

SUPERKAVITÁCIA

R. Káčer*, M. Šaur, J. Veselý

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

*kacerrom@fjfi.cvut.cz

Abstrakt

Práca si berie za cieľ zoznámiť užšiu technickú verejnosť o superkavitácii a zároveň overiť vznik superkavitačnej bubliny na statickom telese a na vystrelenom projekte do kvapaliny. Tento pokus demonštruje na dvoch experimentoch.

1 Úvod

Kavitáciou sa rozumie vznik vzduchových bublín okolo telesa čiastočne či plne ponoreného do kvapaliny, vplyvom náhleho významného poklesu tlaku. Následne dochádza k implózií vzduchových bublín, čo je doprevádzané silnými rázovými vlnami.

Pokles tlaku, ktorý vedie k vzniku kavitačného javu. Môže byť spôsobený zvýšením rýchlosti nabiehajúceho prúdu voči danému telesu – potom sa jedná o tzv. hydrodynamickú kavitáciu alebo potom znížením tlaku nabiehajúceho prúdu. Poslednou variantou vzniku je tzv. akustická kavitácia, ktorá vzniká prechodom intenzívnej zvukovej vlny v miestach rozrušovania prúdu.

Kavitácia sa vyskytuje predovšetkým ako rušivý element, napríklad pri vodných turbínach či šraubách, kde vďaka implóziám kavitačných bublín dochádza k vážnym poškodeniam lopatiek, preto je čo najväčšia snaha sa tohoto javu vyvarovať.

Superkavitácia naopak je javom účelne vytváraným, kedy dochádza k obaleniu patričného telesa vzduchovou bublinou a teleso sa potom môže pohybovať oveľa vyššou rýchlosťou v kvapaline.

2 História

Prvý, komu sa pripisuje štúdium kavitácie je John William Strutt, 3. barón z Rayleigh, na prelomu 19. a 20. storočia. Veľký pokrok prebehol behom obdobia I. svetovej vojny z vojenských dôvodov, kedy jednotlivé námorníctva sa pokúšali ochrániť svoje lodné šraubky pred kavitačnými javmi. Ďalší veľký pokrok prebehol behom II. svetovej vojny, kde skupina pod vedením H. Reicharda sa začala už priamo zaoberať superkavitáciou.

3 Metódy vytvorenia superkavitácie

Prvá metóda dosiahnutia superkavitácie je zvýšenie rýchlosti nabiehajúceho prúdu na teleso nad kritickú hodnotu, kde potom pri rozrážaní prúdu dochádza k dostatočným zmenám tlaku a vytváraní kavitačných javov. Pre vodu pri teplote 20°C sa jedná o rýchlosť 50 m.s⁻¹. Takto dosiahnutá superkavitácia sa nazýva prirodzenou, či výparovou superkavitáciou.

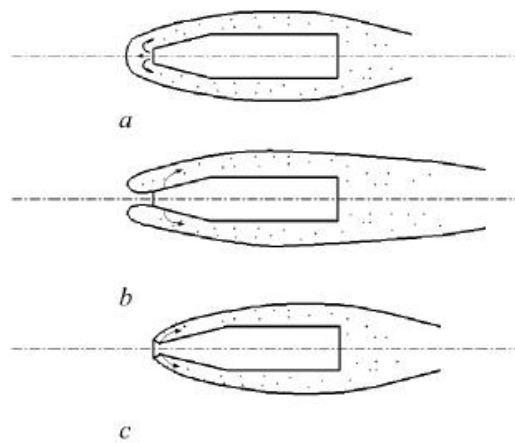
Druhá metóda spočíva v znížení tlaku nabiehajúceho prúdu. Táto metóda je však iba pre použitie v laboratórnych podmienkach, keďže dnes nie je známy spôsob, ako v reálnom použití by bolo možné meniť, tlak nerozrušeného prúdu.

