

Enkel bukt dynamikk

Versjon 0.2

Grunde Løvoll

Universitetet i Oslo, 5. januar 2006

Kontakt informasjon:

Grunde Løvoll
Fysisk Institutt
Universitetet i Oslo
Pb. 1048, Blindern
0316 Oslo
e-mail: grunde.lovoll@fys.uio.no
tlf: +47 22856444

Copyright

©2006, Grunde Løvoll med alle rettigheter. Du kan fritt kopiere og distribuere uforandrede kopier av denne artikkelen i trykt eller elektronisk versjon. For utfyllende informasjon se: <http://creativecommons.org/licenses/by-nd/2.5/>

Innhold

Innhold	2
1 Innledning	3
2 Litt mekanikk	3
2.1 Fart, masse, impuls, kraft og akselerasjon	3
2.2 Snordrag	4
2.3 Luftmotstand	5
3 Snøret i luften	5
4 Anvendelser	7
4.1 Korte og lange skyte-klumper	8
4.2 Problem: Dårlig strekk i fortomen	8
4.3 Problem: Fortomen slår for hardt over	9
4.4 Problem: Skyteklumpen slår over for tidlig	9
4.5 Tyngre skyteklump	10
4.6 Vi legger om til synkeklump	10
4.7 Framtung line (snøreprofil)	10
5 Noen spesialkast	11
5.1 “Tuck kast”	11
5.2 Høysåte kast	11
5.3 Luft mending og S-kast	11
6 Veien videre	12
6.1 Fluekast og Vitenskap	12
7 Takk!	13
Bibliografi	13

1 Innledning

Min subjektive mening er at fluefiske er den viktigste uviktige aktiviteten som finnes. En viktig del af fluefisket er fluekastet. Fluekast er vakkert og fluekast er fysikk.

Hva som skjer i bukta og hva som kontrollerer om man får god strekk på fortommen eller om hele stasen lander i en haug har i noen sammenhenger vært gjenstand for diskusjoner. På oppfordring skriver jeg derfor litt om hva jeg mener skjer i et fluekast mens overlina bremses opp og blir til underline. Og hvordan man med hjelp av denne forståelsen kan gjøre tilpasninger i kast eller utstyr for å løse problemer med for rask eller dårlig “strekk” i kastet.

For å ha utbytte av artikkelen må du først og fremst ha kastet litt med flue og gjerne ha lest litt om fluekasting. Hvis du i tillegg har hatt litt skole-fysikk skulle dette være grei skuring. Betrakningene som gjøres er i all hovedsak kvalitative så det er mitt håp at også lesere helt uten realafags bakgrunn skal kunne følge resonnementene og skjønne hva som skjer.

Artikkelen omhandler *ikke* den viktigste delen av et fluekast, eller hva som skal til for å gjøre gode fluekast. I en slik diskusjon er stangbevegelsen og stangtuppens bevegelse før og mens bukta settes mye viktigere. Artikkelen vil heller ikke lære deg å kaste med flue, er du på jakt etter slike tekster kan du jo begynne med disse: [1, 2, 3] og skulle for å søke etter og rette kaste feil anbefales Castingforbundets bok om Casting [4].

Artikkelen er på ingen måte “endelig ferdig” så innspill, kritikk etc. mottas med takk!

2 Litt mekanikk

Før vi hiver oss over “the real thing” må vi etablere et felles grunnlag, når dette er på plass blir resten mye enklere. Lesere som føler de har god kontroll på den grunnleggende mekanikken kan hoppe over dette avsnittet.

