



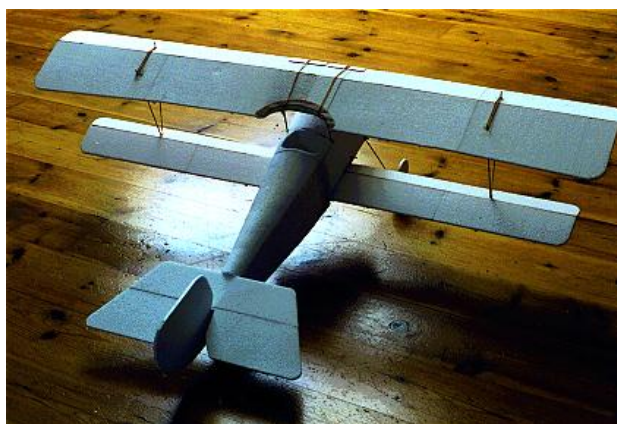
[🏠](#) / [Články a tipy](#) / [Návrh a konstrukce](#) / [Návrh letadla](#) / [Všeobecné](#) / [Měřítka rychlosti pro malá letadla](#)

## MĚŘÍTKO RYCHLOSTI PRO MALÁ LETADLA

👤 Ib Therkelsen 📅 Publikováno 1. září 1998

### Některá pozorování požadavků na modely v měřítku létat rychlostí v měřítku

Mírně zaujatý názorem na modelovou literaturu letounu, že modely v měřítku častěji než ne jsou považovány za "obtížné", začal jsem hledat znepokojující aerodynamická pravidla spojená s tím, že malé modely létají rychlostí v měřítku. Vague náznaky ve směru načítání křídla byly všechno, co se mi kdy podařilo najít během poněkud koncentrovaného úsilí, zatímco konkrétnější tvrdé informace, které jsem měl na lov, se vždy zdály vyhýbat se jakékoli knize nebo článku, na který jsem narazil. Nakonec mě zvědavost přiměla naostřit tužku a přijít na to pro sebe. Výsledky nepředstírají, že by v žádném případě byly ohromující zprávy (některé z nich jsou skutečně triviální), a nepochybně byly všechny v minulosti mnohokrát prezentovány mnoha dalšími osobami. Z oboustranného problému, který považuji za jeden z *váha* a jeden z *chování aerofoilů v režimu nízkých Reynoldsů* hmotnostní část je relativně jednoduchá a lze ji snadno provést, zatímco druhá část je podstatně nepolapitelnější, v nejhorších případech nekontrolovatelná do bodu převrácení veškerého úsilí o proveditelnost modelu ve velmi malém měřítku.



*Experimentální Nieuport-17 postavený do 1/8 měřítka z bílých pěnových listů o tloušťce 5 mm. Rozpětí křídel 1 m, hmotnost 135 gramů (včetně 20 gramů noseballastu). Klouže rychlostí asi 3 m / s.*

### Co každý ví

Čas je opraven. Jedna sekunda je jedna sekunda, pojd', co může.

Vzdálenost je 1-rozměrná, proto je rychlost také 1D.

Oblast je 2D.

Objem je 3D, proto je hmotnost také 3D.

Pojďme  $r$  být měřítkem (redukčním) faktorem.

Pro  $r = 12$ , model je v měřítku  $1 \div 12$

Měřítkem dolů se vzdálenost zmenšuje na  $1 \div r$ , oblast se zmenšuje na  $1 \div r^2$ , objem do  $1 \div r^3$

Když například řekneme, že model je v měřítku  $1 \div 12$ , odkazujeme na 1D vlastnosti (vzdálenosti). Z této skutečnosti vyplývá, že oblasti musí být  $1 \div (12 \times 12)$  a objemy musí být

$$1 \div (12 \times 12 \times 12).$$

## Co by měli vědět skaláři

Aby čtenáři nesli více, než je nutné, je nejprve uveden výsledek, podrobnosti a komentáře později pro ty, kteří by se mohli blíže podívat. Ve všem, co následuje, index 1 znamená určitou vlastnost letounu plné velikosti, zatímco index 2 je vyhrazen pro model.

