

# **Multikoptern och användning av den som filmredskap**

Marcus Lindström

Examensarbete  
Informations- och medieteknik  
2015

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Informations- och medieteknik
Identifikationsnummer:	5074
Författare:	Marcus Lindström
Arbetets namn:	Multikoptern och användning av den som filmredskap
Handledare (Arcada):	Johnny Biström
Uppdragsgivare:	
<p>Sammandrag:</p> <p>Elektronik och komponenter som multikoptern använder har först efter år 2000 börjat bli tillräckligt praktiska och små för att verkligen få dem att fungera. Multikoptrar är symmetriska, har liten vibration och är billigare än traditionella filmredskap vilket har gjort dem populära inom videoproduktion. Myndigheterna har svårt att hänga med den snabba utvecklingen och i vissa länder har man först nu fått börja använda multikoptrar för bruksflyg. Detta arbete är en litteraturstudie med källor från internet, där det undersöks hur en multikopter fungerar och de olika delarna den använder. Dessutom undersöks vad man ska tänka på före man flyger en multikopter samt olika risker och möjligheter multikoptern medför. Målet är att läsaren ska förstå hur den fungerar och veta vad som krävs för att själv börja flyga en multikopter. Arbetet är begränsat att fokusera på multikoptrar som används för flygfotografering och vad man ska tänka på när man flyger dem i Finland. Dessutom undviks att nämna tillverkare och modeller samt specifika modellers egenskaper för att arbetet ska vara så generellt som möjligt.</p>	
Nyckelord:	Multikopter, obemannad luftfarkost, drönare, filmredskap
Sidantal:	44
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	23.4.2015

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Information- and Media Technology
Identification number:	5074
Author:	Marcus Lindström
Title:	The multicopter and using it as film equipment
Supervisor (Arcada):	Johnny Biström
Commissioned by:	
Abstract:	
<p>The electronics and components of a multicopter have only after the year 2000 begun to be practical and small enough to really make them work. Multicopters are symmetrical, have little vibration and are less expensive than traditional film equipment, which have made them popular in video-production. Authorities have had difficulties keeping up with the rapid development and in some countries one have only recently been allowed multicopters for commercial use. This thesis is a literature study with sources from the internet, where it is studied how a multicopter works and the different parts it uses. Furthermore it is studied what you should consider before flying a multicopter as well as different risks and possibilities associated with flying a multicopter. The goal is to help the reader understand how it works and know what is required to start flying a multicopter. The thesis is restricted to focus on multicopters used in aerial imagery and what you should consider flying them in Finland. Furthermore, mentioning manufacturers and models as well as properties specific to models is avoided to keep the thesis as general as possible.</p>	
Keywords:	Multicopter, multi-rotor, drone, UAV, film equipment
Number of pages:	44
Language:	Swedish
Date of acceptance:	23.4.2015

# INNEHÅLL

<b>1</b>	<b>Inledning .....</b>	<b>7</b>
1.1	Bakgrund .....	7
1.2	Syfte och mål .....	7
1.3	Avgränsning .....	8
1.4	Metoder .....	8
<b>2</b>	<b>Multikopters teknik .....</b>	<b>8</b>
2.1	Ramen .....	10
2.2	Propeller .....	12
2.3	Motor .....	13
2.4	ESC .....	15
2.5	Strömförsörjning .....	16
2.6	Flight controller .....	18
2.6.1	<i>Gyroskop</i> .....	20
2.6.2	<i>Accelerometer</i> .....	20
2.6.3	<i>Magnetometer</i> .....	21
2.6.4	<i>Barometer</i> .....	21
2.6.5	<i>GPS</i> .....	22
2.7	Radiostyrning .....	22
<b>3</b>	<b>Flygning med multikopter .....</b>	<b>24</b>
3.1	Övningssätt .....	25
3.2	Säkerhet .....	26
3.3	Lagar och begränsningar .....	29
3.4	Olika lägen och funktionaliteter .....	30
<b>4</b>	<b>Filmning med multikopter .....</b>	<b>32</b>
4.1	Gimbal .....	32
4.2	FPV system .....	34
4.3	Autonom flygning .....	36
4.4	Kamerarörelser .....	36
4.5	Användningsområden .....	38
<b>5</b>	<b>Avslutning och diskussion .....</b>	<b>39</b>
	<b>Källor .....</b>	<b>41</b>

## Figurer

Figur 1. En quadcopter (fyra rotorer) samt två sammanställningar av hexacoptrar (sex rotorer) (Audronis 2014).....	9
Figur 2. Till vänster en redundant och till höger en självständig sammanställning. (Audronis 2014).....	11
Figur 3. Nerifrån sett är en kolfiberpropeller samt två plastpropellrar. (Liang 2014) ....	12
Figur 4. En kolfiberpropeller fäst på en bortstlös likströmsmotor med 480KV. (Audronis 2014) .....	14
Figur 5. En 18A ESC. (Jespersen 2012) .....	15
Figur 6. LiPo batteri med fyra celler, 4000mAh och 20C. (Jespersen 2012) .....	17
Figur 7. Till vänster är en IMU, uppe en MC, höger en GPS/kompass och i mitten en LED som visar i vilket flygläge FC:n är. (Jenny 2014).....	19
Figur 8. Till vänster en 10-kanals 2,4 GHz sändare och till höger en motsvarande mottagare. (Phalen 2014).....	22
Figur 9. De fyra olika lägena. (multicopter.forestblue.nl 2012) .....	23
Figur 10. RealFlight 6.5 flygsimulator (Dunn 2013).....	25
Figur 11. Heli-Max 1SQ hobbynivå nanoquad. (Dunn 2013) .....	26
Figur 12. I vänsta bilden är multikoptern utanför markeffekt och i högra bilden är den i markeffekt. (Audronis 2014) .....	27
Figur 13. En 3-axlad Zenmuse Z15 kamera gimbal med servo drivsystem. (Jenny 2014) .....	33
Figur 14. Hur det ser ut på skärmen med OSD. (Audronis 2014) .....	34
Figur 15. Ett exempel på hur ett FPV system med klöverantennor kan vara uppsatt. (RotorDrone 2014).....	35

## Terminologi och förkortningar

<b>BEC</b>	Battery eliminator circuit
<b>ESC</b>	Electronic speed controller
<b>FC</b>	Flight controller
<b>FPV</b>	First person view
<b>IMU</b>	Inertial measurement unit.
<b>KV</b>	KV-värdet anger hur många RPM (varv per minut) motorn gör per V drivspänning
<b>LiPo</b>	Litium-polymer
<b>LOS</b>	Line of sight
<b>MC</b>	Main controller
<b>MEMS</b>	Microelectromechanical systems
<b>OSD</b>	Onscreen display
<b>PWM</b>	Pulse width modulation

# 1 INLEDNING

Multikoptern har under de senaste åren blivit mer och mer populär både som hobby och inom filmindustrin. Tekniken har utvecklats så att multikoptern har blivit stadigare och man har börjat inse möjligheterna som filmning med en multikopter medför.

Detta examensarbete innehåller en beskrivning om hur multikoptern fungerar och tekniken den använder. Jag undersöker de olika delarna som finns i en multikopter och förklarar hurdana delar man behöver beroende på vad man vill göra. Efter att ha gett en grundlig överblick på själva multikoptern förklarar jag vad man ska ta i beaktande före man själv börjar flyga en multikopter. Jag undersöker varför multikoptern har blivit ett populärt filmredskap samt olika användningsområden. Dessutom går jag igenom olika sätt att filma och olika kamerarörelser för att ge en förståelse över vad som är möjligt att åstadkomma med en multikopter.

## 1.1 Bakgrund

Multikoptern är en relativt ny uppfinning och det är inte ofta man stöter på dem. Efter att ha börjat läsa mer om dem förstod jag att med hjälp av multikopter kan man göra åkningar som man inte annars skulle kunna göra. Det var därför jag blev intresserad av multikoptern och bestämde mig för att forska om den för mitt examensarbete.

Ända tills så sent som 25 september 2014 fick man i USA inte alls använda obemannade luftfarkoster inom film- och tv-industrin (Federal Aviation Administration 2014). Därför tror jag att man i framtiden kommer att se mera bilder tagna med multikopter.

## 1.2 Syfte och mål

Syftet med detta arbete är att undersöka multikoptern och alla dess delar. Eftersom multikoptern är en relativt ny uppfinning tror jag inte det är många som vet hur den egentligen fungerar. Jag vill reda ut tekniken som gör att multikoptern flyger och varför den har blivit ett populärt filmredskap. Dessutom vill jag föra fram risker och möjligheter en multikopter medför.

Målet med min forskning är att läsaren efter att ha läst mitt slutarbete ska ha en klar bild över hur multikoptern fungerar och vad som behövs för att den ska flyga. Hen ska veta vad man bör tänka på före man själv börjar flyga en multikopter och lätt komma igång med det, såvida det är avsikten.

### **1.3 Avgränsning**

Även om multikoptrar är uppbyggda på samma sätt och använder samma komponenter fokuserar jag i detta arbete på multikoptrar som används för flygfotografering. Jag tar alltså inte upp multikoptrar som används för någonting annat. Jag tar inte heller ingående upp olika kameror, utan fokuserar på vilka specifikationer man ska beakta. Mjukvaror som olika flight controllers använder behandlar jag inte heller, eftersom alla har en egen och det finns så många olika. När det kommer till lagar och begränsningar fokuserar jag på vad som är tillåtet i Finland. Dessutom undviks att nämna tillverkare och modeller samt specifika modellers egenskaper för att arbetet ska vara så generellt som möjligt.

### **1.4 Metoder**

Detta examensarbete är en litteraturstudie där materialet är hämtat från internet. Det är relativt svårt att hitta vetenskapliga texter om multikoptern eftersom det mesta man hittar är hobbyister som skriver sina åsikter och upplevelser på forum. Jag lyckades dock hitta en elektronisk bok som är en av mina viktigaste källor.

