

Model aerodynamického tunelu

J. Švec, V. Bílý, M. Krov

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

svecjar1@fjfi.cvut.cz

Abstrakt

Aerodynamický tunel, aneb k čemu slouží, jaké jsou typy tunelů a stavba funkčního modelu. V práci popisujeme druhy proudění tekutin a jejich rozlišení. Dále zjišťujeme velikost odporové síly, pomocí výpočtu a měření v našem aerodynamickém tunelu. Porovnááme součinitel odporu pro různé tvary těles s experimentálně zjištěnými hodnotami na našem tunelu. Také jsme se pokusili o zviditelnění proudnic za pomoci doma vyrobené dýmovnice.

1 Úvod

Při pohybu tělesa tekutinou nelze při přesných výpočtech zanedbat odpor prostředí. Reálné kapaliny a plyny mají na rozdíl od těch ideálních vnitřní tření a viskozitu. V důsledku vnitřního tření dochází k zahřívání tekutiny a ke přeměně kinetické energie tělesa na jinou formu energie. Z hlediska odporu rozlišujeme dva druhy obtékání tělesa tekutinou podle velikosti Reynoldsova čísla $R = \frac{vd}{\nu}$, kde v je rychlost proudění, d je průměr trubice a ν je kinematičká viskozita.

Prvním druhem je laminární proudění, které odpovídá tekutinám s většími přitažlivými silami mezi částicemi, malým rychlostem a hladkému povrchu obtékaného předmětu. Při něm se proudnice nijak nekříží, částice se pohybují ve vrstvách, které po sobě kloužou.

Druhým typem je proudění turbulentní. Za předmětem se vytváří charakteristické víry, pohyb částic je chaotický. Odpor prostředí se při turbulentním obtékání dá shrnout Newtonovým vzorcem $F = \frac{1}{2}CS\rho v^2$. Kde C je součinitel odporu, S je příčný průřez tělesa, ρ je hustota tekutiny a v je její rychlost.

Právě turbulentní proudění jsme chtěli za pomoci dýmovnice sledovat uvnitř našeho aerodynamického tunelu.

2 Stavba

Aerodynamické tunely se obecně dělí na dva základní typy, vysokorychlostní a nízkorychlostní. Vysokorychlostní tunely jsou většinou určeny pro testování relativně velkých předmětů např. aut, letadel atd., zatímco nízkorychlostní tunely můžeme nejčastěji najít u modelářů RC letadel popřípadě v menších laboratořích. Je tedy logické, že námi vytvořená konstrukce se řadí mezi tzv. nízkorychlostní aerodynamické tunely.

K samotné stavbě aerodynamického tunelu jsme použili pouze běžně dostupné a levné materiály. Podstavec je vyroben z dřevěné desky, na kterou jsou přilepeny čtyři pravoúhlé dřevěné nosníky. Nosníky jsou umístěny doprostřed desky tak, aby tvořili dvojice mezi které bude umístěn samotný tubus tunelu. Mezi těmito dvojicemi je mezera, která slouží k připojení měřicí techniky. Tubusem tunelu jsou dvě průhledné plastové trubky přilepené na nosíky, jejichž konce jsou obaleny těsnicí gumou, z důvodu bezpečnosti a efektivity. Samotným srdcem tunelu je běžný domácí elektrický fén na vlasy o dvou rychlostech.

3 Dýmovnice

Námi zvoleným cílem bylo, mimo jiné, znázornit proudnice vzduchu při obtékání tělesa uvnitř tunelu. I vzhledem k jeho velikosti pro nás bylo technicky nemožné umístit malý zdroj kouře dovnitř tunelu, abychom tak znázornili a následně pozorovali jedinou proudnici, a proto jsme se rozhodli umístit zdroj kouře ještě před fén. Pro náš pokus jsme se rozhodli jako zdroj kouře použít klasické dýmovnice domácí výroby.

Při výrobě dýmovnice jsme postupovali takto. V hrnci jsme smíchali obyčejný cukr a dusičnan draselný (KNO_3) zhruba v poměru 1 : 1. Na internetu sice najdete přesné poměry, ale ty se mnohdy liší, a i když jsme je použili a ingredience navázili s přesností na desetiny gramu, nikdy jsme nedosáhli optimálního poměru. Směs jsme následně promíchali a doladili poměr tak, že jsme odebraly malý vzorek a ten zkušebně zapálili. U spáleniny jsme pozorovaly poměr černé spáleniny (zbytek po cukru) a bílé spáleniny (zbytek po dusičnanu). Ty by měly být také v přibližném poměru 1 : 1. Pokud ne, chybějící složku dodáme, opět promícháme, odebereme vzorek, který spálíme a znovu pozorujeme. Celý proces opakujeme, dokud se nám nepodaří namíchat správný poměr. Bohužel je to záležitost zkušeností, než se člověk metodou pokus omyl naučí rozpoznat ten správný poměr, který je optimální. Je-li ve směsi příliš mnoho cukru, výsledná dýmovnice špatně hoří, má tendenci sama od sebe zhasnout a obtížně se zapaluje. Je-li ve směsi naopak příliš mnoho dusičnanu, výsledná dýmovnice hoří příliš rychle, prská a vyprodukuje méně kouře po kratší dobu hoření. Když máme namíchaný správný poměr, je třeba celou směs nechat zkaramelizovat. Pro dosažení konzistentní hmoty je vhodné celou směs nechat rozpustit ve vodě, zamíchat, a vodu následně nechat odpařit. Jakmile je směs zkaramelizována, necháme ji vychladnout. Pokud směs není horká, avšak ještě není ani zcela ztuhlá, vytváříme z ní dýmovnice námi chtěného tvaru. Na tvaru záleží jak délka hoření, tak i množství dýmu. Tento moment je také vhodný k přidání zápalnic. Následně necháme dýmovnice se zápalnicemi zatuhnout. Jakmile směs ztvdne, již není možné ji jakkoli tvarovat či jinak upravit, maximálně ji lze rozdrtit na menší části. Pro úplnost přidáváme rovnici hoření dýmovnice: $C_6H_{12}O_6 + 12KNO_3 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 12KNO_2$.

4 Závěr

Výstupem naší práce bylo měření, jehož výsledky jsme prezentovali na hodině fyzikálního semináře, a samozřejmě vyrobený funkční model aerodynamického tunelu. Vypočtené a naměřené hodnoty viz tabulka 1 (v tabulce: C je součinitel odporu). Měření síly probíhalo v laboratořích FJFI ČVUT v Praze a rychlost proudění vzduchu uvnitř tunelu byla naměřena v Českých Budějovicích pomocí domácího anemometru. Znázornění proudnic se bohužel nezdařilo dle našich představ, neboli nepodařilo se nám proudnice znázornit.

Těleso	C - vypočtené	C - tabulkové	Síla - naměřená [N]
Koule	$0,41 \pm 0,16$	0,48	$0,19 \pm 0,09$
Vypuklá polokoule	$0,30 \pm 0,09$	0,34	$0,14 \pm 0,05$
Dutá polokoule	$1,21 \pm 0,22$	1,33	$0,56 \pm 0,11$

Tabulka 1: Naměřené, vypočtené a nalezené hodnoty.

Reference

- [1] I. Štoll. *Mechanika*. České vysoké učení technické, Praha (2010), 209 s. ISBN 978-80-01-04554-1.
- [2] J. Mikulčík. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce pro střední školy*. Prometheus, Praha (2003), 276 s. ISBN 80-719-6264-3.
- [3] Výzkumný a zkušební letecký ústav Praha. *Aerodynamický tunel*, <http://www.vzlu.cz>