|         |                                    |                                                            |
|---------|------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Rule 1  | $z_2 = z_1 \div r$                 | Wingloading, $z$ , resulting from simple downscaling       |
| Rule 2  | $v_2 = v_1 \times \sqrt{1 \div r}$ | Velocity, $v$ , resulting from simple downscaling          |
| Rule 2a | $v_2 = v_1 \div r$                 | True scale velocity                                        |
| Rule 3  | $w_2 = w_1 \div r^4$               | Mass, $w$ , required to fly at true scale speed.           |
| Rule 4  | $svz = z_1 \div r^2$               | Scale velocity wing loading, $svz$ , resulting from Rule 3 |

**Poznámka 1** Pokud jde o hmotnost (hmotnost, aby byla správná), zdá se, že neexistuje žádný princip, který by sám o sobě bránil velmi malým modelům v létání rychlostí v měřítku. Omezení spočívá pouze v našich vlastních schopnostech velmi lehké konstrukce.

**Poznámka 2** Pokud jde o výkon aerofoilu ve velmi malých Reynoldsových číslech, zvláštní problémy mohou značně ohrozit proveditelnost modelu ve velmi malém měřítku. Mohou být uvedeny do hry účinnější profily křídla v měřítku, pouze někde bude nepřekonatelná překážka pro zisk, kterého lze dosáhnout tímto způsobem.

## Pravidlo 1

Vlastnost, často označovaná při porovnávání letadel, je *zatížení*,  $z$ , tj. Celková hmotnost dělená křídlem. Pokud zmenšíme měřítko, křídlový prostor se zmenší o čtverec, zatímco objem, a tím i hmotnost, se zmenší krychlí, to znamená, že se hmota zmenší rychleji než oblast, což zase znamená, že model bude mít vždy menší zatížení než letadlo plné velikosti. Tento princip "ztraceného" křídla je také známý - alespoň v modelovém folklóru letounu - jako zákon "čtvercová kostka". Zcela jasně to bude platit pouze za podmínky, že materiály použité pro model mají zhruba stejnou hustotu jako materiály pro stroj plné velikosti a že tyto dvě struktury jsou dosti podobné.

Pojďme  $w_1$  a  $w_2$  být hmotnosti prototypu a modelu, a nechat  $S_1$  a  $S_2$  být oblastmi povrchů křídla:

$$\begin{aligned} w_2 &= w_1 \div r^3 & (\text{by simple downscaling}) \\ S_2 &= S_1 \div r^2 & (\text{by simple downscaling}) \\ z_1 &= w_1 \div S_1 & (\text{wingloading, full size}) \end{aligned}$$

$$z_2 = w_2 \div S_2 = (w_1 \div r^3) \times (r^2 \div S_1) = w_1 \div (r \times S_1) = z_1 \div r$$

$$z_{\text{Wingloading for model (by simple downscaling)}} = z_{\text{full size wingloading}} \div r$$

## Pravidlo 2

Zvláštní význam pro letadla je Lift Equation:  $L = C_L \times q \times S$

$$L = w \times g = \text{Newton}(N)$$

$$w = \text{aeroplane total mass (kg)}$$

$$g = \text{acceleration due to gravity} = 9.81 m/s^2$$

$$C_L = \text{Lift Coefficient ( a dimensionless value to indicate the lift capacity of a certain shape )}$$

$$q = d \div 2 \times v^2$$

$$d = \text{density of air} = 1.225 kg/m^3$$

$$v = \text{velocity (m/s)}$$

$$S = \text{surface area of wing (m}^2\text{)}$$

$$S = c \times b$$

$$c = \text{mean wing chord (m)}$$

$$b = \text{wingspan (m)}$$

Zvedací rovnice v plné výši:

$$w \times g = C_L \times d \div 2 \times v^2 \times S$$

Nebo po přeskupení:

$$2 \times w \times g = C_L \times d \times v^2 \times S$$

Přesměrování rychlosti na druhou:

$$v^2 = \frac{2 \times w \times g}{C_L \times d \times S}$$

Porovnání rychlosti modelu s rychlostí plné velikosti:

$$\frac{v_2^2}{v_1^2} = \frac{2 \times w_2 \times g \times C_L \times d \times S_1}{C_L \times d \times S_2 \times 2 \cdot w_1 \times g} = \frac{w_2 \times S_1}{S_2 \times w_1} = \frac{z_2}{z_1}$$

