

# UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

## 28 818

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

**G02B 1/00**

(2006.01)

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2015-30891**

(22) Přihlášeno: **25.03.2015**

(47) Zapsáno: **16.11.2015**

(73) Majitel:  
Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, CZ

(72) Původce:  
RNDr. Vladimír Chlup, Olomouc, CZ  
prof. RNDr. Zdeněk Bouchal, Dr., Přerov 6, CZ  
Ing. Petr Bouchal, Přerov 6, CZ

(74) Zástupce:  
Ing. Milan Škoda, Nahořanská 308, 549 01 Nové  
Město nad Metují

(54) Název užitého vzoru:  
**Refraktivní hyperchromatický afokální  
optický systém pro korekci barevné vady  
difraktivních zobrazovacích prvků**

**CZ 28818 U1**

## Refraktivní hyperchromatický afokální optický systém pro korekci barevné vady difrak- tivních zobrazovacích prvků

### Oblast techniky

5 Technické řešení se týká refraktivního hyperchromatického afokálního optického systému, zejména refraktivního hyperchromatického afokálního optického systému pro korekci barevné vady difrak-  
tivních zobrazovacích prvků.

### Dosavadní stav techniky

10 V optickém zobrazování se standardně užívají hybridní optické soustavy s velmi dobrým korekčním stavem, jejichž výslednou optickou mohutnost z velké části tvoří refraktivní optické prvky a difrak-  
tivní optický prvek s malou optickou mohutností je použit jako korekční element kompenzující barevnou vadu refraktivních členů. Použití samostatných zobrazovacích  
difrak-  
tivních prvků s vyšší optickou mohutností je problematické s ohledem na mimořádně výraznou difrak-  
tivní disperzi. V moderní optice jsou stále častěji využívány programovatelné difrak-  
tivní čočky, které jsou vytvářeny pomocí elektrooptického ovládní kapalných krystalů na  
15 displeji zařízení nazývaného prostorový modulátor světla (PMS). Difrak-  
tivní prvky vytvořené pomocí PMS našly uplatnění při tvarování světelných svazků v optických manipulacích  
a komunikacích, realizaci počítačem generovaných hologramů a transformaci optických pulsů. Možnost realizace difrak-  
tivních prvků pomocí amplitudové a fázové modulace světla významným způsobem ovlivnila rozvoj optické mikroskopie, kde je PMS užíván jak v osvětlovací, tak  
20 i zobrazovací části. Difrak-  
tivní dělení a tvarování světla pomocí PMS je základem nekoherentní korelační holografie, která byla využita v digitální mikroskopii pro záznam a počítačovou  
rekonstrukci nekoherentně osvětlených a fluorescenčních vzorků.

Zobrazovací difrak-  
tivní prvky vykazují extrémně vysokou disperzi a v uvedených aplikacích mohou samostatně pracovat pouze se zářením, které má velmi úzké spektrum. Zobrazení difrak-  
tivní čočkou vytvořenou na PMS bylo v polychromatickém záření demonstrováno pomocí postupného vřazování spektrálních filtrů, které bylo synchronizováno se změnou parametrů difrak-  
tivní čočky. Použití difrak-  
tivních zobrazovacích prvků pro záření s širokým spojitým spektrem vyžaduje zajištění eliminace účinků výrazné difrak-  
tivní disperze. Jednou z možností korekce difrak-  
tivní disperze je využití refraktivní optiky, která vyazuje extrémně velkou chromatickou vadou. Chromatické afokální soustavy byly v minulosti i nyní využívány pro změkčení obrazu  
zejména portrétních objektivů. Zajištění kompenzace disperze difrak-  
tivních čoček je aplikačně významné a jejich použití je perspektivní pro dosažení vysokého rozlišení v širokospektrální korelační mikroskopii. Apochromatická korekce difrak-  
tivních čoček realizovaných pomocí PMS, která je předmětem užitého vzoru, nebyla dosud provedena v žádné z užívaných spektrálních  
35 oblastí.

