

## **Getallen voor modelbouwers.**

Vuistregels toegesneden op elektro-vliegtuigen, géén brandstof.

Als rekensommetjes met Volts, Watts en Amperes je niet zoveel zeggen kun je onderaan dit document een nadere uitleg hierover vinden.

## **Elektrisch vliegen.**

Tot voor een paar jaar geleden waren modelvliegers aangewezen op miniatuur brandstofmotoren. Op zich geen probleem, men was gewoon niets anders gewend. De vroegere brandstofmotoren maakten veel lawaai, en dat imago hebben ze nog steeds. Er is daar de laatste jaren echter veel veranderd. De motoren zijn b.v. veel geruislozer geworden. Door steeds strengere milieu-eisen krijgen modelvliegclubs echter steeds meer problemen met brandstofmotoren.

De eerste elektromotoren voor modelvliegtuigen waren naar verhouding zwak en de toen veel gebruikte NiCad-batterijen waren zwaar en hadden niet veel vermogen. Gaandeweg werden de elektromotoren kleiner en krachtiger. Na de motoren met klassieke koolborstels kwamen de zogenaamde borstellloze motoren en de NiCad accu's worden ingewisseld voor de zogenaamde LiPo-accu's die veel lichter en krachtiger zijn. Vandaag de dag kan gesteld worden dat een vliegtuig uitgerust met een elektro-aandrijving géén beperkingen meer heeft ten opzichte van zijn brandstof-broertje. Sterker nog, een elektro-aandrijving heeft vele voordelen.

- De motor is lichter waardoor een modelvliegtuig als geheel ook lichter kan worden.
- Een elektromotor geeft tijdens het draaien veel minder trillingen af zodat de constructie van het vliegtuig lichter kan zijn (= lager vlieggewicht).
- Je hebt niet te maken met grote cilinders en uitlaten die weggewerkt moeten worden. Een schaalmodel kan zo veel meer “schaal” gebouwd worden.
- Voor beginners zijn brandstofmotoren lastiger af te stellen. Een elektromotor “doet” het gewoon
- Er zijn de tegenwoordig steeds belangrijkere milieuvoordelen (minder lawaai, stank, vervuiling en weglekkende brandstof)

Zelfs de aanhangers van dat “lekkere geluid” van een brandstofmotor worden op hun wenken bediend. Er zijn tegenwoordig kleine versterkertjes en luidsprekertjes te koop die in een modelvliegtuig gebouwd een levensecht geluid geven. Het is echter wél een stuk beheersbaarder.

## **Algemeen**

De accu's

Tegenwoordig wordt gebruik gemaakt van LiPo accu's. LiPo staat voor Lithium Polymeer. Deze paren een laag gewicht aan een grote capaciteit. Een LiPo is opgebouwd uit cellen met een nominale spanning van 3,7 volt. Zet je er twee achter elkaar dan tellen de voltages op (in dit geval tot 7,4 volt). Dit wordt dan opgegeven met de aanduiding 2S. Zet je de cellen naast elkaar dan verdubbel je het vermogen. Dit wordt aangeduid met 2P. Een accu waarop staat 3S2P is opgebouwd uit 3 cellen achter elkaar en twee naast elkaar.

3S: Dat is dus 3 x 3,7 volt is 11,1 volt onbelast.

2P: Stel dat één rij van drie accu's een vermogen heeft van 1000 mAh dan hebben 2 rijen naast elkaar (2P), samen een vermogen van 2000 mAh.

Om een LiPo te laden is een daarvoor geschikte lader noodzakelijk. Let daarmee op!

De motoren

Waar vroeger de stroom in de motor werd overgebracht met (kool)borstels zijn er nu zogenaamde 'borstelloze' motoren. Verder worden tegenwoordig veelal zogenaamde buitenlopers gebruikt waarbij de buitenkant van de motor het draaiende deel is. Het voordeel hiervan is een groter koppel en dus meer kracht.

De regelaar (ESC)

Voor borstelloze motoren is een zogenaamde regelaar nodig om het ding te laten draaien. Deze moet afgestemd zijn op de capaciteit van de motor.

Stroomvoorziening ontvanger en servo's

Bij brandstofvliegtuigen wordt daarvoor een aparte accu gebruikt. Bij elektro vliegen kan dat met de vlieg-accu voor de motor maar er zijn ook andere voorzieningen mogelijk (Bec).