## **2 MULTIKOPTERNS TEKNIK**

Till skillnad från en traditionell helikopter använder multikoptern flera rotoror för att åstadkomma lyft (Audronis 2014). Det har länge funnits luftfarkoster med flera rotoror som kallas multirotorer, men de är alltså inte multikoptrar. Multikoptern tillhör en speciell kategori som inte förlitar sig på mekaniska tumlingsskivor, stjärtrotorer eller koaxiala rotorsystem för att flyga kontrollerat. (Gentile 2012) Multikoptern tillhör gruppen obemannade luftfarkoster tillsammans med radiostyrda flygplan, drönare och många



andra luftfarkoster. Man har hört att multikoptern kallats drönare, men det är inte nödvändigtvis alltid rätt. De flesta multikoptrarna flygs inom LOS (line of sight) dvs. med siktlinje till farkosten, vilket drönare inte gör. Med speciell utrustning kan man flyga en multikopter i FPV (first person view) och förvandla den till en helt autonom drönare. Därför är vissa drönare multikoptrar, men inte alla multikoptrar drönare. Multikoptrar är sammanställda på olika sätt. Det finns bicoptrar, tricoptrar, quadcoptrar osv. beroende på hur många rotorerna de har. (Audronis 2014)



*Figur 1. En quadcopter (fyra rotorerna) samt två sammanställningar av hexacoptrar (sex rotorerna) (Audronis 2014).*

Fastän multikoptern till sitt utseende och uppbyggnad verkar simpel kan fysiken bakom hur den flyger vara komplicerad. Jämfört med flygplan och helikoptrar är den mekaniska komplexiteten mycket mindre i en modern multikopter. Grunden till att en multi-

kopter fungerar är mycket sofistikerad elektronik, en s.k. flight controller (FC). Om man skulle fästa några propellrar med motorer och kvistar skulle det inte fungera. Orsaken till det här är att utan en FC skulle det inte finnas balans eller kontroll över krafterna som motorerna och propellrarna genererar. (Gentile 2012)

Multikoptern utnyttjar två grundprinciper: lyft och vridmoment. En traditionell helikopter har en stjärtrotor för att inte själva kroppen skall rotera när huvudrotorn roterar. Detta är p.g.a. Newtons tredje lag som lyder: två kroppar som verkar på varandra med krafter utsätter varandra för lika stora men motsatt riktade krafter. En multikopter använder propellrar som roterar i motsatt riktning för att hålla sig stabil när propellrarna roterar. (Audronis 2014)

Rotationsaxlarna på en luftfarkost kallas tippning, girning och rullning. Tippning är att peka nosen av luftfarkosten upp eller ner. Girning är att svänga luftfarkosten till vänster eller höger. Rullning är att svänga luftfarkosten så att sidorna går upp och ner. För att röra sig bakåt och framåt tippas multikoptern, precis som en traditionell helikopter. Genom att tippa multikoptern ändras riktningen på dragkraften från propellrarna och den rör på sig. För att ena sidan skall gå ner minskar hastigheten på propellrarna på den sidan medan propellrarna på andra sidan ökar i hastighet. Eftersom multikoptern är symmetrisk från alla håll fungerar det på samma sätt när man vill röra sig från sida till sida dvs. göra en rullning. För att gira minskar man hastigheten på propellrarna som roterar i samma riktning medan man sänker hastigheten på dem som roterar i motsatt riktning. (Audronis 2014)

## **2.1 Ramen**

Utbudet av multikopter-ramar är brett och det finns i alla former och storlekar. Materialet, tillverkaren och priset varierar mycket men de vanligaste materialen är aluminium och kolfiber medan det vanligaste antalet propellrar är fyra, sex och åtta (quad-, hexa- och octokopters). När det kommer till hexa- och octokopters kan dessutom sammanställningen vara antingen självständig eller redundant. I en självständig eller flat sammanställning är alla rotorerna ordnade i en cirkel lika långt från mitten av ramen där varannan rotor roterar i motsatt riktning. I en redundant sammanställning har ramen

dubbelt färre armar med en rotor på övre sidan och en på undre sidan. Oftast roterar alla rotorerna på övre sidan i en riktning medan alla rotorerna på undre sidan roterar i motsatt riktning. (Audronis 2014)



*Figur 2. Till vänster en redundant och till höger en självständig sammanställning. (Audronis 2014)*

Före man väljer några komponenter ska man tänka på till vilket ändamål man kommer att använda sin multikopter. Är det för filmning, fotografering eller som hobby och vad kommer den att bära? Större är mera stabil men använder mer ström och har därmed kortare flygtid, medan en liten inte kan lyfta mycket tyngd men har längre flygtid. Det handlar också mycket om att balansera mellan stabilitet och batteritid. Man gör inte så mycket med en stor och stabil plattform som bara kan flyga i några minuter. (Audronis 2014)

Fördelen med att ha en redundant sammanställning är att om en rotor går sönder eller slutar fungera kan den resterande rotorn på samma arm kompensera för den söndriga. Nackdelen är att med färre armar är belastningen på ramen större och den är inte heller lika stabil som en självständig sammansättning. Om man har rätt FC kan en självständig sammansättning också klara av en icke fungerande rotor. (Audronis 2014)

När det kommer till att välja mellan kolfiber och aluminium finns det tre påverkande faktorer: hållbarhet, vikt och pris. Kolfiber är mycket hållbart och mycket lätt men också dyrt och kan vara skört om det har skadats. Aluminium är också lätt och hållbart men böjbart och flexibelt. Det är billigare och lättare att få tag på. När man väljer en

ram ska man se till att den är tillräckligt stor för att de propellrar man tänker använda inte träffar varandra när de roterar. (Audronis 2014)

## 2.2 Propeller

All vikt i luften stöds av propellrarna, därför är det viktigt att ha hållbara propellrar som skär luften bra, är styva och lätta. Flexibilitet kan skapa studs som kan orsaka harmoniska vibrationer mellan FC:n och de flexibla propellrarna. Det kan i sin tur leda till att multikoptern störtar okontrollerat. (Audronis 2014)

Liksom ramen finns det också många olika sorters propellrar. De kan vara plast, kolfiber, glasfiberförstärkt eller trä och ha två till fyra blad. (Liang 2014) De vanligaste är dock gjorda av plast eller kolfiber och har två blad. Propellerns spets är flatare än i mitten dvs. de vrider sig. De är gjorda på det viset för att motståndet av vinden ska fördela sig jämt över hela ytan av propellern. (Audronis 2014) Propellrarna klassificeras genom två egenskaper: längd och stigning. Till exempel en 9x4,7 propeller är 9 tum lång och har en stigning på 4,7 tum. (Liang 2013a) Diametern betyder i princip yta medan stigning betyder effektiv yta. Med samma diameters propeller producerar större stigning mera dragkraft och kan lyfta mera tyngd, men konsumerar också mera ström. (Liang 2013b)



Figur 3. Nerifrån sett är en kolfiberpropeller samt två plastpropellrar. (Liang 2014)

En propeller med mindre stigning kan i allmänhet producera mera vridmoment. Motorerna behöver inte jobba lika hårt och drar därför mindre ström. Mindre stigning förbättrar också stabiliteten. En propeller med högre stigning flyttar mera luft och kan skapa turbulens som orsakar multikoptern att vackla när den svävar. (Liang 2013a) Dessa är dock nödvändiga för att flyga omkring stabilt med ett tungt föremål som en kamera. (Liang 2013b)

Eftersom effektiviteten av en propeller bestäms av hur stor yta den har, är också längre propellrar effektivare. Man kan jämföra det här med en simmare som med större händer och fötter kan simma snabbare, men blir också fortare trött. En liten propeller är snabbare att stanna eller accelerera medan det tar längre för en större propeller att ändra hastighet. (Liang 2013a)

## **2.3 Motor**

Ju större propellrar man har desto kraftigare måste motorn vara. Om en propeller flyttar på tillräckligt mycket luft för att lyfta över tio kilogram är det mycket vindmotstånd som motorn måste klara av. Snabbare motorer är svagare. Det är en stor utmaning att hitta balansen mellan rätta propellrar, motorer, ESC och batteri för att lyfta lasten för den längsta tiden möjligt. (Audronis 2014)

När det kommer till propellrar och motorer finns det en universell sanning: mindre propellrar roterar snabbare och större roterar långsammare. Detta är p.g.a. risken liknande till kavitation vid spetsarna. Kavitation är när det bildas bubblor eller ihåligheter i vätska p.g.a. snabb rörelse av en propeller (Oxford University Press 2015). Man vill att propellrarna roterar så snabbt som möjligt utan att orsaka kavitation runt propellrarna. Genom att rotera en propeller skapar man hög- och lågtryckszoner. Om en propeller roterar för snabbt kan efterföljande blad röra sig igenom ett område med lågtryck och minska i effektivitet, vilket kan vara ett stort problem för stabilitet och lyft. Dessutom kan en kaviterande propeller råka ut för stötvågor och även splittras p.g.a. dem. Spetsen kan också bryta ljudvallen och orsaka en stötvåg som splittrar bladet. (Audronis 2014)

En elektrisk motors hastighetsvärdering är i vad som kallas KV. KV-värdet anger hur många RPM (varv per minut) motorn gör per V drivspänning då den körs utan belastning. En bra motor för en större propeller ligger mellan 350 och 600 KV. Det finns likströmsmotorer och borstlösa likströmsmotorer. Eftersom vanliga likströmsmotorer slits ut medan borstlösa likströmsmotorer håller mycket längre och är effektivare, skulle det vara meningslöst att använda en vanlig likströmsmotor för en multikopter. (Audronis 2014)



*Figur 4. En kolfiberpropeller fäst på en borstlös likströmsmotor med 480KV. (Audronis 2014)*

Man ska också ta i beaktande antalet magnetpoler i motorn. En motor är en serie elektromagneter och en serie traditionella magneter. Elektromagneterna ändrar polaritet mellan positiv och negativ för att dra till sig de traditionella magneterna och skuffa iväg dem i turordning. På detta vis roterar motorn. Mellan varje magnetpol är en död zon där påverkan av elektromagneterna inte är lika stor som när de är nära. Det är också i döda zonen där, under rotation, påverkan av föregående pol förloras och nästa pol fångas upp. Det kan orsaka vibrationer, göra motorns rotation långsam och accelerera en aning. När man filmar med en multikopter vill man ha den så stabil med så lite vibrationer som möjligt. Ju flera magnetiska poler man har i motorn, desto jämnare roterar propellarna. (Audronis 2014)

Eftersom det behövs relativt kraftiga motorer för att rotera stora propellrar är motorerna stora. Det finns många olika motorer som är specialbyggda för multikoptrar. De är inte så höga utan istället breda och låga. (Audronis 2014)

## 2.4 ESC

Elektriska motorer kräver mera spänning för att börja rotera, än för att uppehålla rotation vid minsta hastighet. När man tillägger mera spänning accelererar de inte nödvändigtvis jämnt. ESC:n (electronic speed controller) dvs. elektroniska varvtalsregulatorn gör en spänningsspik för att starta motorn och avtar sedan för att hålla den roterande vid en låg hastighet vid låg gas. När man ökar gasen accelererar ESC:n också motorn jämnare. Man kan dessutom programmera ESC:n till vilken typs kurva man vill, men det är inte ett måste eftersom de flesta ESC:na är förprogrammerade med de nödvändiga inställningarna. ESC:na är genomströmningarna från batteriet till motorn och varje motor måste ha en egen. De måste vara noggrant balanserade med motorn för att ge tillräckligt mycket spänning utan att brinna ut. En ESC med för lite effekt i multikoptern kan orsaka en krasch eller en brand. (Audronis 2014)



Figur 5. En 18A ESC. (Jespersen 2012)

Eftersom borstlösa likspänningsmotorer har flera faser, vanligtvis tre, kan man inte bara direkt koppla dem till en spänningskälla för att de ska rotera. Man behöver en ESC för att skapa tre högfrekventa signaler med olika, men kontrollerbara faser. ESC:n slår snabbt på och av spänningen till motorn flera tusen gånger i sekunden (Vorkoetter 1997). Varje ESC kontrolleras separat av en PWM (pulse width modulation) dvs. pulsbreddsmodulerad signal, vars intervall är mellan 1 ms (på) till 2 ms (av). (Jespersen



2012) PWM frekvensen för likspänningsmotorer är vanligtvis 5-10 kHz eller högre (National Instruments 2003).

