



Hvordan antallet blader påvirker skyvekraften til en propell

Forfatter: Martin Kristoffer Tomter, Mailand videregående skole

Denne artikkelen utforsker hvordan antallet blader på en propell påvirker skyvekraften som skapes. Propellene ble festet til en elektrisk motor i enden på armen på en dumpeliknende konstruksjon som hadde en kraftmåler i andre enden. De tre propellene hadde tre, fire og seks blader, men var ellers like med samme radius og angrepsvinkel. Propellene ble testet hver for seg i maksfart i 12 sekunder av gangen der det ble gjort målinger med en frekvens på 1Hz. Det var en signifikant forskjell mellom propellen med tre blader og propellen med fire blader, med en P-verdi lik , og mellom propellen med tre blader og propellen med seks blader som var . Derimot var ikke forskjellen signifikant mellom propellen med seks blader og propellen med fire blader, som hadde en P-verdi lik . Ristingen fra motoren påvirket resultatene i stor grad.

Innledning

Propeller blir brukt for å skape skyvekraft gjennom en gass eller en væske. De blir brukt av både båter, helikoptre, fly og leker. En propell fungerer ved å skape en trykkforskjell i fluidet den befinner seg i som skyver den forover. Kraften som blir skapt blir påvirket av mange faktorer som blant annet størrelse, form, hastighet, tettheten til fluidet og bevegelser i fluidet. Dette forskningsprosjektet ser på hvordan antallet blader påvirker skyvekraften til en propell.

Teori

En propell kan ses på som en roterende vinge som lager skyvekraft ved å danne en trykkforskjell mellom forsiden og baksiden. Den består av to eller flere blader med en angrepsvinkel som kan variere utover bladet. Vinkelen på bladene dytter molekylene i fluidet bakover og det skjer en hurtig endring i trykket ettersom massestrømmen fra propellen hele tiden dytter flere molekyler til baksiden. Banefarten til bladene er størst lenger unna sentrum av rotasjonen og derfor blir massestrømmen også størst der. Dette fører igjen til at det også er der skyvekraften er størst. For å utjevne denne fordelingen har de fleste propeller en varierende angrepsvinkel som minker desto lenger unna sentrum den er. Formen og rotasjonen gjør analyser av en massestrøm i en propell svært vanskelig. (Sands & Hall, 2021b).

For å gjøre det enklere å analysere massestrømmen, brukes det her en forenklet modell som består av framsiden og baksiden til propellen, ettersom det er der trykkforskjellen er størst. Skyvekraften blir da gitt ved formelen $F = q_m \Delta v$, der F = skyvekraft (N), q_m = massestrøm (kg/s) og Δv = differansen mellom farten til fluidet foran og bak (m/s) (Sands & Hall, 2021b). Massestrøm er definert som massen som passerer et tverrsnitt per tid, $q_m = m/t = (V \cdot \rho)/t$. Der m = massen til fluidet, t = tid, V = volumet fluidet og ρ = tetthet (Grimenes et al., u.å.). Massestrømmen kan også defineres som $q_m = \rho \cdot v_p \cdot A$, der v_p = farten til fluidet gjennom propellen som er gjennomsnittet av slutfarten og startfarten, og A = overflaten som dannes av bladene når de roterer.

Bernoullis bevaringslov sier at det totale trykket er konstant hvis det ikke blir utført noe arbeid på fluidet. Altså er summen av det statiske trykket og det dynamiske trykket er bevart. Det dynamiske trykket er $p_d = \rho g h + 1/2 \rho v^2$ som gir bevaringsloven: $p_2 + \rho_2 g h_2 + 1/2 \rho_2 v_2^2 = p_1 + \rho_1 g h_1 + 1/2 \rho_1 v_1^2$, der p er det statiske trykket, ρ er tettheten til fluidet, g er tyngdens akselerasjon og h er høyde. Verken høyden eller trykket endres og derfor fjernes det leddet fra det dynamiske trykket (Sands & Hall, 2021a). Da blir likningen $p_2 + 1/2 \rho_2 v_2^2 = p_1 + 1/2 \rho_1 v_1^2 \Rightarrow \Delta p = (p_2 + 1/2 \rho v_2^2) - (p_1 + 1/2 \rho v_1^2)$. Siden det statiske trykket er konstant, er $p_2 - p_1 = 0$ som gjør at $\Delta p = 1/2 \rho_2 v_2^2 - 1/2 \rho v_1^2 = 1/2 \rho (v_2^2 - v_1^2)$ (Sands & Hall, 2021b).

