

Flygmekanik i sidledsmanöver hos Svartvit flugsnappare
(*Ficedula hypoleuca*)

Kandidatuppsats, Biologiska institutionen, BIOK01, HT2018



LUNDS
UNIVERSITET

Student: Ludwig Nilsson
Email: fotbollludwig@gmail.com

Supervisor: Per Henningsson
Email: per.henningsson@biol.lu.se

Innehåll

Titelsida.....	1
Innehåll.....	2
Abstrakt.....	3
Introduktion.....	4
Metod och material	4
Resultat	7
Diskussion	8
Referenser.....	12

Abstract

There is not much research done regarding maneuvering flight on Birds. What has been done surrounding the area usually involves steady flight and not maneuvering. For the most part studies concern bats, insects or hummingbirds. What makes research on maneuvering on birds important is that in a bird's everyday life, very little of it consists of steady flight. This study has looked on the Pied flycatcher. The Pied flycatcher is a species whose attributes fits the experiment very well due to its specialization on catching prey mid-air. Two birds have been filmed in a wind tunnel where they are following a feeder sideways. Every frame of the recordings has been analyzed to see exactly how the birds are accomplishing the required movement to follow the feeder sideways. The position of 11 different body points was determined in every frame. The length and angle relationship were analyzed in MATLAB to visualize patterns of movements. The results indicate that the birds are using subtle differences in the right and left wing during down and upstroke of the wings to create slightly different vortices on each wing to maneuver itself along with the feeder, hence being able to follow and focus on its prey. These results can inspire future research that studies the subtle differences in upstroke and downstroke to create forces to maneuver.

Introduktion

Forskning på djurs sätt att leva har kunnat leverera banbrytande idéer inom teknik och design. Inspiration från fåglar har varit en av de mest givande, då forskningen av aerodynamik har låtit oss åka ut i rymden eller till Ronneby flygplats. Det är känt att fåglar kan hålla sig i luften med just arbetet med vingarna och många andra faktorer för att skapa krafter uppåt (Tobalske, 2001). Men vad är det för arbete som utförs för att skapa krafter för flykt i sidled? Det har forskats mycket på fåglars kinematik och aerodynamik men än mindre på deras sidledsmanövreringar. En del av forskningen kring manövrering hos fåglar ägnar sig åt fåglarnas insekter, nämligen kolibrisläktet (Hedrick *et.al.*, 2011). Hos fladdermusen har det forskats kring sidledsmanövrering där en art inom flyghundar ändrar kroppsriktning under uppslag och fortsätter manövreringen under nedslag (Swartz och Iriarte-Díaz, 2008). Däremot har den här studien fokuserat på Svartvit flugsnappare (*Ficedula hypoleuca*). Svartvit flugsnappare är en passande art eftersom den är duktig på att manövrera och fånga byten i luften. Manövreringsflykt utgör därmed flugsnapparens ekologi och aerodynamik liksom stadig flykt utgör migrerande fåglars ekologi och aerodynamik (Florian *et. al.*, 2011).

Flugsnappare är adapterad till en långsam flygning och under långsam flygning genererar flugsnappare mestadels av sin flyktkraft under nedslag (Florian, 2012). En del forskning kring manövrering har ägnat sig åt flugsnapparens byte, flugor, som använder sig av mindre utvecklade vingar men ett effektivt motoriskt styrsystem i basen hos vingen (Dickinson *et. al.*, 2017).

Det som har studerats är hur en individ av arten Svartvit flugsnappare manövrerar sig i sidledes när mataren (fågeln fokuseringspunkt) åker i sidled. Då detta sker i en flygtunnel, innebär det att i fågelns perspektiv åker både bytet och fågeln även också framåt. Genom att analysera två sekvenser, d.v.s. två inspelningar av samma

individ två gånger, kan man jämföra om fågeln gör något annorlunda eller likadant i båda sekvenser. I dessaminspelningar har positionen av 11 olika kroppsdelar bestämts i 640 ramar. De 11 referenspunkterna är utvalda efter användning i flykt (Henningsson *et.al.*, 2018) Målet är därefter att undersöka vilka positionsförändringar det är som sker hos den svarta flugsnapparens kroppsdelar för att åstadkomma en manövrering i sidled och upprätthålla denna.