PWM är en metod för att skapa en analog signal från ett digitalt ursprung. PWM signalen består av två faktorer som bestämmer dess beteende: en arbetscykel och en frekvens. Arbetscykeln beskriver tiden signalen är i högt tillstånd (på) procentuellt av den tiden det tar att avklara en cykel. Frekvensen avgör hur snabbt PWM signalen avklarar en cykel och därmed hur snabbt den ändrar mellan högt och lågt tillstånd. Genom att kretsa en digital signal på och av tillräckligt snabbt och med en särskild arbetscykel, beter sig utgången som en analog signal med konstant spänning. PWM signaler används främst för att kontrollera likströmsmotorer. (National Instruments 2003) Motorns hastighet beror på hur mycket spänning den matas med. Genom att kontrollera PWM signalens arbetscykel kan man kontrollera hur mycket spänning motorn matas med och därmed också kontrollera motorns hastighet. (Madaan 2013)

När man väljer en ESC är den viktigaste faktorn strömstyrkan. Man ska alltid välja en ESC med åtminstone 10 A mer än vad motorn behöver. En annan faktor är programmeringsmöjligheterna eftersom vissa ESC:n tillåter att ändra på räckvidden, medan andra inte gör det. Det betyder att med vissa ESC:n är man inte nödvändigtvis tvungen att använda intervallet mellan 1 ms till 2 ms, utan kan justera den till egna behov. Det här är speciellt användbart när man vill bygga sin egen FC. (Jespersen 2012) En annan sak man bör överväga är BEC:n (battery eliminator circuit) dvs. batterieliminatorkretsen. BEC:n är oftast kombinerad med ESC:n, men kan också vara kombinerad med FC:n. (Audronis 2014) BEC:n försörjer radiomottagaren med ström och därför behöver inte mottagaren ett eget batteri, vilket sparar vikt. De är utrustade med inbyggd spänningsreglering för att konvertera batteriets spänning till en spänning kompatibel med mottagaren, oberoende vad batteriets spänning är. (Vorkoetter 2003)

## **2.5 Strömförsörjning**

Det finns många kemiska formuleringar tillgängliga, från NiCd (nickel-kadmium) till LiPo (litium-polymer), men när det kommer till att välja ett batteri för en luftfarkost är det enda rätta LiPo. Orsaken är att de har högsta kapaciteten i förhållande till sin vikt.



LiPo batterier kräver speciella laddare som förser ström jämnt åt alla celler i batteriet, så man måste också ha en specifik LiPo laddare. (Audronis 2014)

Batteriet har tre egenskaper man ska ta i beaktande: S gradering, mAh gradering och C gradering. S gradering betyder helt enkelt hur många celler batteriet har. Varje LiPo cell har en spänning på 3,7 V så ett 2S batteri har 7,4 V, ett 3S batteri har 11,1 V och så vidare. Batteriets kapacitet mäts i mAh och betyder egentligen hur länge batteriet håller. Varje mAh representerar en timmes batteritid för varje mA ström som dras från batteriet. För att få mera flygtid behöver man mera kapacitet. Med C gradering menar man hur många gånger man tryggt kan dra mAh graderingen från batteriet. Om man drar för mycket ström från ett LiPo batteri kan det expandera och leda till en explosion och en mycket het brand. Om man råkar ut för ett expanderat batteri ska man återvinna det och inte använda eller ladda det mera. (Audronis 2014)



Figur 6. LiPo batteri med fyra celler, 4000mAh och 20C. (Jespersen 2012)

Man väljer batteriet beroende på hurdan typs och antalet ESC:n man använder. Om ett batteri har 5000 mAh och är 1C graderat tål det att 5 A dras från det. Med 5000 mAh och en 30C gradering tål det att 150 A dras från det. Om man till exempel använder sex stycken 45 A ESC:n, ska man ha ett batteri som åtminstone tål att 270 A från det. (Audronis 2014)

## 2.6 Flight controller

Några av de tidigaste FC:na för multikoptrar var utvecklade från små MEMS (mikroelektromekaniska system) gyroskop som egentligen var utvecklade för radiostyrda helikoptrar. För några år sedan, kom små MEMS gyroskop som tillät helikoptrar att hålla stabiliteten i gir-axeln. Eftersom de bara kunde känna rotation i gir-axeln, för att känna ändringar i tippning, rullning och girning, vilka är nödvändiga för multikoptern, måste man använda tre gyroskop, varje placerad 90 grader från varandra. Det här fungerade till en viss del men krävde mycket av piloten för att hålla multikoptern stadig under flygning. Vad som behövdes var ett sätt att automatisera flygresponsen och signalerna från gyroskopet för att göra en farkost som var mycket lättare att flyga. (Miller 2014)

Moderna mikroprocessorer är bra på att göra miljontals kalkylerationer per sekund och är ett naturligt val för att läsa sensordata från små gyroskop. År 2005 kom den första Arduino kontrollkortet vilket erbjöd ett simpelt och kompakt sätt att skriva och utveckla program för att göra en massa olika kalkylerationer. Den hade en liten 8-bit mikroprocessor tillsammans med ett antal andra in- och utmatningsenheter som gjorde att man kunde koppla den till sensorer och kontrollera andra enheter. (Miller 2014)

För några år sedan började en grupp människor som var intresserade av radiostyrd flygning skriva program som skulle stabilisera radiostyrda luftfarkoster. Ungefär samma tid kom Nintendo ut med spelkonsolen Wii. Den använder en rörelsebaserad handkontroll som i själva verket har varit mycket viktig för att utveckla FC:n för multikoptrar. För att kunna känna rörelse och acceleration innehåller Wii kontrollerna MEMS gyroskop och accelerometrar som man kunde ta loss och koppla till Arduino kontrollkortet och därmed känna förändringar i riktning. Kontrollkortet kunde programmeras att skicka ut nödvändiga styripulser för att driva vanliga borstlösa likspännings ESC:n och på så sätt föddes den första multikopter FC:n. (Miller 2014)

I dagens läge finns det många olika FC:n, men alla fungerar enligt samma princip. De tar in en stor mängd positionell data och uppskattar vad multikoptern gör. Skillnaden mellan olika FC:n är hur bra och hur snabbt de uppskattar. De använder alla samma typs sensorer och skillnaden mellan sensorer är deras noggrannhet och hastighet. Egenskaper

man ska beakta med en FC är noggrannhet och hastighet, samt vilka olika lägen och funktionaliteter de har. (Audronis 2014)

En FC består i princip av två delar: en MC (main controller) och en IMU (inertial measurement unit). IMU:n består av åtminstone 6 sensorer. Den har en 3-axlad accelerometer och en 3-axlad gyroskop, men kan också innehålla magnetometer och barometer. (Jespersen 2012) MC:n är systemets huvudsakliga hjärna som tar all information från IMU:n och kontrollens inmatning, jämför det med GPS- och kompassdata för att uppskatta vad multikoptern gör, samt vad du vill göra. Den sänder sedan hastighetsinformation till ESC:n och vidare till motorerna för att röra på multikoptern exakt och stabilt. I vissa FC:n är MC:n och IMU:n två separata delar, medan de i andra är kombinerade. (Audronis 2014)



Figur 7. Till vänster är en IMU, uppe en MC, höger en GPS/kompass och i mitten en LED som visar i vilket flygläge FC:n är. (Jenny 2014)

### **2.6.1 Gyroskop**

Gyroskop kan känna rotationsrörelse runt en axel och används för att detektera ändringar i tippning, rullning och girning. Tidigare kunde de bara känna rotation runt en axel men numera finns det 3-axlade gyroskop. De kan känna ändringar i tippning, rullning och girning, men inte från sida till sida eller upp och ner. Ett gyroskop stabiliserar multikoptern men kan inte självjustera den dvs. hålla sig själv plan om man släpper kontrollspaken för tippning och rullning (Liang 2015). (Miller 2014)

Det finns några olika slags gyroskop: Kristall (som fungerar mycket liknande som piezoelektriska accelerometrar vilka jag nämner nedan), Keramiska (som använder små keramiska kolumner eller prisma) och Silikon (för vilka den exakta strukturen varierar beroende på tillverkare). (Audronis 2014)

### **2.6.2 Accelerometer**

För att kunna självjustera behöver multikoptern en accelerometer. De kan detektera ändringar i rörelse framåt och bakåt, från sida till sida och upp och ner. Utöver det här kan de känna gravitationskraften. Den här egenskapen ger FC:n förmågan att avgöra om den lutar åt något håll och förmågan att veta vad som är upp så att den kan självjustera när det behövs. (Miller 2014)

Det finns två sorters accelerometrar: piezoelektriska och kapacitiva. Piezoelektriska accelerometrar är vanligaste och de använder mikroskopiska kristaller som under stress omvandlar mekaniskt arbete till elektricitet. Genom att mäta laddningen och hållbarheten av kristallerna kan FC:n avgöra riktning och rörelsehastighet. Kapacitiva accelerometrar mäter kapacitansen mellan mikrostrukturer som befinner sig nära avkänningsmekanismen. När mikrostrukturerna rör sig närmare och längre ifrån avkänningsmekanismen ändrar kapacitansen. Genom att mäta denna kapacitans kan FC:n avgöra rörelse- och riktningshastighet. (Audronis 2014)

Fördelen med de olika sensorerna är omstridd, men man ska ha en FC med så snabba och noggranna sensorer som möjligt för både accelerometrar och gyroskop. När vinden blåser på multikoptern kommer den att luta för att hålla GPS- och höjdpositionen. FC:n

måste veta hur mycket den lutar och hur snabbt. Om sensorerna inte känner tillräckligt snabbt blir det en fördröjning i korrigeringen och multikoptern kan luta för mycket och överkorrigera. Om den överkorrigerar kan den överkorrigera överkorrigeringen och så vidare. Det kan leda till guppande och vinglande när man vill att multikoptern ska stå stilla. (Audronis 2014)