Substituce  $z_2$  pravidlem 1 se rozumí:

$$\frac{v_2^2}{v_1^2} = \frac{z_1}{r \times z_1} = \frac{1}{r}$$

$$v_2^2 = v_1^2 \times \frac{1}{r}$$

$$v_2 = v_1 \times \sqrt{\frac{1}{r}}$$

$$v_{\text{Velocity for model ( by simple downscaling )}} = v_{\text{full size velocity}} \times \sqrt{\text{downscaling}}$$

Pravděpodobně zajímavé může být také porovnání původní rychlosti,  $v_2$  s výslednou rychlostí,  $v_3$ , v případě, že se změní hmotnost modelu (a tedy i zatížení křídla):

$$v_3 = v_2 \times \sqrt{w_3 \div w_2}$$

$$v_3 = v_2 \times \sqrt{z_3 \div z_2}$$

### Vypočítaný příklad Spitfire 1/12 měřítko

Letadlo v plné velikosti:

$$v_1 = 58 m/s \quad (\text{estimated take-off})$$

$$S_1 = 22.5 m^2$$

$$w_1 = 3000 kg$$

$$C_L = \frac{(3000 \times 9.81 \times 2)}{(1.225 \times 22.5 \times 582)} = 0.63 \quad (\text{total aeroplane})$$

$$z_1 = 3000 \div 22.5 = 133 kg/m^2 \quad (\text{full size wingloading})$$

Modelka:  $r = 12$ , vede k:

$$\begin{aligned}
S_2 &= 22.5 \div (12 \times 12) = 0.156m^2 && \text{(model wing area)} \\
w_2 &= 3000 \div (12 \times 12 \times 12) = 1.74kg && \text{(by simple downscaling)} \\
z_2 &= 1.74 \div 0.156 = 11kg/m^2 && \text{(or by Rule 1: } 133/12 = 11 \text{ kg/m}^2\text{)} \\
v_2 &= 58 \times \sqrt{1 \div 12} = 16.7m/s && \text{(by Rule 2) ...as opposed to true scale velocity: } 58/12 = 4.8 \text{ m/s}
\end{aligned}$$

Je zajímavé poznamenat, že rychlost 16,7 m / s je ne na měřítko, které má co do činění s rychlostí, která se objevuje jako čtvercová v rovnici zdvihu. Pokud trváme na létání našeho modelu skutečnou rychlostí měřítka, bude samozřejmě nutné změnit jeden nebo více dalších parametrů v rovnici zdvihu, aby se kompenzovala druhá rychlost. Jak se ukázalo, pouze  $C_L$  a  $w$  jsou zdarma pro manipulaci, z toho  $C_L$  není snadno nastavitelný, takže jasně musí být kandidát na manipulaci  $w$ , model *hmotnost*. Než se však problém vyřeší, podívejme se na názor odborníka:

Don Ross ve své knize "Gumové modely letadel " uvádí některá cenná čísla pro optimální zatížení malých létajících modelů. Zvolená jednotka,  $gram/in^2$ , je neobvyklým příkladem špatného vkusu, ale naštěstí je konverze dostatečně snadná.

$$\begin{aligned}
gram/in^2 \times 1.55 &= kg/m^2 \\
kg/m^2 \times 3.28 &= oz/ft^2 \\
oz/ft^2 \times 1/16 &= lb/ft^2
\end{aligned}$$

Ross říká, že pro model s malou dobou trvání (např. Arašídová stupnice, 13 "rozpětí křídel (33 cm)), nejlepší křídlo by mělo být asi 0,33  $gram/in^2$  a pro středně velkou rovinu (asi 30 " (76 cm)) by měla být někde kolem 0,5  $gram/in^2$ . Převod těchto dvou čísel na známější jednotky:

$$\begin{aligned}
\text{Small} : 0.33 gram/in^2 &= 0.50 kg/m^2 && (1.64 oz/ft^2) \\
\text{Medium} : 0.50 gram/in^2 &= 0.78 kg/m^2 && (2.56 oz/ft^2)
\end{aligned}$$