---

## **Veiligheidsaanwijzingen.**

**Een elektromotor met een propeller er aan is géén speelgoed. Het is zelfs een gevaarlijk stuk gereedschap. Besteedt er evenveel zorg aan en ben er even voorzichtig mee als je zou zijn met een cirkelzaag!**

**Blijf altijd achter de propeller. Reik er niet overheen om wat voor reden dan ook. Bedenk, het is een cirkelzaag zonder enige vorm van bescherming.**

**Verwijder ALTIJD de propeller indien de motor verbonden wordt met de batterij en er niet gevlogen gaat worden!**

**Er zijn vele voorbeelden op Internet en in modelmagazines van verhalen van vliegtuigen die spontaan van een werkbank afvliegen en propellers die door vingers, gezichten, huisdieren en lichaamsdelen van andere mensen snijden.**

**Er is NOOIT maar dan ook nooit een reden om een draaiende motor in je hand te houden en zéker niet als er een propeller aan vast zit.**

**Een draaiende motor is altijd gezekerd aan het frame van een vliegtuig, of een motor-testbank.**

**Leg NOOIT een motor op een oppervlak zonder eerst alles opgeruimd te hebben. Zéker kleine losse metalen onderdeeljes, aangetrokken door de magneten in de motor, wil je niet in een draaiende motor hebben.**

---

## Het aansluiten van motor, regelaar en accu

De (borstelloze) elektro-aandrijving bestaat tegenwoordig uit 3 componenten.

- De motor,
- De regelaar
- de accu

Uit de motor komen drie draden, **Rood**, Zwart, **Blauw**.

Uit de regelaar komen aan twee kanten draden naar buiten.

- Aan de ene kant **Rood** (+) Zwart (-) en het draadje voor de ontvanger,
- Aan de andere kant zitten 3 zwarte draden.

Als laatste de accu, waar twee draden uitkomen, een **Rood** (+) en een Zwart (-)

Het aansluiten:

- Sluit de rode en zwarte draad uit de accu aan op de rode en zwarte draad van de regelaar. Vanzelfsprekend rood bij rood en zwart bij zwart.
- De drie zwarte draden uit de regelaar willekeurig aansluiten op de drie gekleurde draden van de motor. Blijkt de motor de verkeerde kant uit te draaien dan wissel je twee van deze draden om.

Let op! wissel nooit de aansluiting naar de accu om om de draairichting te veranderen. Dat kost je een regelaar...

### 1: Koop het vermogen per kilo.

De eerste getallen hebben betrekking op het motorvermogen (het aantal Watt's) dat je voor je vliegtuig nodig hebt.

Foamie, motorzwever, Piper Cub	100 watt per kilogram
Trainer	150 watt per kilogram
Sport, warbird	200/ 250 watt per kilogram
3D, Racer	300 watt per kilogram
EDF (Electric Ducted Fan), Jet	400 watt per kilogram

Voorbeelden:

Een Hurricane (oorlogsvliegtuig/ warbird) van 3 kilogram met een spanwijdte van 150 cm heeft een motorvermogen nodig van 600 watt. Een Calmato trainer van 2,5 kilogram heeft een motor van 375 watt nodig

### 2: Welke kracht stuwt ons vooruit

De tweede getallen geven ons een idee hoeveel statische voortstuwingskracht je kunt verwachten van een bepaald type motor. Deze waarden geven je een idee wat mogelijk is (en wat niet). Dit geldt alleen voor een voortstuwingsysteem dat normaal presteert.

<i>Brushless outrunner (borstelloze buitenloper):</i>	<i>4gr per watt</i>
<i>EDF:</i>	<i>2gr per watt</i>
<i>Brushless 'inline':</i>	<i>2gr per watt</i>
<i>Brushless 'inline' met vertraging:</i>	<i>5gr per watt</i>

Voorbeelden:

Een oorlogsvliegtuig met een 1000 watt borstelloze buitenloper beschikt over 4 kilogram voortstuwingskracht. Een EDF jet met een 600 watt motor heeft 1200 gr. voortstuwingskracht.

### 3: Krachtige paarden (Omrekenen van Watts en PK's )

De derde getallen zijn feitelijk gebaseerd op een formule

$Watt = Volt \times Ampere$  (Je ziet voor Watt ook vaak de afkorting VA, ofwel Volt x Ampere)

$Volt = Watt / Ampere$

$Ampere = Watt / Volt$

Wat heeft dat met paarden te maken? Wel, je kunt Watts omrekenen naar paardenkrachten ( PK) en omgekeerd met de volgende regels:

1000 Watt is 1,34 PK

1 PK is 750 Watt

Voorbeeld:

Een trainer met een 12 volt batterij van 40 Ampère levert 480 Watt, of (afgerond) 0,65 PK.

Note that the same plane having the same performance in IC would use a .40ci engine providing 1HP, which is 750watts... This is because electrics have a better efficiency, with more power at lower rpms. A similar phenomenon applies to diesel vs. petrol cars. The diesel drives better even if both cars have the same 95HP.

### 4: Het gaat er heet aan toe!

Electrische motoren worden bij gebruik warm. Om te weten hoeveel te warm zonder dat de wikkelingen "gaan gloeien" kan deze vuistregel gebruikt worden.