Skyvekraften $F = \Delta p A = 1/2 \rho (v_2^2 - v_1^2) A = 1/2 \rho A (v_2 - v_1)(v_2 + v_1) = 1/2 \rho A \Delta v (v_1 + v_2)$ (Sands & Hall, 2021b). Denne formelen viser hvordan tettheten til fluidet, arealet som blir feid vekk av bladene og forskjellen i fart mellom baksiden og forsiden er noen av faktorene som påvirker skyvekraften. Arealet er proporsjonalt med antallet blader, derfor vil en propell med fire blader gi dobbelt så stor skyvekraft som en med to blader vil gi ifølge denne teorien. Arealet blir i tillegg påvirket av rotasjons hastigheten til propellen der en høyere fart vil gi et større areal. Ut i fra denne formelen er hypotesen at en propell med flere blader vil gi større skyvekraft.

Metode

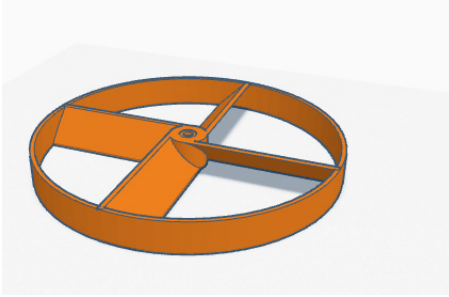
Målet med dette forsøket er å finne en sammenheng mellom antall blader, altså arealet, og skyvekraften til en propell. Det blir brukt tre propeller med forskjellig antall blader. De har seks, fire eller tre. Propellene er designet i TinkerCAD og printet ut av en Ultimaker 3 med 0,3 mm tykke lag og 100 % infill.

Utstysliste

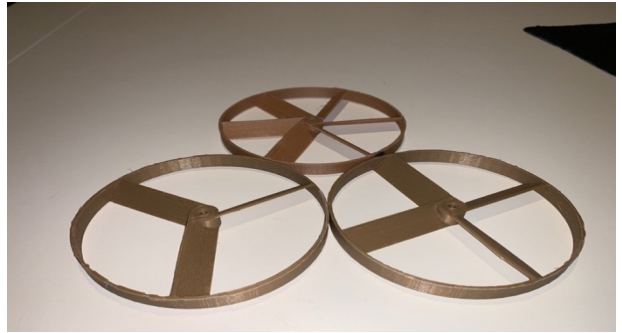
- Turnigy 1000 mAh 2S 20C LiPoly Pack batteri
- Pasco PS-2104 kraftmåler
- EMAX CF2822 elektrisk motor
- HK-GT2R mottaker
- HK-GT2 fjernkontroll
- 1,0 m lang planke til vippearms
- 15 cm lang planke til vippepunkt
- 10 cm planke til å feste kraftmåleren i
- Bladhengsel 26 mm for at konstruksjonen kan vippe
- Video tachometer av Dmitriy Kharutskiy

Design av propellene

For å forenkle designet av propellene, brukes det konstant arbeidsvinkel på 45° langs hele bladet. Diameteren er 10,0 cm og høyden er 1,0 cm. Eneste forskjell i designene er antall blader. Bladene er 4,2 cm lange, 1,0 cm brede og 0,1 cm tykke. Bladene ble plassert slik at det er lik vinkel mellom hvert blad; 60°, 90° og 120° for de forskjellige propellene. I tillegg ble det laget en propell med 6 blader, men som er 8,0 cm i diameter som kontroll. I sentrum av propellen er en sylinder med et hull gjennom i midten som er der propellen skal festes, dette hullet er 0,3 cm i diameter og sylindere er 1,0 cm i diameter.