Tyto hodnoty jsou jistě pro *trvání* modely. Z jiných zdrojů jsem zjistil, že lidé z R / C nejsou nijak zvlášť nešťastní z poměrně velkých křídel, pokud nepřesahují  $20 oz/ft^2 = 6.1 kg/m^2$  (hrubý průměrný výňatek z několika příspěvků Newsgroup). Takže naše Spitfire  $11 kg/m^2$  zjevně má závažný problém s hmotností po dobu trvání gumy a R / C, kromě skutečnosti, že je zcela mimo rozsah skutečné rychlosti měřítka. 1,74 kg je samozřejmě nejhorším příkladem a nepochybně bychom měli jen malé potíže s konstrukcí modelu mnohem lehčí než to, jen stále nevíme *přesně jak lehké to musí být*. Za chvíli vám ukážu, že můžeme skutečně vyvinout jednoduché pravidlo pro stanovení hmotnosti modelu tak, aby měl létat rychlostí měřítka, přičemž všechno ostatní je stejné (což nemusí být). Podrobnosti vám brzy poskytnu, ale prozatím mohu odhalit, že pokud by náš model mohl létat rychlostí 4,8 m / s, vyžadovalo by to, aby hmotnost byla 0,145 kg, dramaticky odlišná od 1,74 kg, a jak to bylo, přesně 1/12 z 1,74. Výsledné křídlo by bylo  $0.145 \div 0.156 = 0.93 kg/m^2$ . Nyní se podívejme na hodnotu, kterou Ross dává středně velkým modelům. Jsme docela blízko.

### Pravidlo 3

Přeskupení rovnice zdvihu na hmotnost:

$$w = \frac{C_L \times d \times v^2 \times S}{2 \times g}$$

Za poněkud odvážného předpokladu, že  $C_L$  zůstává konstantní pro letadlo plné velikosti i pro model, můžeme napsat:

$$\begin{aligned}
w_1 &= \frac{C_L \times d \times v_1^2 \times S_1}{2 \times g} && \text{( mass of full size )} \\
w_2 &= \frac{C_L \times d \times v_2^2 \times S_2}{2 \times g} && \text{( model mass )}
\end{aligned}$$

Porovnání dvou:

$$\frac{w_2}{w_1} = \frac{C_L \times d \times v_2^2 \times S_2 \times 2 \times g}{2 \times g \times C_L \times d \times v_1^2 \times S_1} = \frac{v_2^2 \times S_2}{v_1^2 \times S_1}$$

$$v_2 = \frac{v_1}{r} \quad (\text{true scale velocity})$$

$$S_2 = \frac{S_1}{r^2} \quad (\text{simple downscaling})$$

Vložením těchto výrazů pro  $v_2$  a  $S_2$  dostaneme:

$$\frac{w_2}{w_1} = \frac{(v_1 \div r)^2 \times (S_1 \div r^2)}{(v_1^2 \times S_1)} = \frac{1}{r^4}$$

$$w_2 = \frac{w_1}{r^4}$$

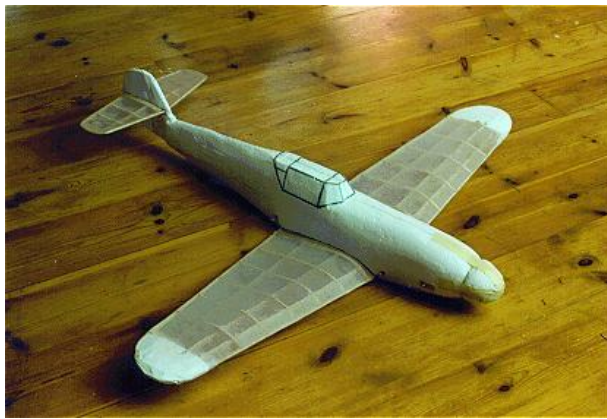
$$w_{\text{Model mass required to fly at true scale speed}} = \frac{w_{\text{full size mass}}}{r^4}$$

