

Optické čočky kruhového průřezu

O. Mikuláš*, J. Konečný**

ČVUT FJFI, Břehová 7, 115 19 Praha 1

*mikulon2@fjfi.cvut.cz, **konecja3@fjfi.cvut.cz

Abstrakt

Předmětem našeho zkoumání jsou vlastnosti optických čoček s kruhovým průřezem při lomu laserového paprsku. Tyto vlastnosti chceme zkoumat jednak geometrickým počítačovým modelem, druhak přímo, experimentem (kterým model ověříme). Podařilo se ukázat, že čočky kruhového průřezu nemají bodové ohnisko, projevují sférickou aberaci a dále najít některá jejich možná využití v praxi.

1 Úvod

Kruh, coby zcela symetrický útvar, má mezi ostatními rovinnými obrazci zvláštní postavení. Chtěli jsme zjistit, jak tato souměrnost ovlivňuje lom paprsků procházejících optickou čočkou s průřezem kruhu. Zda čočka vytváří bodové ohnisko a jak se liší její vlastnosti od čoček jiného tvaru průřezu. Nenašli jsme žádný článek, který by se těmito čočkami zabýval. Proto jsme vytvořili počítačový model simulující lom na těchto čočkách a ten následně ověřili experimentem. Z naměřených a vypočtených údajů jsme dále odvozovali vlastnosti.

2 Počítačový model

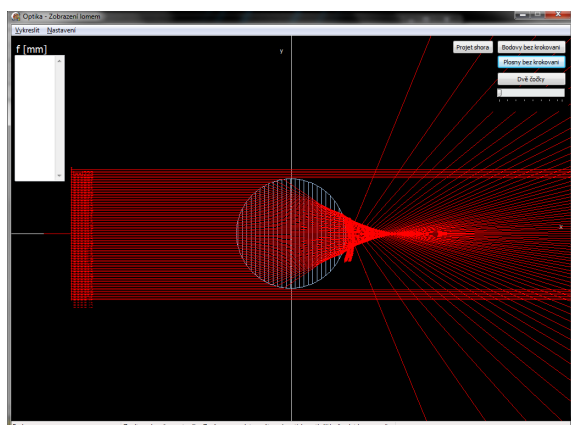
Náš počítačový model využívá metod analytické geometrie v rovině a Snellova zákona lomu paprsků na rozhraní optických prostředí. Výpočty provádíme pro paprsky ležící v jedné rovině.

Program byl vytvořen v prostředí Turbo Delphi Explorer. Přehlednou grafickou formou (Ukázka grafické reprezentace výpočtu je na obrázku 1.) ukazuje výsledky vlastních výpočtů¹. Zadání optických prvků a jejich parametrů je však velmi obtížné, protože je nutné provést ho ještě před kompilací kódu. Proto tento program není dán čtenáři k dispozici.

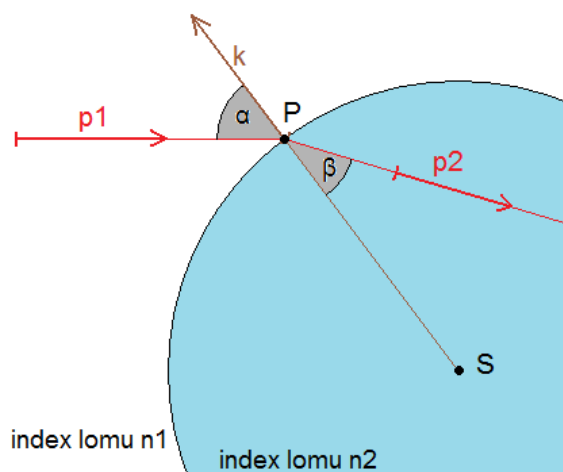
Teď již k samotnému průběhu výpočtu. Paprsky jsou představovány vektory, umístěnými v daných bodech souřadnicového systému, čočky pak kružnicemi daných poloměrů se středy v určitých bodech. Tyto útvary jsou na schématu 2.

1. Nejprve je vypočten průsečík P paprsku $p1$ s kružnicí.
2. Pokud tento bod existuje, je v něm sestrojena kolmice dopadu k , která je spojnicí středu kružnice S s bodem P .
3. Dále je vypočítána odchylka α mezi kolmicí dopadu a dopadajícím paprskem.
4. Ze Snellova zákona ($n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta$) je vypočítán úhel lomu β , tj. úhel mezi kolmicí dopadu a lomeným paprskem.
5. Posledním krokem je sestrojení vektoru $p2$ lomeného paprsku a jeho umístění do bodu dopadu na kružnici.
6. Tento postup je opakován, dokud existuje průsečík paprsku s kružnicí.

¹Pro účely porovnání vypočítaných hodnot s měřeními, jsme tyto číselné hodnoty nechali program vypsat do tabulky.



