

Posudek školitele na práci Jaroslava Hoppa: Optical systems with diffractive elements.

K motivaci tématu práce: práce byla sepsána s ohledem na potřebu řešit hybridní zobrazovací prvky společně s DOE. Protože metodika práce představuje zejména trasování paprsku a korekce aberací, byly zvoleny metody geometrické optiky, přestože problematika DOE především spadá do fyzikální optiky (problematika difrakce). Avšak díky geometrizaci mřížkového zákona je možné to takto zařadit, tedy byla obohacena geometrická optika o tuto oblast. Nicméně to by nebylo tak revoluční, jako to, že myšlenka aplanatičnosti byla zvolena jako hlavní kritérium (aplanatická podmínka svazuje příčné zvětšení, indexy lomu prostředí a sinů osových neparciálních úhlů zobrazení, a vytváří stacionaritů zobrazení osového bodu).

V roce 1989 byl sice učiněn pokus, řešit pomocí aplanatičnosti zobrazování u holografických dubletů prostorově oddělených, a to *čistě holografickými prvky* (program HADES - dobrali jsme se skvělých výsledků), avšak funkce byla zajištěna jen pro monochromatické záření a nestarali jsme se o realizaci. Zde byla snaha spíše *technologická* – ukázalo se totiž, že 100% difrakční účinnost je sice teoreticky možná, ale nereálná. Dále se ukázalo, že učinit vysokou prostorovou frekvenci dostatečně účinnou nelze (jen nízké prostorové frekvence v $\times 100$ čar/mm - blejzová úprava na fororezistu). To vedlo na úvahu, že se musí uskutečnit max. u jediného DOE a "svěřit" hlavní optickou mohutnost klasickému prvku (aby se snížila prostorová frekvence pro DOE) – tedy hybridní dublet.

Tento hybridní dublet byl řešen tak, že jeden klasický prvek byl *spojen* s jediným rovinným DOE (tedy ne prostorově oddělený dublet), přičemž - díky opačnému znaménku u disperze - se dá využít difrakční prvek ke kompenzaci barevné vady (při stejném typu mohutnosti).

Z praktických aspektů byly tedy zvoleny hybridní dublety. DOE byl přímo spojen s rovinnou stranou čočky. Problematiku řešil počítačový program DIFOS. Pro optimalizaci byly zvoleny 4 dublety; všechny mají monochromatickou aplanatickou podmínku a vyhovují ji kde to je možné (alespoň v jednom bodě radiální souřadnice): **dublet 1** (plankonvexní čočka, DOE je v podstatě rovinný korektor). Tento dublet vyhovuje aplanatické podmínce v jedné radiální souřadnici; samotná plankonvexní čočka nevyhovuje aplanatickému kritériu v žádném bodě); **dublet 2** (plankonvexní čočka, optická mohutnost se dělí mezi klasický element a rovinný DOE); **dublet 3** (čočka je v podstatě nosič zakřiveného DOE – poloměry jsou voleny tak, aby v každém bodě byla splněna monochromatická aplanatická podmínka; **dublet 4** (je v podstatě analogií dubletu 2 avšak poměr mohutností vůči DOE je volen s ohledem - na barevnou vadu – dle Abbého čísel).

Studentův přístup: Student Hopp pracoval cílevědomě a s přehledem. Seznámil se s klasickými programy trasování paprsků i s programem HADES. (Nebylo lehké řešit aplanatickou podmínku u klasického prvku, který nesplňuje aplanatickou podmínku - u klasických prvku je transformační povrch z jedné strany klasický lom a ten je pro sférickou optiku definován. Aplanatická podmínka pro planvypuklou čočku spojenou s DOE šla splnit jen pro jeden bod radiální souřadnice.) Nicméně student dané problémy řešil s nadhledem. Nástupem do zaměstnání student zpomalil tempo, nicméně ani v této fázi nebyl neaktivní.

Jaroslav Hopp vždy v letním semestru pomáhal s výukou z geometrické optiky (cvičení), což jistě tož podstavuje nemalý čas.

Závěr: Student se rozhodně si zaslouží, aby byl

přípuštěn k obhajobě.

V Praze 30.8.2013

Pavel Fiala,
školitel doktoranda

Review of supervisor of the Ph.D. thesis of Jaroslav Hopp: Optical systems with diffractive elements.

The motivation of the work: The thesis deals with the hybrid optical elements, e.g. combinations of a conventional refractive element and the diffractive optical element (DOE). For solving a ray-tracing and aberration corrections, the methods of the geometrical optics were selected (although the DOE comes under the physical optics – due to the problem of the diffraction), because it is possible by "geometrisation" of the grating law. Nevertheless, this would not be a revolution. It is the selection of the aplanatic condition and its implementation as a main optimization criterion (aplanatic condition bounds the transverse magnification of the imaging, index of refraction of the media and the sine of axial angles of the non-paraxial imaging). Once the condition is fulfilled, it causes the stationarity of the aberrations in the neighbourhood of the axial point.

In 1989 the first attempt was done to solve the aplanatic condition by purely spatially separated doublets in a monochromatic imaging (the program HADES), but without any technological realisation. (In theory, 100% diffraction efficiency is indeed possible, but mainly unrealistic – it is possible to fabricate DOE having only low spatially resolution – in hundred lines per mm). The further deliberation relies on the usage of the only one DOE while the optical power is "committed" by a classical plan-convex lens (a spherical lens); the DOE is deposited on the parallel substrate. Due to polychromatic light, this hybrid doublet is preferable too (the optical power was divided between the DOE and the plan-convex lens in polychromatic condition and thus compensated chromatic aberrations - utilized the inverse dependence of the Abbe number keeping the same sign of the optical power).

From the practical aspects, four doublets were chosen: **doublet 1** (a classical plan-convex lens, the DOE on the plan-parallel substrate serves only as a corrector); **doublet 2** – plan-convex lens was used too, but the optical power was divided between the DOE and the plan-convex lens. **doublet 3** – the radius of curvature of the DOE and the lens were optimised. **doublet 4** – (similar to the doublet 2) - the optical power was divided between the DOE and the plan-convex lens in polychromatic condition. For the optimization of all of the doublets, the computer program DIFOS was used and the aplanatic condition served as a main optimization criterion.

Attempt of the student: Student Hopp has worked systematically having a big insight. He got acquainted with the classical programs for the ray-tracing and the program HADES. (It was not easy to fulfil the aplanatic condition in hybrid systems, because a classical element doesn't satisfy that condition when using alone. It is only the refraction, which is defined for a classical element by spherical optics. The aplanatic condition is realized for a plan-convex element having the DOE deposited on one of its surface only at one point (in the cylindrical coordinates). Nevertheless, the student solved this problems with "bird's-eye view". Starting another employment, the student has slowed down a bit, but still he was active.

Jaroslav Hopp periodically leads the seminar of the course of the Geometrical Optics (this is time-consuming too).

Conclusion: In my opinion, the presented work fulfils all conditions of the Czech Technical University and FNSPE, and it can be

admitted for defence.

Prague, 30th August 2013

Pavel Fiala,
Thesis supervisor