Pro posouzení barevné vady optických systémů byly zavedeny disperzní charakteristiky, které lze použít jak pro refraktivní, tak i difrak-  
tivní zobrazovací prvky. Index lomu optického materiálu pro vlnovou délku  $\lambda$  lze určit ze Sellmeierova rozvoje

$$n^2(\lambda) = 1,0 + \sum_1^k \frac{b_i}{\lambda^2 - c_i}, \text{ kde } b_i, c_i \text{ jsou charakteristiky materiálu udávané výrobcem.}$$

40 Zobecněné Abbeovo číslo  $\nu_{str} = \frac{n_{str} - 1}{n_{kr} - n_{dl}}$  a částečná relativní disperze

$$P_{kr, str} = \frac{n_{kr} - n_{str}}{n_{kr} - n_{dl}} \text{ představují základní koeficienty využívané pro achromatickou,}$$

apochromatickou či hyperchromatickou konstrukci optických systémů. Přitom  $n_{str}, n_{kr}, n_{dl}$  označují indexy lomu pro střední, nejkratší a nejdelší vlnovou délku použitého spektrálního

pásma. Ve viditelné části spektra se obvykle vychází z vlnových délek odpovídajících Fraunhoferovým spektrálním čárám d, F, C a indexy lomu jsou pak označeny  $n_d, n_F, n_C$ . Relativní částečnou disperzi  $P_{kr, str}$  lze vyjádřit z hodnot pro  $\nu_{kr}, \nu_{str}$ ,  $P_{kr, str} = \nu_{kr} - \nu_{str}$ . Achromatizace optického systému o lámavosti  $K$ , který je složen z těsně uspořádaných tenkých čoček o lámavostech  $K_i$ , vyžaduje splnění podmínek

$$\sum_i \frac{K_i}{\nu_i} = 0, \quad (1)$$

$$\sum_i K_i = K. \quad (2)$$

Achromatizace v prostoru třetího řádu vyžaduje odstranění sekundární barevné vady

$$\sum_i \frac{K_i}{\nu_i} P_{i(kr, str)} = K \quad (3)$$

a minimalizaci otvorové vady a komy.

Pro zobrazení lze s vysokou účinností použít difrakтивní prvky typu kinoform. V mnoha aplikacích lze difrakтивní prvky výhodně realizovat pomocí PMS, jejich použití je ale omezeno vysokou difrakтивní disperzí, kterou lze demonstrovat pomocí standardních disperzních parametrů. Zobecněné Abbeovo číslo a relativní částečnou disperzi difrakтивních ploch lze vyjádřit vztahy

$$\nu_{difr, kr, str} = \frac{\lambda_{str}}{\lambda_{kr} - \lambda_{dl}} \quad a \quad P_{difr, kr, str} = \frac{\lambda_{kr} - \lambda_{str}}{\lambda_{kr} - \lambda_{dl}}.$$

V relativně stejně širokých spektrálních pásmech,  $(\lambda_{kr} - \lambda_{dl})/\lambda_{str} = konst$ , jsou tyto koeficienty konstantní. Např. pro spektrální pásma VIS (0,450  $\mu\text{m}$  až 0,650  $\mu\text{m}$ ) a SWIR (1,05  $\mu\text{m}$  až 1,55  $\mu\text{m}$ ) dostaneme  $\nu_{difr, 0.45, 0.65} = \nu_{difr, 1.05, 1.55} = -2,75$  a  $P_{difr, 0.45, 0.65} = P_{difr, 1.05, 1.55} = 0,50$ . Stálost disperzních vlastností difrakтивních ploch v různých spektrálních pásmech je ve srovnání s materiálovou disperzí refraktivních ploch významnou mimořádností, která ovlivňuje možnosti korekce optických aberací. Běžná optická skla mají v různých spektrálních pásmech rozdílné rozpětí charakteristických koeficientů.

