

## Posudek disertační práce

Uchazeč Ing. Filip ŠmejkalNázev disertační práce Deformace vybraných optických prvkůStudijní program Stavební inženýrstvíŠkolitel prof. RNDr. Antonín Mikš, CScOponent prof. Ing. Jan Hošek, Ph.D.e-mail Jan.Hosek@fs.cvut.cz

### Aktuálnost tématu disertační práce

komentář: Autor ve své práci cituje rozsáhlou rešerši aktuálního výzkumu tématu membránových kapalinových čoček, která ukazuje, že téma je aktuální a zatížené řadou otevřených otázek poskytující dostatečný prostor pro nová řešení. Nicméně pro orientaci v tomto rozsáhlém souboru bych doporučoval práci doplnit tabulkou shrnující a porovnávající jednotlivé příspěvky z pohledu použitých materiálů, tloušťek membrán, průměru apertur čoček, rozsahu jednotlivých variabilních parametrů - tlaku, průhybu membrány, ohniskové vzdálenosti či clonového čísla, použitých modelů průhybu membrány, způsobu měření tvaru, hodnoty vlnových aberací, atd. To by velmi zpřehlednilo stav problematiky, ukázalo na neprobádaná místa a odůvodnilo volbu hlavních cílů disertační práce. Nakonec i autor by mohl své výsledky porovnat v rámci takové tabulky s ostatními autory.

vynikající     nadprůměrný     průměrný     podprůměrný     slabý

### Splnění cílů disertační práce

komentář: Disertant v práci uvedl celkem šest hlavních cílů disertační práce, které se týkají zejména nových matematických modelů tvaru membrán pro membránovou optiku a jejich optimalizaci s ohledem na minimalizaci optických vad zobrazení. V práci jednotlivé cíle postupně naplňuje. Výsledky jednotlivých modelů jsou pak prezentovány jako publikované články v impaktovaných časopisech. To dokládá úspěšné řešení jednotlivých vytčených problémů a naplnění cílů práce.

vynikající     nadprůměrný     průměrný     podprůměrný     slabý

### Metody a postupy řešení

komentář: Disertant v práci představil schopnost analýzy současného stavu problematiky v oboru kapalinových čoček, jejíž výsledkem byly formulované otevřené otázky, které jednotliví autoři ve svých pracích zanedbávají nebo obcházejí. Autor se s úspěchem zhostil teoretické analýzy chování membrán z pohledu různým způsobem napnutého tělesa a odvodil řadu velmi komplikovaných diferenciálních rovnic, které vyřešil ať již analyticky nebo numericky a porovnal je se stávajícími teoretickými modely, případně výsledky simulací pomocí metod konečných objemů.

Přestože je teoretický přínos řešení problému v rámci jednotlivých modelů značný, tak mi v práci chybí obecné závěry vhodnosti modelů a srovnání jejich výsledků s realitou. Vyplývaly například z řešení uvedeném v článku [55] nějaké obecné závěry nebo doporučení, pro jaké hodnoty

oměru  $f/D$  je již třeba se vlivem deformace čočky od vlastního zatížení zabývat?

Autor vyšetřuje platnost jednotlivých modelů a aberací vzhledem k normované tloušťce membrány  $h/a = 0,001, 0,01$  a  $0,1$ . Jaké jsou obvyklé hodnoty poměru  $h/a$  membrány v reálných aplikacích?

V článku [50] mne zaujalo konstatování, že "estimated uncertainty of the deflection ... is 0.02 mm", což je na úrovni naměřených hodnot odchylek tvaru membrány od teoretického řešení. Navíc správné měření konfokálním senzorem je omezeno maximálním tilt úhlem, který dle uvedených grafů je cca  $9^\circ$ . Jsou splněny pracovní podmínky senzoru a v jakém poměru je nejistota měření s naměřenými hodnotami? Jakým způsobem byla zajištěna stabilita tlaku/tvar membrány během měření celého profilu? Existuje kontinuální měření pozice membrány v jednom bodu měření po stejnou dobu, jako doba měření celého profilu po jednotlivých bodech? Pokud ano, tak jaké jsou nejistoty pozice membrány? Jaký typ měřicího systému by dokázal zpřesnit nejistotu měření tvaru membrány?

