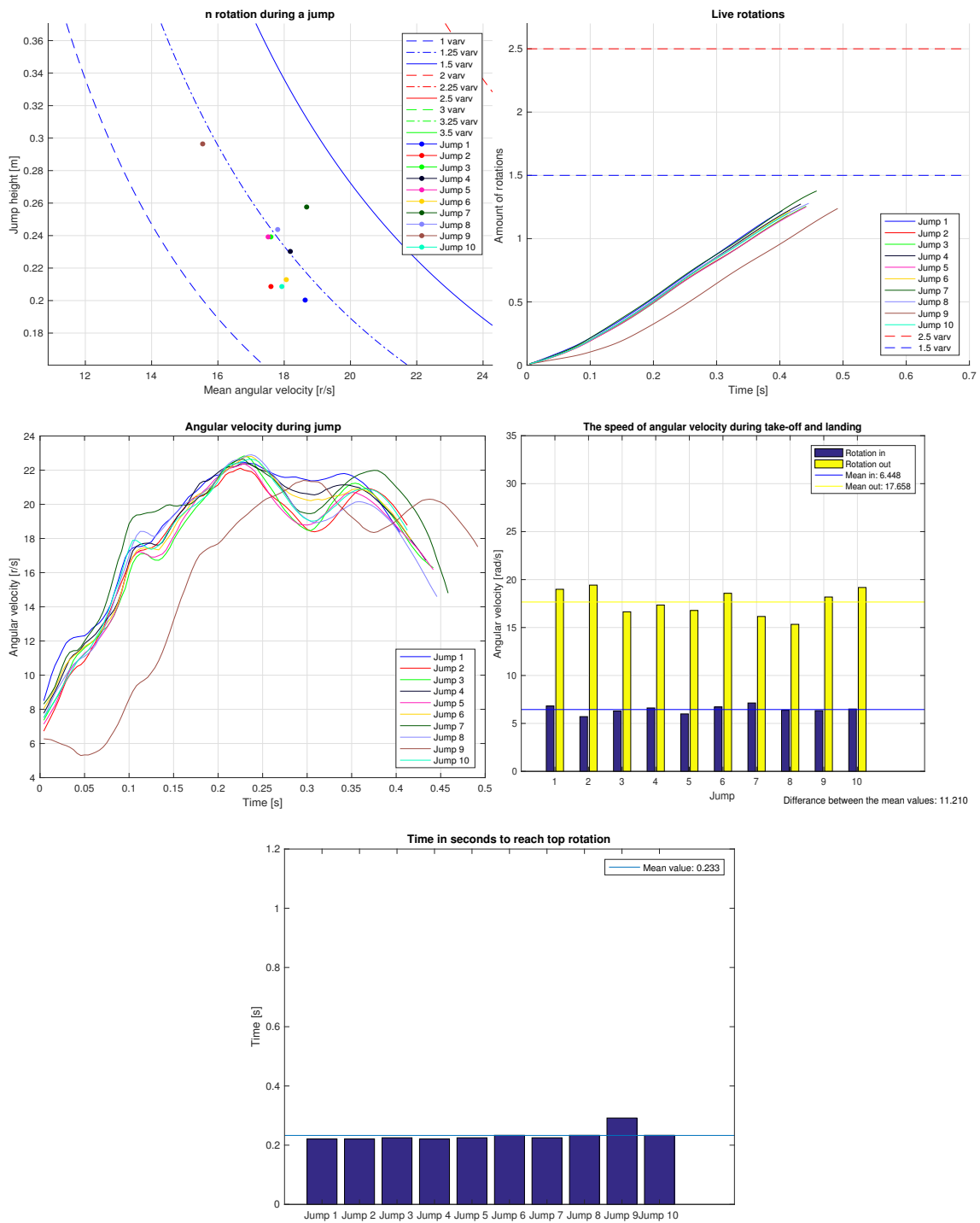
Åkare 3 enkel axel