Det är förutsatt att vår individ börjar i en rak flykt och sedan intar en flykt i sidled för att kunna se eventuella manövreringar för att både påbörja en flykt i sidled samt för att hålla sig i en flykt i sidled. Det är också vitalt att individen fokuserar på mataren under hela sekvensen. Fåglar har nämligen ett sensoriskt system som kopplar ihop syn med deras rörelser i luften som kan komma att bli avgörande (Goller och Altshuler, 2014). Flykten måste även ske naturligt för flugsnappare vilket är uppnått med en vinshastighet på 3 meter per sekund och en hastighet på mataren runt 5 centimeter per sekund. Baserat på kombinationen av forna studier och experimentets design kan man förutse att manövreringen kommer ske med hjälp av subtila rörelser under upp och nedslag.

Metod

Filmandet av sidledsmanövern har gjorts i en vindtunnel vid ekologihuset på Lunds Universitet (Lund Wind Tunnel). Fågeln filmades med två stereo-kalibrerade höghastighetskameror som riktades snett ovanifrån och från sidan. Kamerorna filmade med 640 bilder per sekund vilket gav ungefär 50-55 bilder per vingslag. Mataren har placerats i vindtunneln och har åkt åt vänster i sekvens 1 samt åt höger i sekvens 2. Den återstående uppgiften var att bestämma och klicka i de bestämda positionerna i varje ram (Figur 1). Beräkningar på avstånd och vinkel utfördes i Matlab som är ett program som kan användas till att uttrycka visuell data matematiskt (Matlab, 2019).

När man börjar klicka är det rekommenderat att klicka på de tydligt synliga punkterna till att börja med och hoppa över suddiga. Efter några hundra klick kan man klara av att någorlunda lokalisera dessa punkter av sämre kvalitet. Det är viktigt att komma ihåg att det är en fågel med bilder i höghastighetskamera, därför kommer punkterna inte röra sig slumpmässigt utan följa ett förutsägbart mönster. Man kan därefter anpassa sina klick, om det skulle behövas.