*Propellorvliegtuig: motorgewicht in grammen x 3 = maximum aantal watts.*

*EDF: motorgewicht in grammen x 5 = maximum aantal watts.*

Voorbeelden:

Een brushless outrunner van 235 gram kan voor korte tijd (< 1 minuut) 705 watt trekken.

Een inrunner van 200 gram in een EDF overleeft in die tijd 1000 watt.

Natuurlijk wordt hierbij uitgegaan van een correcte installatie en koeling.

Deze regel geldt overigens alleen voor borstelloze motoren. De klassieke borstel motoren gaan tot maximaal hun eigen gewicht in Watt...

### 5: Weerstand is nutteloos

Goud geleid stromen uitstekend met een lage weerstand. Het nadeel van goud is echter het gewicht en de prijs. Dat is de hoofdreden dat voor elektrische bedrading koper wordt gebruikt. Koper heeft wél een hogere weerstand en dat veroorzaakt een hogere warmte-ontwikkeling. Dit vermindert het beschikbare vermogen om te vliegen.

Om dit te vermijden moeten altijd draden van voldoende dikte worden gebruikt

Tot 25 Ampère: 1,5 mm<sup>2</sup> draden (15 AWG)

Tot 60 Ampère: 2,5 mm<sup>2</sup> draden (13 AWG)

Tot 100 Ampère: 4 mm<sup>2</sup> draden (11AWG)

Niet alleen de draden, maar ook de connectoren/ stekkers moeten de stromen kunnen verwerken. Hier geldt: Groter is beter.

### 6: Rondjes draaien

Altijd al willen weten waar de beroemde 'KV' voor staat?

Dit staat voor het aantal 'nominale' omwentelingen per volt bij een elektromotor op een modelvliegtuig.

$$\text{tpm} = \text{KV} \times \text{volts} \times \frac{3}{4}$$

Voorbeelden:

Een 1200 KV borstelloze buitenloper verbonden met een stroombron van 10 volt zal 9000 toeren per minuut maken.

Een 4200 KV binnenloper op 10 volt zal 31500 tpm draaien

### 7: Is hij nou vol of leeg?

Het voltage per cel van NiMh batterijen is 1,2 volt en LiPo's hebben 3,7 volt per cel.

Deze nominale waarden zijn wat verwarrend. De werkelijke waarden hangen af van wat je wilt weten. Om bijvoorbeeld het wattage (vermogen) van een krachtbron te meten moet je dit meten bij 'volgas'. Wanneer je echter wilt weten of de batterij vol of leeg is dan meet je het voltage zonder (géén) belasting (Idle).

De waarden hieronder geven je een idee van het normale gangbare cel-voltage.

*Lipo in volle vlucht (motor full power): 3,3 volts*

*Lipo volledig geladen, onbelast: 4.1 volts*

*Lipo leeg, onbelast: 3.7 volts*

*NiMh in volle vlucht (motor full power): 1.1 volts*

*NiMh volledig geladen, onbelast: 1.4 volts*

*NiMh leeg, onbelast: 1.2 volts*

Voorbeeld:

Om 300 watt geleverd te krijgen van een krachtbron heb je een 3-cel LiPo nodig of een 9 cel NiMh batterij. De motor moet dit belasten met ongeveer 30 Ampere.

- 3 cel LiPo = ongeveer 10 volt.
- Watt = volt x Ampere. 10 x 30 = 300 Watt.

Hier zijn de (afgeronde) voltages van LiPo's in volle vlucht (belast)

2S = 7 volts,

3S = 10 volts,

4S = 13 volts,

6S = 20 volts,

10S = 33 volts.

## 8: Snelheid en propellers

Het kiezen van een propeller is niet makkelijk

De meeste mensen kijken bij de kiezen de diameter van een propeller alleen zo dat de motor niet teveel stroom trekt. De spoed van de propeller wordt echter verwaarloosd.

Niets is beter dan een testvlucht, maar hier zijn wat vuistregels die je kunnen helpen bij de keuze van een propeller

Snelheid in de lucht in Km/u = spoed (in Inches) x tpm / 800

Snelheid in de lucht in Km/u = spoed (in centimeter) x tpm / 2000

Voorbeeld:

Een 'Big trainer' heeft een grote 14 x 4 " propeller die 8000 toeren per minuut draait. Dit resulteert in een snelheid van 40 km/u.

Een 11 x 8 " propeller met 11000 tpm geeft echter 110 Km/u en die heb je niet nodig.

De beste keuze is waarschijnlijk een 13 x 6 " propeller die 9600 toeren draait. Deze combinatie geeft een topsnelheid van 72 Km/u.

Deze regel geldt voor alle modelvliegtuigen, zowel brandstof als elektro.

