



MIKAEL ELIAS GYMNASIUM

GYMNASIEARBETE

RAPPORT

Quadkopter intar flygrummet

EN RAPPORT SKRIVEN OM EN EGENBYGD RADIOSTYRD QUADKOPTER

Handledare:

Sofie DANIELSSON

Bihandledare:

Carina EDLUND

Författare:

Hampus ROSENQUIST

INLÄMNINGSDATUM

20 april 2017

Abstract

In this project work I intend to build and examine a radio-controlled aircraft. More specifically, a multicopter of sorts quadcopter. When the quadcopter is built and ready to take off into the unknown, a comparison between two batteries with different capacities are made with the purpose of determining if a bigger battery is profitable. Continuous power consumption and hovering flight times are calculated for both batteries. Hovering flight times and flight characteristics are examined in practice. Battery efficiency, flight time per capacity, is calculated in effort of comparison.

The battery efficiency based on the calculated flight times was in favor of the smaller battery, as expected. However, the battery efficiency based on the practical flight time tests was in favor of the bigger battery. The flight characteristics of respective battery were similar. In conclusion, the bigger battery is determined to be profitable.

Innehåll

1	Inledning	1
2	Syfte	1
3	Bakgrund	1
3.1	Terminologi	1
3.2	Produktdata	2
3.3	Teori	3
3.4	Aerodynamik	4
4	Frågeställningar	4
5	Material och Metod	5
5.1	Material	5
5.2	Metod	5
5.2.1	Bygghfas	5
5.2.2	Flygegenskapstest	8
5.2.3	Flygtidstest	8
5.3	Felanalys	9
5.3.1	Systematiska fel	9
5.3.2	Flygtid	9
5.3.3	Batterieffektivitet	9
6	Resultat	10
6.1	Kontinuerlig strömförbrukning	10
6.2	Flygtid	10
6.2.1	Sammanställning	11
6.3	Batterieffektivitet	11
6.4	Flygegenskaper	11
7	Diskussion och slutsats	12
7.1	Slutsats	12
	Referenser	13

1 Inledning

Det är en alldeles speciell känsla att sväva över marken, att flyga som en fågel. Människan har länge strävat efter att göra just detta och flygplan och helikoptrar har varit det främsta medel som lyft människan över marken. Få har dock möjlighet att manövrera ett fullstort flygplan eller helikopter, utan får nöja sig med att vara en medpassagerare. Ett steg närmare denna dröm är radiostyrda obemannade flygfarkoster, något även en nybörjare kan bemästra. Därför har jag valt att bygga och undersöka en radiostyrd flygfarkost. Närmare bestämt en multikopter av slag quadkopter. Där en quadkopter är en obemannad multirotor med fyra motorer. En lite mindre specifik men vanligare benämning är drönare.

2 Syfte

Syftet med detta projektarbete är att bygga en quadkopter som sedan används för att jämföra flygtid och flygegenskaper för två batterier med olika kapacitet, vilket genomförs genom både praktiska tester och teoretiska beräkningar. De teoretiska beräkningarna och de praktiska testerna jämförs, samt huruvida ett större batteri är lönsamt eller inte.

3 Bakgrund

3.1 Terminologi

I detta projektarbete kommer uttrycket "hover" att användas vid upprepade tillfällen, då jag syftar på att quadkoptern befinner sig i ett svävande tillstånd, utan att förflytta sig.

Uttrycket "två batterier med olika kapacitet" kommer även att nämnas, där jag syftar på ett mindre batteri med kapaciteten 1500 mAh, samt ett större batteri på 2200 mAh. Där ett batteris kapacitet motsvarar den mängd elektronisk laddning batteriet kan leverera vid sagd spänning.

3.2 Produktdata

Mätdata för motorerna erhållen av motortillverkaren presenteras i Tabell 1.