Hlavní metódou dosahovania superkavitácie a jedinou v súčasnej dobe prakticky využiteľnou je zvýšenie tlaku rozrušeného prúdu. Hlavnou výhodou je zníženie minimálnej rýchlosti na $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pre dosiahnutie javu.

Metódy ovplyvňovania medznej vrstvy

Metóda plynového zdroja

Najstaršia metóda ovplyvňovania medznej vrstvy je vytvorenie plynovej kapsy, ktorá celkom obklopí teleso. Plyn je vypúšťaný pred teleso do oblasti nerozrušeného prúdu, kde dochádza k jeho rozrážaniu a prúdiaci plyn uzavrie teleso. Toto riešenie nesie nutnosť vysokého tlaku plynu, ktorý musí byť väčší než tlak nabiehajúceho prúdu. Avšak práve vďaka vysokému tlaku plynu prúdiaceho v kavitačnej kapse dochádza k rozrušovaniu stien kavitačnej bubliny, kde nasleduje k vytváraniu turbulentného prúdenia, ktoré môže spôsobiť zrútenie celej kavitačnej bubliny. Z tohoto dôvodu je táto metóda skôr už historickou záležitosťou a nevyužíva sa.



Obr. 1: Schéma torpéda s plynovým zdrojom

Metóda L. I. Sadova

Táto metóda je náväzná na metódu plynového zdroja, avšak miesto vyfukovania plynu pred teleso tu dochádza k vypúšťaniu prúdu tekutiny – najčastejšie vody, pred teleso, kde dôjde k rozrušeniu nabiehajúceho prúdu a potom pre obklopenie telesa stačí vypúšťať plyn o nízkom tlaku pre vytvorenie kavitačnej bubliny, čím dôjde k eliminovaniu hlavnej nevýhody metódy plynového zdroja.

Na druhú stranu táto metóda je technicky najzložitejšia, z dôvodu požadovaných zariadení sa hodí pre použitie iba na väčšie telesá, zároveň má najväčší potenciál.

Vypúšťanie plynov za tupou „špičkou“

V praxi najpoužívanejšia metóda s najstabilnejším udržaním kavitačnej bubliny. Miesto rozrážania nabiehajúceho prúdu pomocou plynu či kvapaliny je teleso vybavené tupou špičkou. Nabiehajúci prúd je nárazom na špicu celkom rozrušený a vďaka vytvoreniu silného turbulentného prúdenia význačne poklesne tlak v okolí telesa, teda plyn vypúšťaný za špičkou môže byť opäť s nízkym tlakom a vytvorí stabilnú kavitačnú bublinu. Experimentálne bolo preukázané, že nezáleží, či je plyn vypúšťaný priamo za špičkou či až v priebehu telesa.



Obr. 2: Tupá špička torpéda škval

4 Experiment 1 – strieľanie do rôznych kvapalín

V tomto experimente sme využívali vzduchovku (Gamo Hunter-440), s ktorou sme vystreľovali projektily do rôznych kvapalín (voda, etanol, olej a tekutý dusík) a následne pozorovali zo záznamu vysokofrekvenčnej kamery vytvorenie kavitačnej bubliny na telesa.

Očakávali sme, že viditeľnosť kavitačnej bubliny bude najviac viditeľná v etanole, lebo je najmenej viskózný (viskozita = veličina charakterizujúca vnútorné trenie, ktorá závisí na príťažlivých silách medzi časticami; čím vyššia viskozita, tým väčšie príťažlivé sily) a teda by kavitačná bublina mala byť najviac viditeľná. Pri dostatočne nízkej hodnote tlaku sa väzby medzi molekulami porušia a kvapalina sa začína meniť na bubliny plynu – kavitačné bubliny. Je treba dosiahnuť, čo najväčšej rýchlosti, aby superkavitačná bublina bola pozorovateľná. Spravidla sa potrebná rýchlosť pohybuje rádovo v desiatkach metrov za sekundu.