## 9: Masters of the 'C'

De sticker op je gloednieuwe LiPo's melden "15-20C" maar er staat ook nog ergens een "1C" vermeld. Wat zegt dat nou?!

De "1C" (meestal in kleine letters) geven aan dat de maximale Laadstroom gelijk is aan één keer de capaciteit van de batterij. Als je een 2200 mAh batterij met de aanduiding "1C" aan je lader hangt dan kun je hem dus met maximaal 2,2 Ampere laden en "2C" met 4,4 Ampère. Je hebt daarvoor echter een lader nodig die dat ook aan kan. Laden met 1C is gebruikelijk.

De 15-20 C rating gaat over wat een accu aan kan. Het geeft de maximale stroom aan die de accu kan leveren uitgedrukt in aantal malen de capaciteit. De "15-20C" aanduiding geeft aan dat je de batterij kunt ontladen met een stroom gelijk aan 15 keer de capaciteit, en kortdurend zelfs tot 20 keer kunt gaan, zonder schade aan de batterij te veroorzaken. Een accu van b.v. 30 C van 2000 mAh kun je met 30 x 2000 mAh = 60 Ampere constant ontladen. Een 30C ontlad pas sneller dan een 15C als je meer dan 15C nodig hebt om te vliegen en dat is afhankelijk van wat de motor nodig heeft.

Fabrikanten zijn hierbij echter te optimistisch. Vergeet bij de "15-20C" aanduiding het tweede getal en probeer de piek-ontlading onder het eerste te houden.

Een realistische ontladestroom kan op de volgende manier worden berekend:

Max ontladestroom op de grond = (1e nummer) C x capaciteit / 1250

Max ontladestroom gedurende 1 minuut = (1e nummer) C x capaciteit / 1500

Max ontladestroom continue = (1e nummer) C x capaciteit / 2000

Voorbeeld:

Een 3000 mAh '20/30C' batterij moet gedurende enkele seconden tegen een ontladstroom van 60 Ampere kunnen. De batterij zal ook een take-off met een ontladstroom van 48 Ampere goed moeten kunnen overleven. Een hele vlucht met afwisselend slow passes en vol gas met 40 Ampere moet kunnen en continue ontlading op 30 Ampere mag geen probleem zijn.

Los van elke "C" waarde moet je er aan denken óók de batterij te koelen door te zorgen voor voldoende luchtstroom langs de batterij. En, wordt batterij te heet, dan is de C-waarde te laag gekozen!

### **10 The heat is on!**

Deze getallen heb je alleen nodig bij een setup die zwaar (tot aan zijn opgegeven maximum) wordt belast. Beter is het om deze zodanig te kiezen dat de belasting binnen de perken blijft zodat je spulletjes veel minder warm/ heet worden. Nadeel daarvan is dat het duurder (en zwaarder) is. Voordeel: het gaat langer mee. Bovendien, hitte is energie die verloren gaat.

Om een brandstofmotor te koelen hoef je alleen maar een paar gaten in de motorkap te maken. Een vliegtuig met elektromotor heeft behalve de motorkoeling echter óók koeling nodig voor de regelaar en batterijen. De warme lucht moet het vliegtuig ook ergens uit kunnen zodat daarvoor uitstroomopeningen nodig zijn.

Alleen, hoe groot moeten die gaten zijn?

Oppervlak instroomopeningen (cm<sup>2</sup>) = aantal Watts gedeeld door 40

Oppervlak uitstroomopeningen (cm<sup>2</sup>) = aantal Watts gedeeld door 30

Voorbeeld:

Een model van een oorlogsvliegtuig dat 1000 Watt gebruikt heeft instroom-openingen nodig van 25 cm<sup>2</sup> ( 1000 / 40). De uitstroom-openingen achter de batterij moeten 33 cm<sup>2</sup> zijn ( 1000 / 30) om de hete lucht kwijt te kunnen raken.

Het zal opvallen dat de uitstroom-openingen groter zijn dan de instroom-openingen om ophoping van warme lucht te voorkomen.

### **11: Controleer de inwendige weerstand.**

Moderne batterijen leveren uitstekende prestaties dankzij een erg lage interne weerstand (R<sub>i</sub>). Wat dat betreft is echter niet iedere batterij gelijk. Om twee verschillende merken te vergelijken, of om te weten te komen of een oudere batterij nog steeds geschikt is om mee te vliegen is het noodzakelijk de interne weerstand (R<sub>i</sub>) te meten.

Alles wat je daarvoor nodig hebt is een voltmeter en Ampère meter. Een meter die het aantal watts kan meten combineert beide functies

- Meet het voltage 'V1' gedurende een belasting (ontlading) met de waarde 'A1' die gelijk is aan ongeveer 1 C.
- Meet het voltage 'V2' gedurende een belasting (ontlading) met de waarde 'A2' die gelijk is aan ongeveer 10 C.

$$R_i = (V1 - V2) / (A2 - A1)$$

Voorbeeld: Op een nieuwe 2200 mAh LiPo van 3 cellen meet je 11,4 volt bij een belasting van 2,2 Ampere (1 C) en 10,5 volt bij een belasting van 22 Ampere.