Kompenzace materiálové disperze refraktivních optických prvků pomocí disperze difrakтивních prvků je využívána v achromatických hybridních dubletech. Achromatizace těchto dubletů je zajištěna, pokud poměr optické mohutnosti prvního refraktivního členu  $K_1$  a druhého difrakтивního členu  $K_2$  splňuje podmínku  $K_1/K_2 = \nu_{str}/2,75$ . Pro dostupná optická skla ve VIS oblasti poměr optických mohutností leží v rozsahu 5,5 až 22,9, ve SWIR oblasti v rozsahu 2,8 až 49. Achromatizaci lze tedy provést pouze tehdy, pokud je optická mohutnost refraktivního členu výrazně vyšší než optická mohutnost členu difrakтивního. Realizace hybridního achromatického dubletu je ve SWIR oblasti ve srovnání s VIS oblastí snadnější. Problémem, který dosud není uspokojivě řešen, je kompenzace disperze difrakтивních optických členů, které jsou použity jako samostatné zobrazovací prvky s požadovanou optickou mohutností.

Cílem technického řešení je odstranění nevýhod současného stavu zobrazovací techniky pracující s difrakтивními zobrazovacími prvky, zejména difrakтивními prvky vytvořenými pomocí PMS. Výrazná disperze difrakтивních prvků neumožňuje v těchto systémech přímé použití nekoherentních zdrojů záření, jako jsou žárovky, výbojky a LED zdroje, jejichž spektrální vlastnosti způsobují nepřijatelnou degradaci obrazu. Při použití spektrálních filtrů je nutné, aby jejich šířka pásma propustnosti byla jen několik nanometrů. Taková spektrální filtrace snižuje energetickou účinnost systému a představuje výrazné zhoršení poměru signál/šum, které vede k poklesu kvality obrazu.

Podstata technického řešení

Uvedené nedostatky do značné míry odstraňuje a cíle technického řešení naplňuje refraktivní hyperchromatický afokální optický systém pro korekci barevné vady difraktivních zobrazovacích prvků, zejména refraktivní hyperchromatický afokální optický systém s úhlovým zvětšením  $\Gamma_{str}$  pro vlnovou délku  $\lambda_{str}$ , pro korekci barevné vady difraktivního zobrazovacího prvku, zejména pro korekci disperzních projevů difraktivního zobrazovacího prvku o ohniskové vzdálenosti  $f'_{dif, str}$  a ve spojení s tímto difraktivním optickým prvkem pro vytvoření achromatického či apochromatického zobrazovacího systému ve spektrální oblasti od nejkratší vlnové délky  $\lambda_{kr}$  do nejdelší vlnové délky  $\lambda_{dl}$ , podle technického řešení, jehož podstata spočívá v tom, že obsahuje  $m$  optických členů, přičemž každý z těchto členů je tvořen dvojicí refraktivních optických prvků o ohniskových vzdálenostech  $f'_{I, str}$ ,  $f'_{II, str}$ , které jsou z refraktivních optických materiálů, jejichž zobecněná Abbeova čísla  $v_I$  a  $v_{II}$  jsou vázána vztahem  $\frac{1}{v_I} - \frac{1}{v_{II}} = -\frac{\lambda_{kr} - \lambda_{dl}}{\lambda_{str}} \frac{f'_{I, str}}{mf'_{dif, str}}$ , přičemž

relativní disperze všech použitých refraktivních optických materiálů je v rozsahu 0,49 až 0,51 a ohnisková vzdálenost druhého členu dvojice  $f'_{II, str}$  je taková, že pro jeho střední vlnovou délku  $\lambda_{str}$  platí, že  $f'_{II, str} = -f'_{I, str}$ .