Tabell 1: Specifikationer för motorer. Där lyftkraften 423 g är den maximala lyftkraften som kan uppnås med en motor. Lyftkraften presenteras i enheten gram, då detta är mest relevant för beräkning med flygfarkoster.

Lyftkraft [g]	Spänning [V]	Ström [A]	Effekt [W]
100	12,03	1,1	13,23
150	11,94	1,9	22,69
200	11,85	2,8	33,18
250	11,77	3,8	44,73
300	11,69	5	58,45
350	11,66	6,1	71,13
400	11,73	7,3	85,63
423	11,92	8,1	96,55
Systematiskt fel	$\pm 0,005$	$\pm 0,05$	$\pm 0,005$

Varje motor har en maximal kontinuerlig strömförbrukning på 8,1 A, enligt Tabell 1. De fyra motorerna tillsammans har då en kontinuerlig strömförbrukning på 32,4 A. Då andra komponenter kan dra lite ytterligare ström, samt att motorerna kanske drar mer i verkligheten så får vi räkna med ca 40 A för att ha en god säkerhetsmarginal. Denna siffra används vid val av batterier, då dess maximala kontinuerliga urladdningsmarkering (C-märkning $\cdot$ kapacitet) måste täcka den maximala kontinuerliga strömförbrukningen.

3.3 Teori

Kontinuerlig strömförbrukning vid hover I där m är quadkopters totalvikt och I_1 är elförbrukningen per massa för motorn kan beräknas enligt Ekvation 1. [1]

$$I = m \cdot I_1 \quad (1)$$

Flygtid vid hover t där k är kapaciteten för batteriet och I är den kontinuerliga strömförbrukningen vid hover kan beräknas enligt Ekvation 2. [1]

$$t = \frac{k \cdot 0,8}{I} \quad (2)$$

Ett batteris effektivitet E vid hover, där t är dess flygtid vid hover och k är batteriets kapacitet, kan beräknas enligt Ekvation 3. [1]

$$E = \frac{t}{k} \quad (3)$$

3.4 Aerodynamik

För att en multikopter ska kunna hovra i luften måste lyftkraften vara lika stor som den nedåtriktade kraften, jordens dragningskraft. Det vill säga, multicopterns massa m_{copter} multiplicerad med gravitationsaccelerationen $9,82 \text{ m/s}^2$. [2] Lyftkraft uppstår av att luft accelereras nedåt, vilket enligt Newtons tredje lag skapar en uppåtriktad motkraft. [3] [4] Lyftkraften kan även uttryckas som $F_{lyft} = \frac{m_{luft} \cdot v_{luft}}{t}$, där m_{luft} är massan på luften som passerar propellerna, där luftens nedåtriktade hastighet är v_{luft} . Ett uttryck kan nu formas såsom $\frac{m_{luft} \cdot v_{luft}}{t} = 9,82 \cdot m_{copter}$.

Notera att detta gäller på en höjd där markeffekten är försumbar. Markeffekt är ett fysikaliskt fenomen som uppstår när en rotor roterar inom halva rotordiametern från marken. På grund av störningar mellan marken och luftflödesmönstret som skapas av rotorn krävs det en mindre uppåtriktad kraft för att hovra. Desto närmare marken rotorn befinner sig, desto mer uttalad är markeffekten. [5]

En multikopter som befinner sig i rörelse kommer att utsättas för luftmotstånd. Detta är på grund av att luftens molekyler studsar mot multicoptern i rörelse, multicoptern förlorar därmed rörelseenergi. Luftmotståndet kan beräknas enligt $F_m = \frac{C \rho A v^2}{2}$, där C är luftmotståndskoefficienten, ρ är luftens densitet, A är föremålets tvärsnittsarea och v är föremålets relativa hastighet genom luften. [6]

4 Frågeställningar

Hur stor är den teoretiska kontinuerliga strömförbrukningen vid hover för respektive batteri?

Hur länge kan quadkoptern hovra med respektive batteri, i teori respektive praktik?