De interne weerstand (R<sub>i</sub>) van de batterij is dan (11.4 - 10.5) / (22 - 2.2) = 0.045Ω.

Dit betekent dat de weerstand (R<sub>i</sub>) van een enkele cel 0.015Ω is

Een paar maanden later vliegt je vliegtuig niet meer zoals je gewend bent. Je meet de Ri weer met 11.2 volts bij 2.2A en 9.5 volts bij 22A, wat 0,086Ω oplevert. Dat betekent dat de batterij de helft van zijn capaciteit heeft verloren....

Om echt betekenis te hebben moet de Ri gemeten worden in standaard omstandigheden. Verschillen in temperatuur en niveau van (ont)lading zijn direct van invloed op de meetresultaten. Het makkelijkste kan de Ri gemeten worden op een vers geladen batterij-pack op een gelijkmatige omgevingstemperatuur.

### **12: Hoe lang kun je boven blijven**

Met de volgende regels kun je inschatten hoe lang de vliegtijd is bij gebruik van een bepaalde batterij.

Wedstrijd of 'volgas' :

Aantal vliegseconden = capaciteit (mAh) x 4,2 / maximum ontladestroom.

Aerobatics:

Aantal vliegseconden = capaciteit (mAh) x 7 / maximum ontladestroom.

Rustig vliegen:

Aantal vliegseconden = capaciteit (mAh) x 11 / maximum ontladestroom.

Voorbeelden:

FunJet race gebruikt een 2.400mAh batterij, ontladestroom 42A Max:

$2400 \times 4.2 / 42 = 240$  seconden, of 4 minuten.

F3A aerobatics gebruikt een 4100mAh batterij, ontladestroom 52A Max:

$4100 \times 7 / 52 = 552$  seconden, of 9 minuten.

Piper Cub flight gebruikt een 3000mAh pack op 34A Max:

$3000 \times 11 / 34 = 970$  seconden, of 16 minuten.

### **13: Vlieg langer, stop er een cel bij!**

Het laatste magische nummer geeft je een schatting van de hoeveelheid Energie (vermogen) die een batterij bevat. (In deze berekeningen wordt de nominale waarde van 3,7 volt in een LiPo-cel gebruikt.)

Energie (E) = capaciteit (in Ah) x voltage

Wist je bijvoorbeeld dat je langer kunt vliegen met een 3S 1000 mAh LiPo dan met een 2S 1300 mAh? Inderdaad! Om hetzelfde te kunnen vliegen moet de 2S op 7,4 volt, ontladen worden met 13,5 Ampere om 100 watt vermogen te krijgen. De 3S LiPo (op 11,1 volt) geeft met een ontladestroom van 9 Ampere hetzelfde vermogen.

Het magische getal zegt hetzelfde:

Energie in de 2S batterij:  $1.3 \times 7.4 = 9.62$

Energie in de 3S batterij:  $1 \times 11.1 = 11.1$

In de 3S-batterij zit dus méér energie.

Met gebruikmaking van de formule uit alinea 11 krijgen we een zorgeloze vlieg-tijd van 20 minuten voor de 3S versus 18 minuten voor de 2S batterij. De lagere ontladestroom (de "C" waarde) van de 3S betekent bovendien een langere levensduur voor de batterij.

Sommige mensen zullen zeggen dat een lager voltage een grotere propellor en méér efficiëntie betekent. Dat is waar, maar de hogere "C" waarde (ontlading) en stroom in de



motor veroorzaken verliezen die de verwachte voordelen te niet doen.

#### **14: Wat mag het wegen?**

De verhouding tussen het gewicht en het vermogen verbetert nog steeds. De oude NiCad batterijen waren zwaar in vergelijking met de huidige LiPo's en de huidige borstelloze elektromotoren zijn bij een bepaald vermogen veel lichter als de oude borstelmotoren. In ieder geval zullen motor en accu een bepaald percentage van het totale gewicht van het vliegtuig gebruiken. Hierbij wordt het gewicht inclusief motor en accu genomen.

Hiervoor gelden op het moment de volgende vuistregels:

- Motor 10% van vlieggewicht,
- Accu 20% van vlieggewicht

### **VOORBEELDEN**

#### **Uitwerking van het voorbeeld van een P-40 Svenson (170 cm span, 4 kg Tot.Gew, Motor HTX50-55)**

De motor is een borstelloze buitenloper en heeft een maximum van 51 Ampere met een 6S LiPo

Volgens alinea 7 betekent 6S 'in de vlucht' ongeveer 20 volt zodat we het vermogen kunnen schatten op  $20\text{ V} \times 51\text{ A} = 1020\text{ Watt}$  (of 1,36 PK)

Het vliegtuig kan bij een totaalgewicht van 4 kg dus beschikken over meer dan 250 Watt per kilogram. Volgens de getallen in alinea 1 is dit krachtig genoeg om bijvoorbeeld verticaal te klimmen.

