

Rozšíření výuky předmětu Počítačové modelování formou interaktivních průvodců

Jakub Elcner¹, František Lízal²

¹ Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, Technická 2896/2, Brno, yelcne00@stud.fme.vutbr.cz

² Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, Technická 2896/2, Brno, lizal@fme.vutbr.cz

Abstrakt Cílem tohoto článku je seznámit čtenáře s realizací projektu zaštitěného Fondem rozvoje vysokých škol, s názvem "Rozšíření výuky předmětu Počítačové modelování formou interaktivních průvodců". V rámci tohoto projektu byla vytvořena databáze multimediálních výukových průvodců zaměřených na ovládání a práci s programem StarCCM+ a přenosná trať umožňující jednoduché experimenty s obtékáním tuhých těles. Vybrané případy je možné realizovat v počítači a výsledek simulace vizuálně porovnat s experimentem provedeným na přenosné trati.

1 Úvod

Počítačové modelování je předmět garantovaný Energetickým ústavem Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně, který je vypsán pro studenty prvního ročníku navazujícího magisterského studia, oborů Energetické inženýrství (volitelný) a Technika prostředí (povinný). Cílem tohoto předmětu je seznámit studenty se základy počítačového modelování proudění a přenosu tepla po teoretické i praktické stránce. Výuka předmětu je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V rámci teoretické části jsou studenti seznámeni se základy počítačového modelování, diskretizační metodou kontrolních objemů, výpočtovými schémata pro nestacionární vedení tepla atd. Praktická část se zaměřuje na práci s programy firmy CD-adapco, konkrétně Star-Design pro tvorbu geometrie a CFD program StarCCM+. Rozsah výuky je stanoven na dvě hodiny týdně. Takto vymezený čas neumožňuje vyučujícímu se řádně věnovat oběma částem v potřebné míře. Vytvoření tutoriálů umožňujících studentům si samostatně osvojit základní principy ovládání programu StarCCM+ by vyučujícímu umožnilo zaměřit se více na podstatnější teoretickou část. Experimentální trať postavená v rámci projektu umožní studentům porovnat děje probíhající při vybraných řešených úlohách.

2 Zpracování úloh

Tutoriály budou vypracovány ve formátu flash video (.flv) a umístěny na server energetického ústavu www.eu.fme.vutbr.cz. Úlohy se budou týkat oblasti související s oborem termomechaniky a techniky prostředí. Jedná se o úlohy zaměřené na proudění, obtékání předmětů a přenos tepla, podrobnější popis některých úloh se nachází níže v textu. Každá úloha bude obsahovat krátkou textovou část, která studenta uvede do řešené problematiky, soubor s geometrií a sítí připravenou pro import do programu StarCCM+ a komentované video které studenta provede v nastavení programu StarCCM+.

2.1 Laminární proudění

Jedná se o základní typ proudění, při kterém jsou proudnice rovnoběžné a nemísí se. Závislost rychlosti na poloměru je v případě laminárního proudění parabolická a lze ji popsat jednoduchou rovnicí (1).

$$w(r) = w_s \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \quad (1)$$

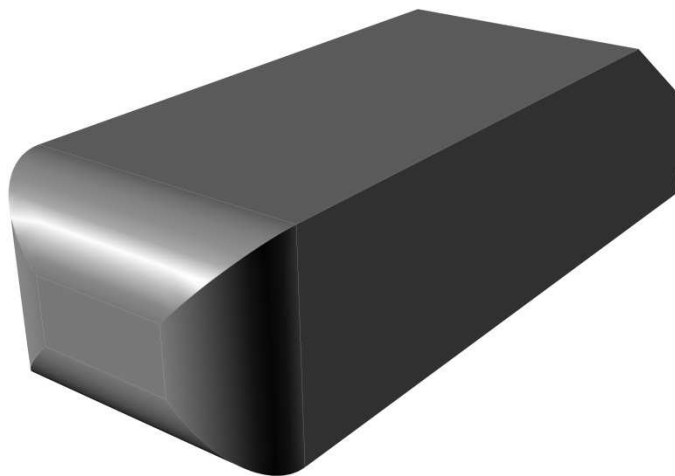
kde w je rychlost (m/s), w_s rychlost v ose proudu (m/s), r pozice vektoru rychlosti (m) a R průměr potrubí (m). Tato rovnice je využita při předepsání okrajové úlohy na vstupu do geometrie. Problém je řešen ve 2D a jde o ustálený stav. Studenti se v rámci této úlohy naučí nastavit okrajové podmínky, fyziku daného problému, základní práci s field function a práci s kritérii pro ukončení výpočtu.

2.2 Karmánův vír

Tento jev vzniká převážně při obtékání válcových těles v rozmezí Reynoldsova čísla $Re = 100 - 1000$. Za tělesem dochází ke střídavému odtrhávání vírů a vzniká tzv. vírová stezka. Úloha je řešena ve 2D jako nestacionární děj. Cílem je vytvořit a pomocí skalární scény vykreslit vírovou stezku vznikající za válcem.

2.3 Ahmedovo těleso

Ahmedovo těleso je známá geometrie charakterizovaná a definovaná S. R. Ahmedem [1], která slouží jako testovací příklad. Úloha je kvůli úspoře výpočetního času zhotovena ve 2D. Cílem této úlohy je seznámit studenta s modely turbulence užívanými v programu StarCCM+ a jejich nastavením. Geometrie Ahmedova tělesa použitá v projektu je na **Obr. 1**.