Figur 1: Bilde av stl-filen til propellen med 4 blader



Figur 2: Propellene som ble testet

Gjennomføring

En kraftmåler ble brukt til å måle skyvekraften til propellen. Når propellen og motoren spinner i høy fart vil selv små ubalanser føre til stor risting som vil gi varierende målinger. For å minke effekten av denne vibrasjonen noe, ble motoren og kraftmåleren festet til en konstruksjon med et vippepunkt og på hver sin ende av vektarmen. Denne konstruksjonen fungerer som en skålvekt, med kraftmåleren festet på den ene siden og motoren festet på den andre. Armen motoren og propellen er festet i, er lengre enn måleren er festet i for å få større utslag hos kraftmåleren. Dette er fordi den får et større dreiemoment. Motoren var festet 67,1 cm unna vippepunktet, mens kraftmåleren var festet 15,3 cm unna vippepunktet. Det ga et forhold mellom lengden på armene på 4,39:1

Propellene ble spunnet opp til maksfart, rundt 1000 RPM, før målingene begynner. Målingene blir tatt med en frekvens på 1 Hz i 12 sekunder for totalt 12 målinger per propell som ble kopiert fra Pasco Capstone til Excel der de ble analysert gjennom blant annet tosidige t-tester. H_0 -hypotesen ble satt til at det ikke var forskjell mellom propellene.



Figur 3: Bilde av konstruksjonen etter målingen av propellen med 4 blader

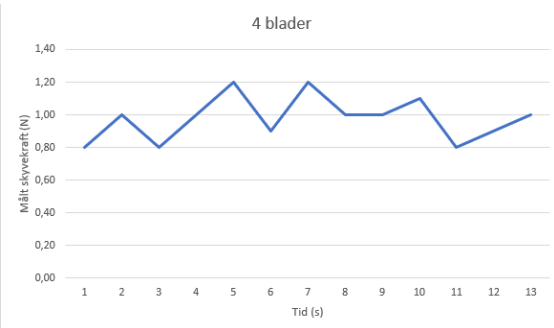
Resultater

Tabell 1: Sentralmål fra målingene av skyvekraften

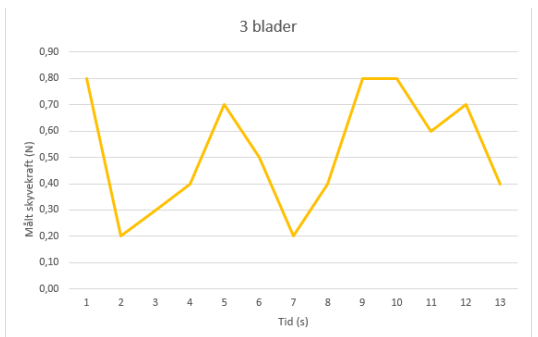
Antall blader	Medianmåling (N)	Gjennomsnittsmåling (N)	Minimumsverdi (N)	Maksimumsverdi (N)
3	0,55	0,52	0,20	0,80
4	1,00	0,98	0,80	1,20
6	1,00	1,05	0,60	1,60