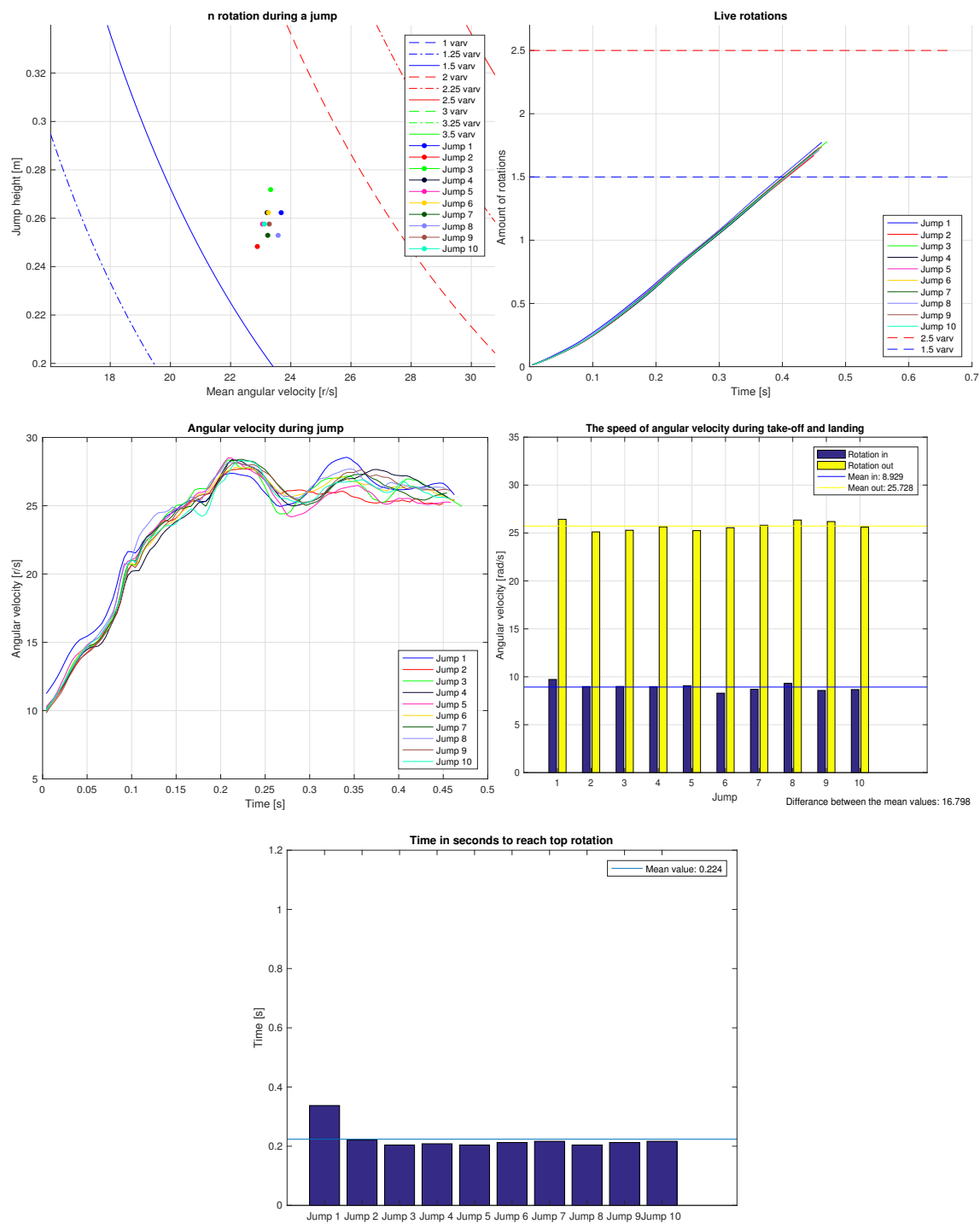
Åkare 3 dubbel axel



