

ODBORNÁ PRAXE Z FYZIKY

PlasmaSolve

Zpracoval: Marek Šťastný

Zpracováno: 11. 1. 2023

Odbor: N-FYZ

Ročník: II

Semestr: I

Testováno:

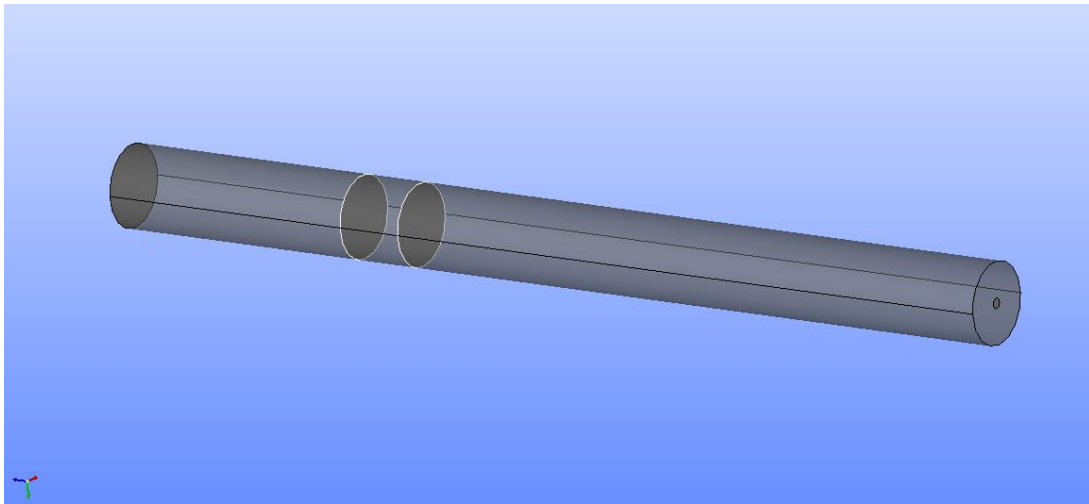
1. Úvod

Na podzim roku 2022 jsem působil na stáži ve firmě PlasmaSolve s.r.o. vedené Mgr. Adamem Obrusníkem, PhD., který je vedoucím mé diplomové práce. Firma se zaměřuje na fyzikální simulace na zakázku, převážně zasahující do oboru fyziky plazmatu. Mezi jednu z osvědčených metod patří částicové simulace typu Monte Carlo (angl. Direct Simulation Monte Carlo, DSMC) schopné uspokojivě popsat kinetiku plazmatu. Moje práce navazovala na předchozí výzkum v oblasti elektrického pohonu ABEP, který jsem popisoval ve své bakalářské práci. Ve spolupráci s VUT a firmou SpaceLab EU vznikl nový projekt zabývající se konstrukcí systému ABEP. Jedním z úkolů v rámci tohoto projektu byla realizace simulace proudění vzduchu v aparatuře pro reprezentativní geometrii ve známých podmínkách.

2. Stať

Projekt ve spolupráci s firmou SpaceLab EU a VUT se zabývá především konstrukcí ABEP systému (z angl. Air Breathing Electric Propulsion) neboli systému využívající okolní vzduch jako palivo. Systémy ABEP se za poslední dekádu staly žhavým tématem v oblasti elektrických pohonů satelitů. Jejich výhodou je absence paliva na palubě, čímž se výrazně snižuje hmotnost plavidla a šetří se peníze. Jako palivo jsou ABEP systémy schopny využít okolní atmosféru díky kompresi zbytkových částic skrze tzv. intake umístěný na přední části plavidla. Atmosféru na nízké oběžné dráze nahrazujeme v laboratorních podmínkách okolním vzduchem vháněným skrze ventil do aparatury. Aparatura je na opačné straně odčerpávána vývěvou. Tím kontrolujeme pracovní tlak, který nastavujeme v jednotkách až desítkách milipascalů, což jsou hodnoty, které bychom na oběžné dráze po kompresi očekávali.