Hur effektiva är batterierna vid hover, i teori respektive praktik?

Med effektivitet avses här: flygtid per kapacitet.

Hur påverkas quadkopterns flygegenskaper vid användning av respektive batteri?

5 Material och Metod

5.1 Material

Tabell 2: Material till quadcoptern.

Antal	Del	Modell	Dimensioner [mm]	Massa [g]
1	Flygkontroll	OpenPilot CC3D	35x35x15,5	8
1	Chassi	ZMR250 Kolfiber	250 (längd)	145
4	Motor	2204 2300kv	18 ($\varnothing$)	21
4	ESC	12A Emax SimonK	22x17x7	8
4	Propeller	Plast	5x3" (längd · pitch)	2
1	Radiomottagare	FlySky FS-i6	45x20	13
1	Spänningsnivå-alarm	LiPo-alarm	-	-
1	Strömfördelningskort	För CC3D	35x35	5
1	XT60 kontakt	Hona	100 (längd)	3
3	Kardborrspänne	Eachine	223 (längd)	-
8	Nylonavsats	-	6 (längd)	-
1	Batteri	1500mAh	108x21x34	172
1	Batteri	2200mAh	75x35x24	132

Bland tillbehör som används är en FlySky FS-i6 sändare som används för att styra quadcoptern och ett tidtagarur för att mäta flygtid. Samt en balanserande LiPo laddare för två till tre celler av slag IMAX B3 Pro Compact.

Verktyg som används är skruvmejsel, insexnyckel, lödkolv, lödtenn och eltejp.

5.2 Metod

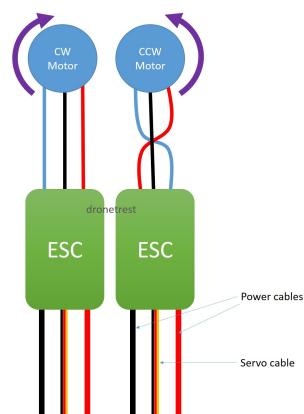
5.2.1 Bygghfas

Först monteras de två bottenplattorna av chassit ihop med armarna enligt medföljande instruktionsbok. Respektive motor skruvas fast på respektive arm. Motorerna som snurrar medurs placeras fram till vänster och bak till höger. Tvärtom för de två motorerna som snurrar moturs. Se Figur 1 för förtydligande.



Figur 1: Quadkoptern sedd ovanifrån.

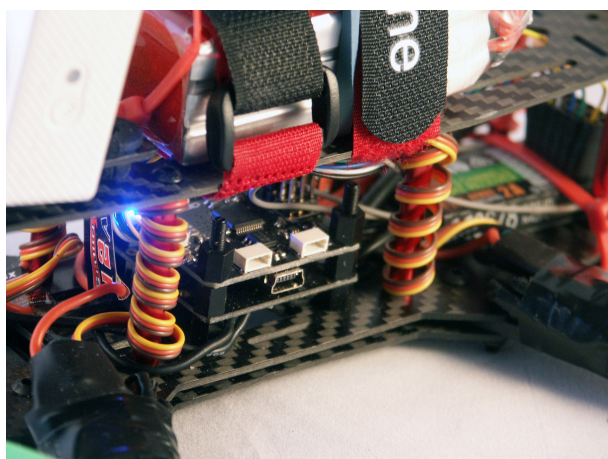
Vardera motor löds ihop med en ESC (elektronisk fartkontroll). Det är tre kablar som ska lödas ihop per motor, olika beroende på om motorn ska snurra med- eller moturs. Se Figur 2.



Figur 2: Illustration av koppling av kablar mellan motor och ESC för med- respektive moturs-roterande motorer.

XT60 kontakten löds fast i strömfördelningskortet. För att sedan låta samtliga ESC:s strömkablar lödas ihop med strömfördelningskortet.