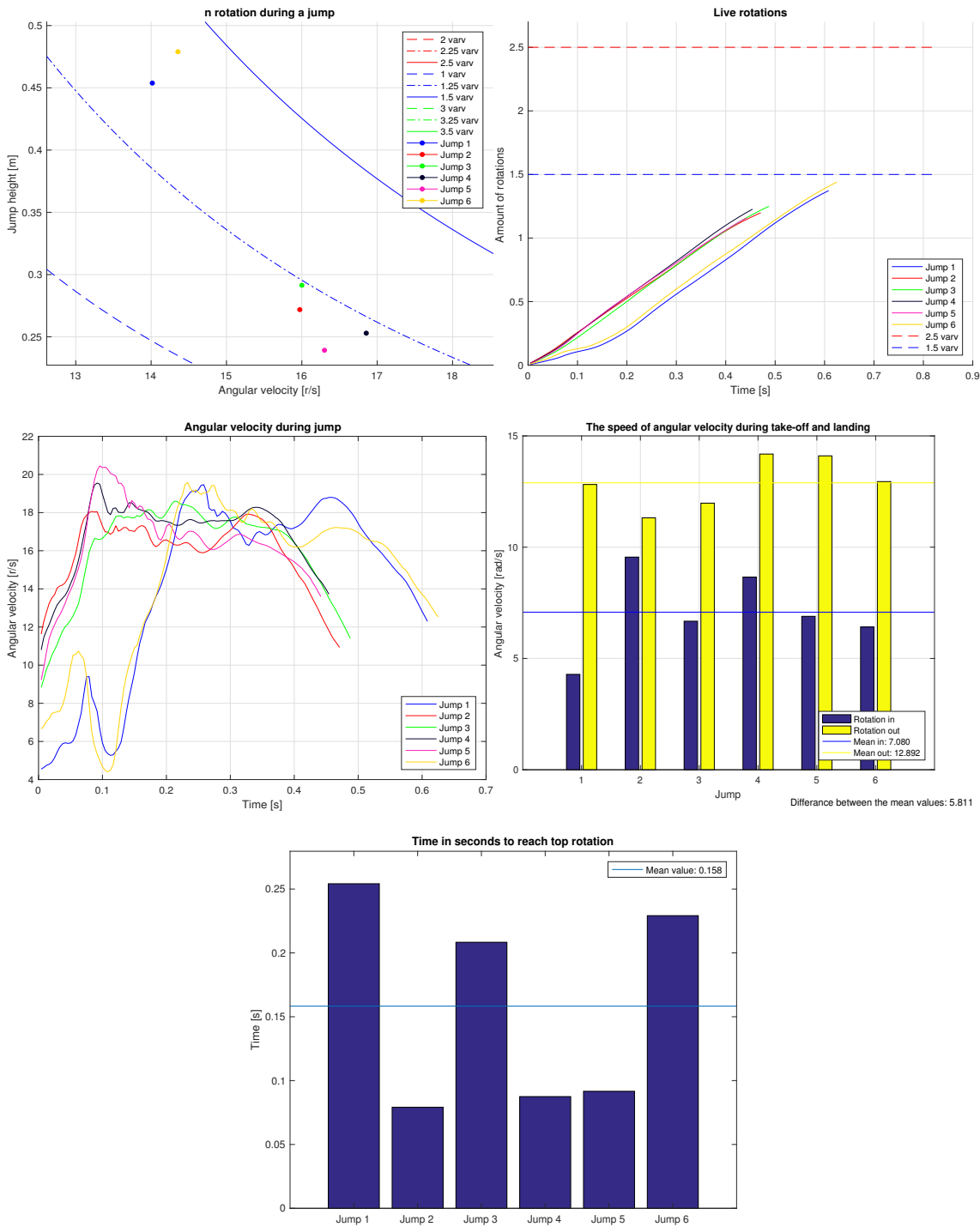
Åkare 4 enkel axel



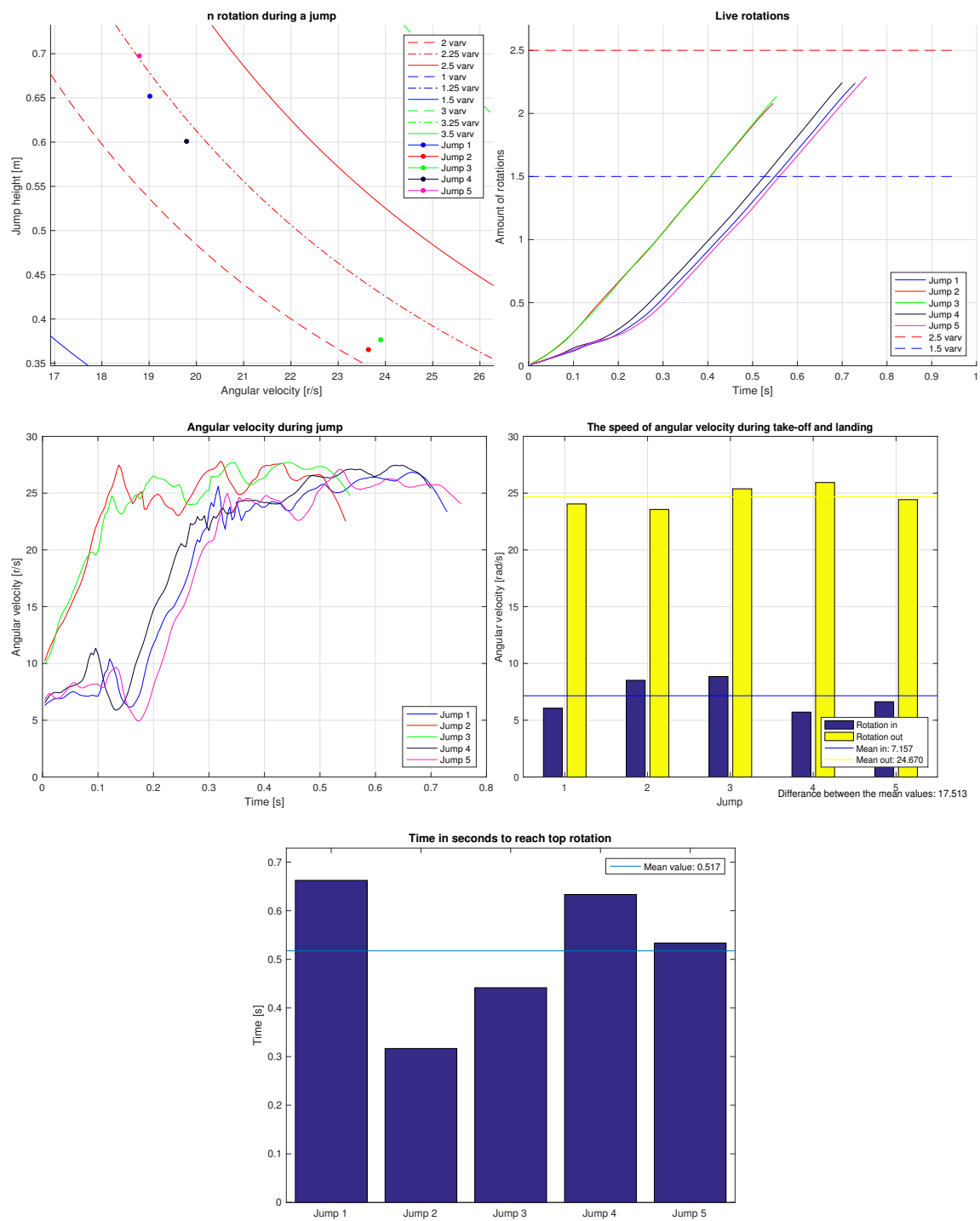