Podstata užitého vzoru spočívá v konstrukci korekčního refraktivního optického systému, který je pro střední vlnovou délku  $\lambda_{str}$  použitého spektrálního pásma afokální, zatímco pro krajní vlnové délky  $\lambda_{kr}$  a  $\lambda_{dl}$  vykazuje nenulovou lámavost v takové míře, aby byla vykompenzována barevná vada difraktivního zobrazovacího prvku, jehož ohnisková vzdálenost se mění v daném rozmezí hodnot. Výhodnost technického řešení spočívá v tom, že činnost difraktivního zobrazovacího prvku, zejména difraktivního prvku realizovaného pomocí PMS, zůstává neovlivněna korekčním refraktivním systémem pro záření střední vlnové délky  $\lambda_{str}$  a výsledný systém tvořený korekčním refraktivním systémem a difraktivním zobrazovacím prvkem je achromatický, či apochromatický.

Výhodné řešení je zajištěno tím, že pro střední vlnovou délku  $\lambda_{str}$  je výsledná optická mohutnost korekčního refraktivního optického systému  $K_{str}=0$  a jeho úhlové zvětšení splňuje podmínku  $0,5 < \Gamma_{str} < 2,0$ . Dále je výhodné, když každý z refraktivních optických prvků je tvořen nejméně jednou a nejvíce osmi čočkami. Při splnění těchto podmínek je zajištěna korekce barevných a monochromatických vad celého systému.

Korekční refraktivní hyperchromatický afokální systém účinně kompenzuje barevné vady difraktivního zobrazovacího prvku, pokud jeho ohnisková vzdálenost splňuje podmínku  $250 \text{ mm} < f'_{dif, str} < 600 \text{ mm}$ , při použití záření se střední vlnovou délkou  $1,1 \mu\text{m} < \lambda_{str} < 1,45 \mu\text{m}$ .

Hlavní výhodou je to, že refraktivní afokální optický systém umožňuje sestavit optický čočkový systém pro spektrální pásmo  $0,9 \mu\text{m}$  až  $1,7 \mu\text{m}$  (SWIR), který je pro střední vlnovou délku afokální, zatímco pro ostatní vlnové délky je hyperchromatický tak, že koriguje sferochromatickou vadu difraktivního prvku, který je umístěn za ním a společně s ním vykazuje achromatickou či apochromatickou korekci.

Návrh korekčního afokálního refraktivního optického systému je proveden s ohledem na požadovanou kompenzaci disperze difraktivního optického prvku a umožňuje různá technická provedení, která se liší počtem použitých optických členů a dosaženým zobrazovacím výkonem. Požadavek na odstranění barevné vady difraktivního prvku (například realizovaného pomocí PMS) o dané lámavosti  $K_{dif}$ , dosažený pomocí předsazené dvoučlenné refraktivní tenké soustavy v dotyku, bez ovlivnění lámavosti difraktivního prvku pro střední vlnovou délku spektra, lze zapsat rovnicemi

$$K_I + K_{II} = 0, \quad (6)$$

$$\frac{K_I}{v_I} + \frac{K_{II}}{v_{II}} + \frac{K_{dif}}{v_{dif}} = 0, \quad (7)$$

$$\frac{K_I}{\nu_I} P_{I(kr, str)} + \frac{K_{II}}{\nu_{II}} P_{II(kr, str)} + \frac{K_{dif}}{\nu_{dif}} P_{dif, kr, str} = 0. \quad (8)$$

První dvě rovnice zajišťují achromatizaci celé soustavy, respektive afokálnost a hyperchromatizaci předřazené dvoučlenné refraktivní soustavy, což pro námi sledovaná spektrální pásma lze zapsat ve tvaru

$$\frac{1}{\nu_I} - \frac{1}{\nu_{II}} = \frac{1}{2,75\kappa}, \quad (9)$$

kde  $\kappa = K_I/K_{dif}$  je faktor limitující přípustný relativní otvor systému. K dosažení vyšších relativních otvorů je navrženo rozdělení lámavosti  $K_I$  na dvě či více čoček ze stejného či blízkého materiálu. Pak platí  $K_I = \sum_{m=1}^M K_m$ . Obdobným způsobem lze postupovat i v případě rozkladu druhého