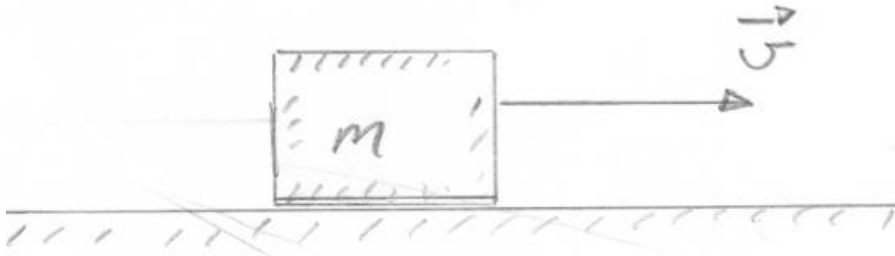
2.1 Fart, masse, impuls, kraft og akselerasjon

La oss starte med å se på et enkelt system, en kloss med masse m som glir på et glatt underlag med farten \vec{v} (skissert på fig. 1).

Når klossen både har masse og fart sier vi at den har *masse-fart* eller *impuls* \vec{p} , $\vec{p} = m\vec{v}$. For å endre klossens impuls (bremse, gi klossen mer fart eller forandre fartsretning) må vi bruke en kraft. Videre er kraften vi trenger for å akselerere klossen avhengig av klossens masse. Jo større masse des større kraft trengs for å få tilsvarende akselerasjon. Dette er *Newtons 2. lov* . . .

Med mindre det virker en kraft på klossen vil denne fortsette langs en rett linje. Dette er *Newtons 1. lov* . . .

Legg også merke til at fart, impuls, akselerasjon og kraft er størrelser som har retning. Mens masse, arbeid og energi ikke har retning.

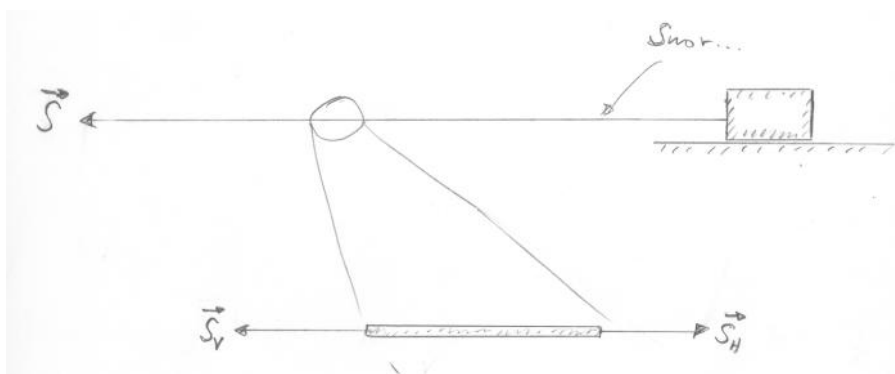


Figur 1: En kloss med masse m som glir på et glatt underlag med fart \vec{v} . Klossens impuls er $m\vec{v}$. Hvis summen av krefter på klossen er 0 vil den fortsette å skli med samme fart i samme retning.

2.2 Snordrag

For å kunne diskutere hva som skjer i snørebukta er det vanskelig å komme utenom snordrag, årsaken til dette er at fluesnøret er ei snor. En myk snor kan bare formidle strekk krefter langs snora, vi kan derfor ikke dytte med en snor, bare trekke.

La oss tenke oss at vi har festet ei snor i en kloss og trekker med en kraft \vec{S} i enden av denne (se fig. 2).



Figur 2: Vi har festet en snor i en kloss og trekker i enden med en kraft \vec{S} . Fordi vi bare kan formidle kraft ved å trekke i snora kan vi bare akselerere klossen mot oss eller bremse bevegelser fra oss. Hvis vi tenker oss at vi “klipper ut” en bit av snora vil snordragene i hver ende av denne biten være som i utsnittet over.

Vi tenker oss så at vi som i fig. 2 “klipper ut” en bit av snora og ser på hvilke krefter som virker i hver ende av denne. På fig. 2 er disse “ende-kreftene” tegnet inn som \vec{S}_V og \vec{S}_H (venstre og høyre snordrag). Hvis snora har masse og

akselereres vil størrelsen på disse to kreftene være forskjellige. Er akselerasjonen 0 (snora er i ro eller beveger seg med konstant fart) eller hvis vi lar biten vi ser på bli veldig liten (massen går til 0) vil $\vec{S}_V = -\vec{S}_H$, altså like store og motsatt rettet.