Åkare 4 dubbel axel



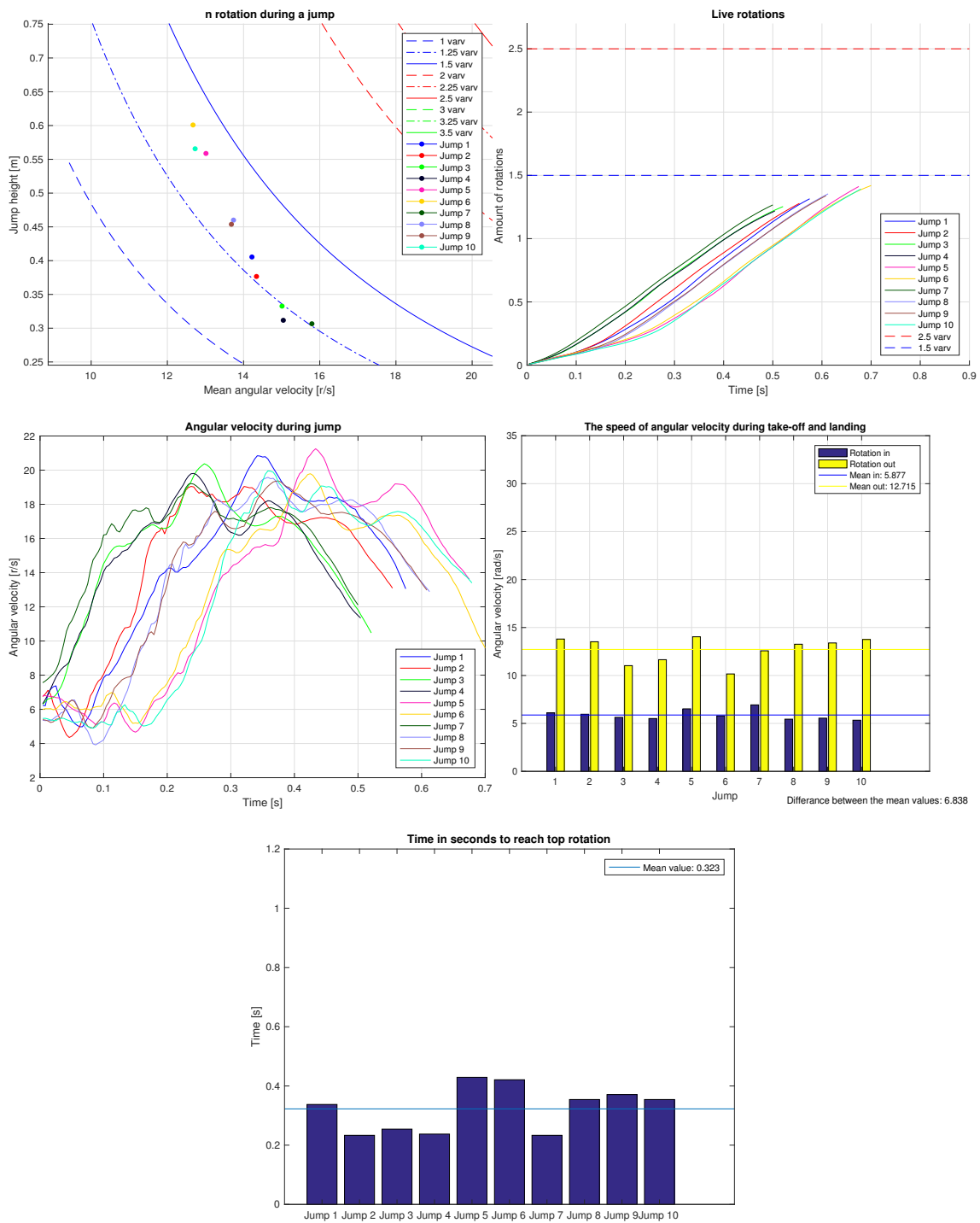