### **2.6.3 Magnetometer**

Magnetometern kan känna variationer i jordens magnetfält och förser FC:n med en elektronisk kompass. Med en magnetometer vet FC:n i vilken riktning den pekar och kan automatiskt korrigera när den driver i gir-axeln. Multikoptern kan med en magnetometer också flyga i en rak linje på en specifik kurs. (Miller 2014)

Varje gång före man flyger, ska man alltid kalibrera kompassen. Några FC:n lagrar kalibreringen från föregående gång, men jordens magnetiska fält varierar dock lite från ställe till ställe och dag till dag. Ett tecken på att kompassen inte är kalibrerad är när man försöker sväva, och medan multikoptern gör sina små korrigeringar som den gör för att flyga, tror den att den pekar mot en lite annan riktning än vad den egentligen gör. Istället för att röra sig mot norr, rör den sig lite mot öst, sedan för att korrigera och röra sig lite mot väst, rör den sig mot söder. Detta leder till att multikoptern snurrar runt. Ett annat tecken på att kompassen är felaktig är att multikoptern rör sig lite sidlänges när man vill flyga rakt fram. Detta beror på att multikoptern inte exakt vet i vilken riktning den flyger. (Audronis 2014)

### **2.6.4 Barometer**

En barometer används för att mäta lufttryck och kan detektera ändringar i höjd. När en luftfarkost stiger blir luften tunnare vilket leder till en minskning i lufttrycket. De här sensorerna är mycket noggranna, men bara om det barometriska trycket hålls konstant. Om en hög- eller lågtrycksfront närmar sig och det barometriska trycket ändrar under en flygning, kan utmatningen av sensorn bli inexact. (Miller 2014)

## 2.6.5 GPS

Med ett GPS system vet FC:n exakt var den är på planeten i longitud och latitud samt exakta höjden som inte varierar p.g.a. ändringar i lufttrycket. Med GPS kan multikoptern flyga till exakta punkter, behålla positionen även om vinden försöker blåsa den ur kurs och behålla exakta höjden. Många GPS-system kan även lära sig positionen varifrån den lyfte. Om någonting händer till radiosystemet eller piloten blir desorienterad, kan multikoptern programmeras att återvända hem och landa sig själv tillbaka varifrån den lyfte. (Miller 2014)

## 2.7 Radiostyrning

För att styra en multikopter behöver man en radiosändare och en radiomottagare. De är parade digitalt och har en siktnings räckvidd på flera kilometer. (Audronis 2014) Mottagaren kommer oftast med när man köper en sändare. Mottagaren bör vara av samma märke som sändaren för att säkra att de är kompatibla. I undantagsfall kan dock olika märkes mottagare och sändare paras. (Liang 2013c) Vilken slags radiosändare man använder är individuellt eftersom människor föredrar olika sändare (Audronis 2014).

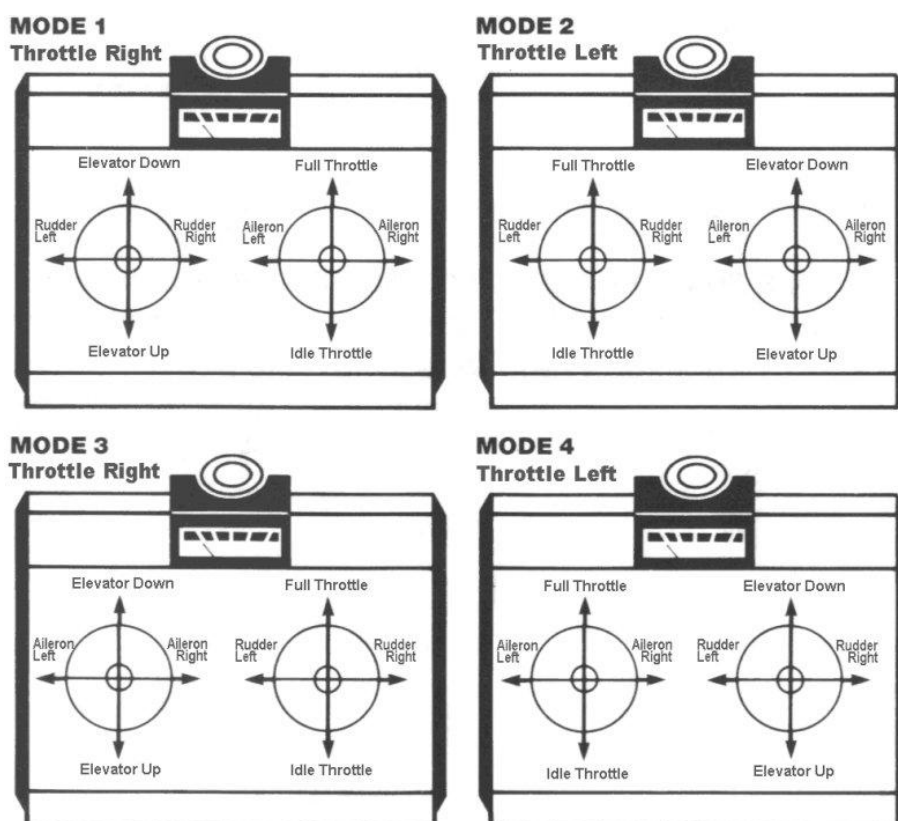


Figur 8. Till vänster en 10-kanals 2,4 GHz sändare och till höger en motsvarande mottagare. (Phalen 2014)

Radiosändare har olika antal kanaler och varje kanal tillåter en enskild sak att kontrolleras. En multikopter behöver åtminstone fyra kanaler: gas, girning, tippning och rullning. Om man dessutom vill kunna t.ex. ändra stabiliseringsläge, flygläge och tilta kameran, behöver man ytterligare 3 kanaler dvs. sju totalt. (Liang 2013c)

I Finland är det kommunikationsverket som reglerar vilka frekvenser som är tillåtna att använda för olika radioutrustningar. I kommunikationsverkets föreskrift 15 AH/2015 M paragraf 10 finns en lista på vilka frekvenser som är tillåtna för radiosändare och vilka begränsningar det finns på varje frekvens (Kommunikationsverket 2015a). Man kan också ansöka om tillstånd att använda vissa andra frekvenser som nämns i kommunikationsverkets frekvensallokeringstabell (Kommunikationsverket 2015b) Före man köper radioutrustning ska man kontrollera att de är CE-godkända, vilket innebär att de uppfyller de krav som ställs på dem. Säljare och importörer ansvarar för att det i Finland bara finns radioprodukter som fungerar med rätt frekvens, men om man köper radioutrustning från ett land utanför EU ansvarar man själv för produkten och den störning i radiotrafiken den eventuellt förorsakar. (Kommunikationsverket 2015c)

Radiosändaren kan ha fyra olika lägen. Lägena definierar vilka rörelser de två kontrollspakarna kontrollerar vilken av de fyra huvudkanalerna: gas, girning, tippning eller rullning. (Newell 2010)



Figur 9. De fyra olika lägena. (multicopter.forestblue.nl 2012)



När man väljer en radiosändare ska man huvudsakligen tänka på hur många kanaler man behöver, men det är inte bara frågan om antalet kanaler. Några sändare stöder också programmering och uppdatering av firmware för att förbättra funktionaliteten. En annan viktig sak att ta i beaktande är att man kan ändra läge med vissa, medan andra bara har ett läge. (Liang 2013c)

### **3 FLYGNING MED MULTIKOPTER**

En sak som nybörjare har svårt med, är den lätta beröringen de flesta multikoptrarna kräver. Piloter som just har börjat flyga har en tendens att överstyra och sedan överkorrigera. Resultatet är en ryckig flygväg som kan sluta dåligt för multikoptern. Ett annat hinder för nybörjare är att förstå perspektivet att vara utanför multikoptern. När multikoptern är framför en och riktad bort från en verkar allt normalt. Höger är höger och framåt är framåt. När multikoptern är riktad mot en ändrar däremot perspektivet och allt blir omvänt. När man nu vill att multikoptern ska luta till höger, ska man styra till vänster och när man vill att den ska komma emot en, ska man styra framåt. Multikoptern reagerar fortfarande på kommandona på samma sätt, det är bara att multikopterns höger/vänster och fram/bak inte är längre samma som ens egen. (Dunn 2013)

Kanske det svåraste med att flyga en multikopter är att hålla reda på åt vilket håll den är riktad. Multikoptern har inga vingar, stjärtrotorer eller andra visuella märken, som andra radiostyrda farkoster har, som visar åt vilket håll den pekar. Sådan desorientering leder lätt till att man styr fel. Att man styrt till vänster när man skulle styra till höger är huvudsakliga orsaken till många kraschar. (Dunn 2013)

För att lära sig de nödvändiga färdigheterna för att flyga en multikopter, behöver man helt enkelt mycket övning och lära sig från sina misstag (Dunn 2013). Man måste dessutom också ta i beaktande säkerheten och olika lagar och begränsningar.