Obrázek 1: Ukázka programu



Obrázek 2: K modelu

3 Ověření modelu experimentem

Počítačový model jsme ověřili následujícím pokusem: Nechali jsme paprsky rovnoběžné s optickou osou soustavy lomit čočkou kruhového průřezu a měřili ohniskovou vzdálenost f pro paprsky rovnoběžné s optickou osou v různých vzdálenostech d od osy. Ohniskovou vzdáleností rozumíme vzdálenost mezi průsečíkem lomeného paprsku s optickou osou a středem čočky.

Pro nalezení ohniska, tj. průsečíku lomeného paprsku s optickou osou, jsme použili posuvné stínítko kolmé k optické ose. Místo, kde optická osa protíná stínítko, jsme označili ryskou. Posouváním stínítka podél optické osy jsme určili vzdálenost, v níž lomený paprsek dopadl na stínítko na rysku; tato vzdálenost je ohniskovou vzdáleností.

Jako čočku jsme použili PET lahev kruhového průřezu (poloměr 49,7 mm) naplněnou pitnou vodou. Sílu stěny lahve jsme zanedbali, protože ovlivnění lomu stěnou předpokládáme pod hranici přesnosti našeho měření. Index lomu použité vody pro paprsky daného laseru jsme vyhledali zde: [5].

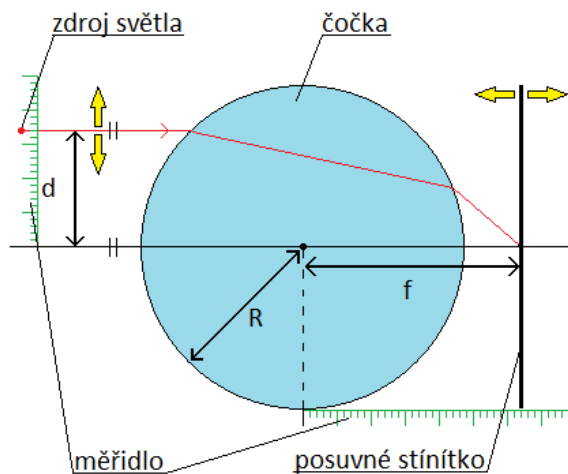
Jako zdroj světla jsme použili laserové ukazovátko kvůli jeho příznivým vlastnostem: světlo je monochromatické, se zanedbatelnou rozbíhavostí a dostatečně malým průměrem svazku paprsků (2 mm).

Vzdálenosti jsme měřili pomocí milimetrového pravítka, odečítali pouhým okem. Provedli jsme dvě sady měření v rozsahu od 0 do 40 mm od optické osy po 2 mm. Na vzdálenost 40 mm jsme se omezili proto, že při větší vzdálenosti od osy dochází k výraznému odrazu světla od stěny čočky a lom přestává být dobře pozorovatelný. Měření jsme prováděli pouze v jednom směru od optické osy z důvodu, že kruh je osově souměrný a lom v druhém směru od optické osy by tedy měl být také souměrný. Schéma uspořádání měření je znázorněno na obrázku 3.

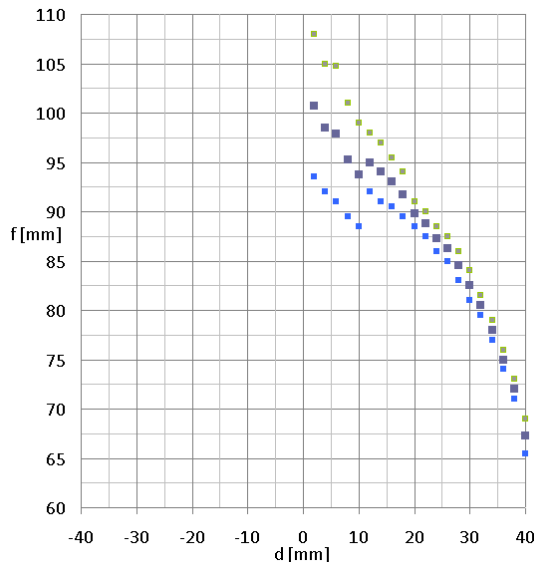
4 Výsledky

Naměřené hodnoty naleznete v grafu na obrázku 4. Menšími značkami (modrá a zelená barva) jsou vyznačeny jednotlivé sady měření a většími fialovými značkami pak aritmetický průměr z těchto dvou sad v daném bodě. Pro větší vzdálenosti od optické osy spolu naměřené hodnoty dobře korespondují, protože změna směru lomeného paprsku je mezi jednotlivými kroky ztlačnějši. Proto lze změřit přesněji než u paprsků v blízkosti optické osy. Zde se jednotlivé sady měření liší, z důvodu malé změny směru paprsků mezi danými kroky. V malém okolí osy lze proto měřit s velmi omezenou přesností.