2.3 Luftmotstand

Luftmotstanden er en kraft fra luften på snøret som virker *mot* fartsretningen, dette skyldes at luften er “seig”, ikke så seig som sirup eller vann men seig nok til at vi for eksempel kan hoppe i fallskjerm. I et fluekast er luftmotstanden proporsjonal med linas overflate og kvadratet av farten. Dvs. at hvis farten blir dobbelt så stor er luftmotstanden fire ganger så stor. Dette betyr også at det blir forskjell på luftmotstandens virkning for forskjellige linetykkelser. Når linediameteren dobles, dobles linas overflate og luftmotstanden lina føler dobles. Men siden linas masse firedobles vil luftmotstandens bremseeffekt likevel bli mindre.

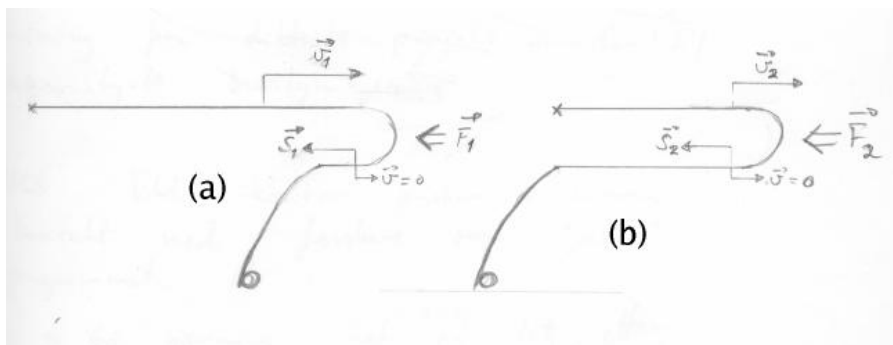
Det er også forskjell på luftmotstanden på ei flueline som er parallell med fartsretningen (overlina) og ei line på tvers av fartsretningen (i bukta) og forskjellen er stor. Ei line på tvers av fartsretningen har ca. 200 ganger så mye luftmotstand som ei line som er parallell med fartsretningen [5, 6]. Dette betyr at for at overlina skal ha like mye luftmotstand som en bukt som er en halv meter høy må den være 25 meter lang (regner da at bukta i gjennomsnitt har halvparten av over-linas fart og at det ikke skytes snøre). Moralene er at i riktig utførte fluekast sitter det aller meste av luftmotstanden i bukta, og trange bukter har mindre luftmotstand enn vide bukter. Luftmotstanden er aller mest brutal mot den tynne fortomen når denne skal “vendes” på slutten av kastet.

3 Snøret i luften

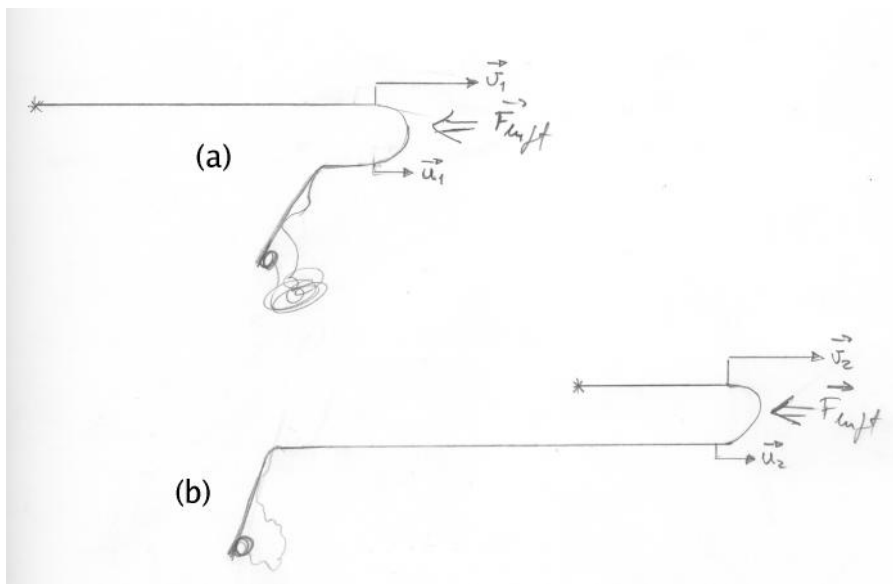
Da skulle vi være klare til å diskutere hva som skjer etter at kastebevegelsen er unnagjort og lina suser avsted mot målet...