Zaznamenali sme, že v každej kvapaline, ktorú sme skúšali okrem tekutého dusíka, sa vytvorila kavitačná bublina. V tekutom dusíku sme mali problém s parou, ktorá vychádzala z telesa, do ktorého sme strieľali, takže kamera nezaznamenala projektil a tento pokus bol neúspešný. Bohužiaľ aj s využitím kamery, ktorú sme mali k dispozícii, sa nám podarilo získať maximálne 2 snímky z jedného výstrelu. Z tohoto dôvodu sme nemohli preukázať, v ktorej kvapaline sa vytvorí najväčšia kavitačná bublina, lebo vždy záležalo na kameramanovi a strelcovi, kedy obaja spustia spúšť. K tomuto výpočtu by sme potrebovali najlepšie každý milimeter, ktorý projektil prešiel v danej kvapaline, aby sme z fotiek mohli získať viac informácií a vyvodiť z nich, v ktorej hĺbke v našej experimentálnej nádobe projektil dosahuje najväčšiu superkavitačnú bublinu a ako je táto bublina veľká.

V tomto experimente okrem superkavitačnej bubliny dochádzalo ešte k ďalším javom (rázové vlny, akustická kavitácia), avšak tieto javy neboli priamym objektom výskumu, a tak sme ich vynechali. Pre ďalší experiment by bolo vhodné započítať aj ich vplyv na vznik kavitačných bublín a superkavitačnej bubliny.

5 Experiment 2 – ukážka kavitačnej bubliny na statickom telese

Po neúspešnom prvom experimente sme to skúsili opačne a to statické teleso (torpédo) a tečúca voda. Využili aparatúru vlastnej výroby. Pozostávala z priehľadnej trubice, v ktorej bolo umiestnené torpédo. Trubica bola napojená na zdroj tečúcej vody a torpédo s tupou špičkou bolo pevne ukotvené v strede trubice.

Očakávali sme, že postupným zvyšovaním rýchlosti toku vody trubicou budeme pozorovať vznik kavitačnej bubliny. Aparatúru sme pri testoch napojili na vodovodné potrubie a po odstránení netesností sme postupne zvyšovali rýchlosť kvapaliny. Bohužiaľ sa nám ani po dosiahnutí maximálnej nožnej rýchlosti nepodarilo kavitačný jav pozorovať.

Pokračovali sme teda v skúmaní ako danú bublinu vytvoriť. Použili sme nové torpédo ktoré tentokrát nemalo tupú špičku ale malo prevrtnanú dieru v smere osi a v zadnej časti bolo napojené na tenkú hadičku. Slúžila na prívod stlačeného vzduchu ktorý sme vypúšťali v smere proti pohybu vody. Vzduch sme do aparatúry vháňali pomocou veľkej injekčnej striekačky. Pri maximálnom výkone zdroja vody sme vtlačili do trubice vzduch cez torpédo a ako sme očakávali tak vzduch obklopil celé torpédo. Po vytlačení všetkého vzduchu zo striekačky bublina zanikla.

Tento experiment môžeme považovať za úspešný, aj keď sme tam bublinu dokázali udržať iba krátky čas. Ak by sme mali udržať bublinu trvalo, tak by sme potrebovali väčšie množstvo stlačeného vzduchu a v prípade prvého torpéda by sme potrebovali výrazne vyššiu rýchlosť prúdiacej kvapaliny.