Åkare 5 enkel axel



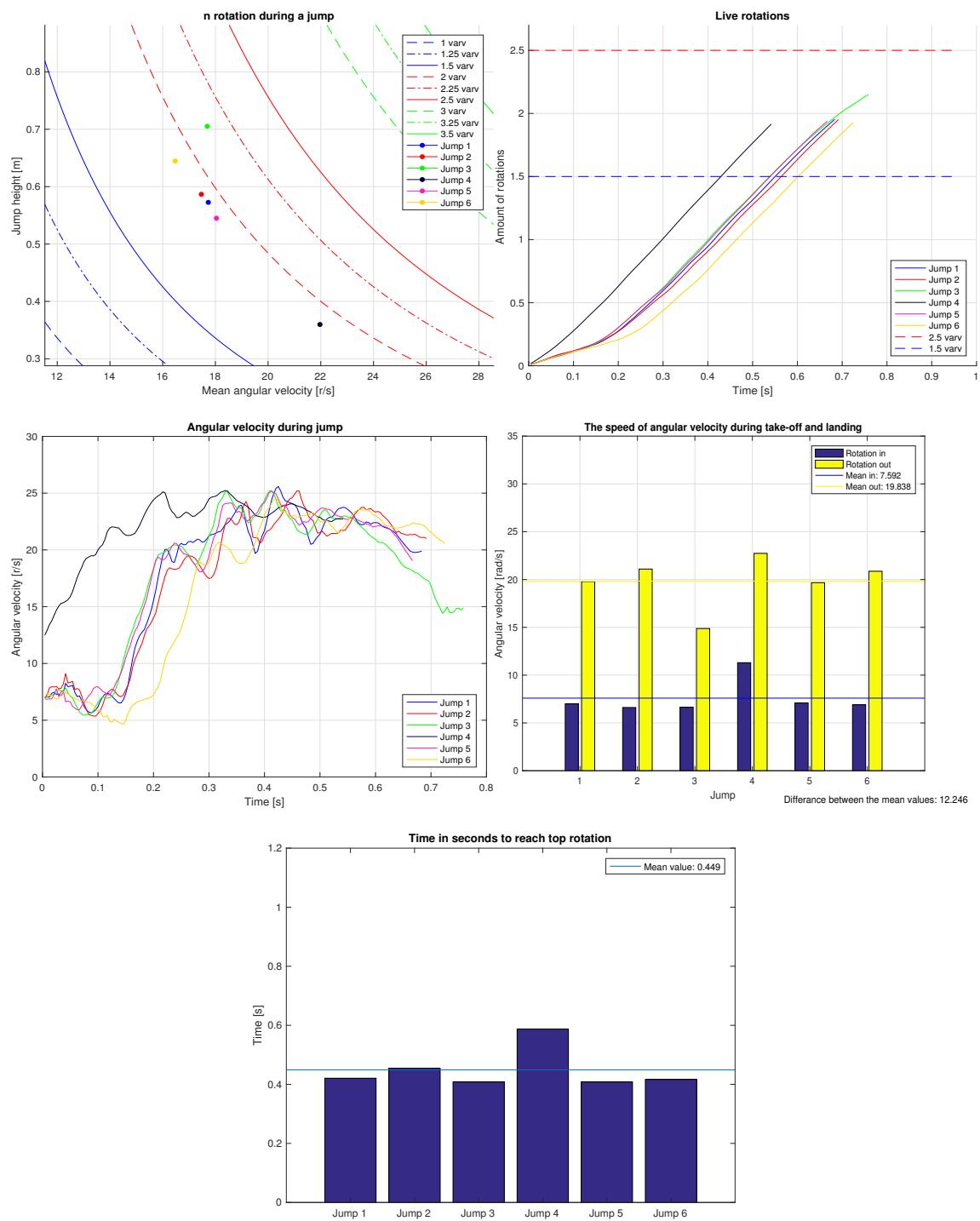