La oss tenke oss at vi har fullført kastebevegelsen i fremkastet, bukta er på plass og overlina beveger seg framover og vi skyter *ikke* line (fig. 3). Det som nå skjer er at overlina “stuper”/trekkes inn i bukta hvor under-lina holder det igjen og sammen med luftmotstanden i bukta bremser den opp. Når en bit av overlina har passert gjennom bukta ender den opp i ro som en del av under-lina.

Det er viktig å merke seg at snordraget “skapes” av man i bukta bremser opp massen fra overlina (impuls endring). Så for å få snordrag må det være en hastighetsforskjell mellom over og undeline, og uten snordraget vil bukta kollapse. Snordraget vil også kunne virke gjennom bukta slik at over-lina trekkes fremover og farten i overlina øker, overlina kan til og med bryte lydturen...



Figur 3: Skisse av snørets bevegelse i utkastet når vi ikke skyte line. (a) like etter at kastebevegelsen er over. Hele overlina beveger seg framover med farten \vec{v}_1 , i bukta virker luftmotstanden \vec{F}_1 og stangtuppen holder igjen under-lina med kraften \vec{S}_1 . (b) senere i utkastet. Hele overlina beveger seg framover med farten \vec{v}_2 , i bukta møter snøret luftmotstanden \vec{F}_2 og stangtuppen holder igjen under-snøret med kraften \vec{S}_2 . I begge tilfellene er under-lina i ro.



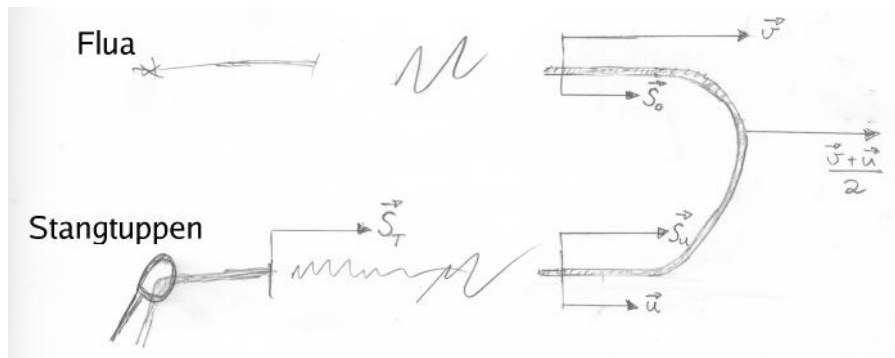
Figur 4: Skisse snørets bevegelse når vi skyter line. Vi lar nå skyte lina løpe fritt ut gjennom stang ringene slik at vi kan øke kastelengden betydelig. (a) like etter at kastebevegelsen er fullført. (b) senere i kastet.

Vi skal nå “skyte line” (fig. 4). Forandringen i problemet er at vi nå lar underlina løpe fritt. Oppbremsingen av overlina vil da trekke med seg under-lina og på den måten forandre hastighetsforskjellen mellom over og under line. Motstanden som kreves for å kunne bremse opp overlina kommer nå fra underlinas “motstand mot fartsending”. Kraften fra bukta på under-snøret vil “brukes til”:

1. Å akselerere løs-line fra ro opp til under-linas hastighet.

2. Å akselerere hele under-lina.
3. Å motvirke luftmotstanden langs under-lina og friksjonen mot stang ringene.

Hvilken av disse komponentene som er viktigst vil variere gjennom kastet. Snordraget fra bukta på under-lina er tegnet inn som \vec{S}_u på fig. 5.