### 3.1 Övningsätt

För att öva att flyga behöver man inte använda en dyr kamerafärdig multikopter, utan det finns några förnuftigare alternativ. En möjlighet är att skaffa en flygsimulator till datorn (Dunn 2013). Det finns många bra flygsimulatorer att välja mellan, men när det kommer till att öva att flyga multikoptrar finns det dock en som skiljer sig från mängden. Det är RealFlight, som i version 6 och högre, har multikoptrar man kan öva att flyga med och även flyga FPV. Multikoptrarna i RealFlight har inte all stabilisering som en bra FC har, vilket dock är en bra sak. Genom att öva tills flygningen i simulatorm är stabil och jämn, kommer övergången till äkta flygning att gå ganska smidigt. Med en simulator kan man dessutom krascha, flyga i hård vind och pröva nya rörelser utan att riskera sin dyra multikopter. (Audronis 2014)



*Figur 10. RealFlight 6.5 flygsimulator (Dunn 2013)*

Ett annat sätt att lära sig flyga är att köpa en s.k. nano quad eller micro quad som den också kallas. De är små multikoptrar som ser ut och beter sig på samma sätt som större multikoptrar. Fördelen med att öva med en nano quad är att de är så lätta och använder så lite kraft för att rotera dess små propellrar, att det är osannolikt att de orsakar någon skada när man träffar någonting med dem. Man kan även flyga dem inomhus. På Internet finns det massvis med olika nano quads, allt från leksaksnivå till hobbynivå. Skill-

naden mellan dem är att till hobbynivås nano quads kan man köpa reservdelar om man lyckas söndra dem. Det finns också många billiga kopior så det är rekommendabelt att köpa en från en hobby-butik. Om man ändå bestämmer sig för att köpa en online, lönar det sig att undersöka vilka som är bra och åtminstone välja en som har en sändare med två kontrollspakar. Att köpa en nano quad med en spelkontroll liknande sändare eller en som styrs med en iPhone hjälper inte för att övergå till större, mer kapabla multikoptrar. Det kräver hängivenhet och träning för att bli en kompetent och självsäker pilot och dessa är de säkraste och billigaste sätten att öva. (Dunn 2013)



Figur 11. Heli-Max 1SQ hobbynivå nanoquad. (Dunn 2013)

## 3.2 Säkerhet

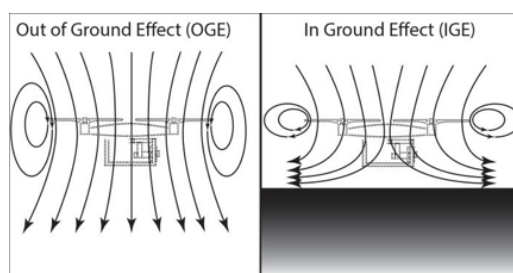
En multikopter kan vara mycket farlig och det är många saker man ska överväga när man väljer var, när och hur man flyger för att minimera riskerna. Det bästa alternativet att flyga på en RC klubb. Om det inte finns en klubb i närheten kan man flyga på en stor, öppen plats där inga personer eller egendom kan skadas. Ett platt område som en dal eller en slätt är det bästa stället att flyga. Markens uppvärmning och kylning kan orsaka termiska vindströmmar, så bästa tiden att flyga är inte vanligtvis mitt på dagen eller kvällen. På morgonen blåser det oftast mindre och har bästa synligheten. (Audronis 2014)

Kalibreringsflygningar som t.ex. första flygningen är speciellt farliga. Att multikoptern flyger iväg, plötsliga misstag och komponentfel händer med mycket större sannolikhet på de här flygningarna. Man ska inte bjuda vänner eller familjemedlemmar att se på. Om man har åskådare är det bästa stället för dem att stå bakom en själv i förhållande till

var multikoptern är. Man kommer troligtvis instinktivt att göra allt för att multikoptern inte träffar en själv. Om en åskådare är bakom en själv måste multikoptern träffa en själv före den träffar dem och man blir inte heller distraherad genom att undra var de är. (Audronis 2014)

Man ska börja flyga försiktigt och använda simulatören eller nano quadren för att öva på svårare saker. Man ska inte riskera att någonting händer, utan om någonting känns fel ska man inte pröva på det. Man ska fortsätta att vara lite rädd, men inte så rädd att man blir tveksam. Om man inte är rädd att förstöra sin utrustning eller skada någon, kan man tappa koncentrationen och bli farlig. Man ska börja långsamt för att först få en känsla av att flyga en multikopter. Om man går för snabbt kommer man troligtvis att överkorrigera och krascha. De första dagarna lönar det sig att hållas på en låg höjd och sakta öka på svårigheten och höjden. Man blir lätt för självsäker för snabbt. Att vara självsäker är bra, men man måste också ha respekt för farorna som är associerade med att flyga en multikopter. (Audronis 2014)

Två andra saker man bör ta i beaktande är markeffekt och nedsvep. Markeffekt är när marken under en luftfarkost skapar en lågtryckszon. Markeffekt ändrar också formen och storleken på vindvirvlarna som skapas av propellrarna. Markeffekten ökar lyftkraften och gör det enklare att sväva. Matematiskt kan markeffekt definieras att vara närmare marken än vingbredden på en luftfarkost. Det här är lite svårare att räkna med en multikopter. En säker gissning är att markeffekt är hela bredden på multikoptern. Fastän man lättare kan sväva i markeffekt vill man komma ut ur den relativt snabbt. Orsaken är att man vill att barometern är fri från hög- och lågtryckszoner som kan uppstå av markeffektvirvlar. Att sväva med en multikopter inom markeffekt kan leda till guppande. (Audronis 2014)



Figur 12. I vänsta bilden är multikoptern utanför markeffekt och i högra bilden är den i markeffekt. (Audronis 2014)

Nedsvep är luftströmmarna som uppstår bakom propellrarna, som på en multikopter är under farkosten. Om man går ner för snabbt, flyger man troligtvis genom sitt eget nedsvep. Nedsvep är fylld med turbulens och tunn luft och om man flyger genom det, kan multikoptern vingla eller i värsta fall krascha. När man går ner ska man göra det långsamt. Om man måst gå ner snabbt ska man flyga framåt samtidigt eller i cirklar för att undvika sitt eget nedsvep. (Audronis 2014)

Varje gång före man börjar flyga är det vissa saker man bör kontrollera. Följande lista förklarar de olika stegen man bör granska när man gör sig redo att flyga:

- Kontrollera att propellrarna är ordentligt fastspända. Lösa propellrar kan förlora kraft eller t.o.m. flyga av i luften.
- Kontrollera alla anslutningar för att säkra att ingenting är löst.
- Motorerna bör sitta ordentligt på sina fästen. Skruvarna kan bli lösa av vibrationen och belastningen av en flygning, speciellt på motorfästena.
- Kontrollera att ramens delar är ordentligt fastspända. Förutom vibrationer och belastning, kan skruvar också bli lösa p.g.a. temperaturskillnader. Övriga böjning eller glapp i ramen kan orsaka fel. Granska också att det inte finns några sprickor eller bucklor.
- Roter alla propellrar med fingret. Om någon motor känns sträv, och det inte bara är magnetiska attraktionen, eller märkbart annorlunda än de andra motorerna, måste man möjligtvis ersätta motorn p.g.a. skadat eller trasigt lager.
- Kontrollera att FC:n är ordentligt fäst. Granska också att alla komponenter är vända i rätt riktning. Att någon del i FC:n är glapp kan leda till en krasch.
- Sätt på radiosändaren och kontrollera att alla kontroller är i tomgångsläge.
- Anslut batteriet till multikoptern och om man har en strömavbrytare, slå på den. Lyssna när ESC:na gör sina start pip. Ett ovanligt ljud kan tyda på brist på strömförsörjning.
- Kalibrera kompassen enligt FC:ns bruksanvisning.
- Vänta på GPS lock. Varje FC behöver tid för att hitta minsta antalet satelliter för en flygning. Att skippa GPS lock och inte kalibrera kompassen är orsaken till de flesta multikopter krascherna. (Audronis 2014)

### 3.3 Lagar och begränsningar

I Finland finns det få existerande regler för multikoptrar eller andra obemannade luftfarkoster för hobby eller professionell användning. Detta kan bero på att myndigheterna har haft svårt att hänga med den snabba ökningen av obemannade luftfarkoster för hobby eller professionellt bruk. Vid tidpunkten av skrivandet av detta examensarbete är den nyaste luftfartslagen 7.11.2014/864. Enligt lagens 9 paragraf får Trafiksäkerhetsverket Trafi meddela föreskrifter i fråga om obemannade luftfarkoster om konsekvenserna för säkerheten och miljön förutsätter det och om inte något annat följer av EASA-förordningen (European Aviation Safety Agency). Dessutom ska riksomfattande amatörorganisationer inom luftfartsbranschen höras när föreskrifterna bereds. I samma 9 paragraf står det också att ”Obemannade luftfartyg får avvika från trafikreglerna för luftfart inom ett område som är förbjudet för annan luftfart eller som avskilts för flygning med obemannade luftfartyg, om det avvikande förfarandet är planerat och genomförs utan att flygsäkerheten äventyras”. I luftfartslagen nämns också obemannade luftfarkoster på andra ställen. Det står t.ex. i paragraf 70 att obemannade luftfarkoster med en operativ massa under 150 kg som används för bruksflyg, inte behöver registreras i luftfartygsregistret i Finland. (FörfS 7.11.2014/864)

I en artikel i Etelä-Suomen Sanomat från maj 2014 nämns det att Trafi just nu förbereder regler, eftersom det inte finns ikraftvarande lagstiftning eller officiella säkerhetskrav för multikoptrar (Uusitalo 2014). Sedan 18.2.2014 har Trafi haft ett utkast till föreskriften OPS M1-23 tillgänglig för allmänheten. Denna föreskrift berör dock endast multikoptrar som används för arbetsbruk. (Trafi 2014) Multikoptrar som används för hobby definieras som modellflygplan och de regleras av Finlands Flygförbunds inofficiella instruktioner. Enligt Trafis specialsakkunnig Taro Kuusiholma är det p.g.a. finansiella orsaker omöjligt att samtidigt fastställa regler för hobby och professionell användning (Uusitalo 2014). På Flygförbundets nätsida kan man hitta modellflygplans säkerhetsinstruktioner. Dessa är dock svårt att tillämpa för multikoptrar eftersom de fungerar på annat sätt än instruktionernas modellflygplan. (Finlands Flygförbund 2011)

Trafis utkast till föreskriften OPS M1-23 (24.9.2014) berör bruksflyg och följande är några centrala saker gällande obemannade luftfarkoster. Användningen måste t.ex. vara

inom LOS och startmassan får högst vara 25 kg, maximi avståndet 500 m och maximi höjden 150 m. Obemannade luftfarkosten ska lämna företräde för alla andra luftfarkoster och den som flyger luftfarkosten måste vara kunnig och minst 18 år gammal. Luftfarkosten måste också ha ett system eller ett sätt att avbryta flygningen när kontakten till styrningen och övervakningen bryts eller om den obemannade luftfarkosten får ett fel så att det inte går att styra den. (Trafik 2014)

Flygning ovanför bosättningsområdets tätbebyggda delar eller ovanför en grupp människor som samlats utomhus är inte tillåtet. Om flygbanans avstånd är under 70 m från dessa, får startmassan vara högst 5 kg. Om startmassan är över 5 kg måste avståndet vara minst 150 m. Flygning är förbjudet på natten och på andra områden där annan flygtrafik också är förbjudet. Dessa regler gäller inte användning av obemannad luftfarkost för polisens, tullens, räddningsverkets eller gränsbevakningens uppgifter. Genom ansökan kan Trafik bevilja undantag ifall de inte försämrar säkerheten och i ansökan måste man också redogöra för hur en motsvarande säkerhet kan uppnås. (Trafik 2014)

### 3.4 Olika lägen och funktionaliteter

Beroende på hur FC man har finns det olika lägen och funktionaliteter. Lägena definierar hur multikoptern stabiliseras och hur den beter sig, medan funktionaliteter mera är olika saker man kan göra med multikoptern. Eftersom alla FC:n har sina egna lägen och funktionaliteter tar jag bara upp de vanligaste. De kan kallas olika, men fungerar enligt samma princip.