Pro stejné podmínky jako při měření jsme vypočítali ohniskové vzdálenosti naším počítačovým modelem. V modelu je použit menší krok a to 1 mm v rozsahu od -40 do +40 mm od optické osy (tj. v obou směrech),



Obrázek 3: Schéma měření



Obrázek 4: Graf s výsledky měření

protože zde nám nebrání žádná podstatná časová náročnost pro získání hodnot.

Vypočtené hodnoty naleznete v grafu 5. Porovnání naměřených a vypočtených výsledků naleznete v grafu na obrázku 6.

Z výše popsaných důvodů naměřená data dobře souhlasí ve středních a větších vzdálenostech od optické osy (10-40 mm). Naopak v blízkosti optické osy (Vizte střední část obrázku 6) se měření od výpočtu odlišuje, z důvodů nepřesného měření. Průměrná odchylka naměřených hodnot od vypočtených činí 0,3 mm, což je s přihlédnutím k použitému měřidlu, rozměrům čočky a ohniskovým vzdálenostem velmi malá odchylka.

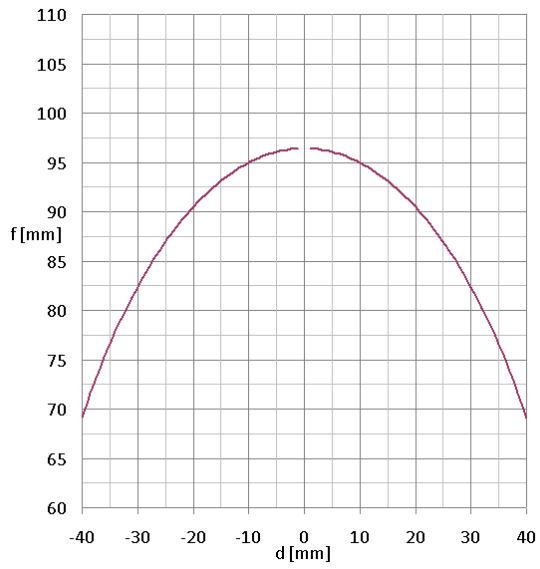
5 Diskuze výsledků

Z velikosti průměrné odchylky můžeme vidět, že náš počítačový model pracuje dostatečně přesně. Můžeme se tedy domnívat, že tato odchylka je způsobena zanedbáním tloušťky stěny lahve, nebo šířkou laserového paprsku použitého k měření. Z měření i počítačového modelu plyne, že čočky kruhového průřezu nevytváří bodové ohnisko. Pozorujeme tedy sférickou aberaci. Dále můžeme odvodit, že vlastnosti čoček kruhového průřezu jsou zcela nezávislé na směru, ze kterého na ně paprsek dopadá. Těchto vlastností čoček se využívá pro přivedení světla do světlovodných vláken, dále pak v heliografu², případně na pouzdrech LED diod.

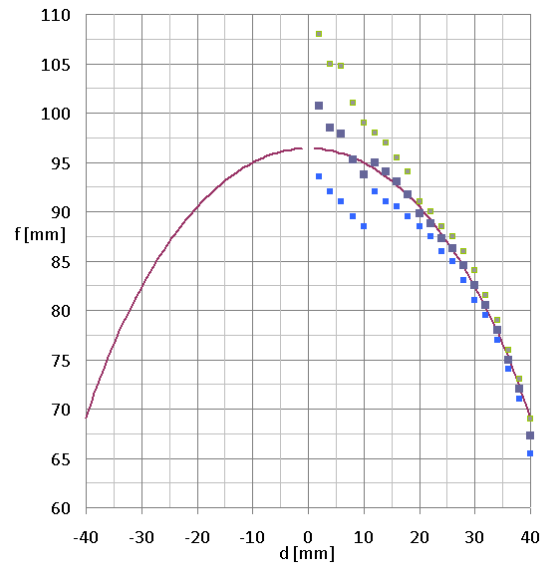
Reference

- [1] O. Lepil, *Fyzika pro gymnázia: Optika*, Prometheus Praha, 2008
- [2] R. P. Feynman a kol., *Feynmanovy přednášky z fyziky s řešenými příklady*, Fragment, Praha, 2000
- [3] W. G. Driscoll a W. Vaughan, *Handbook of Optics*, The Kingsport Press, Kingsport, 1978
- [4] J. Libich, *Základní kámen každého foťáku. Jak vzniká obraz v objektivu*, http://technet.idnes.cz/zakladni-kamen-kazdeho-fotaku-jak-vznika-obraz-v-objektivu-pan-/tec_foto.asp?c=A071025_103506_tec_foto_jlb
- [5] *Refractive index of Water*, <http://refractiveindex.info/index.php?group=LIQUIDS&-material=Water&option=20.0C&wavelength=0.650>

²Heliograf je zařízení sloužící k záznamu intenzity slunečního záření v průběhu dne. Zaostřuje sluneční paprsky kulovou čočkou na stínítko tak, že do něj vypalují stopu.



Obrázek 5: Graf s výsledky výpočtu



Obrázek 6: Porovnání měření a výpočtu