In alinea 2 staat dat een borstelloze buitenloper (brushless outrunner) 4 gram stuwkracht per Watt levert. Dat maakt in totaal  $4\text{ gr} \times 1020\text{ Watt} = 4080\text{ gr}$  stuwkracht.

Kijk hierbij echter uit voor oververhitting omdat de motor slechts 320 gram weegt. Volgens de getallen in alinea 4 kan deze motor maximaal 3 Watt per gram hebben en dat is in totaal slechts 960 Watt.

Daarom zitten er ten behoeve van de luchtkoeling in dit vliegtuig ook instroomopeningen van 26 cm<sup>2</sup> en uitstroomopeningen van 34 cm<sup>2</sup> in totaal. Dit klopt met alinea 10, want 960 watt gedeeld door 40 = (minimaal) 24 cm<sup>2</sup> en 960 watt gedeeld door 30 = (minimaal) 32 cm<sup>2</sup>. De motor wordt dus optimaal gekoeld.

Alinea 5 vertelt ons dat we bij een stroomsterkte tot 60 Ampère 2,5 mm<sup>2</sup> draden moeten gebruiken. Aangezien de motor 51 Ampère trekt worden deze draden hier dan ook gebruikt.

De motor heeft een KV van 500. Volgens alinea 6 betekent dit  $500 \times 20 \times \frac{3}{4} = \text{plm. } 7500$  toeren met minuut.

De propeller is 15x8, en heeft dus een diameter van 15 inch en een spoed van 8 inch. Dit geeft een maximum snelheid van  $8 \times 7500 / 800 = 75\text{ km per uur}$ . Dit is ideaal voor deze "warbird". Dit is beschreven in alinea 8.

Er wordt een 4400 mAh accu gebruikt, zodat de vluchtduur volgens de getallen in alinea 12 als volgt wordt berekend:  $4.400\text{mAh} \times 11 / 51\text{A} = 949\text{ seconden}$  of ongeveer 16 minuten rustig vliegen.

De batterij is verkocht als een '20/30C' en kan een piekstroom van  $20 \times 4400 / 1250 = 70.4A$  leveren en gedurende één minuut.  $20 \times 4400 / 1500 = 58A$ .

Constant op vol vermogen vliegen moet vermeden worden aangezien de batterij dan boven de veilige limiet van  $20 \times 4400 / 2000 = 44A$  belast wordt.

Deze berekeningen kun je vinden in alinea 9.

### **Voorbeeld: Een modelletje van een Spitfire van 800 gram totaal.**

motor 10% van vlieggewicht, dus een motor van 80 gram.

accu 20% van vlieggewicht, dus een lipo van 160 gram.

Verder is voor een 'Warbird' ongeveer 200-250 watt per kilogram nodig. Bij 800 gram is dat ongeveer 200 watt.

De motor heeft in principe een vermogen van 3 watt per gram. Dat is dus 240 watt in totaal. Ruim voldoende voor dit vliegtuig.

Er moet dus gezocht worden naar een buitenloper van ongeveer 80 gram welke ongeveer 200 a 240 watt kan leveren.

### **Soorten motoren**

- Borstel versus borstelloos
  1. De borstelmotor. Dit zijn de klassieke motoren met koolborstels
  2. Borstelloze motor, Dit type motor heeft dus géén koolborstels.
- Binnenloper versus buitenloper (Inrunner vs outrunner)
  1. Bij binnenlopers zitten de magneten direct op de as. Daaromheen zitten de koperwindingen. Omdat de magneten zo dicht op de as zitten kan deze zeer snel draaien (het grootste gewicht zit dicht bij het middelpunt). Dat betekent een hoog toerental, maar een lager koppel. Het hoge toerental kan weer omgezet worden in koppel door gebruik te maken van een vertraging. (check the section on gearboxes). Binnenlopers zijn efficiënter en krachtiger, maar hebben een vertraging nodig om een grote propeller te kunnen rondslingeren. Binnenlopers zijn echter wel zeer geschikt voor kleine propellers zoals in een ducted fan.
  2. Bij buitenlopers zitten koperen windingen aan de binnenkant. De as is verbonden met een huis (Bel) dat de magneten bevat. Dit huis draait rondom de koperen windingen. Omdat het gewicht van de bel plus magneten verder weg van de as zit gedraagt dit zich als een vliegwiel. Deze constructie maakt dat buitenlopers in het algemeen minder toeren draaien en een hoger koppel hebben dan binnenlopers, wat inhoudt dat een buitenloper een grotere propeller kan rondslingeren zonder een vertraging.  
Het voordeel van deze motor is verder dat er geen onderhoud nodig is en hij stiller en goedkoper is in aanschaf (er is geen vertraging nodig) . Deze factoren overtreffen de betere efficiëntie en kracht van de binnenloper voor de meeste modelvliegers.
- EDF. Dit staat voor Electric Ducted Fan. Het is een propeller met meerdere bladen die lijkt op de ventilator die je veel in PC's ziet. Hij heeft een kleine diameter die in een 'tunnel' in een modelvliegtuig kan worden gebouwd. Dit wordt bij kleine modelstraalvliegtuigen gebruikt.  
Deze propeller maakt zeer hoge toerentallen > 30.000