*(Toto je informace, kterou jsem původně hledal).*

Tabulka efektu měřítka vyplývající z pravidla 3. Původní hmotnost = 3000 kg, původní vel. = 58 m / s

| Měřítka | Hmotnost (gram) | Křídlo (kg / m <sup>2</sup> ) | Měřítka rychlosti (m / s) | Re (popis níže) |
|---------|-----------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------|
| 1/4     | 11719           | 8,33                          | 14.5                      | 555000          |
| 1/6     | 2315            | 3,70                          | 9.7                       | 247000          |
| 1/8     | 732             | 2,08                          | 7.3                       | 139000          |
| 1/10    | 300             | 1,33                          | 5.8                       | 89000           |
| 1/12    | 145             | 0,93                          | 4.8                       | 62000           |
| 1/16    | 46              | 0,52                          | 3.6                       | 35000           |
| 1/24    | 9               | 0,23                          | 2.4                       | 15000           |
| 1/32    | 3               | 0,13                          | 1.8                       | 8700            |
| 1/48    | 0,6             | 0,058                         | 1.2                       | 3800            |
| 1/64    | 0,2             | 0,033                         | 0,9                       | 2100            |
| 1/72    | 0,1             | 0,026                         | 0,8                       | 1700            |

Pokud jde o samotnou hmotu, zdá se, že v zásadě není problém s škálováním dolů a letím rychlostí měřítka. Praktická konstrukce takových extrémně lehkých zařízení, jak je požadováno v malém měřítku, však nemusí být vždy snadná. Pokud jde o výše uvedený imaginární model Spitfire v měřítku 1/12, mohli bychom se snadno ocitnout v situaci, kdy nemáme dostatečně lehké komponenty, abychom se dostali pryč s něčím víc než surovou verzí volného letu. Nejlepším úspěšným příkladem, o kterém jsem dosud slyšel (Walter Scholl, E-zóna sep. 1997), je model Blériot XI, měřítko 1/10 o hmotnosti 115 gramů, včetně elektrického motoru a mikro R / C a létání v měřítku rychlost 2 m / s. Křídlo je 0.46 kg/m<sup>2</sup>, ještě méně než Ross ' nejmenší postava.



*Alarmingly primitivní prototyp Bf 109 F ve směsi pěna / balsa, postavený do měřítka 1/12.*

*Ačkoli umělecký vzhled této mé první pěnové práce vůbec není na co být hrdý, aerodynamické vlastnosti nejsou vůbec špatné. Rozpětí křídel 83 cm, Clark Y-ish aerofoil.*

*Celková hmotnost 128 gramů (včetně 34 gramového předřadníku).*

*Klouzá rychlostí 4,5 m / s. Rychlost klesání je asi 0,75 m / s.*

## Pravidlo 4

$$w_2 = \frac{w_1}{r^4} \quad (\text{ using Rule 3 } )$$

$$S_2 = \frac{S_1}{r^2} \quad (\text{ by simple downscaling } )$$

$$z_2 = \frac{w_2}{S_2} = (w_1 \div r^4) \times (r^2 \div S_1) = \frac{w_1}{S_1 \times r^2} = \frac{z_1}{r^2}$$

$$z_{\text{Scale velocity wing loading}} = \frac{z_{\text{full size wing loading}}}{r^2}$$

## Reynoldsovo číslo (Re)

Zcela odlišnou záležitostí, které musí čelit v procesu snižování, je aerodynamické chování křídlových profilů (aerofoilů) provozovaných v malých rozměrech a / nebo rychlostech, jak by bylo nutné u malých modelů.

Začněte číslem Reynolds:

Viskozita,  $\mu$ , může být vyjádřeno v *Pascal*  $\times$  *second*,  $Pa \times s = kg \div (m \times s)$

$$\mu(\text{air}) = 1.8 \times 10^{-5} Pa \times s$$

For comparison, 55 times more viscous:

$$\mu(\text{water}) = 1.0 \times 10^{-3} Pa \times s$$

Reynolds number ( $Re$ ) =  $c \times v \times d \div \mu$

(  $c$ ,  $v$  and  $d$  as defined earlier in details of Rule 2;  $d \div \mu$  has the dimension *second*  $\div$   $m^2$  )

With  $c$  in meter, and  $v$  in meter/second,  $Re \approx 68000 \times c \times v$

With  $c$  in feet, and  $v$  in feet/second,  $Re \approx 6410 \times c \times v$

Full size aeroplanes have  $Re$  in the million class, whereas indoor models may come as low as 10000 (microfilm). Tables or plots of lift and drag coefficients as a function of angle of attack (AoA, or alpha) and different Reynolds numbers are valuable when comparing aerofoils, as well as an indication of which dimensions and/or velocities better to be avoided for a specific wing profile. Data to this effect are most often obtained from windtunnel tests, but also theoretical tools are capable of calculating fair predictions, as long as we make sure to stay above  $Re$  100000. One such tool by Martin Hepperle is given in a link at the end of this webpage. The book

by Martin Simons, also listed below, devotes several chapters to the presentation and discussion of aerofoil and windtunnel data.