- **Manual** läget, som också kallas Acro eller Rate läge, använder bara gyroskopet. I detta läge kontrolleras rullning, tippning och girning, men multikoptern självjusterar inte om man släpper kontrollspakarna, utan håller samma ställning och fortsätter att röra sig. (Liang 2013d)
- **Self-level** läget, som också kallas Attitude eller Stabilize läge, använder gyroskopet och accelerometern för att självjustera multikoptern när ingen annan kontroll inmatning finns. Multikoptern hålls plant men kan fortfarande röra sig åt vilket håll som helst. (Liang 2013d)

- **Care free** läget, som också kallas Simple-läge eller Course lock, tillåter att flyga multikoptern som om den alltid skulle vara riktad i den riktningen den var riktad när man satt på den, oberoende i vilken riktning den egentligen pekar. Om man håller tippningsspaken framåt flyger multikoptern ifrån en och om man håller spaken bakåt kommer den tillbaka mot en. Man kan även rotera multikoptern i någon riktning i gir-axeln, men rörelsen av multikopterns position i förhållande till kontroll inmatningen beter sig precis som den gjorde när man lyfte. När man sätter på multikoptern ska man i allmänhet stå bakom den med dess nos pekande ifrån en. När man flyger i detta läge ska man försöka hålla multikoptern framför positionen man lyfte ifrån, för att inte kontrollerna ska kännas motsatta. Detta läge är bra i nödsituationer när multikoptern är så långt ifrån en att man inte vet åt vilket håll den pekar. (Anderson 2015a)
- **Super Simple**, eller Home lock läget är det samma som Simple-läget, förutom att den använder multikopterns position i förhållande till var den lyfte istället för dess ursprungliga riktning som den pekade. Det betyder att var än multikoptern är, genom att hålla tippningsspaken bakåt, kommer multikopter tillbaka mot positionen där den lyfte, oberoende av i vilken riktning den pekar. (Anderson 2015a)
- **Altitude hold** läget, eller Baro läget som det också kallas, tillåter multikoptern att hållas på en viss höjd om ingen annan kontroll inmatning finns. Detta läge kräver barometer för att hålla höjden, accelerometer för att uppskatta accelerationen upp och ner samt gyroskop som har samma funktion och kontrolleras på samma sätt som i manual läget. (Liang 2013d)
- I **GPS-hold** läget, som också kallas GPS-attitude eller Loiter läge, försöker multikoptern automatiskt hålla samma position, riktning och höjd. Man kan flyga den helt normalt men när man släpper kontrollspakarna bromsar multikoptern och hålls på den positionen. (Anderson 2015b)

- I **Return to home** läget, som också kallas Return to launch eller GPS-home, navigerar multikoptern från sin nuvarande position till att sväva ovanför positionen den lyfte ifrån (Anderson 2015c). Vissa FC:n har i detta läge så att multikoptern även landar automatiskt på positionen den lyfte, medan andra har ett skilt läge för att landa automatiskt.
- I **Point of interest**, eller circle läget, kretsar multikoptern runt en fast punkt med nosen riktad mot mitten hela tiden (Anderson 2015d). Vissa FC:n tillåter att under en flygning ändra hastigheten hur snabbt den kretsar och ändra höjden, medan andra bara tillåter att ändra höjden.

## 4 FILMNING MED MULTIKOPTER

För att få så fint videomaterial som möjligt lönar det sig att öva mycket på att flyga en multikopter. På det viset lär man sig att flyga jämnt och multikopterns rörelser i luften blir mjukare. När man anser att man flyger tillräckligt jämnt och säkert kan man börja filma med den. Det enda man egentligen behöver är en kamera och ett sätt att fästa den på multikoptern, men det finns redskap som kan hjälpa att höja på kvaliteten av videon. Filmning med multikopter kan användas till många olika uppgifter och om man dessutom inte är kritisk över hur jämn videon är, är användningsområdet ännu bredare.

### 4.1 Gimbal

Kameran kan fästas på multikoptern med en Kardansk upphängning, en s.k. kamera gimbal. Gimbalen används för att motverka rotationen av multikoptern när den lutar genom att rotera kameran i motsatt riktning på gimbalen. På detta vis utjämnas multikopterns rotation och stabiliserar kameran. Vissa gimbaler är gjorda för en specifik kamera medan man på andra kan fästa olika kameror. Före man skaffar en gimbal ska man verifiera att den går att använda tillsammans med den kameran man tänker använda. (Audronis 2014)





*Figur 13. En 3-axlad Zenmuse Z15 kamera gimbal med servo drivsystem. (Jenny 2014)*

Det finns 2-axlade gimbaler som bara stabiliserar tippning och rullning och 3-axlade gimbaler, som dessutom stabiliserar girning. 2-axlade gimbaler används för att FPV flygare ska veta i vilken riktning de flyger. Äldre 3-axlade gimbaler lämnade kameran pekande i en riktning, oberoende i vilken riktning multikoptern pekade, vilket var förvirrande för FPV flygare. Nyare 3-axlade gimbaler dämpar rotationen i girning om multikoptern rycker till och fungerar som en stötdämpare för girning. Om man plötsligt roterar åt något håll, fördröjer gimbalen rörelsen och ökar sedan rotationshastigheten för att hinna ifatt nosen av multikoptern. (Audronis 2014)

Det finns också två olika slags drivsystem för gimbaler: servo och borstlös. Servo gimbaler är gammalmodiga och kan vara ojämna och långsamma att motverka multikopterns rörelse om man inte spenderar en massa pengar på dem. Borstlösa gimbaler är bättre än servo gimbaler, eftersom axeln flyter i ett magnetiskt fält, vilket gör att de inte rycker. Borstlösa gimbaler som kan hantera en stor kamera är dock dyra medan det finns mera urval för mindre kameror. Borstlösa gimbaler behöver ett eget kontrollkort för att veta när den ska rotera. Därför ska man alltid kontrollera att kontrollkortet kommer med när man köper en borstlös gimbal. Servo gimbaler kopplas oftast direkt till FC:n och FC:n sänder direkt information om vad multikoptern gör till servon. Detta minskar också fördröjningen mellan multikopterns rörelse och gimbalerens rörelse. (Audronis 2014)

## 4.2 FPV system

FPV systemen tillåter fotografen att se vad kameran ser och varje seriös multikopter fotograf behöver ett FPV system för att vara effektiv. Systemet består av fem komponenter: kameran, OSD dvs. onscreen display, videosändare, videomottagare och monitor. (Audronis 2014)

Det finns många olika kameror på marknaden som kan passa ens behov, men en viktig sak att beakta är hurdan typs sensorer kameran har. Orsaken till att HD kameror har blivit så små och energisparande är CMOS chipet. Fler kameror använder CMOS än CCD sensorer och största skillnaden mellan dem är att CMOS sensorer scannar nerifrån upp medan CCD sensorer fångar hela bilden på en gång. Metoden att scanna nerifrån upp kan leda till s.k. rolling shutter-effekt. Rolling shutter-effekten kan yttra sig på olika sätt men vanligtvis genom att saker som rör sig snabbt sidlänges i klippet ser ut att luta. Det här kan också skapa konstiga resultat om multikoptern vibrerar. Raka vertikala linjer i den tagna bilden kommer att slingra sig. P.g.a. detta vill man antingen ha en mycket snabb CMOS sensor eller en HD kamera med tre CCD sensorer. 3CCD kameror använder en individuell CCD sensor för varje färg: röd, grön, blå. Kameran ska också vara lätt och linsen lätt att putsa eftersom man ska putsa den före varje flygning. (Audronis 2014)

OSD är en komponent som tillåter en att se telemetri data från FC:n på videoflödet som kommer från kameran. Med hjälp av OSD vet man vad multikoptern gör, var den är i förhållande till varifrån den lyfte och mycket annan information som t.ex. hur mycket laddning batteriet har. Den får informationen genom att kopplas direkt till FC:n och den påverkar inte kamerans bilder eller videon utan sänder endast information via FPV systemet. (Audronis 2014)



Figur 14. Hur det ser ut på skärmen med OSD. (Audronis 2014)

Det är viktigt att använda en annan frekvens för videosändaren och videomottagaren än vad man använder för radiostyrningen. Det gör man för att minimera risken att störa signalen för styrningen. Liksom radiostyrningens sändare och mottagare är det också viktigt att videosändare och videomottagare är av samma tillverkare. Man ska också kontrollera att sändarens frekvens och effekt är laglig. Man ska inte använda FPV-glasögon förrän man är mycket erfaren att flyga FPV. Man uppfattar inte djup med glasögon och om någonting går fel och man tar av sig glasögonen kommer ögonen att vara förblindade av skillnaden i ljuset. Därför ska man kontrollera att mottagaren har en video utgång. Dessutom är inte en vanlig antenn lämplig för FPV. Man vill ha samma sensitivitet och effekt i alla riktningar, så en klöver antenn för både sändare och mottagare är också viktigt. (Audronis 2014)

Eftersom man största delen av tiden flyger utomhus är det viktigt att välja en monitor som är ljus och har mycket kontrast. Den ska också kunna få ström från ett batteri och vara lätt, för att kunna fästas på fjärrkontrollen med ett skilt fäste. Dessutom ska den ha ett solskydd så att solen inte bländar skärmen. (Audronis 2014)



Figur 15. Ett exempel på hur ett FPV system med klöverantennor kan vara uppsatt. (RotorDrone 2014)

### **4.3 Autonom flygning**

Med vissa FC:n kan man förvandla multikoptern till en fullständigt autonom drönare. Multikoptern använder Brytpunkt GPS Navigation Teknologi som tillåter den att flyga helt av sig själv med dess flygdestination eller punkter planerade i förväg och konfigurerade i FC:ns mjukvara. På detta vis vet multikoptern vart den ska flyga, på vilken höjd, med vilken hastighet och den kan dessutom konfigureras att sväva ovanför varje brytpunkt d.v.s. en punkt i fysiskt utrymme. Vissa mjukvaror är så avancerade att man kan programmera in upp till 500 brytpunkter. Brytpunkt GPS Navigation är i stort sett en rutt- och destinationsplanerare för multikoptern. (Corrigan 2014)

Autonoma flygningar används mer och mer i alla typer av platsundersökningar som husbyggen, underhåll av järnväg och vägar, kraftverk, dammar, arkeologi och miljöundersökningar. De används också för att inspektera grödor, stängsel, växthus och t.o.m. för att hitta bortsprunget boskap. Multikoptern kan flyga direkt till varje specifik position medan piloten koncentrerar sig på att filma och ta bilder. Den tar den kortaste vägen till varje brytpunkt för att spara på batteriet och när som helst under den autonoma flygningen kan piloten ta över kontrollen av multikoptern. (Corrigan 2014) Autonoma flygningar är dock olämpliga för professionell filmning eftersom klippet inte kommer att vara jämnt och stabilt, speciellt i svängningarna (Audronis 2014).