### **Waar gebruik je welke motor**

Over het ALGEMEEN kun je dus zeggen dat :

- Binnenlopers wat efficiënter zijn dan buitenlopers, wat zich KAN vertalen in een langere vliegtijd.
- Binnenlopers VAAK gebruikt worden als je een hoger toerental nodig hebt (bijvoorbeeld pylonracers , hotliners, edf, jets)
- Binnenlopers lastiger te produceren zijn dan buitenlopers vanwege de wikkelingen die IN het huis liggen (hierdoor zie je meer en meer buitenlopers op de markt verschijnen, dit is blijkbaar goedkoper en/of eenvoudiger te produceren)
- Buitenlopers VAAK een groter koppel hebben en daarom vaak voor 3D kisten zonder overbrenging worden gebruikt

## De LiPo accu

### Opbouw

Bovenaan in het stukje “Algemeen” is al wat over LiPo-accu's verteld. Ook is er verteld dat een geschikte lader gebruikt moet worden.

Een LiPo heeft vele voordelen tegenover de oudere NiCad accu's. Met name in het begin werd een LiPo gewoon gebruikt alsof het een NiCad accu was. Daar kan een LiPo echter helemaal niet tegen, met een aantal nare ongelukken als gevolg. Er zijn bijvoorbeeld auto's uitgebrand waarin een LiPo werd opgeladen.

Een Lipo is kritischer op de volgende punten:

- Een geschikte lader is verplicht.
- Een LiPo mag niet geheel ontladen worden
- Een LiPo mag ook niet teveel geladen worden. Daarom ook de speciale lader die bijvoorbeeld “af moet slaan” als de accu vol is.
- De afzonderlijke cellen in een LiPo moeten ongeveer gelijk geladen worden. Dit is bij een LiPo niet vanzelf sprekend. Na meerdere laad-beurten gaat de lading per cel uiteenlopen waardoor het nodig wordt de accu te balanceren. Met een speciaal apparaat dat op de accu wordt aangesloten wordt de lading van de afzonderlijke cellen weer gelijk getrokken.

Het hiervoor gebruikte apparaat heet een 'Balancer'. Deze zijn los te krijgen, maar ook geïntegreerd in een laad-apparaat (lader). Voordeel van een losse balancer is dat je de ene accu kunt balanceren en een andere accu met de losse lader kunt laden.

## Lijst met begrippen

Begrip	Betekenis	Uitleg
Balanceren	belading van LiPo-cellen in evenwicht brengen	Na meerdere laad-beurten van een LiPo accu gaat de lading per cel uiteenlopen waardoor het nodig wordt de accu te balanceren. Met een speciaal apparaat dat op de accu wordt aangesloten wordt de lading van de afzonderlijke cellen weer gelijk getrokken.
Balancer	Balanceer-apparaat	Apparaat om een LiPo-accu mee te balanceren
BEC	Battery Eliminator Circuit	Maakt een aparte batterij voor de ontvanger overbodig. De ontvanger (en servo's) worden hierbij gevoed

