

Aerodynamika (SŠ)

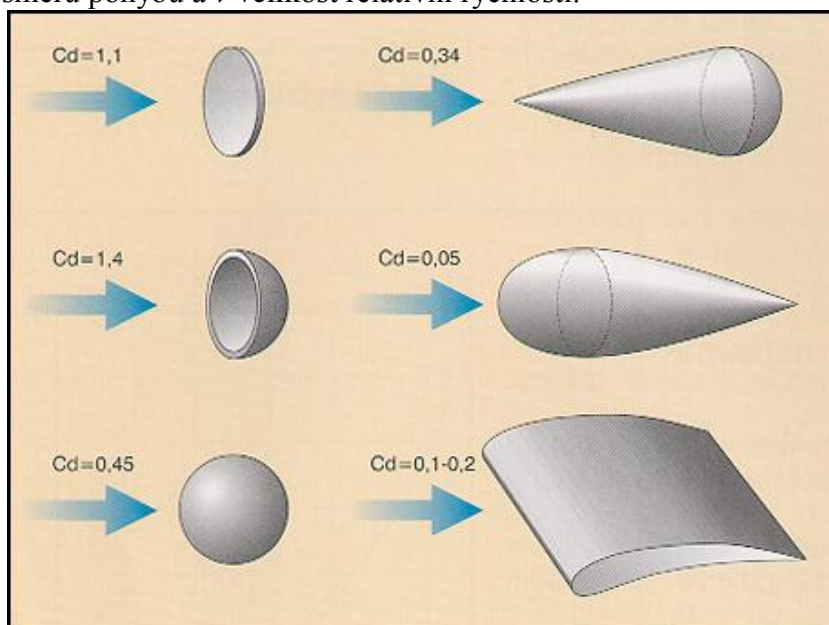
Větrný tunel

Fyzikální princip

Aerodynamika je věda, která se zabývá obtékáním vzduchu kolem těles. Při pohybu tělesa vznikají v důsledku vnitřního tření odporové síly, které působí proti směru relativního pohybu tělesa ve vzduchu. Měřením bylo zjištěno, že při větších rychlostech velikost odporové síly F roste s druhou mocninou relativní rychlosti tělesa. Pro velikost aerodynamické odporové síly působící na tělesa libovolného tvaru odvodil Newton vztah:

$$F = \frac{1}{2} C \rho S v^2, \quad (1)$$

kde C je součinitel odporu (závisí na tvaru tělesa, viz obr. 1), ρ hustota vzduchu, S obsah průřezu tělesa kolmého ke směru pohybu a v velikost relativní rychlosti.



Obr. 1: Hodnoty součinitele odporu C pro různé tvary těles, převzato z [4].

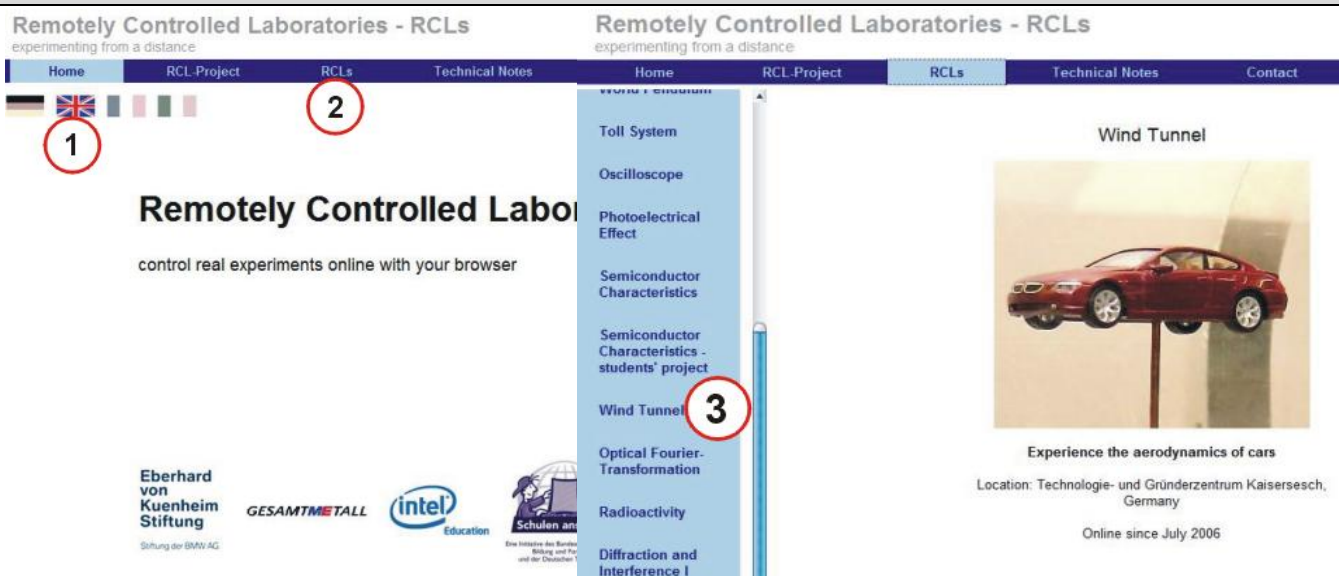
Cíl

1. Seznámit se s vzdáleně ovládaným experimentem *Větrný tunel*.
2. Ze vztahu (1) vypočítat součinitel odporu C pro tři různé automobily.
3. Ověřit závislost mezi aerodynamickou odporovou silou a relativní rychlostí proudícího vzduchu ($F \sim v^2$) pro tři různé automobily.
4. Vypracovat protokol o měření.