Åkare 5 dubbel axel



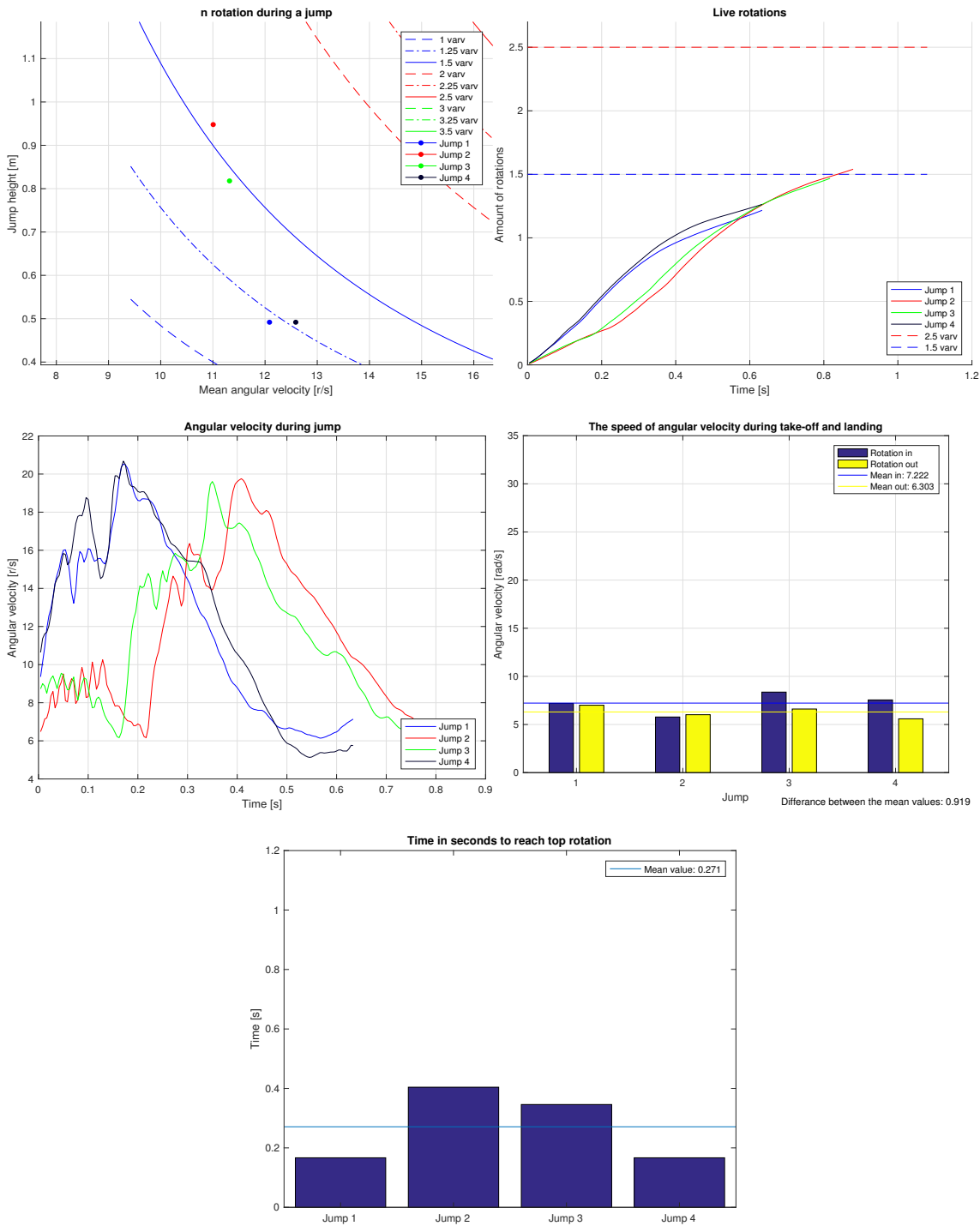