Figur 5: Skisse av den hva som generelt skjer i bukta. Inkludert kreftene som virker fra bukta på over- (\vec{S}_o) og under-lina (\vec{S}_u). Snordraget ved stangtuppen som akselerer løs-lina og overvinner friksjonen mot stangringene er også tegnet inn som \vec{S}_T . For at bukten skal være stabil må over-linas hastighet \vec{v} være større enn under-linas hastighet \vec{u} . Hastigheten i fronten av bukten vil være halvparten av summen av hastigheten til over og under-lina.

Avhengig av luftmotstanden i bukta og fartsforskjellen mellom over- og under-snøre vil vi som tidligere nevnt også kunne ha et snordrag fra bukta som trekker i over-snøret (teget inn som \vec{S}_o på fig. 5). Denne kraften vil “brukes til”:

1. Akselerere over-snøret framover (øke farten).
2. “Overvinne” luftmotstanden på over-snøre og flue.

Siden massen i overlina blir mindre utover i kastet vil akselerasjonen av overlina normalt være størst mot slutten av kastet. Det er også verdt å merke seg at luftmotstanden langs over-lina og fortom ikke fører til noe økt snordrag i bukta, heller tvert i mot. Luftmotstanden bremses hele overlina slik a fartsforskjellen mellom over og under-lina blir mindre.

4 Anvendelser

Under følger noen eksempler på hva vi ved hjelp av den presenterte modellen kan forklare og hva vi eventuelt kan gjøre for å løse noen utvalgte “kaste problemer”.

Når kastet er gått er kasterens muligheter for manipulasjon av kastet (stort sett) begrenset til å:

1. Endre motstanden i under-lina.
2. For en kort stund: direkte øke snordraget i bukta, ved å akselerere under-lina mot seg.
3. Lage bølger på under-lina. Brukes i noen “spessial kast”.

Før man kommer så langt vil kasteren kunne kontrollere over-linas utgangshastighet, og han vil kunne velge tyngde, tetthet og lengde på lina (for kasting med skyteklump: Velge klump og skyteline).

I praktisk kasting vil man i hovedsak møte to problemer:

- Hele oversnøret vender ikke (dårlig strekk).

Årsaker:

1. For liten fart (energi) i over-lina.
2. Ikke tilstrekkelig motstand i under-lina.

Løsninger:

1. Øk over-linas utgangshastighet.
2. Øk motstanden i under-lina.

- Oversnøret vender for tidlig (slår hardt over for tidlig).

Årsaker:

1. For høy fart i over-lina (for mye energi i kastet).
2. For mye motstand fra under-lina.

Løsninger:

1. Reduser over-linas utgangshastighet.
2. Reduser motstanden i under-lina.

Under følger noen praktiske eksempler.

4.1 Korte og lange skyte-klumper

Når lengden av skyteklumpen endres endres klumpens totale masse slik at massen (impulsen) som skal bremses opp av under-lina endres. For en lang klump vil det være mye masse som skal bremses opp mens for en kortere klump vil det være mindre masse (impuls) som skal bremses. Så for korte klumper trenger tynnere skyteline enn lange klumper ved samme utgangsfart. Man vil også kunne bruke tynne skyteliner på lange klumper hvis man øker utgangshastigheten. Dette brukes f.eks. i for å kunne kaste langt.

4.2 Problem: Dårlig strekk i fortomen

Hva skjer?

Over-lina har ikke nok fart i slutten av kastet slik at fortomen stoppes av luftmotstanden i bukta før den er strekt.

Forslag til løsninger:

Du må sørge for å øke over-linas fart i slutten av kastet. Dette kan gjøres på flere måter.

1. Øk fartsforskjellen mellom over- og under-line i slutten av kastet ved å trekke stanga til deg før fortomen slår over. Dette vil føre til økt snordrag i bukta slik at overlina og fortomen får større fart. Dette er også måten å få fortomen til å slå hardt over i et "Tuck kast".
2. Øk over-linas utgangshastighet.
3. Hvis kastet ellers er langt nok kan du også holde igjen i skytelina gjennom kastet eller skifte til tykkere skyteline som vil gi større hastighetsforskjell mellom over- og under-line gjennom kastet.