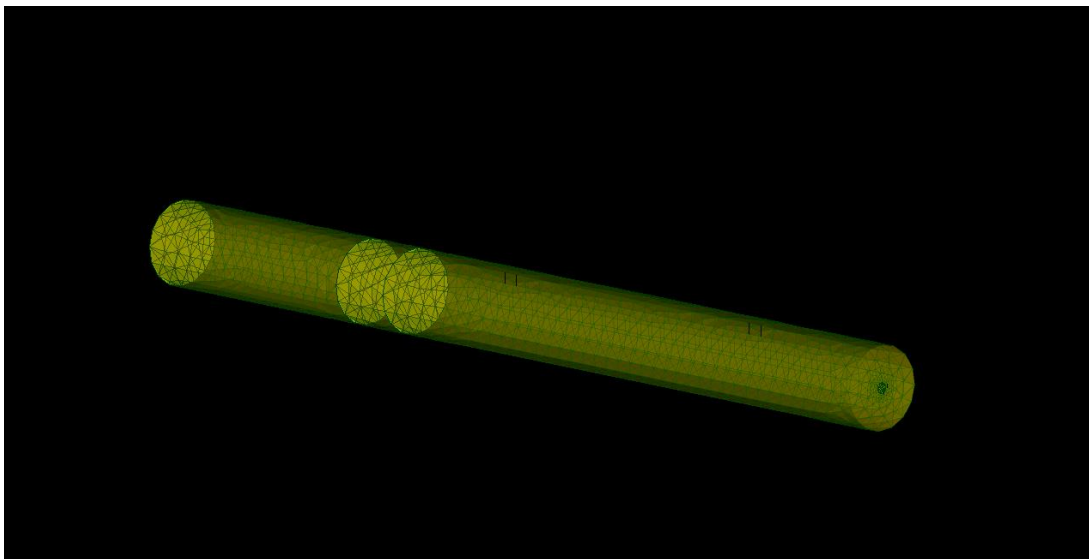
Pomocí fyzikálních DSMC simulací jsme schopni předpovědět, jak bude proudit vzduch skrze aparaturu. Ideálně by napouštěný vzduch neměl mít jeden preferovaný směr a měl by se rozložit ve výbojové trubici rovnoměrně. V opačném případě by mohlo být komplikované zapálit ve výbojové trubici plazma. Dále také umíme předpovědět tlakové rozložení v aparatuře i v případě vložené překážky (v našem případě se jedná o sérii extrakčních mřížek). Pro úspěšnou DSMC simulaci je zapotřebí geometrie neboli realistická virtuální reprezentace domény, ve které budeme sledovat proudění plynu. Na konstrukci geometrie jsem používal open-source program Salome v kombinaci s důmyslným firemním softwarem na něj napojeným. Takováto nadstavba mi umožnila vytvořit jednoduchou a přesnou reprezentaci laboratorní aparatury. Výsledek představuje válcovou výbojovou trubici se dvěma extrakčními mřížkami. Konce simulační domény jsou pokryty okrajovými podmínkami reprezentujícími přívod plynu na jedné a vakuovou pumpu na druhé straně. Geometrii najdeme na obrázku č. 1:



Obrázek č. 1: Válcová geometrie experimentální aparatury se dvěma extrakčními mřížkami.

Díky firemnímu softwaru spojeným se Salome jsme schopní měnit jak vzdálenosti mřížek od krajů, tak i mezi nimi. Dalším proměnným parametrem je propustnost mřížek, která byla nastavena tak, aby odpovídala co nejlépe reálným mřížkám.

DSMC metoda potřebuje na úspěšné projití svého algoritmu síť bodů, tzv. mesh tvořenou ve 3D velkým počtem čtyřstěnů. Program Salome je schopen takovou mesh spočítat, a dokonce jí umí zjemnit v místech, kde se geometrie výrazně mění. Mesh vidíme na obrázku č. 2:



Obrázek č. 2: Mesh složená ze čtyřstěnů různé velikosti.

Samotná DSMC se počítá za pomoci slovníkového souboru typu YAML, kterému je nutno předat velké množství informací o geometrii, meshi, typu a metodě řešení okrajových podmínek, typu rozprašovaných částic atd. Výsledkem simulace je soubor, který jsem analyzoval open-source programem ParaView. Takto jsem simulaci zopakoval pro různé hodnoty pracovního tlaku ve výbojové trubici a porovnal výsledky. Jeden z výsledků vidíme na obrázku č. 3:



Obrázek č. 3: Tok plynu v aparatuře.



Obrázek č. 4: Rozložení tlaku v aparatuře.

3. Závěr

Obrázek č. 3 nám ukazuje, že se vzduch při našich podmínkách rovnoměrně rozprostře v celé výbojové trubici. Také tlak je na obrázku č. 4 téměř konstantní v místě, kde bude zapáleno plazma. Vidíme tedy, že není potřeba měnit rozložení aparatury. Výsledek podporuje významnost fyzikálních simulací při vývoji experimentálních zařízení. Numerické simulace šetří práci i peníze vynaložené na laboratorní experimenty a často nám poskytují výsledky, ke kterým bychom se experimentálními metodami nedostali.