Åkare 6 enkel axel



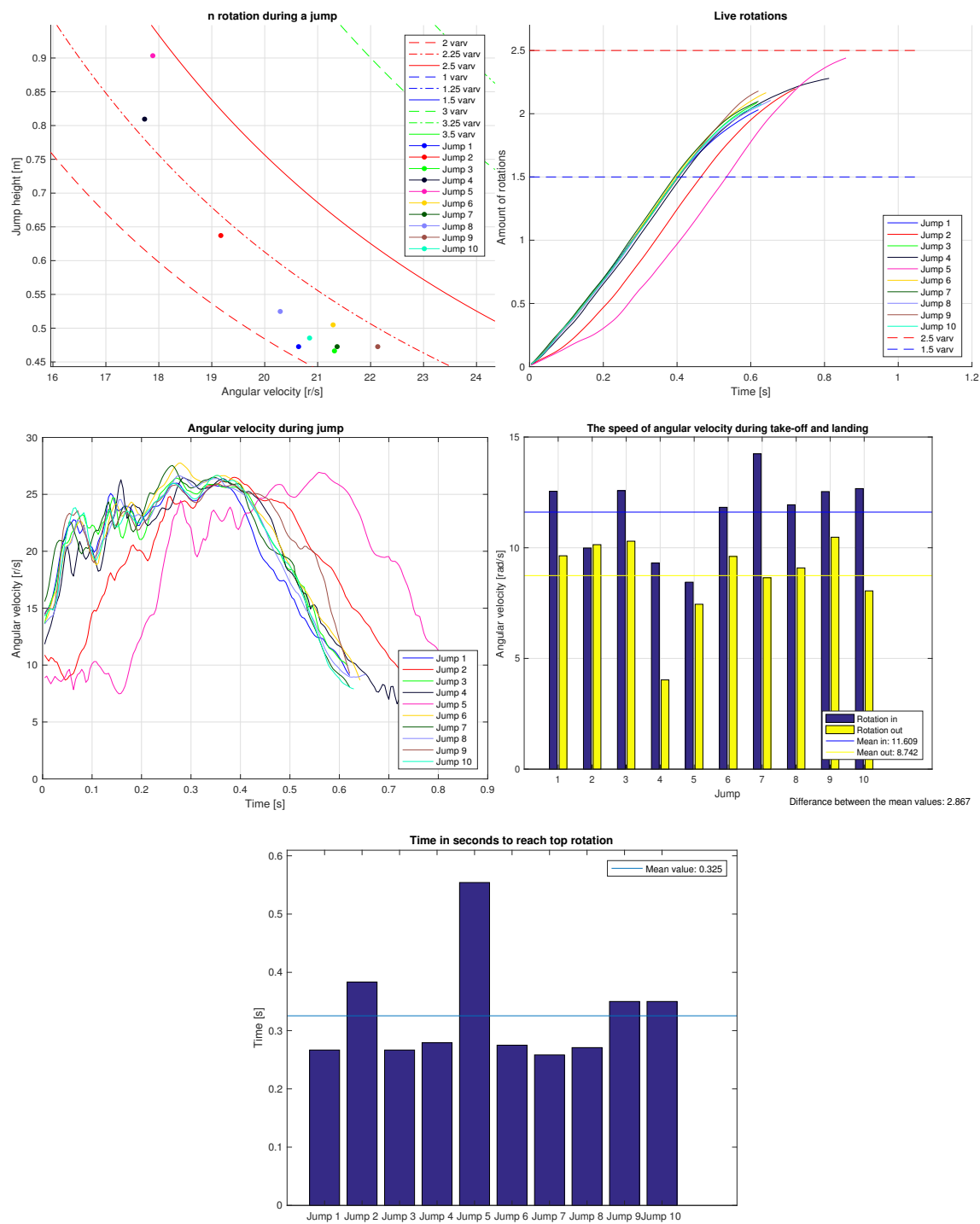
Åkare 6 dubbel axel



Åkare 7 enkel axel



Åkare 7 dubbel axel



Åkare 7 trippel axel