In the notes to Rule 3 it was mentioned in passing that lift coefficients for the full size plane and the model might not be quite the same value. Although it was a prerequisite for developing Rule 3, and may well be close enough to the truth for large models like 1/4 or 1/6 scale, it's not likely to be an equally safe assumption for smaller models, say 1/10 and less. The problem here is the almost total absence of linearity between the lifting capacity of two aerofoils of equal proportions but different size. One cannot safely assume, without windtunnel evidence or practical field experiments, that a downscaled version of some specific wing profile will have any relationship with the full size version in terms of efficiency; in fact an extensive amount of published data strongly indicates that the smaller of the two will show a markedly inferior performance, and that the trouble usually aggravates as we move towards the very low Reynolds regime. What happens here is that inertial forces to some extent loose their grip in a struggle against viscous forces. Let me give you a taste of what's to be expected, by a few examples, which, with the exception of EJ 85, are all drawn from Simons, more or less at random:

| N60 AoA = 3° |      | NACA 4412 AoA = 3° |      | Göttingen 801 AoA = 3° |        |
|--------------|------|--------------------|------|------------------------|--------|
| Re           | cl   | Re                 | cl   | Re                     | cl     |
| 168000       | 0.94 | 3000000            | 0.75 | 170000                 | 0.88   |
| 126000       | 0.93 | 250000             | 0.70 | 100000                 | 0.88   |
| 105000       | 0.90 | 75000              | 0.70 | 75000                  | 0.83 + |
| 84000        | 0.87 | 60000              | 0.50 | 75000                  | 0.65 + |
| 63000        | 0.50 | 45000              | 0.38 | 63000                  | 0.55   |
| 42000        | 0.44 | 30000              | 0.31 | 42000                  | 0.47   |
| 21000        | 0.42 | 20000              | 0.27 | 21000                  | 0.40   |

| Göttingen 417b AoA = 3° |      | HK 8556 [T] AoA = 3° |      | EJ 85 AoA = 3° |      |
|-------------------------|------|----------------------|------|----------------|------|
| Re                      | cl   | Re                   | cl   | Re             | cl   |
| 189000                  | 1.16 | 120000               | 0.71 | 83000          | 0.95 |
| 84000                   | 0.86 | 60000                | 0.71 | 60000          | 0.95 |
| 63000                   | 0.65 | 30000                | 0.71 | 40000          | 0.93 |
| 42000                   | 0.59 | 20000                | 0.65 | 20000          | 0.70 |
| 21000                   | 0.76 |                      |      |                |      |
| 14000                   | 0.90 |                      |      |                |      |

#### A few notes

**Göttingen 801:** Suspicious behaviour around Re 75000 ( marked with + ), as part of a so-called hysteresis loop, with the effect that in a certain Re range, and specific AoA, the profile gives a better performance in going from higher to lower speed than in going from lower to higher. This unpleasant behaviour is shown by many profiles, including **N60** and **Gö 417b** (at higher AoA than 3°), whereas this is not the case with **NACA 4412**, **HK 8556 [T]** and **EJ 85**. See Simons for details if you are interested. **Göttingen 417b**, *curved plate*: Surprises at Re 21000 and 14000, although accompanied by large increases in profile drag (not shown). **HK 8556 [T]** *Turbulator*, and **EJ 85**: These profiles seem to be extraordinarily forgiving at all velocities and/or dimensions. EJ 85 is a Jedelsky profile.