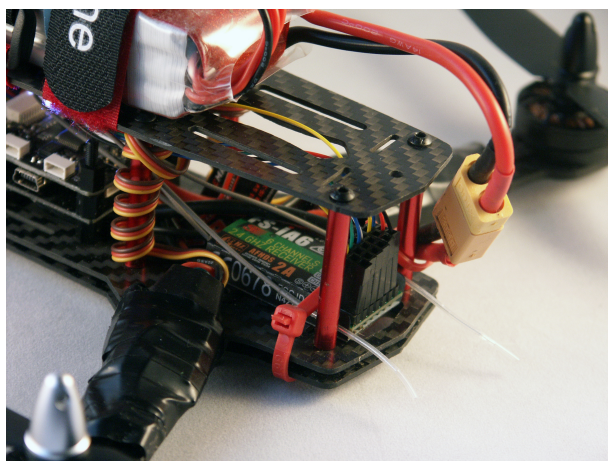
Strömfördelningskortet och flygkontrollen monteras i mitten på bottenplattan av chassit med hjälp av nylon avsatser som skapar mellanrum mellan korten och chassit. Se Figur 3.



Figur 3: Fotografi av flygkontroll och strömfördelningskort monterade med nylonavsatser.

De fyra ESC placeras på respektive arm och spänns fast med hjälp av eltejp. Sedan kopplas ESC kablarna in i flygkontrollerns output pinar.

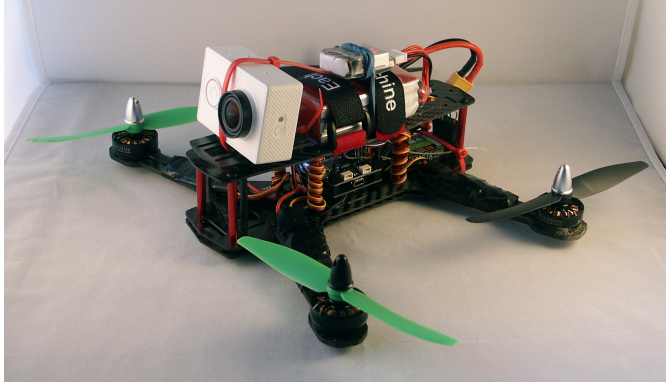
Radiomottagaren kopplas in i flygkontrollen med hjälp av kabeln som följer med för detta ändamål. Mottagaren placeras längst bak och spänns fast med ett buntband som går runt chassits underdel. Se Figur 4.



Figur 4: Fotografi av radiomottagaren.

De röda metallstängerna och chassits övre del monteras genom att skruvas på plats. Batteriet placeras ovanpå och spänns fast med två kardborrspännen.

Den slutliga produkten presenteras i Figur 5.



Figur 5: Quadkoptern.



Figur 6: FlySky FS-i6.

5.2.2 Flygegenskapstest

Quadkopterns flygkapabilitet, stabilitet och manövrerbarhet granskas översiktligt vid användning av respektive batteri. Detta görs dels genom kraftiga accelerationer i höjd- och sidled för att se hur mycket den accelererar. Stabilitet granskas genom att skåda quadkoptern vid hover.

5.2.3 Flygtidstest

Quadkoptern förbereds för flygning. Med hjälp av en utomstående person startas ett tidtagarur när piloten satt quadkoptern i hover. Piloten genomför kontinuerligt små justeringar för att efter bästa förmåga behålla quadkoptern i hover. Med hjälp av spänningsnivå-alarmet erhålls information om när batteriet nått en bestämd spänningsnivå. När denna nivå nås, när alarmet ringer, stoppas tidtagaruret och tiden noteras. Denna process repeteras tre gånger för respektive batteri, där batterierna laddas ur till samma spänningsnivå för att uppnå en likvärdig testmiljö. Testerna utförs även på samma plats och höjd vid samma tillfälle för att uppnå likvärdiga vind- och luftflödesförhållanden. Olika luftflödesförhållanden kan uppstå av omgivningen, t ex markeffekt kan uppstå, se 3.4 Aerodynamik.