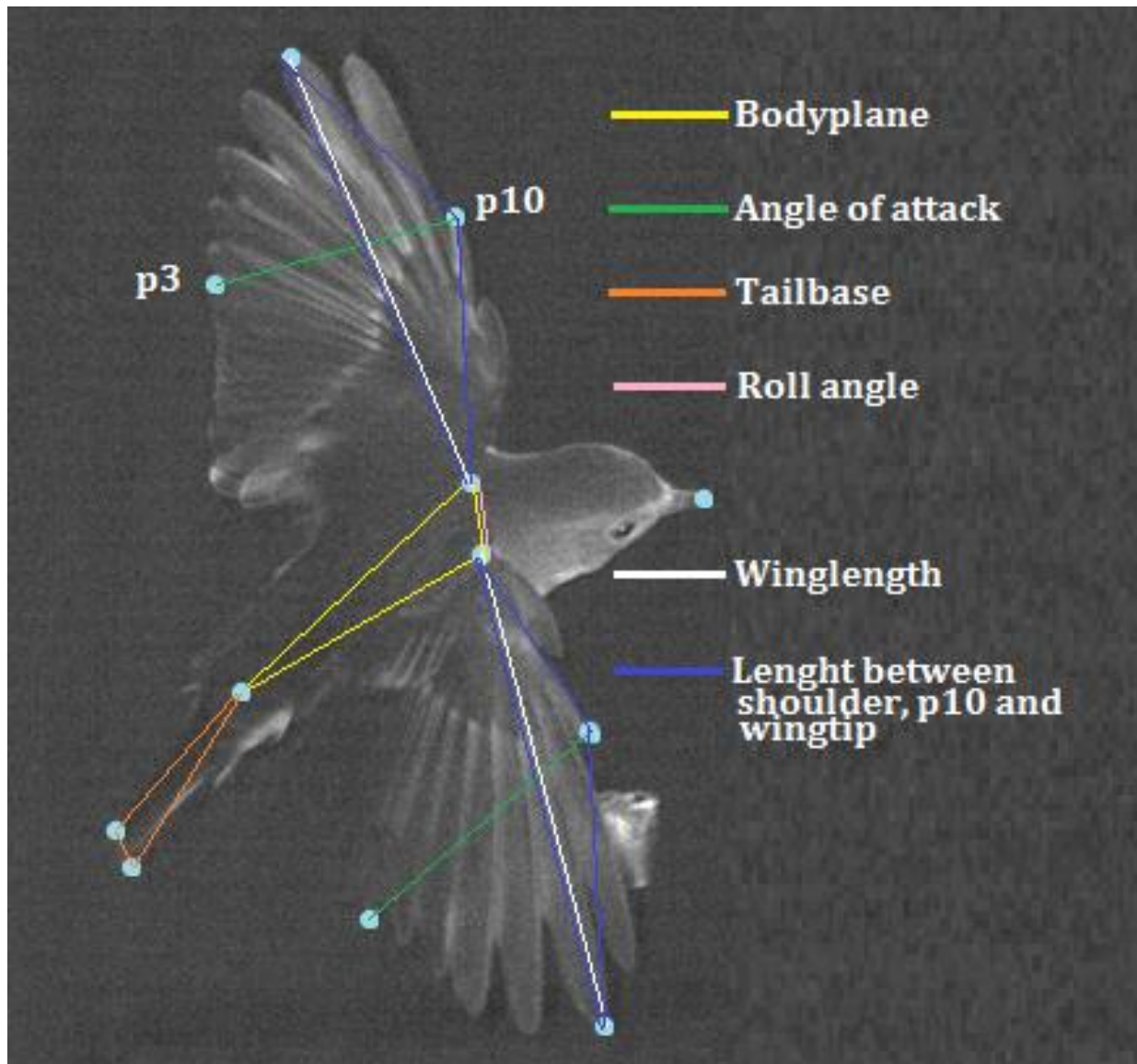
Det klickades mellan 400 och 600 bilder för varje punkt, i minst 2 kameravinklar, på två sekvenser, på följande punkter: Mataren, fågelns näbb, två skuldror, stjärtbas, två stjärttippar, vingspetsar, längst ut på primärfjäder 10 (p10) och längst ut på primärfjäder 3 (p3). Totalt digitaliserades 15 punkter, vilket betyder runt 30000 klick. 3D-koordinaterna sparades till textfiler och matades in i Excel i form av 3 kolumner: X, Y och Z som anger var den klickade punkten befinner sig på X, Y och Z-axeln i 3D graf.

I Excel beräknades specifika avstånd och vinklar mellan punkter i X, Y och Z-led. Vinklar beräknades med följande formel.

$$\arctan\left(\frac{\text{motliggande katet}}{\text{närliggande katet}}\right)$$

Avstånd beräknades med delta Y eller delta X beroende på vilken parameter som beräknades. Med dessa vinklar och avstånd gjordes linjediagram som beskriver rörelser och vinkelförändringar mellan punkter. Dessa linjediagram jämförs med respektive linjediagram på båda vingarna och båda sekvenserna för att tyda eventuella avvikelser.

Linjediagram skapades i båda sekvenser baserade på positionsförändringarna i punkterna i figur 1.



Figur 1: Ett foto på svartvit flugsnappare i vindtunneln där referenspunkter för mätning är markerade. De olivfärgade linjerna visar de vinklar och avstånd som beräknades.

Gul: vinkel hos skuldror i förhållande till stjärtbasen.

Grön: vinkel hos p3 i förhållande till p10.

