

Enkele opmerkingen voor Alfred Blokhuisen over energiedichtheid en elektrificeren vliegtuigen.

Als men op elektriciteit gaat vliegen kan men geen brandstofmotoren of straalturbines of turboprops gebruiken want die werken op kerosine e.d. Men is dan aangewezen op elektromotoren

Opmerking 1

Aangezien een propeller zeer efficiënt is bij lage vliegsnelheden, wordt dit motortype vooral aangetroffen in kleine passagiersvliegtuigen (de Fokker 50 bijvoorbeeld en militaire vrachtvliegtuigen hebben al turboprop motoren, een combinatie van een straal- en zuigermotor). Propellers worden niet gebruikt bij snelle vliegtuigen omdat bij hogere toerentallen de luchtstroom bij de tippen van de rotorbladen een **supersonische** snelheid krijgt, wat leidt tot veel meer luchtweerstand waardoor de **effectiviteit** afneemt. Het geeft ook veel lawaai.

Wordt de snelheid 2 x zo hoog dan is de vliegweerstand 4 keer zo hoog.

Dus vliegen bij kruissnelheid ongeveer 240 km/uur (propellervliegtuig Cessna) en vliegen bij 913 km (kruissnelheid Boeing 747). De **luchtweerstand bij de laatste bijna 15 keer** zo hoog en het verbruik van energie (benodigde energie) voor de luchtweerstand alleen dus ook 15 keer zo hoog bij let wel gelijke frontale grootte van het vliegtuig.

Opmerking 2

De energie om het vliegtuig in beweging te zetten is :

$\frac{1}{2}$ massa x snelheid vliegtuig in het kwadraat.

Dus benodigde kinetische energie om op KRUISsnelheid te komen.

Boeing747 = $\frac{1}{2} \times 340.000 \times 913.913 = 14.160.053.365.000$ (kg km²/uur²)

CESNA $\frac{1}{2} \times 1000 \times 240 \times 240 = 28.800.000$ (kg²/uur²)

Bijna 5000 keer zoveel dus

Opmerking 3

Energie inhoud brandstoftank Boeing 747 en benodigde accu's

1 liter kerosine zelfde als dieselolie

Circa 10 KWh per liter is 0,8 kg per liter **kerosine** ofwel 12,5 KWH per kg

Li-on batterij 0,10 KWh per kg

Tank Boeing 747: 240.000 l kerosine = 12.5 x 240.000 = 3.000.000 KWh

3.000.000 : 0,10 = **30.000.000 kg Li-on batterij**

Ofwel 30.000 ton aan batterijen voor de benodigde energie.

Leeg gewicht Boeing 747 : 170 ton met brandstof circa 350 ton

30.000 kg benodigde batterijen is even zwaar als meer dan 100 **Boeings !!!**

Momenteel is 100kWh de grootste capaciteit die in personenwagens wordt gebruikt en het is niet eenvoudig om daar 200kWh van te maken. De Tesla-accu van de S en X 100D weegt namelijk al zo'n 600kg en dat zou dan dus verdubbelen naar 1200kg.

Hoe groter het gewicht, des te meer energie het kost om de auto in beweging te brengen en des te minder efficiënt dat gebeurt. Hoe Tesla dit met de Roadster 2020 gaat oplossen is onbekend.

Opmerking 4

Waterstof alternatief

Energie inhoud 120 MJ/kg waterstof is ongeveer 33.3 KWH /kg dit is

$33.3 / 8.9 = 3,74$ zo veel als kerosine

Dat betekent dat voor de Boeing 747 $240.000 / 3,74 = 64.200$ liter waterstof!

Let wel : vloeibaar bij 220 graden onder nul...

- Nodig een enorme cryogene installaties (met ontploffingsgevaar. Denk aan de Challengers)
- Elke dag tanken en met al die vliegtuigen (Schiphol ruim 700 per dag) ??

Opmerking 5

Vliegen op lagere hoogte verkleining (bolvormige) luchtruimte

Diameter aarde 12 756 km

Diameter op 11 km hoogte $12.756 + 22 = 12.778$ km

Volume aard e+ luchtruimte op 11 km hoogte

$$\frac{3\pi}{4}r^3 = \frac{3\pi}{4}\left(\frac{12778}{2}\right)^3 = 6.159267 \text{ exp } 11 \text{ km }^3$$

Volume aarde + luchtruimte op 5 km hoogte

$$D = 12756 + 10 = 12766 \text{ km} \quad \frac{3\pi}{4}\left(\frac{12766}{2}\right)^3 = 6.127533 \text{ exp } 11 \text{ km }^3$$

$$\text{Volume aarde} \quad \frac{3\pi}{4}r^3 = \frac{3\pi}{4}\left(\frac{12756}{2}\right)^3 = 6.1131447 \text{ exp } km^3$$

Volume luchtruim 11 km hoogte =
 $(6.159267 - 6.1131447) \exp 11 = 0.0465253 \exp 11 \text{ km}^3$

Volume luchtruim op 5 km hoogte =
 $(6.127533 - 6.1131447) \exp 11 = 0.0143883 \exp 11 \text{ km}^3$

Afname volume luchtruim $0.0321370 \exp 11 \text{ km}^3$

Verschil **0.0321370 exp 11 km³**

Dit is iets minder dan **70% (69,6 %) verkleining** van de **beschikbare** luchtruimte in kubieke kilometers bij “halvering van de maximale vlieghoogte bij vliegtuigen met elektrische aandrijving vergelijkbaar met de passagiersvliegtuig Fokker 50 of zoals AVRO.

Opmerking 6

Verkorting omtrek vliegbaan om aarde

Op 11 km hoogte	$\pi \cdot D$	$= \pi \cdot 12\,788 \text{ km}$	$= 40.175 \text{ km}$
Op 5 km		$= \pi \cdot 12.766 \text{ km}$	$= 40.106 \text{ km}$
Op de grond		$= \pi \cdot 12756 \text{ km}$	$= 40.074 \text{ km}$

Groet Cees Blokhuisen

Dr. Ir. Ing. C. Blokhuisen

P. Dondersstraat 5

5613 LP Eindhoven