Pomůcky

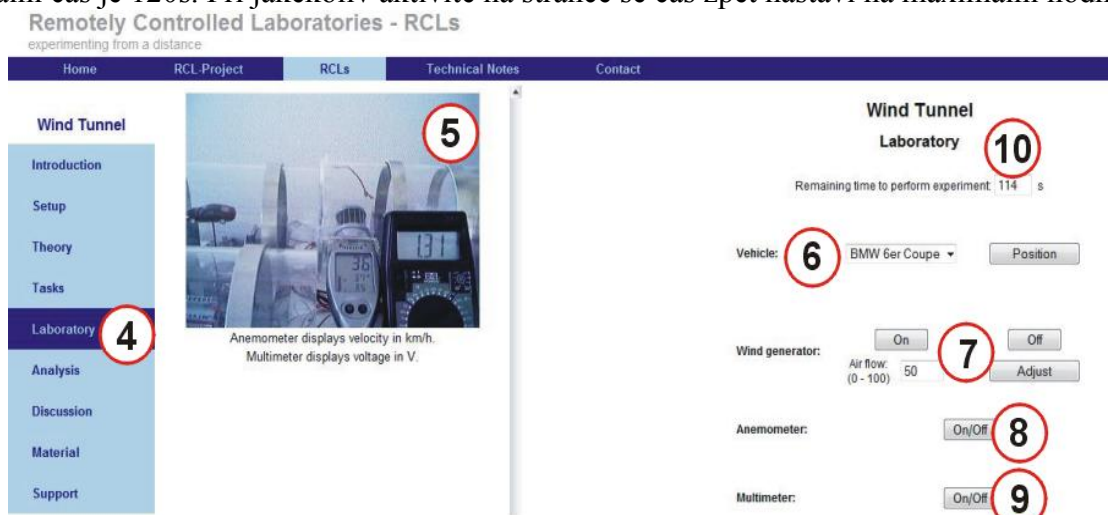
Počítač s připojením na internet.

Schéma



Obr. 2: Webová stránka, z které lze experiment vzdáleně ovládat.

Na webové stránce <http://rcl.physik.uni-kl.de/> (viz obr. 2) si nejprve vyberte jazykovou mutaci (nejlépe angličtinu, viz číslo 1) a poté klikněte na nápis "RCLs" v horní modré liště (viz číslo 2). Na další webové stránce se vám v levé části zobrazí seznam vzdáleně ovládaných experimentů. Klikněte na položku s názvem "Wind Tunnel" (viz číslo 3) a otevře se vám nová webová stránka s tímto experimentem (viz obr. 3). Na této webové stránce si můžete v levém modrém sloupci přečíst o tomto experimentu (teorie, úkoly, analýzy, sestava experimentu apod.). Pokud chcete přejít k měření, musíte kliknout na nápis "Laboratory" (viz číslo 4). V levé části obrazovky je obraz z webové kamery, který sleduje aktuální změny na experimentu (viz číslo 5). V pravé části webové stránky je možno nastavit různý typ automobilu (viz číslo 6), sílu proudícího vzduchu (viz číslo 7). V této části stránky jsou také dvě tlačítka "On/Off" (viz čísla 8, 9), která zapínají, resp. vypínají anemometr a multimetr. V horní části stránky (viz číslo 10) se odpočítává čas, který ještě máte k provádění experimentu. Maximální čas je 120s. Při jakékoliv aktivitě na stránce se čas zpět nastaví na maximální hodnotu.



Obr. 3: Webová stránka, z které lze experiment vzdáleně ovládat.

Postup měření

1. Zapněte počítač a připojte se na internet. Experiment je umístěn na webové stránce <http://rcl.physik.uni-kl.de/> (obr. 2-3).
2. Pokud by se na této webové stránce vyskytly chyby, vyzkoušejte tento experiment v jiném webovém prohlížeči.
3. Pokud je vše v pořádku lze přejít k měření. Nejprve se seznamte s ovládáním experimentu a proveďte jedno zkušební měření, kde se seznámíte s funkcemi jednotlivých tlačítek (position, on, off, adjust apod.).
4. K výpočtu součinitele odporu C ze vzorce (1) potřebujete znát hodnotu hustoty vzduchu při pokojové teplotě. V tabulkách si vyhledejte hodnotu hustoty vzduchu pro pokojovou teplotu, nezapomeňte uvést správné jednotky.
5. Dále k výpočtu C potřebujete znát obsah průřezu tělesa kolmého ke směru pohybu S (viz tab. 1) a také poměr mezi změnou napětí měřenou na multimetru a změnou odporové síly pro každý automobil ($\frac{\Delta U}{\Delta F}$), (viz tab. 2).