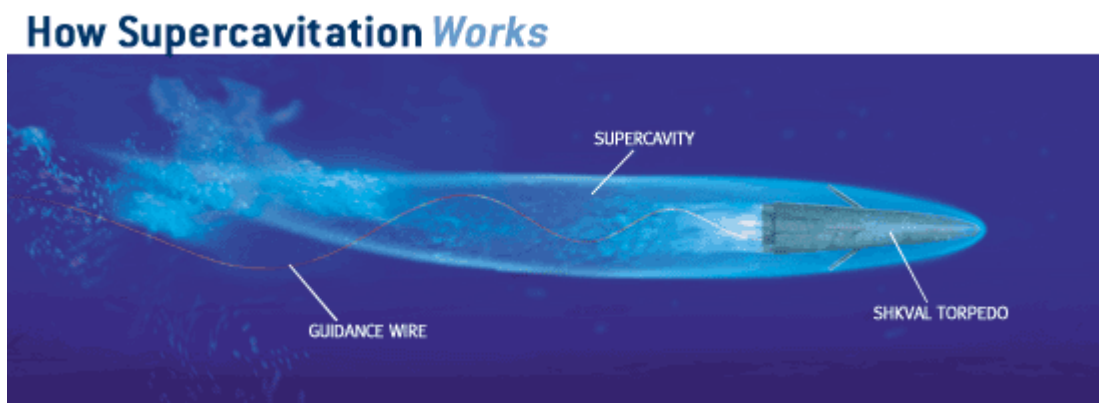
6 Využitie v budúcnosti

Kavitácia je v súčasnej dobe prakticky využívaná iba armádami pre torpéda, avšak ďalším vývojom a znižovaním ceny technológií sa otvárajú veľké možnosti využitia v civilnom sektore.

Najbližšie realizácii sú tzv. superkavitačné lodné šrauby, kedy by lodný šraub bol obalený kavitačnou bublinou, čím by zvýšila účinnosť lodného šraubu a teoreticky by bolo možné dosahovať rýchlostí okolo 60 až 70 km.h⁻¹.

Ďalšia možnosť je vytvorenie veľkej kavitačnej bubliny, ktorá obklopí väčšinu ponoreného trupu plavidla, čím sa opäť zníži odpor plavidla vo vode a môže dôjsť k ďalšiemu nárastu rýchlosti.

Časovo najvzdialenejšou možnosťou je vytvorenie superkavitačných ponoriek, ktoré by boli celé obklopené kavitačnou bublinou a mohli by cestovať rýchlosťou rádovo v stovkách kilometrov za hodinu.



Obr. 3: Vojenské využitie superkavitácie - torpédo škval

Záver

Aj napriek mnohým nepodareným pokusom sa nám podarilo aspoň na chvíľu teleso obaliť bublinou. Nebola to ale bublina vodných pár ale bublina vstreknutého vzduchu. Dúfame že sme niekoho inšpirovali touto témou k ďalšiemu vedeckému bádaniu ohľadom superkavitácie.

Pod'akovanie

Chceli by sme pod'akovať pánovi Ing. Vojtěchovi Svobodovi za poskytnutie pomôcok potrebných k demonštrácii a ochotu diskutovať nad projektom.

Referencie

- 1) NOSKIEVIČ, Jaromír. *Kavitace*. 1. vyd. Praha: Academia Praha,1969. 280s. ISBN 509-21-875
- 2) SUPERKAVITACE, [online], Dostupné na World Wide Web: <http://herodes.feld.cvut.cz/nonlin/superkavitace/superkav.php>
- 3) TRIBOSON. *Kavitace* [online]. Dostupný z WWW: <http://www.triboson.com/kavitace.htm>
- 4) Vojenno-premyšlennyj kurjer, Oružie Rossii 2004, podklady NPO Region, MilitaryPeriscope.com, Globalsacurity.org
- 5) Steven Ashley: *Warp Drive Underwater*, Zbyněk Růžička: Superkavitace, Jane's Intelligence Review, Russia's Arms Catalog, WWW stránky firmy Raytheon
- 6) Bálint Vanek: *Control Methods for High-Speed Supercavitating vehicles*, Ph.D thesis, University of Mineosta.
- 7) samenko, Vladimir N.: *Artificial Supercaviation*. Physics and Calculation, National Academy of sciences, Ukraine.