5.3 Felanalys

5.3.1 Systematiska fel

Tidtagaruret har ett systematiskt fel på $\pm 0,5$ s. Mätdata för motorerna i Tabell 1 har ett systematiskt fel på $\pm 0,005$ V, $\pm 0,05$ A respektive $\pm 0,005$ W.

5.3.2 Flygtid

Den uppmätta flygtiden kan påverkas av att LiPo batteriets celler är obalanserade, det vill säga har olika spänning. Då batteriet endast kan användas tills cellen med lägst spänning når en viss nivå, så resulterar ett obalanserat batteri i att batteriets fulla kapacitet inte kan utnyttjas, vilket resulterar i en kortare flygtid.

Då det är mer eller mindre praktiskt omöjligt att hålla quadkoptern i perfekt hover så genomförs många mindre accelerationer, justeringar, både horisontellt och vertikalt för att bibehålla drönarnas höjd och position. Under dessa accelerationer används mer ström än under hover, vilket gör att den uppmätta flygtiden naturligt blir kortare än den beräknade.

Vindförhållanden kan påverka flygtiden. Vind har stor påverkan på quadkoptern, då den lätt rubbas av just vinden. Vinden gör att quadkoptern måste korrigera för att framförallt bibehålla sin position, men även för att balansera sig. Dessa korrigeringar i form av små accelerationer på vissa motorer gör att mer ström går åt, resulterande i kortare flygtid.

Mätdata från motorsäljaren, vilken de teoretiska beräkningarna är baserade på, kan vara felaktig eller glorifierad. Resulterande i en felaktig beräkning av kontinuerlig strömförbrukning vid hover och därmed även flygtiden.

5.3.3 Batterieffektivitet

Då batterieffektiviteten är direkt beroende av resultaten från de praktiska respektive teoretiska flygtiderna så kan batterieffektiviteten eventuellt vara missvisande om flygtiderna inte motsvarar verkligheten. Det vill säga, ovanstående felanalys för flygtiden gäller även för batterieffektiviteten.

6 Resultat

6.1 Kontinuerlig strömförbrukning

Beräknad kontinuerlig strömförbrukning vid hover utifrån mätdata från Tabell 1 och 2 vid hover för respektive batteri presenteras i Tabell 3.

Tabell 3: Beräknad kontinuerlig strömförbrukning vid hover för respektive batteri.

Batterikapacitet [mAh]	Strömförbrukning [A]
1500	4,7
2200	5,2
Systematiskt fel	$\pm 0,05$

6.2 Flygtid

Uppmätt flygtid vid hover för respektive batteri presenteras i Tabell 4.

Tabell 4: Uppmätt flygtid vid hover för respektive batteri.

Mätning	Tid för 1500mAh [min]	Tid för 2200mAh [min]
1	11,1	17,5
2	11,5	17,7
3	11,3	18,2
Systematiskt fel	$\pm 0,0083$	$\pm 0,0083$

Beräknad flygtid vid hover för respektive batteri presenteras i Tabell 5.

Tabell 5: Beräknad kontinuerlig strömförbrukning vid hover för respektive batteri.

Batterikapacitet [mAh]	Flygtid [min]
1500	15
2200	20
Systematiskt fel	$\pm 0,5$

6.2.1 Sammanställning

En sammanställning av flygtiden för respektive batteri, i teorin och praktiken, presenteras i Tabell 6.

Tabell 6: Sammanställning av flygtiden för respektive batteri, i teorin och praktiken.

Batterikapacitet [mAh]	Teoretisk flygtid [min]	Flygtid [min]
1500	$15 \pm 0,5$	$11,3 \pm 0,2$
2200	$20 \pm 0,5$	$17,8 \pm 0,3$

6.3 Batterieffektivitet

Teoretisk och praktisk effektivitet, det vill säga flygtid per kapacitet, för respektive batteri presenteras i Tabell 7.