Tab. 1

Typ auta	S	S [m ²]
BMW 6er Coupe	(258 ± 6) mm ²	
Fire engine ("Požární vůz")	(826 ± 18) mm ²	
BMW X5	(380 ± 6) mm ²	

Tab. 2

Typ auta	$\frac{\Delta U}{\Delta F}$
BMW 6er Coupe	48,94 $\frac{V}{N}$
Fire engine ("Požární vůz")	21,77 $\frac{V}{N}$
BMW X5	49,33 $\frac{V}{N}$

6. Nyní můžete přejít k samotnému měření. Na webové stránce nejprve vyberte auto "BMW 6er Coupe". Zapněte (stisknutím tlačítka "on") větrný generátor ("wind generator"), nastavte proud vzduchu v políčku "Air flow" na hodnotu 0 a zapněte anemometr a multimetr. Počkejte 5-10s až se hodnoty ustálí a z webové kamery v levé části obrazovky si opište údaje z anemometru (první přístroj) a multimetru (druhý přístroj). Poté do políčka "Air flow" zadejte vyšší hodnotu např. 40 a zpět do tabulky opište naměřené údaje.

Tab. 3

Typ auta:				
Air flow	$v [\frac{km}{h}]$	$v [\frac{m}{s}]$	U [V]	$\frac{\Delta U}{\Delta F} [\frac{N}{V}]$
0	0	0	$U_0 =$	
			$U_1 =$	

7. Z tab. 3 vypočítejte velikost odporové síly F pro "BMW 6er Coupe":

$$\frac{\Delta U}{\Delta F} = 48,94 \frac{N}{V} \Rightarrow F = \frac{U_1 - U_0}{48,94} N.$$

8. Nyní znáte všechny potřebné hodnoty. Dosazením do vztahu (1) určete hodnotu součinitele aerodynamického odporu C pro "BMW 6er Coupe". Pozor na správné jednotky!

9. Nyní přejděte k ověření vztahu $F \sim v^2$ pro "BMW 6er Coupe". Zapněte větrný generátor ("wind generator"), nastavte proud vzduchu v políčku "Air flow" na hodnotu 0 a zapněte anemometr a multimetr. Počkejte 5-10s až se hodnoty ustálí a z webové kamery v levé části obrazovky si do tabulky opište údaje z anemometru (první přístroj) a multimetru (druhý přístroj). Postup zopakujte a do políčka "Air flow" dále zadávejte hodnoty 20, 40, 60, 80 a 100.

Tab. 4

Air flow	$v \left[\frac{km}{h}\right]$	$v \left[\frac{m}{s}\right]$	$v^2 \left[\frac{m^2}{s^2}\right]$	U [V]	$U_1 - U_0$ [V]	$F = \frac{U_1 - U_0}{48,94}$ [N]
0	0	0	0	$U_0 =$	0	0
				$U_1 =$		
				$U_1 =$		
				$U_1 =$		
				$U_1 =$		
				$U_1 =$		

10. Z naměřených hodnot vytvořte graf závislosti F na v^2 a ověřte platnost vztahu $F \sim v^2$.
11. Na webových stránkách si vyberte druhé auto "Fire engine" a body 6-10 analogicky zopakujte. Pro výpočet odporové síly F pro "Fire engine" použijte vztah:
- $$F = \frac{U_1 - U_0}{21,77}.$$
12. Po provedení druhého měření si vyberte třetí automobil "BMW X5" a body 6-10 ještě jednou analogicky zopakujte. Pro výpočet odporové síly F pro "BMW X5" použijte vztah:
- $$F = \frac{U_1 - U_0}{49,33}.$$
13. Vypracujte protokol o měření, který má standardní části: Úvod, Teoretická část, Experimentální část (naměřená data, grafy, výpočty a tabulky), Závěr a Zhodnocení měření.

Doplňující otázky

- Jaký vliv má součinitel aerodynamického odporu C na konstrukci automobilů?
- U plynů mluvíme o aerodynamické odporové síle, u kapalin o hydrodynamické odporové síle. Popište, jak vypadá proudění reálné kapaliny kolem překážky při menší rychlosti a při větších rychlostech. Jak se tyto dva typy proudění nazývají?
- Popište, jak na vás působí Newtonův vztah (1) při pomalé nebo rychlé jízdě na kole.
- Pokuste se provést podobný experiment v laboratoři nebo ve třídě. Jaké pomůcky budete k tomuto pokusu potřebovat?

Použitá literatura

- [1] Bednařík, M.: *Fyzika pro gymnázia. Mechanika*. Prometheus, Praha, 2000.
- [2] <http://rcl.physik.uni-kl.de/>. [on-line] [cit. 2010-8-9].
- [3] <http://cs.autolexicon.net/articles/aerodynamika>. [on-line] [cit. 2010-8-9].
- [4] <http://www.aquaphoenix.com/lecture/matlab5/page2.html>. [on-line] [cit. 2010-8-9].