### **4.4 Kamerarörelser**

En viktig sak som man ska komma ihåg när man filmar med en multikopter är att alltid röra sig genom bilden. Det betyder att man börjar en tagning före den uppskattade början av ett klipp och slutar den mycket senare än den uppskattade slutpunkten. På detta vis har man i editeringen rum att spela med timingen. Om man t.ex. ska röra sig sidelänges förbi en person, ska man börja med personen klart utanför skärmen och sluta med personen klart utanför skärmen på andra sidan. (Audronis 2014)

Kran bilder är de simplaste bilderna. Ett exempel på en kran bild är att börja lågt och röra sig framåt för att stiga ovanför en byggnad. Man börjar med att sväva lite före positionen var man vill att tagningen ska börja och rör sig sedan framåt. Därefter stiger

man ovanför byggnaden och fortsätter ännu några sekunder efter att man tror att man har fått bilden. Det är viktigt att komma ihåg att använda små rörelser på kontrollspakarna. Små och mjuka rörelser ger bästa resultatet eftersom de minimerar skakningar i klippet och man träffar inte lika lätt några hinder. (Audronis 2014)

Dolly bilder kan vara enkla genom att röra sig framåt och bakåt, eller svåra genom att röra sig sidlänges. Dolly bilder sidlänges är speciellt svåra att utföra när man flyger FPV eftersom man inte ser vart man flyger och det är svårt att avgöra avståndet till ett objekt. Man driver lätt för nära eller för långt ifrån. Man utför en dolly bild genom att röra sig i någon riktning medan man genom att gira pekar linsen i önskad riktning och håller höjden genom att gasa. (Audronis 2014)

Genomflygningsbilder är bilder där man flyger igenom en öppning i ett objekt eller mellan dem. De är visuellt imponerande och mycket tekniska bilder. Man måste vara noggrann och varsam med kontrollspakarna för att utföra dessa rörelser. Om man flyger FPV lönar det sig att ha en observatör som håller ett öga på multikoptern och säger om man är på väg mot ett hinder. Dessa bilder kräver mycket övning och en simulator kan vara av stor nytta. Man ska inte försöka sig på dessa bilder förrän man är helt bekväm med styrspakarna och inte behöver tänka på dem. Man ska också flyga långsamt och mjukt och istället snabba upp klippet i editeringen om man vill att det ska gå snabbare. (Audronis 2014)

En s.k. orbit-by bild är när man rör sig i en båge medan kameran är riktad antingen mot eller ifrån mitten av bågen för att hålla målet i bild medan man rör sig. En inåt orbit-by är oftast bra för arkitektur eller människor, eftersom det förser dynamisk rörelse till statiska objekt. En utåt orbit-by är bra för objekt som rör sig med hög hastighet som t.ex. motorcyklar och bilar. Dessa bilder kan också användas för att få ett rörande objekt att verka röra sig snabbare eller långsammare, beroende på i vilken riktning man flyger. De kan vara svåra att utföra, eftersom man rör på båda kontrollspakarna samtidigt. (Audronis 2014)

En s.k. 360 orbit är precis samma som tidigare nämnda point of interest läget, förutom att det görs manuellt. Det är överlägset svåraste bilden att få rätt. Det är inte svårt att

kretsas runt någonting, utan att hålla rörelsen jämn medan man håller samma avstånd och målet i bilden. Det här är speciellt svårt med en 2-axlad gimbal. Man utför en 360 orbit genom att hålla båda kontrollspakarna vågrätt i motsatta riktningar. Ju mera man tippar desto mindre cirkel gör multikoptern. Det lättaste sättet att göra en 360 orbit är att gira lika mycket hela tiden och kontrollera hastigheten och avståndet till målet genom att tippa och rulla. (Audronis 2014)

Att flyga inomhus kan vara farligt och där är det speciellt viktigt att flyga långsamt. Före man börjar flyga ska man granska att det inte finns någonting som kan blåsa iväg. Man ska ta hänsyn till möjliga luftströmmar eftersom vilket objekt som helst kan skapa en luftström. Man ska också hållas ifrån väggarna och taket eftersom ju närmare man flyger, desto mer försöker de suga multikoptern mot dem. Dessutom ska man komma ihåg att man inte har någon GPS signal, barometern går inte fullständigt att lita på och kompassen kan störas av elektromagnetiska fält. Man kommer att driva och därför måste man vara mycket uppmärksam. Om man flyger inifrån ut kommer GPS:n att återansluta så fort den kan. Därför ska man kalibrera kompassen och utföra GPS lock strax utanför dörren eller fönstret som man kommer att flyga ut från. Om man inte gör det tror FC:n att man har drivit långt ifrån var man senast hade GPS lock och försöker korrigera det. Om det är möjligt ska man hellre flyga utifrån in och invertera klippet i editeringen för att fullständigt eliminera denna risk. (Audronis 2014) I DroneVODs video man kan se hur alla nämnda flygtekniker ser ut i verkligheten (DroneVOD 2014).

## **4.5 Användningsområden**

Hollywood studion och tv-producenter har länge försökt få rätt att använda multikoptrar, eftersom de ses som ett nytt sätt för dramatisk filmning till relativt billig kostnad. De hindrades av FAA:s (Federal Aviation Administration) stränga begränsningar mot all kommersiell användning av multikopter ända tills den 25 september 2014, då FAA beviljade reglerade undantag för sex film- och tv-produktionsbolag. Detta tillät dem att filma med multikopter i definierade stängda områden och sedan dess har fler och fler företag beviljats undantag. Tidigare hamnade amerikanska filmskapare ta sin produktion utomlands. Filmer som Harry Potter, Transformers och The Smurfs, för att nämna

några, har alla sekvenser som är filmade med multikopter, men filmades i länder med liberalare bestämmelser. (Pilkington 2014)

Multikoptrar kan också användas för att filma sportevenemang. I olympiska vinterspele-  
n 2014 i Sotji användes multikoptrar för att filma freestyle- och snowboardevenemang. I framtiden kanske man kan se multikoptrar användas också inom andra OS-grenar, eftersom ett företag redan har skapat en multikopter som kan följa en idrottare några meter ifrån, som enligt dem är perfekt för utförsåkning. Fastän direktsändning är knepigt och man behöver en extra sändare som tynger på multikoptern, kan man flyga multikoptern över 60 km/h medan man sänder direkt, HD video. Man har också använt multikoptrar i USA för att filma golf, formel 1, amerikansk fotboll samt cricket matcher i Australien och fotbollsmatcher i Brasilien (Lavigne 2014). I många länder hänger dock bestämmelserna för multikoptrar inte med den snabba utvecklingen och tv-bolagen vet nödvändigtvis inte att de kan användas lagligt. (Feltman 2014)

Förutom inom film- och tv-industri kan multikoptern också användas för många andra uppgifter för att spara tid och pengar. Vissa uppgifter nämnde jag redan tidigare i kapitlet autonom flygning och Trafiksäkerhetsverket Trafä har dessutom gjort en lista på vad en multikopter kan användas till. Till listan hör bl.a. utforskning, jakt- och fiskeövervakning, brand- och räddningsuppgifter, rör- och ledningsinspektioner samt utsläpp av föroreningar och avloppsvatten. (Trafä 2015)

## **5 AVSLUTNING OCH DISKUSSION**

Orsaken till att multikoptrarna verkar ha vuxit som svampar ur jorden på senaste tiden är p.g.a. att elektronik och komponenter som multikoptern använder först efter år 2000 börjat bli tillräckligt praktiska och små för att verkligen få dem att fungera. Det är inte först nu som man har börjat filma med radiostyrda luftfarkoster. Tidigare har man använt helikoptrar för detta ändamål, men eftersom multikoptern är symmetrisk och speciellt för att den har mindre vibration är orsaken varför den har gjort genombrott i video-produktion.

Med en multikopter kan man ersätta mycket dyr utrustning som t.ex. kranar och ändå få fantastiska resultat. En kran är begränsad av armens längd, dess radie och dess hävstångseffekt. En stor kran kan kosta över 1000 € per dag att hyra, kräva flera personer att operera och ta flera timmar att sätta ihop och ta isär. En multikopter har inga sådana begränsningar. En dolly är en annan traditionell utrustning som lätt kan ersättas med en multikopter. Oftast är det en eller två personer som skuffar dollyn, medan kameramannen åker på den. Med en multikopter kan man dessutom flyga över bord där hjul skulle stanna eller spåren skulle ses i bild.

När man filmar sportevenemang är multikoptern billigare och flexiblare än ett kamera kabelsystem. För sådana evenemang som inte har råd med ett kamera kabelsystem eller där man helt enkelt inte kan sätta upp ett sådant system är multikoptern ett ypperligt alternativ. För bilder som tidigare ha krävt en helikopter kan man nu använda en multikopter till. Den är tystare, billigare och dessutom kommer man närmare subjektet med en multikopter än med en traditionell helikopter. När det kommer till att filma sportevenemang är multikoptern säkerligen framtiden.

Medan jag undersökte multikoptern blev jag alltmer intresserad av den och fascinerad över hur simpel den egentligen är. Jag blev faktiskt så intresserad av den att jag köpte en flygsimulator att öva med och har som mål att inom närmaste framtiden köpa en egen multikopter. När jag köpte simulatören och började öva med den förstod jag direkt att jag hade gjort rätt val. Det kändes omöjligt att hålla multikoptern i luften och när jag svängde multikoptern för att flyga emot mig och kontrollerna var motsatta, var en krasch ett faktum. Även om jag har erfarenhet av att flyga helikoptrar i videospel, vilket hjälper till en viss del, kommer det att kräva mycket mer övning förrän jag är säker nog att flyga en över 1000 € investering.

Som fortsatt forskning föreslår jag att själv bygga en multikopter och med t.ex. bilder eller videon steg för steg gå igenom de olika faserna. Det skulle vara intressant att läsa om någon som i praktiken har gjort det jag har skrivit teoretisk bakgrund till.