V práci byly použity předpoklady pro realizaci membrány s tloušťkou např.  $0,1$  mm nebo  $0,5$  mm. Jaké byly skutečné tloušťky membrán a jejich změny po ploše membrány a jak jsou vypočtené deformace citlivé na nejistotu skutečné tloušťky membrány? To souvisí s realizovatelností modelu řešeného v rámci publikace [53]. Nerozumím řádovému rozdílu v průběhu tlouštěk membrány zobrazené na obrázcích 27b a 29.

vynikající     nadprůměrný     průměrný     podprůměrný     slabý

### Výsledky disertace - konkrétní přínosy disertanta

komentář: Disertant ve své práci předvedl schopnosti analytické tvůrčí práce i aplikované matematiky při odvozování jednotlivých případů napjatosti různých variant membrán kapalinových čoček. Jeho přínos k teoretickému poznání problému je zřejmý a přínosný. Poněkud mě ale mrzí nízká úroveň diskuse teoretických závěrů s reálnou aplikovatelností zjištěných výsledků. Zajímavé zjištění by například bylo, který z navržených modelů nejlépe popisuje reálně upnutou membránu v konkrétní aplikaci. Stejně tak je z autorových výsledků zřejmé, že vhodnou proměnnou tloušťkou membrány půjde teoreticky kompenzovat optické aberace kapalinových čoček. Nicméně v práci chybí diskuse, jak lze reálně uvedeného proměnného profilu dosáhnout a jaké jsou tolerance na dodržení požadované tloušťky membrány. Tato konstatování nejsou myšlena jako výtky práce, ale spíše jako motivace k řešení dalších souvisejících otázek, bez kterých se praktická aplikace výsledků práce neobejde. Naopak musím vyzdvihnout například myšlenku, že uvažovaný tvar membrány musí být řešen vzhledem k skutečnému lámavému povrchu membránové optiky a nikoliv k její střední čáře. Nicméně takových zajímavých myšlenek lze v práci nalézt více.

vynikající     nadprůměrný     průměrný     podprůměrný     slabý

### Význam pro praxi a pro rozvoj vědního oboru

komentář: Práce má zřejmý význam pro rozvoj stávajícího poznání v oboru optiky kapalinových čoček, ale i metodiky výpočtu napjatosti v různých typech deskových útvarů. Význam pro praxi je ale v tuto chvíli sporný, protože hodnoty uvedených optických aberací jsou řádově horší, než požadavky na kvalitní zobrazovací optiku. Na kapalinovou optiku pak také nelze nahlížet pouze z pohledu vlastností membrány, ale komplexně, včetně například nejistot řídicího algoritmu deformace optiky. Vhodným závěrem práce by bylo konstatování, jaké jsou nároky jednotlivých aplikací kapalinové optiky a za jakých konkrétních podmínek by bylo možné uvedené poznatky aplikovat.

vynikající     nadprůměrný     průměrný     podprůměrný     slabý

## Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň

komentář: Jazyková úroveň práce je na dobré. Formální úroveň práce by bylo možné zlepšit, protože v práci se poměrně špatně orientuje. Pozice obrázků by mohly být blíže k odkazům v textu. Na str. 18 je odkaz na obrázek 40, který ale zřejmě s uvedeným textem nesouvisí. Obsah obrázku 15 a řady dalších není v textu nijak popsán, ani na něj není uveden odkaz v textu práce. Pro objasnění některých tvrzení se čtenář nevyhne dohledávat konkrétní informace v příložených publikačních výstupech. Jak jsem již zmínil, práci by prospělo srovnání a obecnější závěry o aplikovatelnosti vyvinutých metod.

vynikající     nadprůměrný     průměrný     podprůměrný     slabý

## Vyjádření k dodržení citační etiky

Autor ve své práci cituje 61 zdrojů, které komentuje v rámci literární rešerše, případně je využívá k formulaci nebo řešení jednotlivých matematických problémů. Autor cituje konzistentně a domnívám se, že se držel zásad citační etiky.

## Připomínky

Jakou hodnotu odchylky představuje věta na str 22: "Poté bylo teprve dosaženo velmi dobré shody experimentu s numerickým modelem."

## Závěrečné zhodnocení disertace

Předložená disertační práce předkládá řadu řešení problémů týkajících se vlivu geometrie membrán kapalinových čoček na jejich hodnoty optických aberací. Podstata práce spočívá v teoretickém odvození napjatosti a deformace osově souměrných membrán optických kapalinových čoček. Autor představil řadu mechanických modelů s cílem minimalizace aproximací provedených jinými autory. Materiálové chování je doplněno i o řešení jeho vlivu na optické aberace celého systému kapalinové čočky ať již z pohledu optimalizace geometrie použité membrány nebo prostřednictvím omezení velikosti funkční apertury čočky. Při řešení jednotlivých matematických problémů autor prokázal značné schopnosti a zkušenosti s řešením diferenciálních rovnic různými matematickými postupy. Publikované výsledky práce prokazují, že autor svojí prací posunuje hranice poznání v oblasti kapalinové optiky a prezentovaný obsah dosud nepublikované části práce naznačuje směr nového výzkumu s dalším publikačním potenciálem. Z předložené práce je zřejmé, že disertant dosáhl úrovně samostatně působícího tvůrčího vědeckého pracovníka, a proto doporučuji disertační práci k obhajobě.

Doporučuji po úspěšné obhajobě disertační práce udělení titulu Ph.D.    ano     ne

Datum: 5.6.2023

Podpis oponenta: .....