As seen in the previous few tables, it's evident that the highest lift coefficients coincide with the highest Reynolds numbers, and also that above a certain  $Re$  the gain in lift capacity with a further increase in  $Re$  is extremely limited, if any at all. In the low end of the  $Re$  scale, for most profiles the lift coefficients are more widely scattered with changes in  $Re$ . Apart from that, any broad generalisation is difficult to make because of exceptions and surprises, thus rendering predictions a little hazy. For real flying devices, matters are slightly more complicated, as most often we need to know the amount of power required for flight and/or the distance covered in a glide from a certain height. Various drag components must be lumped together and compared with the lift coefficients, in order to make a realistic estimate of the rate of descent and hence the usefulness of some particular wing in connection with the rest of the aeroplane. All this, however, is so much better described in textbooks like the ones by Simons and Stinton.

At present, it is believed that for very small models, the best job will be done by a thin, highly cambered wing profile, even such seemingly simple ones as the broken plate variation of a Jedelsky profile (see Don Ross). This again indicates that perfect scale appearance - for all but pre 1920 aeroplanes - may have to be sacrificed to some extent. In *Aeromodeller*, sep / oct 1997, vol 62, No 742 and 743, two articles "*Foam at last!*" by David Deadman, describe the construction of lightweight and extraordinarily realistic peanut scale models. I have been informed that one of the author's planes, a Lavochkin La-7, scale approx 1/30 and weight 13 gram, flies at about 4.8 m/s, corresponding to 80 % of scale maximum speed. According to Rule 3 above, the "ideal" weight should rather have been close to 4 gram, but the La-7 model features a curved plate wing with a lift capacity large enough to compensate for the extra weight. Had the original wing profile been retained for strict scale appearance, the resulting model speed would have been in the vicinity of 9 m/s. Mr. Deadman's La-7 perfectly illustrates the tradeoff between weight and lift capacity that has to be accepted when rather small scale models are to fly at scale speed.

From the observations accumulated here, I should think that from about scale 1/8 and down, weight will be the primary problem to solve, while from approx. 1/10 and downwards, aerodynamic trouble will begin to mix heavily in and pile up at a dramatic rate as we move towards smaller dimensions. Lower lift coefficients translate into larger velocities (by the lift equation) and will have to be either compensated for by a more or less drastic change of wing profile (as far as it goes), or counterbalanced by an even further weight reduction in a model which may already be stripped to the limit.

## Literature

**Martin Simons:** *Model aircraft aerodynamics*. (1994)

**Darrol Stinton:** *The design of the aeroplane*. (1983)

**Don Ross:** *Rubber powered model airplanes* (1988)

## Links

Walter Scholl (E-Zone article): <http://ezonemag.com/articles/wiw/091997/wiw0997.htm> <sup>1</sup>

Martin Hepperle: <http://beadec1.ca.bs.dlr.de/Airfoils/calcfail.htm> <sup>2</sup>

Bob Boucher. A different view of scale flight, taking scale maneuvers into account:  
<http://www.astroflight.com/astroflight/scalespeed.html> <sup>3</sup>

1. Redirects to RC Groups but doesn't seem to have the article ↩

2. Site no longer exists ↩

3. Website exists but appears to only have store related pages. ↩



**INFORMATION**

[Annual Events](#)  
[Awards](#)  
[Board of Directors](#)  
[By-Laws](#)  
[History](#)  
[Monthly Meetings](#)  
[School and Science](#)

**READING**

[Newsletters](#)  
[Articles](#)

**FLYING SITES**

[AMA Safety Code](#)  
[General CRRC Field Rules](#)  
[Davis Field - Sudbury, MA](#)  
[Bill Martin Field - Medfield, MA](#) [Join CRRC](#)  
[School Street Field - Acton, MACRRC Instructor Program](#)

**WEB RESOURCES**

[Adresář odkazů](#)

**GET STARTED**

[CRRC Flyer](#)  
[CRRC Handbook](#)  
[Join AMA](#)

**PROHLÍŽENÍ**

[Fotky](#)

**CRRC**

[Kalendář](#)  
[Kontakt](#)

**NÁSLEDUJ NÁS**

[Facebook](#)  
[Flickr](#)

Copyright © 1998 - 2024, Charles River Radio Controllers; všechna práva vyhrazena.

Poháněno [Hugo](#) a [Bulma](#) :: Téma [Jatgam](#)