## KÄLLOR

- Anderson, Chris, 2015a. *Simple and Super Simple Modes*. Tillgänglig: <<http://copter.ardupilot.com/wiki/flying-arducopter/flight-modes/simpleandsuper-simple-modes/>> Hämtad: 27.3.2015
- Anderson, Chris, 2015b. *Loiter Mode*. Tillgänglig: <<http://copter.ardupilot.com/wiki/flying-arducopter/flight-modes/loiter-mode/>> Hämtad: 27.3.2015
- Anderson, Chris, 2015c. *RTL Mode*. Tillgänglig: <<http://copter.ardupilot.com/wiki/flying-arducopter/flight-modes/rtl-mode/>> Hämtad: 27.3.2015
- Anderson, Chris, 2015d. *Circle Mode*. Tillgänglig: <<http://copter.ardupilot.com/wiki/flying-arducopter/flight-modes/circle-mode/>> Hämtad: 27.3.2015
- Audronis, Ty, 2014. *Building Multicopter Video Drones* [Kindle version] Packt Publishing. Tillgänglig: <<https://www.packtpub.com/hardware-and-creative/building-multicopter-video-drones>> Hämtad: 19.3.2015
- Corrigan, Fintan, 2014. *Drone Waypoint GPS Navigation Technology And Uses Explained*. Tillgänglig: <<http://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/drone-waypoint-gps-navigation-technology-explained/>> Hämtad: 3.3.2015
- DroneVOD, 2014. *Demo 2k14 (first half)*. Tillgänglig: <<https://www.youtube.com/watch?v=rnujaCRAhFI&spfreload=10>> Hämtad: 9.4.2015
- Dunn, Terry, 2013. *Joining the Quad Squad: How To Get Started with RC Quadcopters*. Tillgänglig: <<http://www.tested.com/art/makers/459457-joining-quad-squad-how-get-started-rc-quadcopters/>> Hämtad: 26.3.2015
- Federal Aviation Administration, 2014. *Press Release – U.S. Transportation Secretary Foxx Announces FAA Exemptions for Commercial UAS Movie and TV Production*. Tillgänglig: <[http://www.faa.gov/news/press\\_releases/news\\_story.cfm?cid=TW251&newsId=17194](http://www.faa.gov/news/press_releases/news_story.cfm?cid=TW251&newsId=17194)> Hämtad: 23.3.2015
- Feltman, Rachel, 2014. *The Future of Sports Photography: Drones*. *The Atlantic*. Tillgänglig: <<http://www.theatlantic.com/technology/archive/2014/02/the-future-of-sports-photography-drones/283896/>> Hämtad: 9.4.2015
- Finlands Flygförbund, 2011. *YLEISET LENNOKKITURVALLISUUSOHJEET*. Tillgänglig: <<http://ilmailu.fi/node/861>> Hämtad: 31.3.2015

FörfS 7.11.2014/864. *Luftfartslag*. Tillgänglig:  
<<https://www.finlex.fi/sv/laki/ajantasa/2014/20140864?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=luftfartslag>> Hämtad: 31.3.2015

Gentile, Paul, 2012. Rise of the Multicopter. *Model Aviation*. Tillgänglig:  
<<http://modelaviation.com/riseofmulticopter>> Hämtad: 16.2.2015

Jenny, Elizabeth, 2014. Review: DJI S800 Spreading Wings Hexacopter. *RotorDrone*. Tillgänglig: <<http://www.rotordronemag.com/review-dji-s800-spreading-wings-hexacopter/>> Hämtad: 23.3.2015

Kommunikationsverket, 2015a. *Föreskrift om samfrekvenser för radiosändare som befriats från kravet på tillstånd och om användningen av dem*. Tillgänglig:  
<[https://www.viestintavirasto.fi/attachments/maaraykset/Viestintavirasto15AH2015M\\_ru.pdf](https://www.viestintavirasto.fi/attachments/maaraykset/Viestintavirasto15AH2015M_ru.pdf)> Hämtad: 7.4.2015

Kommunikationsverket, 2015b. *Frekvensallokeringstabellen*. Tillgänglig:  
<[https://www.viestintavirasto.fi/attachments/maaraykset/Taajuusjakotaulukko\\_06022015\\_ru.PDF](https://www.viestintavirasto.fi/attachments/maaraykset/Taajuusjakotaulukko_06022015_ru.PDF)> Hämtad: 7.4.2015

Kommunikationsverket, 2015c. *Köpguide för radioutrustning*. Tillgänglig:  
<[https://www.viestintavirasto.fi/attachments/Radioutrustning\\_kopguide.pdf](https://www.viestintavirasto.fi/attachments/Radioutrustning_kopguide.pdf)> Hämtad: 7.4.2015

Lavigne, Paula, 2014. Eyes in the sports sky. *ESPN*. Tillgänglig:  
<[http://espn.go.com/espn/otl/story/\\_/id/10974559/drones-use-ucla-mlb-starting-show-more-sports-fields-coaches-embrace-technology](http://espn.go.com/espn/otl/story/_/id/10974559/drones-use-ucla-mlb-starting-show-more-sports-fields-coaches-embrace-technology)> Hämtad: 9.4.2015

Liang, Oscar, 2013a. How to choose Motor and Propeller for Quadcopter and Multicopter. *OscarLiang.net*, 10 oktober 2013. Tillgänglig:  
<<http://blog.oscarliang.net/how-to-choose-motor-and-propeller-for-quadcopter/>> Hämtad: 19.3.2015

Liang, Oscar, 2013b. Build A Quadcopter From Scratch – Hardware Overview. *OscarLiang.net*, 25 juni 2013. Tillgänglig: <<http://blog.oscarliang.net/build-a-quadcopter-beginners-tutorial-1/>> Hämtad: 19.3.2015

Liang, Oscar, 2013c. How To Choose RC Transmitter For Quadcopter. *OscarLiang.net*, 3 oktober 2013. Tillgänglig: <<http://blog.oscarliang.net/choose-rc-transmitter-quadcopter/>> Hämtad: 19.3.2015

Liang, Oscar, 2013d. Multiwii Different Flight Modes Names in GUI. *OscarLiang.net*, 3 November 2013. Tillgänglig: <<http://blog.oscarliang.net/multiwii-different-flight-modes-names-gui/>> Hämtad: 27.3.2015

Liang, Oscar, 2014. Carbon Fibre Props VS Plastic Propeller. *OscarLiang.net*, 25 juni 2014. Tillgänglig: <<http://blog.oscarliang.net/carbon-fibre-props-plastic-propeller/>> Hämtad: 19.3.2015

Liang, Oscar, 2015. Rate/Acro Mode VS Horizon/Self-Level Mode. *OscarLiang.net*, 15 mars 2015. Tillgänglig: <<http://blog.oscarliang.net/rate-acro-horizon-flight-mode-level/>> Hämtad: 23.3.2015

Madaan, Pushek, 2013. *Brushless DC Motors--Part II: Control Principles*. Tillgänglig: <<http://www.edn.com/design/sensors/4407580/Brushless-DC-Motors-Part-II--Control-Principles>> Hämtad: 23.3.2015

Miller, Lucien, 2014. The heart and soul of a multi-rotor machine. *MultiRotor Pilot*. Tillgänglig: <<http://multirotorпилotmag.com/flight-controller-boards/>> Hämtad: 16.2.2015

multicopter.forestblue.nl, 2012. *multicopter basics*. Tillgänglig: <[http://multicopter.forestblue.nl/multicopter\\_basics.html](http://multicopter.forestblue.nl/multicopter_basics.html)> Hämtad: 22.3.2015

National Instruments, 2003. *What is a Pulse Width Modulation (PWM) Signal and What is it Used For*. Tillgänglig: <<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/294E67623752656686256DB800508989>> Hämtad: 19.3.2015

Newell, Martin, 2010. *The Case for Mode 4 Transmitters, or, "How North America Got It Wrong", or, "How Most of the Planet Got It Wrong"*. Tillgänglig: <[http://mnewell.rchomepage.com/Techniques/Tx\\_Modes.pdf](http://mnewell.rchomepage.com/Techniques/Tx_Modes.pdf)> Hämtad: 19.3.2015

Oxford University Press, 2015. *Oxford English Dictionary Online*. Tillgänglig: <<http://www.oed.com/view/Entry/29297?redirectedFrom=cavitation#eid>> Hämtad: 23.3.2015

Phalen, Tony, 2014. Airtronics SD-10G 2.4GHz 10-Channel Computer Radio System. *Fly RC*. Tillgänglig: <<http://www.flyrc.com/airtronics-sd-10g-2-4ghz-10-channel-computer-radio-system/>> Hämtad: 23.3.2015

Pilkington, Ed, 2014. Game of drones: production companies in the US cleared to film with aircraft. *The Guardian*. Tillgänglig: <<http://www.theguardian.com/world/2014/sep/25/drone-use-approved-film-and-tv-production-us-faa>> Hämtad: 9.4.2015

RotorDrone, 2014. A View from Above. *RotorDrone*. Tillgänglig: <<http://rotordronemag.com/view-2/>> Hämtad: 11.4.2015

Thomas, Jespersen, 2012. QuadCopters – How to get started. *TKJ Electronics*, 27 mars 2012. Tillgänglig: <<http://blog.tkjelectronics.dk/2012/03/quadcopters-how-to-get-started/>> Hämtad: 11.3.2015

Trafi, 2014. *Ändring till luftfartsföreskriften OPS M1-23 på remiss*. Tillgänglig: <[http://www.trafi.fi/sv/trafi/aktuellt/2519/andring\\_till\\_luftfartsforeskriften\\_ops\\_m1-23\\_pa\\_remiss](http://www.trafi.fi/sv/trafi/aktuellt/2519/andring_till_luftfartsforeskriften_ops_m1-23_pa_remiss)> Hämtad: 31.3.2015

Trafi, 2015. *Miehittämättömät ilma-alukset*. Tillgänglig:  
<[http://www.trafi.fi/ilmailu/lentokelpoisuus/miehittamattomat\\_ilma-alukset](http://www.trafi.fi/ilmailu/lentokelpoisuus/miehittamattomat_ilma-alukset)> Hämtad:  
9.4.2015

Uusitalo, Kaisa, 2014. Kamerakopteri lentää lainsäädännön edellä - katso kuvat ja video!. *Etelä-Suomen Sanomat*. Tillgänglig:  
<<http://www.ess.fi/uutiset/kotimaa/2014/05/16/kamerakopteri-lentaa-lainsaadannon-edella---katso-kuvat-ja-video>> Hämtad: 31.3.2015

Vorkoetter, Stefan, 1997. An Electronic Speed Control Primer. *Sailplane & Electric Modeler*. Tillgänglig: <<http://www.stefanv.com/electronics/escprimer.html>> Hämtad:  
22.3.2015

Vorkoetter, Stefan, 2003. The Battery Eliminator Circuit. *Quiet Flyer*. Tillgänglig:  
<<http://www.stefanv.com/electronics/qf200312.html>> Hämtad: 22.3.2015