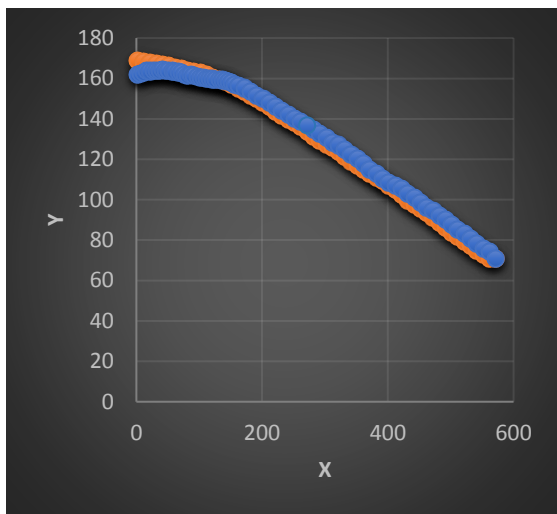
Orange: vinkel hos de båda stjärttipparna i förhållande till stjärtbasen.

Rosa: vinkel mellan skuldror.

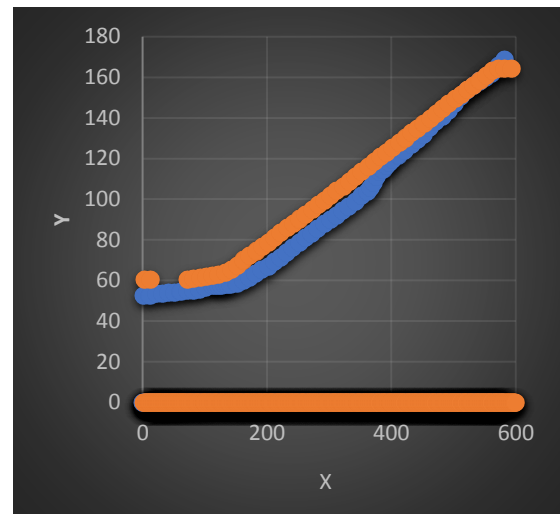
Vit: avstånd mellan skuldror och vingspets och amplitud av vingspets.

Blå: vinkel och avstånd mellan p10, skuldra och vingspets.

Resultat



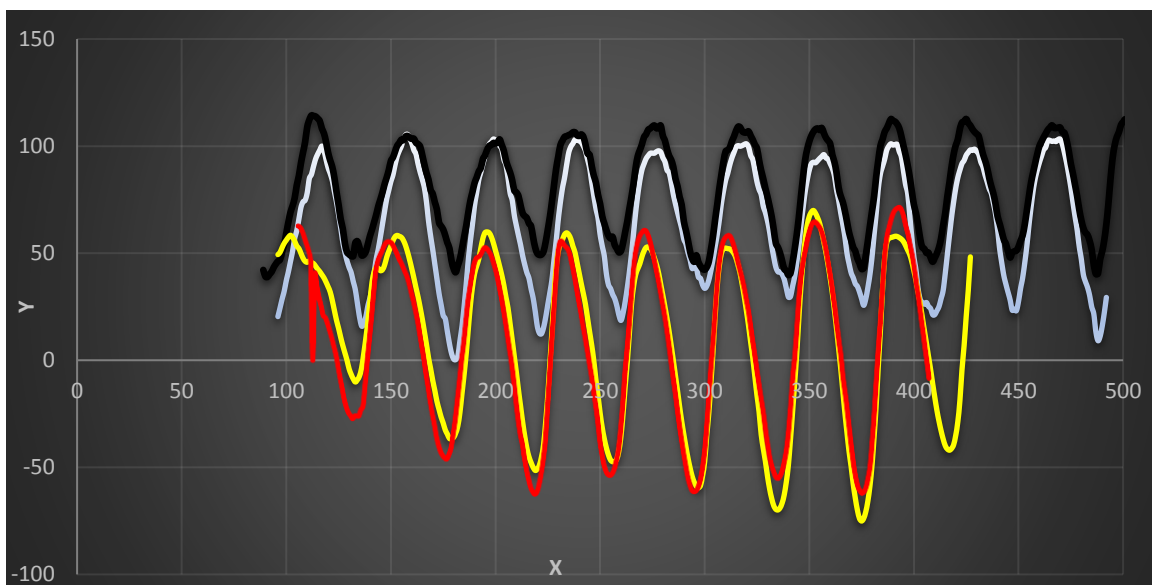
Figur 2: Sekvens 1. Sidledsflyttning åt vänster. Näbb (blå) följer med matare (orange)