Husk at når du forlenger fortomen vil du trenge betydelig større fart på slutten for å strekke den. . .

4.3 Problem: Fortomen slår for hardt over**Hva skjer?**

Overlina har større fart en nødvendig når fortomen skal vende. Fortomen og flua slår derfor for hardt over (ufrivillig "Tuck kast").

Forslag til løsning:

Hovedsaken er at du har mer fart en du trenger i slutten av kastet. Hastigheten kan reduseres ved

1. Strekk deg etter kastet på slutten. Dette vil kunne redusere motstanden i fra under-lina slik at snordraget blir mindre og akselerasjonen av over-lina blir mindre.
2. Reduser over-linas utgangsfart.
3. Gjør hastighetsforskjellen mellom over- og under-line mindre ved å bruke tynnere skyteline.

4.4 Problem: Skyteklumpen slår over for tidlig**Hva skjer?**

Overlina møter for stor motstand fra skytelina, hastighetsforskjellen mellom over og under-lina holder seg for stor slik at hele skyteklumpens lengde vendes "for tidlig" (for kort klump).

Forslag til løsninger:

1. Bruk tynnere skyteline. Dette vil redusere motstanden fra under-lina, og hastighetsforskjellen mellom over- og under-line reduseres.
2. Du kan bremse over-lina med en lengre fortom. Fortomen vil bremse over-lina (den vil akselereres mindre) slik at hastighetsforskjellen mellom over- og under-line reduseres. Dette vil også gi behov for økt linehastighet i avslutningen av kastet for å strekke fortomen.
3. Bruk en lengre skyteklump.

4.5 Tyngre skyteklump

La oss tenke oss at vi skifter til en tilsvarende skyteklump i en høyere klasse.

Hva skjer?

Vi reduserer luftmotstandens bremse effekt på over-lina og bukten. Men samtidig øker vi over-linas masse og impuls. Vi trenger derfor større motstand fra under-lina for å bremse over-lina. Så hvis vi ønsker å kaste like langt som før med samme utgangsfart kan vi:

1. Bruke en tykkere skyteline for øke motstanden.
2. Du kan bremse skytelina med fingrene.
3. Du kan bremse over-lina med en lengre fortom eller ei flue med større luftmotstand.

4.6 Vi legger om til synkeklump

Skifter ut en flytende klump med en like tung og like lang synkende klump.

Hva skjer?

Siden skyteklumpens diameter reduseres vil luftmotstanden i bukta og overlina reduseres. Hastighetsforskjellen mellom over og under-lina vil derfor øke, derfor øker også impulsen som må bremses opp av under-lina. For å kompensere for dette kan du:

1. Prøv å gi over-lina lavere utgangshastighet.
2. Kan gi behov for tykkere skyteline som vil trenge mere kraft for å akselereres.
3. Gå ned en snøre klasse.

4.7 Framtung line (snøreprofil)

Mange liner har en snøreprofil hvor snøret er litt framtungt, reklamen hevder da at lina vil kunne vende lengre fortomer og større fluere. Stemmer dette og i så fall hvorfor?

Hva skjer?

Når den økte massen framme i lina når bukten vil impulsendingen her bli større, dette vil gi økt snordrag. Siden vi samtidig har lite masse igjen i overlina vil denne akselereres kraftig. Dette vil gi ekstra fart i avslutningen av kastet til å strekke lange fortomer og/eller fluer med stor luftmotstand.

5 Noen spesialkast

Noen typer spesialkast (presentasjonskast) utføres ved linemanipulering etter at kastet “er gått” eller ved manipulering av over-linas utgangshastighet. Slike kast beskrives i de fleste fluekaste bøker, se f.eks [2].

