

# Posudek práce

předložené na Matematicko-fyzikální fakultě  
Univerzity Karlovy

posudek vedoucího

bakalářské práce

posudek oponenta

diplomové práce

Autor: Radovan Lascsák

Název práce: Simulácia odstránenia kozmického odpadu pomocou aerodynamického odporu

Studijní program a obor: Fyzika, Fyzika

Rok odevzdání: 2023

Jméno a tituly oponenta: doc. Mgr. Aleš Bezděk, Ph.D.

Pracoviště: Astronomický ústav AV ČR

Kontaktní e-mail: bezdek@asu.cas.cz

## Odborná úroveň práce:

vynikající  velmi dobrá  průměrná  podprůměrná  nevyhovující

## Věcné chyby:

téměř žádné  vzhledem k rozsahu přiměřený počet  méně podstatné četné  závažné

## Výsledky:

originální  původní i převzaté  netriviální kompilace  citované z literatury  opsané

## Rozsah práce:

veliký  standardní  dostatečný  nedostatečný

## Grafická, jazyková a formální úroveň:

vynikající  velmi dobrá  průměrná  podprůměrná  nevyhovující

## Tiskové chyby:

téměř žádné  vzhledem k rozsahu a tématu přiměřený počet  četné

## Celková úroveň práce:

vynikající  velmi dobrá  průměrná  podprůměrná  nevyhovující

## Slovní vyjádření, komentáře a připomínky vedoucího/oponenta:

Bakalářská práce se zabývá simulací metody zaměřené na redukci množství kosmického odpadu, kterou navrhl její autor. Ve stručné úvodní části je podán přehled problému, je identifikován typ částic odpadu, pro který by se navrhovaná metoda mohla hodit (velikost částice odpadu cca 1 cm, výšky 900–1000 km). Princip spočívá ve vypuštění oblaku prachových částic z družice na dráhu cílové částice odpadu, která by takto byla zbržděna a takto z oběžné dráhy sestoupila rychleji. Hlavní část BP se věnuje fyzikální simulaci celé situace. Autor modeluje oblak brzdících částic, hledá vhodné funkční parametry (např. hmotnost jednotlivých částic), aby byl oblak z pohledu praktického použití dostatečně stabilní a velký (typické hodnoty 10 sekund, velikost větší než 10 cm). Dále autor diskutuje mechanismus brzdícího působení oblaku částic na pohybující se částici odpadu. V poslední části BP autor zkoumá za pomoci externího simulačního programu vliv získaného úbytku kinetické energie částice odpadu na její životnost. Práce končí shrnutím získaných výsledků a výhledem, jak dál pokračovat. Je možno stáhnout použité simulační programy v Pythonu a shlédnout animace.

BP spočívá v analýze originální autorovy myšlenky, což je velice chválihodné. Práce je sepsaná přehledně, obrázky názorně dokumentují text, ukazují, že autor věděl, co chce spočítat či modelovat, výsledky simulací ukazují cestu k množině parametrů, která se jeví v rámci daných předpokladů jako optimální. Cíle BP se tak nepochybně podařilo splnit a autorovi je třeba popřát mnoho zdaru v pokračování v této problematice.

Mám následující drobné připomínky, snad by mohly autorovi sloužit jako určité náměty v další práci.

(str.) 2: „Pri ich zrážkach“ – snad trochu zavádějící výrok, srážek tak mnoho není

3: „Podľa regulácií ESA ...“ – jen upozorňuju, že není jen ESA, kosmický odpad je mezinárodní problém (NASA, OSN atd.)

6: „stredná relativna rýchlosť satelitu a objektu o priemere 0.5 cm vo výške 880 km“ – rychlost tělesa na oběžné dráze nezávisí na jeho velikosti, rychlost pro kruhovou dráhu lze odhadnout ze vzorce (5.1).