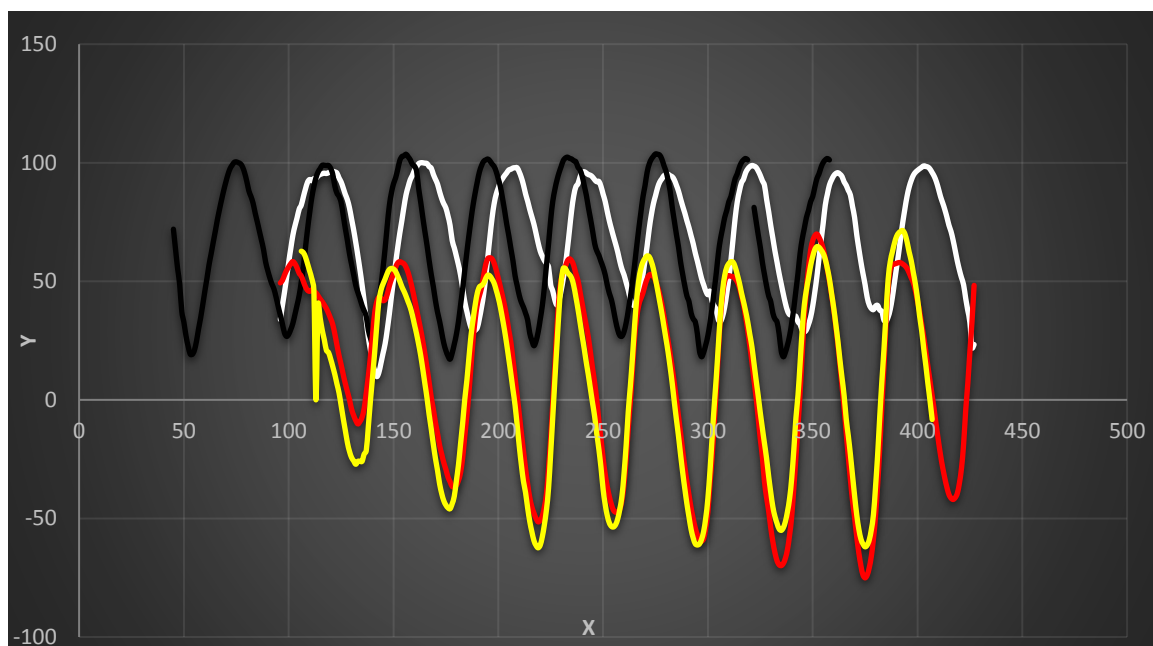
Figur 3: Sekvens 2. Sidledsflyttning åt höger. Näbb (blå) följer med matare (orange)

Individen inleder sidledsmanövern vid ram 140 ($y=140$) i båda sekvenserna. Mataren i sekvens 1 förflyttar sig åt vänster medan mataren i sekvens 2 förflyttar sig åt höger. Det framgår att individen börjar förflytta sig sidled ca 50 ramar efter mataren i båda sekvenserna vilket är ca 0,08 sekunder efter mataren (Fig. 2 och Fig. 3).

Konsekventa skillnader i rörelsemönster under flykt kunde endast hittas i vinglängd (se vit i figur 1) som mättes som amplitud av vingspets (se gul och röd i Fig. 4 och 5) samt avstånd mellan skuldra och vingspets (se svart och vit i Fig. 4 och 5).



Figur 4: Sekvens 1. X=ramar. Y=millimeter. Amplitud i vänster vingspets (gul). Amplitud i höger vingspets (röd). Avstånd mellan skuldra och vingspets i vänster vinge (svart). Avstånd mellan skuldra och vingspets i höger vinge (vit).