Obr. 1 Geometrie Ahmedova tělesa

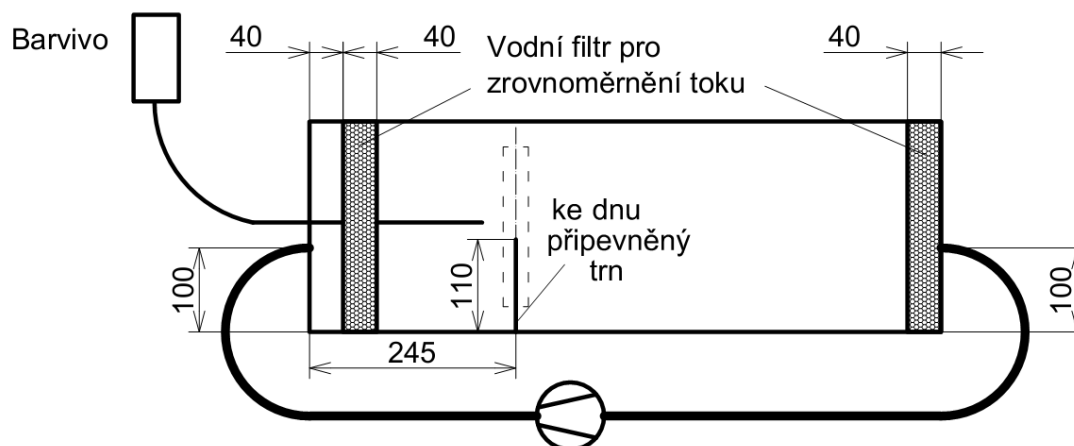
2.4 Směšovací potrubí

Podklady pro tuto úlohu byly použity z manuálu programu StarCCM+. Jedná se o potrubí s dvěma vstupy a jedním výstupem, kde se mísí dva proudy vzduchu o různé teplotě. Každý proud vzduchu má na vstupu definovanou teplotu a rychlost proudění, geometrie je trojrozměrná a uvažuje se stacionární děj.

3 Experimentální trať

Porovnání výsledků numerické simulace a reálného charakteru proudění je možné díky nově postavené přenosné experimentální trati, jejíž schéma je uvedeno na **Obr. 2**. Trať byla vyrobena ze snadno dostupných materiálů a splňuje všechny podmínky, vytyčené projektem.

Základem trati je kanál vyrobený z akrylátových desek tloušťky 5 mm, které byly slepeny lepidlem ACRIFIX 192 a utěsněny průhledným silikonem. Rozměry kanálu jsou 20 cm x 25 cm x 75 cm.



Obr. 2 Schéma experimentální trati

Přívod a odvod vody byl realizován pomocí flexibilních sifonů, které jsou připojeny k oběhovému čerpadlu Grundfos MAGNA 32-60 230V PN10 180mm. Vypouštění vody z měřicí tratě je možné pomocí ventilu umístěného ve dně kanálu, vodu z potrubí k čerpadlu lze snadno vypustit odšroubováním sifonu v čele kanálu. Obtékaná tělesa se umísťují na tyč se závitem ve vzdálenosti 245 mm od čela kanálu. Fotografie trati je na **Obr. 3**. Samotná vizualizace obtékání je prováděna přiváděním barviva před těleso. Osvědčilo se potravinářské barvivo, neboť je ekologicky nezávadné a lze jej tudíž vypustit do běžné kanalizace, a zároveň neulpívá na stěnách kanálu a obtékaných těles, takže je možné kanál snadno udržet v čistotě. Vzhledem k tomu, že trať je uzavřená, dochází postupně k obarvení celého objemu tekutiny. Dobu pro provádění experimentů je možné prodloužit postupným použitím vhodných barev. Rovnoměrnou dodávku barviva zajišťuje medicínský infuzní set, na němž lze pohodlně nastavit průtok barviva. Rovnoměrnosti pohybu tekutiny uvnitř kanálu je dosaženo použitím vodních filtrů s porozitou PPI 20 vyrobených z polyetherové pěny s kalibrovanou strukturou buněk. Tloušťka vrstvy filtru na začátku i na konci tratě je 40 mm. Na základě potřebných předpokládaných Reynoldsových čísel (pro obtékaný válec o průměru 1 cm a letecký profil s charakteristickým rozměrem 1 cm bylo požadováno Re 90 až 500, pro Ahmedovo těleso o výšce 18,5 mm bylo požadováno Re 90 až 1000) bylo zvoleno oběhové čerpadlo Grundfos MAGNA 32-60 230V PN10 180mm. Čerpadlo je vybaveno frekvenčním měničem a plynulou regulací otáček a lze tak přímo na čerpadle ovládat množství čerpané kapaliny. Na čelním panelu čerpadla je umístěn ukazatel aktuálního průtoku a dopravní výšky. Celá trať je připevněna ke školní lavici, přičemž kanál je umístěn na desce a čerpadlo pod ní tak, aby čelní panel čerpadla s veškerými ovládacími prvky byl snadno dostupný. Vzhledem k poměrně nízké hmotnosti a vhodným rozměrům lze trať snadno přenášet a je možné ji umístit do běžné



Obr. 3 Experimentální trať



učebny. Pro zvýšení kontrastu a viditelnosti barviva je pod spodní a na boční desku kanálu připevněn bílý papír.

4 Závěr

Projekt byl obhájen v lednu roku 2012. Na experimentální trati byly provedeny pokusy s vizualizací obtékání válce, leteckého profilu a Ahmedova tělesa. Video pořízená při těchto pokusech jsou umístěna na stránkách projektu. Trať bude také využita v rámci letní školy organizace BEST (best.vutbr.cz).

Poděkování Tento článek vznikl za podpory projektu Fondu rozvoje vysokých škola FRVŠ 2767/2011 a projektu grantové agentury GA101/09/H050.

Literatura

- [1] AHMED S. R., RAMM G.: *Some salient features of the time-averaged ground vehicle wake*, SAE, 1984