5.1 “Tuck kast”

I et “Tuck” eller “Folde kast” skal flua treffe vannet først. Dette får vi til ved å gi over-lina og fortomen “for stor” fart i slutten av kastet slik at fortom og flue slår hardt over. Dette kan vi få til ved å kaste for hardt (over power), eller ved å trekke stanga mot oss i slutten av framslengen.

5.2 Høysåte kast

For at flua skal drive fritt ønsker vi ofte mye slakk i fortomen i det den lander på vannet. Dette kan vi få til ved å utnytte at luftmotstanden er mest brutal mot fortomen. Hvis du gjør snøreutlegget høyt og så senker stanga vil flue lina på grunn av luftmotstanden falle raskere enn fortomen. Fortomen vil derfor bli “hengende etter” og lande i en haug (høysåte) ved enden av lina. Ulike “høysåte-grader” kan oppnås ved å endre på utleggets høyde, man kan i tillegg få bukta til å kollapse i når fortomen når denne ved å bruke litt for lav utgangsfart.

5.3 Luft mending og S-kast

En annen teknikk for for å få flua til å drive fritt er å gjøre luft mendinger mens overlina ruller ut. En luft mending er en enkelt bølge i horisontal planet som gjerne gjøres mot strømmen for å kompensere for ulik strøm avdrift ulike steder i elva. Denne bølgen vil bevege seg utover underlina så lenge det er snordrag i denne, den vil så dø ut (fryses i lufta) og falle ned sammen med resten underlina. Hvor langt man kan få en slik bølge til å gå vil altså avhenge av snordraget i under snøret, under snørets masse (lineær massetetthet) og hvor tidlig bølgen lages.

S-kast ligner luftmending, men istedenfor en horisontal bølge lager man en rekke bølger på på under-lina. Disse vil så bevege seg som et bølgetog på under snøret inntil vi ikke lengre har tilstrekkelig snordrag. Når lina så lander vil det være slakk i snøret mellom flue og kaster.

6 Veien videre

Det som til nå er skissert er en enkel kvalitativ modell for hva som skjer med fluelina i fluekast. Modellen er ment å kunne gi en grunnleggende forståelse for hva som skjer, og den vil kunne være et godt utgangspunkt for å grave seg dypere ned i problemet. Den presenterte modellen er på en måte en “på baksiden av en serviett modell”, hvor vi prøver å begrense oss til de viktigste effektene. Så langt har vi derfor ikke brydd oss noe særlig om f.eks. tyngdekraften, linas stivhet eller løft i snørebukten. Vi har heller ikke regnet på noe som helst. Den er likefullt detaljert nok til å forstå en god del av hva som faktisk skjer.

For å ta modellen videre er det naturlig å først se litt på hva som allerede er gjort av vitenskap på fluekast, så bør vi være litt mer formelle (matematiske) i mekanikken før vi eventuelt regner på noen utvalgte problemer. I neste avsnitt gir jeg derfor en rask oversikt over noen aktuelle publikasjoner på fluekast mens resten av veien videre (foreløpig) overlates til leseren selv.

6.1 Fluekast og Vitenskap

Den norske ingeniøren H. S. Borchgrevink¹ var tidlig ute og allerede i 1929 publiserte han beregninger på fluekast. Han så først og fremst på luftmotstandens virkning og linas fall tid i gravitasjonsfeltet, og beregnet ut fra dette nødvendig energi for å nå ulike kastelengder.

Professor G. A. Spolek ved Portland State University har publisert en artikkel [6] hvor han numerisk beregner over-linas hastighet gjennom kastet for forskjellige line taperinger. Spolek har også gjort noe arbeid på karakterisering av fluestenger²...

Som en respons på Spoleks artikkel [6] publiserte S. Lingard ved Universitetet i Hong Kong en artikkel [7] hvor han gjør en dypere analyse av fluelinas dynamikk enn det Spolek gjorde, Lingard utvider Spoleks modell ved å innføre en mer realistisk modell for hva som skjer i bukta.

I 1990 publiserte [5] J. M. Robson (Oman) en grundig beskrivelse av fluekast og numerisk modellering av kast med noen sammenligninger mot eksperimentelle data.