Figur 5: Sekvens 2. X=ramar. Y=millimeter. Amplitud i vänster vingspets(gul). Amplitud i höger vingspets(röd). Avstånd mellan skuldra och vingspets i vänster vinge(svart). Avstånd mellan skuldra och vingspets i höger vinge(vit).

Manövern i sidled påbörjas i ram 140 ($x=140$) i båda sekvenserna då mataren först börjar röra på sig. Vid detta tillfälle är subjektets vingspetsamplitud relativt hög mellan ned och uppslag i båda sekvenser (Fig. 4 och 5).

Vinglängd

Flygande åt vänster i sekvens 1 slår subjektet vingarna i fas medan vänster vinge är mer utsträckt. Flygande åt höger i sekvens 2 slår subjektet vingarna ur fas med likvärdig vinglängd.

Amplitud

Flygande åt vänster i sekvens 1 slår subjektet djupare nedslag med höger vinge än vänster vinge. Flygande åt höger i sekvens 2 slår subjektet djupare nedslag med vänster vinge än höger vinge.

Diskussion

Resultaten visar att förutsättningarna angående fokus på matare och naturlig flykt är mötta (Fig. 1 och 2). Innan och under mataren inleder sin sidledsförflyttning visar subjektets vingamplitud att den slår kortare slag vilket kan tolkas som att fågeln gör sig redo för manövrering och är alltså fokuserad på mataren (Fig. 4 och 5).

Resultaten visar i enlighet med hypotesen att det sker små subtila skillnader i subjektets upp och nedslag. Dessa skillnader förutsågs att vara små vilket de var. Det som argumenterar för att man kan se tendenser från dessa små skillnader i figurerna är att de är 1. Konsekventa. 2. Sker under en naturlig sväng. 3. Det krävs inte stora rörelseförändringar i 3 meter per sekund för att skapa krafter tillräckliga att påverka en liten fågel som svartvit flugsnappare.

Däremot kunde endast tendenser till skillnader påvisas i en av sex rörelsesamband nämligen vinglängd. Detta motsäger gamla studier som argumenterar att manövrering sker med hjälp av flera rörelser (Tobalske, 2001. Swartz och Iriarte-Díaz, 2008. Henningsson, 2018).

Resultatet angående vinglängd visar att under vänstersväng är vänster vinge utsträckt vilket kan fungera som broms vilket resulterar i girning i sidled. Däremot var vinglängden likgiltig under högersvängen varpå vingarna även var ur fas. Det är inte uppenbart vilken effekt i kraft vingslag ur fas kan ge, vilket ger ett hålrum att fylla för framtida studier.

Resultat angående amplitud föreslår att vingen slås djupare ner under nedslaget på den vinge som är ytterst i svängen (höger vinge i vänstersväng). Detta kan generera lyftkraft på yttervingen och skapa ett rollmoment i sidled. Eftersom motsatsen sker i motsatt sväng är det troligt att detta är huvudanledningen för dessa två sekvenser. Det kan även vara så att dessa rörelser har gett upphov till de skillnaderna angående vinglängd.

För vår flugsnappare skulle dessa resultat innebära skillnad i roll, d.v.s. vinkel mellan skuldrorna. Men de resultaten erhöll ingen märkbar skillnad. Skuldrorna höll sig nästan lika stilla som det fokuserade huvudet. Vilket kanske precis var fallet och varför ingen märkbar skillnad i data visade sig mellan skuldrorna. Dock kan man misstänka att fågeln efter påbörjad sväng redan kan vara rollad en aning eftersom amplituden på vingen innerst i svängen ligger konsekvent lägre varje vingslag både i övre och nedre vändpunkt jämfört med andra vingen. Potentiell osäkerhet i träffsäkerheten på skuldran, som är den svåraste punkten att se, kan också bidra till misstankar om roll.

Ytterligare ett annat sätt en fågel kan svänga är att med ena vingen generera bromskraft. Det hade den kunnat göra genom att öka vinkeln hos den bakre delen av vingen gentemot den främre delen av vingen (attackvinkeln). För att det ska leda till en riktningförändring är det förutsatt att det bara sker på en av vingarna – eller båda medan det fortfarande är skillnad i ökning. Men åter igen kunde ingen skillnad ses i attackvinkel. Attackvinkeln kan vara en av många verktyg hos flugsnapparen för att manövrera och väljer från sitt sortiment utifrån vad som behövs och då kanske vinkelförändringar har verkat överflödigt.