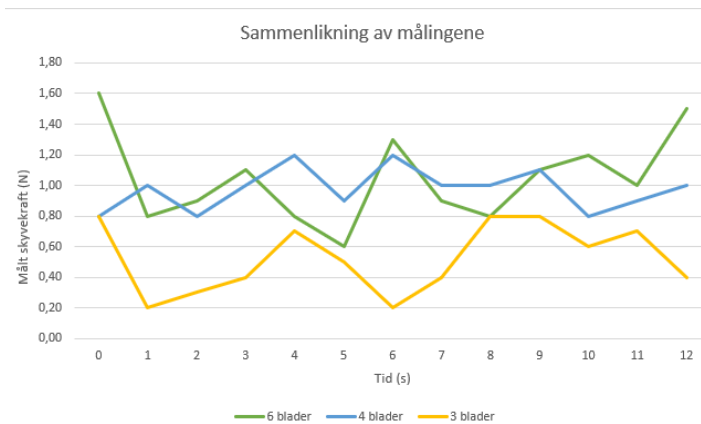
Figur 4: Målinger av propell med 6 blader



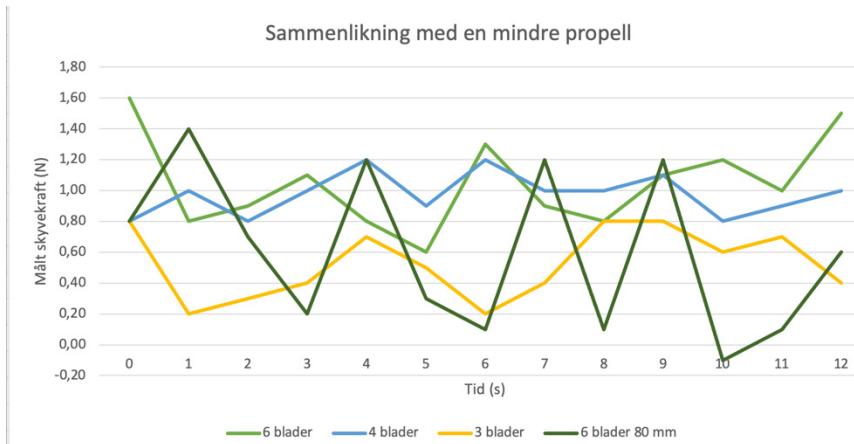
Figur 5: Målinger av propell med 4 blader



Figur 6: Målinger av propell med 3 blader



Figur 7: Sammenlikning av målingene



Figur 8: Sammenlikning av målingene med en mindre propell som er 80 mm i diameter og med 6 blader.

Tabell 2: T-Test mellom propellen med 4 blader og 6 blader. H_0 er at det ikke er forskjell mellom resultatene. Alfa er 0,05

T-Test: Gjennomsnitt for to parvise utvalg 4 blader og 6 blader		
	Variabel 1	Variabel 2
Gjennomsnitt	1,04615385	0,97692308
Varians	0,08602564	0,01858974
Observasjoner	13	13
Pearson-korrelasjon	-0,1170166	
Antatt avvik mellom gjennomsnittene	0	
fg	12	
t-Stat	0,73937924	
P(T<=t) ensidig	0,23694638	
T-kritisk, ensidig	1,78228756	
P(T<=t) tosidig	0,47389276	
T-kritisk, tosidig	2,17881283	
p= 0,47389276		

Tabell 3: T-Test mellom propellen med 3 blader og 4 blader. H_0 er at det ikke er forskjell mellom resultatene. Alfa er 0,05

T-Test: Gjennomsnitt for to parvise utvalg 3 blader og 4 blader		
	Variabel 1	Variabel 2
Gjennomsnitt	0,976923077	0,52307692
Varians	0,018589744	0,05025641
Observasjoner	13	13
Pearson-korrelasjon	-0,117444044	
Antatt avvik mellom gjennomsnittene	0	
fg	12	
t-Stat	5,934720771	
P(T<=t) ensidig	3,43687E-05	
T-kritisk, ensidig	1,782287556	
P(T<=t) tosidig	6,87374E-05	
T-kritisk, tosidig	2,17881283	
p= 6,87E-05		