		door dezelfde batterij als waarop de motor draait. De BEC verlaagt de spanning van deze batterij tot 5 of 6 volt
C	Capacity	Capaciteit. geeft aan hoeveel stroom een batterij veilig kan leveren.
EDF	Electric Ducted Fan	een propeller met meerdere bladen die lijkt op de ventilator die je veel in PC's ziet. Hij heeft een kleine diameter die in een 'tunnel' in een modelvliegtuig kan worden gebouwd. Dit wordt bij kleine model-straalvliegtuigen gebruikt. Deze propeller maakt zeer hoge toerentallen > 30.000
ESC	Electronic Speed Control	Snelheidsregelaar. Er zijn twee typen regelaars, voor borstel motoren en borstelloze motoren
koppel	draaikracht (moment)	kracht waarmee een as ronddraait.
KV	Het aantal 'nominale' omwentelingen per volt	Aantal toeren van een motor per minuut en per volt in onbelaste staat.
lb/ lbs	Libra Pound	De Libra Pound is de oorspronkelijke afkorting voor de 'Pound' Één pound is precies 0,45359237 kilogram, ofwel 453.59237 gram.
LiPo	Lithium Polymeer	Net als bij NiCad (Nikkel Cadmium) geeft de naam LiPo de materialen aan waarmee deze gefabriceerd wordt. Deze batterijen paren een laag gewicht aan een hoge capaciteit
mAh	milliAmpere uur	Geeft het de hoeveelheid stroom (het aantal Ampere) aan dat een accu in een uur kan leveren.
NiCad	NikkelCadmium	Een alweer wat ouder type accu, tegenwoordig steeds meer vervangen door LiPo
Stall Speed	Overtreksnelheid	De ondergrens van de snelheid waarop een vliegtuig kan vliegen.
Vertraging	“versnellingsbak”	In het Engels wordt de term Gearbox gebruikt wat in het Nederlands vertaald zoveel als 'versnellingsbak' betekent. Het is feitelijk een tandwiel- of snaaroverbrenging om hoge toerentallen omlaag te brengen waarbij de kracht (koppel) toeneemt.
Wing Loading	Vleugelbelasting	Het totale gewicht van een vliegtuig gedeeld door het totale vleugeloppervlak. Wordt in Europa uitgedrukt in gram per dm <sup>2</sup> (gr/dm <sup>2</sup> )

## Goochelen met getallen

Wat is nou Volt of Watt of Ampere en wat heeft dat met elkaar te maken.

Omschrijving	Eenheid	Uitleg
Vermogen	Watt	De kracht, te vergelijken met de PK (paardenkracht) in de mechanica.
Weerstand	Ohm	De mate van weerstand die een stroom ondervindt.
stroom	Ampere	De snelheid waarmee elektriciteit door een stroomcircuit 'stroomt'
Spanning	Volt	Het potentiaalverschil tussen stroombron en aarde. In het Europese leidingnet is dat bijvoorbeeld 230 volt.

Om de krachten die in elektrische schakelingen optreden te kunnen verklaren wordt vaak het watermodel gebruikt. Een systeem van waterleidingen en kranen e.d. dat onder druk staat laat zich goed vergelijken met zijn elektrische broertje.

Op een waterleiding die met een kraan is afgesloten staat een bepaalde druk. Deze druk kunnen we vergelijken met de spanning (Volt) in de elektriciteit . Zolang de kraan dicht is is er geen sprake van stroom maar alléén van spanning. Op de kraan kan een lage, maar ook een hoge druk staan. Vergelijk de lage druk met bijvoorbeeld 110 volt en de hoge druk met bijvoorbeeld 380 volt.

Met de kraan laten we een bad vollopen. Hoe verder we de kraan open draaien, hoe sneller het water stroomt en hoe vlugger het bad vol is. Maar óók, hoe groter de druk op de kraan is, hoe harder het water kan stromen en dus hoe sneller het bad vol is. Dit is het vermogen van de waterleiding. Het vermogen kun je daarom berekenen door de stroom te vermenigvuldigen met de druk. Voor elektriciteit wordt dat: spanning (Volt) maal stroom (Ampere) is vermogen (Watt). Daarom wordt Watt ook vaak aangegeven met de aanduiding "VA", ofwel Volt x Ampere.

Je kunt je voorstellen dat een dikke buis met een lage druk het bad even snel laat vollopen als een dunne buis met een hoge druk. Elektrisch gezien is het vermogen van een spanning van 110 volt die een stroom levert van 10 Ampere dus gelijk aan een spanning van 220 volt die een stroom levert van 5 Ampere. In beide gevallen levert dit een vermogen op van 1100 Watt.

Je kunt je voorstellen dat het vermogen in het tweede geval veel makkelijker gehaald wordt. Vertaald naar je accu betekent dat een batterij met een celletje méér een hogere spanning (voltage) heeft en het benodigde vermogen makkelijker kan leveren. Omdat hij niet zo hard hoeft te werken betekent dit minder warmte-ontwikkeling en een langere levensduur. Het nadeel echter is een hoger gewicht van de batterij.

Nóg een eigenschap is dat de spanning (Volt) van elektriciteit terug loopt onder belasting. Denk hierbij nog even aan de waterkraan die onder een bepaalde druk staat. Als je die open draait gaat het water stromen en zal de druk in de buis erachter iets afnemen. Hoe verder de kraan opengezet wordt hoe verder de druk afneemt. In alinea 7 staan de voltages van verschillende accu's beschreven in onbelaste en in belaste staat. Een accupack van 6 cellen heeft een (onbelaste) nominale spanning van 6 x 3,7 volt, en dat is 22,2 volt. In de vlucht echter, en dus belast, is de spanning teruggelopen tot ongeveer 20 volt.