Ett verktyg i skymundan från fåglars fascinerande vingar är stjärten. Stjärten som potentiellt är a och o när det gäller styrning och kanske framförallt i manövreringen hos vissa arter. Det kan man framför allt se hos svalor. Men återigen visades ingen märkbar skillnad i stjärtens rörelser hos vår flugsnappare. Kanske är även här manövrering med stjärten en överflödig aktion. Kanske har det stor betydelse att individen är fokuserad på mataren under flykten. En fokusering som kanske inte tillåter överflödiga rörelser. En fokusering som innebär försiktighet och beredskap då det handlar om en måltid som inte kan låtas gå förlorad. Det nämns i resultatet att vid ram 140, då mataren börjar röra sig, sker det två vingslag som skiljer sig från de andra vingslagen. Vingslagen är kortare än de andra när individen ser att mataren börjar röra på sig.

Ett kortare vingslag innebär kortare kinematisk väg till nästa potentiella manövrering och därmed till den manövern individen kan behöva göra när den säkert vet matarens nästa rörelse. Man kan argumentera för att det är vingslag som tyder på att individen är mer beredd på att röra sig. Att individen gör ett lika kort vingslag i båda sekvenserna, i samma ramar kan stärka argumentets legitimitet. Det finns däremot ingen data på vingslagen innan det beredande vingslaget och kan därför inte säga om det bara var ett sammanträffande att det beredande vingslaget trädde i kraft i samma ramar som när mataren accelererade.

Det som gör att en hopvikande höger vinge under uppslag kan resultera i en riktningsförändring åt höger (som kanske sker i högerväng om man kan säga att vinglängden inte är helt likgiltig) är för att under uppslag av vinge hos svartvit flugsnappare blir vingen aerodynamiskt inaktiv under den senare delen av uppslaget, vilket betyder att den genererar i princip ingen mer lyftkraft än vad kroppen genererar under den senare delen av uppslaget (Muijres *et. Al.* 2012). Dock är förmodligen skillnaden mellan de små krafter som skapas under uppslaget på vingarna tillräckliga för att resultera i en riktningsförändring mot den sida där mindre lyftkraft genereras, det vill säga åt höger i vårt exempel och tvärtom i vänster.

Det skulle förbrylla om det verkligen handlade om en så liten anpassning av vingen, endast under uppslag, för att åstadkomma och underhålla riktningsförändringen. Samt att det handlar om en rörelse under den senare delen av uppslaget som sägs inte påverka några krafter alls i avseende för att föra fågeln framåt och hålla sig flygande. Så kanske under detta moment så kan det alltså finnas möjlighet för en rörelse som kan påverka krafter i avseende för att föra fågeln i sidled. Den senare delen av uppslaget är kanske inte ett kraftgenererande dödläge.

Resultaten stämmer överens med vad som var förväntat i den mån att flugsnapparen använde sig av kinematiska rörelser för att få riktningsförändring samt att det kunde komma fram till vad som var den mest orsakande

rörelsen för riktningsförändringen. Det var inte väntat att flugsnapparen endast skulle använda en rörelse.

I fåglars ekologi så handlar det dock väldigt mycket om energiförvaltning och då passar det väldigt bra in att använda sig av aerodynamiska krafter, möjliggjorda av individens morfologiska egenskaper. Det är möjligt att denna lilla rörelse är den minst energikrävande möjliga för just denna sidledsmanövrering och därmed den mest föredragna rörelsen. För att fastslå de nämnda tendenserna, skillnader eller påstående behövs det mer underlag för statistiska tester.