Tabell 7: Beräknad effektivitet (flygtid per kapacitet) för respektive batteri.

Batterikapacitet [mAh]	Teoretisk effektivitet [min/Ah]	Effektivitet [min/Ah]
1500	$10 \pm 0,5$	$7,5 \pm 0,2$
2200	$9,3 \pm 0,5$	$8,1 \pm 0,3$

6.4 Flygegenskaper

Jämförelsevis mellan de två olika stora batterierna, förändrades inte quadkopterns flygegenskaper märkvärdigt. Det vill säga, quadkopterns stabilitet och förmåga att genomföra kraftiga accelerationer i höjd- och sidled inte skiljde sig märkvärdigt mellan de olika batterierna. Testerna som genomfördes presenteras i 5.2.2 Flygegenskapstest.

7 Diskussion och slutsats

Quadkoptern kan flyga och är manövrerbar. Det finns gott om kraft tillgodo vid vardaglig flygning, samt kan utan problem accelerera kraftigt i både höjd och sidled. Detta gäller för båda batterierna, viktskillnaden på 40 g påverkade alltså inte flygegenskaperna märkvärdigt.

Den uppmätta flygtiden är mindre än den beräknade. Vilket inte är så oväntat. Då omständigheterna under testen aldrig är perfekta. Till exempel kan LiPo batteriernas celler vara obalanserade, ha olika spänning, resulterande i kortare uppmätt flygtid. Det är även sannolikt att mer ström förbrukas än beräknat vid hoverflygning, då faktorer som vind och omgivning påverkar quadcopterns möjlighet att behålla stabil hover. En ytterligare orsak till denna skillnad mellan den beräknade och uppmätta flygtiden, skulle kunna vara att mätdata för motorerna som hämtats från motortillverkaren kan ha varit felaktig eller glorifierad. Vidare anledningar presenteras mer fördjupat i felanalysen.

Desto större kapacitet på batteriet, desto mindre effektivt är det. Det vill säga, desto mer kapaciteten ökas, desto mindre ökar flygtiden allt eftersom. Detta beror på att även om batteriets kapacitet ökas så ökas även vikten av quadkoptern. En ökning av vikten leder till en ökad kontinuerlig strömförbrukning då det krävs en större kraft för att lyfta quadkoptern, vilket kan härledas ur Aerodynamik-avsnittet. Detta kan vi se då den beräknade effektiviteten för det mindre batteriet är större än det större batteriets effektivitet. Dock motsäger de praktiska testerna detta fenomen. Anledningen till detta är med största sannolikhet att de uppmätta flygtiderna är felaktiga av olika anledningar som presenterats ovan. Kan även bero på att det ena batteriet helt enkelt är defekt eller underpresterar. Anledningarna diskuteras vidare i felanalysen.

7.1 Slutsats

Då användning av det större batteriet inte minskade effektiviteten avsevärt, flygtid per kapacitet, samt att flygegenskaperna inte tydligt försämrades, så dras slutsatsen att ett större batteri var lönsamt på quadkoptern.

Referenser

- [1] Alphone, R., Pilström, H. (2011), *Formler och Tabeller*, Natur och Kultur, Stockholm.
- [2] Fysikguiden, *Newtons gravitationslag*, <http://fysikguiden.se/newtons-gravitationslag/>
- [3] Brander, J, Naturvetenskap.org, *Newtons tredje lag*, <https://www.naturvetenskap.org/fysik/gymnasiefysik/kraft/newtons-3e-lag/>
- [4] Lundqvist, P., Ingelmann-Sundberg, M., Anderson, D., KTH, *Hur flyger flygplan?*, https://people.kth.se/~e99_tse/proj1.html
- [5] Cantrell, P, *Ground effect*, http://www.copters.com/aero/ground_effect.html
- [6] Nationalencyklopedin, *luftmotstånd*