I 1997 og 1998 [8] følger J. A. Hoffman og M. R. Hooper ved California Polytechnic State University opp Spoleks arbeider på stang aksjoner ved å måle egenfrekvensen og stivheten på utvalgte fluestenger.

I tillegg til disse jobber gruppen til N. C. Perkins ved University of Michigan med forskjellige aspekter i fluekast. I 2002 publiserte C. Gatti-Bono og N. C. Perkins [9] en numerisk modell av fluekast. I 2004 publiserte de så en videreutvikling av denne modellen og noen numeriske resultater [10] og de har gjort analytiske arbeider på bukt fasong og aerodynamikk [11]. Noel Perkins har også sammen med Bruce Richard (Scientific Angler) utviklet en “casting

¹Referanse kommer...

²Hvis noen kan skaffe meg Spoleks artikkler: *The American Flyfisher*, 1988, “*Wher the action is part I and II*”, *Fly Fisherman Magazine*, Dec. 1993, “*Fly rod action quantified*” og *Advances in bioengineering American Society of Mechanical Engineers BED*, 1993, vol. 26 , p251-254, “*Fly rod performance*” blir jeg veldig fornøyd

analyser” som fra våren 2006 vil være kommersielt tilgjengelig fra Sage. Disse jobber for tiden med en tilsvarende “haul analyser” for å bedre forståelsen av dobbelt trekket.

I tillegg til dette pågår det eksperimentelle undersøkelser av fluekast med fokus på menneskets bevegelser ved Montana State University sammen med “[The Fly Casting Institute](http://www.flycastinginstitute.com/research.html)” (http://www.flycastinginstitute.com/research.html Jason Borger). Og undertegnede har sett på forskjellige fluekast ved hjelp av høyastighets videokamera.

Så det har aldri vært noen bedre tid enn nå for de av oss som er interessert i fluekast og vitenskap, det skjer saker. . .

7 Takk!

En stor takk til Andreas Fismen, Mathias Lilleheim og Jason Borger for lange og interessante diskusjoner om fluekast. Det har vært utrolig trivelig, morsomt og lærerikt. . . En stor takk går også til Tore M. Nilsen for konstruktive tilbakemeldinger på første versjon av dokumentet og for ideen om å en kort diskusjon av noen spesiell kast.

Referanser

- [1] M. Krieger. *Kunsten å kaste med flue*. Landbruksforlaget, 2 edition, 1994. **3**
- [2] E. Jaworowski. *Fluekasting i teori og praksis*. Naturforlaget, 1 edition, 1993. **3, 11**
- [3] M. Lilleheim. *Zzzzzap - lær fluekasting*. Naturforlaget, 1 edition, 2004. **3**
- [4] Norges Casting Forbund. *Casting*. Norges Casting Forbund, 1 edition, 2002. **3**
- [5] J. M. Robson. The physics of fly casting. *American Journal of Physics*, 58:234–240, 1990. **5, 12**
- [6] G. A. Spolek. The mechanics of flycasting - the flyline. *American Journal of Physics*, 54:832–836, 1986. **5, 12**
- [7] S. Lingard. Note on the aerodynamics of a flyline. *American Journal of Physics*, 56:756–757, 1988. **12**
- [8] J. A. Hoffmann and Hooper M. R. Fly rod response. *Journal of Sound and Vibration*, 209:537–541, 1998. **12**
- [9] C. Gatti-Bono and N. C. Perkins. Physical and numerical modelling of the dynamic behavior of a fly line. *Journal of Sound and Vibration*, 255:555–577, 2002. **12**

- [10] C. Gatti-Bono and N. C. Perkins. Numerical model for the dynamics of a coupled fly line/fly rod system and experimental validation. *Journal of Sound and Vibration*, 272:773–791, 2004. 12
- [11] C. Gatti-Bono and N. C. Perkins. Effect of loop shape on the drag-induced lift of fly line. *JOURNAL OF APPLIED MECHANICS-TRANSACTIONS OF THE ASME*, 71:745–747, 2004. 12