Det är möjligt att det inte hittades skillnader på grund av felkällor. Det nämndes i metoden att klickandet av punkter inte var helt lätt och att det accepterades att chansa lite på var punkten befann sig med hjälp utav att visualisera sig utefter punktens rörelsemönster. Det betyder därmed att alla punkter inte kommer att vara placerade helt korrekt. Men i stort så klickades näst intill 30 000 punkter, de uppenbart avvikande punkterna togs bort och mönstren i diagrammen var tydliga. Små avståndsmisar spelade i slutändan inte stor roll då det var de slutgiltiga mönstren i diagrammen som spelade roll. Angående urval så blev samma individ klickad på två sekvenser. Det är inte ett urval tillräckligt för statistisk hållbarhet. Man kan misstänka att ett större urval inte hade ändrat slutsatsen i hur flugsnappare beter sig för att åstadkomma just denna sidledsflyttning. Det kan påpekas att om tillräckligt med urval ska tas fram för statistisk hållbarhet, i samma omfång av klickande för varje sekvens, så hade det tagit väldigt lång tid. För perspektiv så tar det runt 3 sekunder att klicka en punkt i fokuserat tillstånd. Att klicka 10 sekvenser i fokuserat tillstånd hade kunnat ta runt 100 timmar.

Det hade varit intressant för framtida undersökningar att använda olika rörelsemönster hos mataren som ställer krav på flugsnapparen i flera nivåer. Denna undersökning hade kunnat utgöra en grund att stå på och varit den första av sitt slag. Vid högre förflyttningskrav kan flugsnapparen bli tvungen till att använda mer energikrävande

metoder. Vilka metoder flugsnapparen hade föredragit, eller kanske kombinerat, vid olika förflyttningskrav hade varit väldigt intressant att veta.

Denna studie visar potentialen en vindtunnel har för att undersöka framtida frågor kring fåglars rörelsemönster. Denna studie kan bidra inspiration för metod och fokusering på de subtila skillnaderna i upp och nedslag. Denna studie påvisar även rummet som är kvar att

fylla angående fågelns val av rörelser vid olika omständigheter vid flykt och vidare relatera dessa till motsvarande fågels ekologi.

References

- Dickinson, M., Lindsay, T., Suster, A. 2017. The function and organizations of the motor system controlling flight manoeuvres in flies. Elsevier Ltd. 27(3): 354-358
- Florian, M. 2011. Feathers by Day, membranes by night – Aerodynamic performance in bird and bat flight. Department of Biology, Lund University.
- Florian, M., Bowlin, M.S., Johansson, L.C., Hedenström, A. 2012. Vortex wake, downwash distribution, aerodynamic performance and wingbeat kinematics in slow-flying pied flycatchers. Department of Biology, Lund University. 9: 292-303
- Goller, B. And Altshuler, D.L. 2014. Hummingbird control hovering flight by stabilizing visual motion. PNAS. 111: 18375-18380
- Hedrick, L.T., Tobalske, W.B., Ros, G.I., Warrick, R.D., Biewener, A.A. 2011. Morphological and kinematic basis of the hummingbird flight stroke: scaling of flight muscle transmission ratio. J. R. Soc. 279: 1986-1992
- Henningsson, P., Jakobsen, L., Hedenström, A. 2018. Aerodynamics of manoeuvring in brown long-eared bats (*Plecotus auritus*). J. R. Soc. Interface 15:20180441.
- Lund wind tunnel. [<https://www.biology.lu.se/research/research-groups/animal-flight-lab/facilities/lund-wind-tunnel>] Accessed January 15 2019.
- Matlab. [<https://ch.mathworks.com/products/matlab.html>] Accessed January 15 2019.
- Muijres FT, Johansson LC, Bowlin MS, Winter Y, Hedenström A (2012) Comparing Aerodynamic Efficiency in Birds and Bats Suggests Better Flight Performance in Birds.
- Swartz, S.M. And Iriarte-Díaz, J. 2008. Kinematics of slow turn manoeuvring in the fruit bat *Cynopterus brachyotis*. Journal of experimental biology. 211: 3478-3489.
- Tobalske, W.B. 2001. Morphology, velocity, and Intermittent Flight in Birds. Oxford University Press. 41: 177-187