6: „Ak chceme presnosť navýšiť, tak potrebujeme upresniť dráhu priamo vo vesmíre (pomocou laserového skeneru, či infračervenej kamery).“ – Poznamenal bych, že při výpočtu drah družic nejde jen o přesnost jednotlivých měření, vždy počítáme odhad na základě mnoha měření, je to speciální oblast družicové dynamiky označovaná jako POD (precision orbit determination).

7: „(10<sup>6</sup> cm)“ – Možno si samozřejmě zvolit libovolné jednotky, pokud jsou užívány konzistentně. V textu jsou délky v centimetrech, rychlosti v m/s, hmotnosti někdy v gramech, jindy v kg. Dávám k úvaze, zda v textu nezůstat u SI jednotek, v obrázcích kvůli názornosti je naopak vhodně užívat např. cm, mm apod.

14: „Na odpad“ – snad lépe: na částici odpadu

14: „(A,  $\sigma$  sú konštantné)“ – V tomto odstavci autor patrně uvažuje o nějakých typických hodnotách obou parametrů, ale já jsem je při listování textem neviděl. Pokud jsou tyto hodnoty uvedeny v předchozím textu, tak by bylo užitečné je zopakovat i zde.

15: „ $C_D = 0,5$ “ – To je jediné místo s věcnou chybou, které jsem zjistil. Autor se odkazuje na údaj z webu: <https://www.engineeringtoolbox.com>, jenže zde uvedená hodnota se týká spojitého proudění v troposféře. Na oběžné dráze jsou jiné fyzikální podmínky, pro sférické družice na oběžné dráze je všeobecně používána teoretická hodnota  $C_D = 2,2$ . Autorovi určitě doporučuji podívat se pro ilustraci na výpočet  $C_D$ . Tento koeficient má na velikost odporové síly velký vliv, bohužel jeho teoretické odhady jsou zatíženy velkou nejistotou. V praxi se tedy např. při výše zmíněném odhadu přesné dráhy družic  $C_D$  fituje jako volný parametr. Jako tip k diskuzi této problematiky uvádím dvě monografie, ale možno se samozřejmě podívat i jinak: Montenbruck Gill, 2001. Satellite orbits - Models, methods and applications, str 83–86. Milani et al., 1987. Non-gravitational perturbations and satellite geodesy, kap. 6.

19: "Sam" – Typografická drobnost zde a na více místech; je rozdíl mezi počátečními a koncovými uvozovkami, v angličtině vypadají takto: "...", v češtině a slovenštině takto: „...“.

- 21: „6. Diskusia“ – Při psaní vědeckých textů je často užitečné se opírat o určitou standardní strukturu vědeckého článku (někdy se užívá zkratka IMRAD, Introduction, Methods, Results, and Discussion, např. <https://en.wikipedia.org/wiki/IMRAD>). V tomto pojetí kapitola Diskuse obvykle obsahuje mj. srovnání získaných výsledků s jinými autory. Autor v svém textu zcela splnil požadavky kladené na BP, v případném pokračování v diplomové práci bych doporučoval hledat konkrétní informace o dané problematice z dalších zdrojů, zejména experimentální výsledky, pokud existují. Studium kosmického odpadu má svůj fyzikální aspekt, avšak např. množství publikací o hledání koretní hodnoty koeficientu odporu  $C_d$  ukazuje, že samotné fyzikální modelování nestačí. Oblastí družicových LEO drah a jejími fyzikálními a zejména technickými aspekty se zabývá např. kosmické inženýrství (aerospace engineering).
- 25: Citace v textu BP jsou tzv. harvardským stylem, ale zde v souhrnu referencí je použit číselný systém; navíc každá položka by z důvodu přehlednosti měla začínat příjmením autora (viz např. <https://citace.zcu.cz/metody-citovani.html>)

### Případné otázky při obhajobě a náměty do diskuze:

#### Práci

doporučuji

nedoporučuji

uznat jako diplomovou/bakalářskou.

#### Navrhuji hodnocení stupněm:

výborně  velmi dobře  dobře  neprospěl/a

Místo, datum a podpis vedoucího/oponenta:



Ondřejov, 7. června 2023