T-Test: Gjennomsnitt for to parvise utvalg 3 blader og 6 blader		
	Variabel 1	Variabel 2
Gjennomsnitt	1,046153846	0,52307692
Varians	0,086025641	0,05025641
Observasjoner	13	13
Pearson-korrelasjon	0,071168624	
Antatt avvik mellom gjennomsnittene	0	
fg	12	
t-Stat	5,29379282	
P(T<=t) ensidig	9,51305E-05	
T-kritisk, ensidig	1,782287556	
P(T<=t) tosidig	0,000190261	
T-kritisk, tosidig	2,17881283	
p= 0,000190261		

Tabell 4: T-Test mellom propellen med 3 blader og 6 blader. H_0 er at det ikke er forskjell mellom resultatene. Alfa er 0,05

Diskusjon

Målingene er synlig påvirket av ristingen til vektarmen som gjør målingene usikre. En mindre propell ville gitt enda større usikkerheter som vist av Figur 5; der den lille propellen noen ganger lager mer skyvekraft enn den store propellen med flest blader. Resultatene fra denne målingen kan derfor ikke brukes. En større propell ser derimot ut til å gi mindre risting og mer stabile resultater. Ristingen kan og minkes med et bedre hengsel eller en tyngre vektarm. I tillegg kan hyppigere og flere målinger gi sikrere resultater.

T-testene fra Tabell 2 viser at det ikke er en signifikant forskjell på skyvekraften til propellen med fire blader og propellen med seks blader. Derimot, er det en signifikant forskjell på skyvekraften til propellen med tre blader og den med fire blader. Dette er høyst sannsynlig et resultat av ristingen fra motoren, men kan og være grunnet en avtagende effekt med et økende antall blader.

Ifølge formelen som ble funnet for skyvekraft, skal da propellen med seks blader gi 50 % større skyvekraft enn den med fire, noe den ikke gir. I tillegg til ristingen kan det og være fordi bladene blir liggende i dragsugget til hverandre som minker massestrømmen (McCallen et al., 2004, s. 415). Dette viser blant annet at en forenklet modell ikke alltid vil kunne forklare et fenomen nøyaktig, spesielt ikke når mange faktorer utgjør en effekt som det gjør i dette forsøket. Formelen som ble funnet, er derimot en måte å vise hvordan noen faktorer påvirker skyvekraften en propell lager. Den er ikke mulig å teste med tall i dette forsøket, fordi målinger av tettheten og farten til lufta ikke var tilgjengelige.

En annen feilkilde som kan påvirke resultatet, er rotasjonshastigheten til propellene. Uten et ordentlig tachometer eller en mer presis måte å styre farten, kan rotasjonshastigheten variere mellom propellene som igjen vil påvirke skyvekraften.

Endringer i luften og lufttrykket kan også ha en effekt på resultatet, men ettersom målingene ble utført kort tid fra hverandre og på samme sted, har dette trolig minimal betydning på resultatene.

Konklusjon

Antallet blader påvirker skyvekraften, men effekten minker desto flere blader det er. Ristingen fra motoren har påvirket resultatene i stor grad og gitt målinger med høy usikkerhet.

Kildeliste

- Grimenes, A. A., Jerstad, P., & Sletbak, P. (u.å.). *Fluidmekanikk*. Hentet 7. desember 2021, fra <https://www.uio.no/studier/emner/matnat/fys/nedlagte-emner/FYS1000/v11/Fluidmekanikk.pdf>
- McCallen, R., Browand, F., & Ross, J. (2004). *The Aerodynamics of Heavy Vehicles: Trucks, Buses, and Trains, Volume 1*. <https://books.google.no/books?id=UzJqTX4LPOsC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Sands, K., & Hall, N. (2021a, mai 10). *Bernoulli's Equation*. <https://www.grc.nasa.gov/www/Wright/airplane/bern.html>
- Sands, K., & Hall, N. (2021b, mai 10). *Propeller Thrust*. <https://www.grc.nasa.gov/www/Wright/airplane/proph.html>