členu s lámavostí  $K_{II}$ ,  $K_{II} = \sum_{m=1}^M K'_m$ . Triviální podmínku apochromatickosti pro achromatizova-

nou soustavu lze u soustavy složené z  $M$  čoček zapsat jako  $|P_{1(kr, str)}| = |P_{2(kr, str)}| = \dots = |P_{M(kr, str)}|$ . Přesné splnění takové podmínky je prakticky nemožné. Výběrem vhodných materiálů lze ale zajistit co nejmenší rozdíly relativních disperzí a současně co největší rozdíly zobecněných Abbeových čísel a vhodných indexů lomu. Počítačovým zpracováním byl proveden předběžný výběr skupin optických skel. Tato optická skla byla následně využita v různých optických konstrukčních variantách systémů, které byly optimalizovány v širokém spektrálním rozsahu. V pásmu SWIR se jedná o skla firmy Schott - KZFSN4, N-KZFS2, N-KZFS4, N-KzFS11, N-PK52A, N-FK51A, N-LAK8, NLAK14, případně zastupitelná skla od jiných výrobců.

Uvedené vztahy a podmínky platí pro případ soustavy tenkých čoček. Po zavedení reálných tlustých čoček s konkrétními poloměry křivosti ploch, tloušťkami a mezerami dojde k určitému narušení podmínek, které je řešeno provedením dodatečné optimalizace systému společně s korekcí optických vad. Ve spojení s konkrétním difraktivním zobrazovacím prvkem je optický systém afokálního refraktivního korektoru optimalizován pro apochromatickou korekci, minimalizaci sferochromatické vady v zóně osových svazků a maximalizaci kontrastu pro celé spektrální pásmo. Při optimalizaci je kladen důraz na zajištění afokálnosti refraktivního korekčního systému pro střední vlnovou délku spektra. Z důvodů výrobních nákladů lze při optimalizaci uplatnit podmínku shodnosti jednotlivých prvků při kaskádním uspořádání více členů.

### Objasnění výkresů

Technické řešení bude blíže vysvětleno pomocí výkresů, na kterých obr. 1 zobrazuje schematicky refraktivní hyperchromatický afokální jednočlenný dvoučočkový optický systém uvedený v příkladech 1, 2, 3, obr. 2 zobrazuje schematicky refraktivní hyperchromatický afokální dvoučlenný čtyřčočkový optický systém uvedený v příkladu 4, obr. 3 zobrazuje schematicky refraktivní afokální dvoučlenný čtyřčočkový hyperchromatický optický systém uvedený v příkladu 4, obr. 4 zobrazuje optické schéma, průběhy paprskových vad a funkce přenosu kontrastu refraktivního afokálního optického systému podle příkladu 1, obr. 5 zobrazuje optické schéma, průběhy paprskových vad a funkce přenosu kontrastu refraktivního afokálního optického systému podle příkladu 2, obr. 6 zobrazuje optické schéma, průběhy paprskových vad a funkce přenosu kontrastu refraktivního afokálního optického systému podle příkladu 3, obr. 7 zobrazuje optické schéma, průběhy paprskových vad a funkce přenosu kontrastu refraktivního afokálního optického systému podle příkladu 4, obr. 8 zobrazuje optické schéma, průběhy paprskových vad a funkce přenosu kontrastu refraktivního afokálního optického systému podle příkladu 5, obr. 9 zobrazuje tabulku konstrukčních parametrů refraktivního afokálního optického systému podle příkladu 1, obr. 10 zobrazuje tabulku konstrukčních parametrů refraktivního afokálního optického systému podle příkladu 2, obr. 11 zobrazuje tabulku konstrukčních parametrů refraktivního afokálního

optického systému podle příkladu 3, obr. 12 zobrazuje tabulku konstrukčních parametrů refraktivního afokálního optického systému podle příkladu 4, a obr. 13 zobrazuje tabulku konstrukčních parametrů refraktivního afokálního optického systému podle příkladu 5.

### Příklady uskutečnění technického řešení

#### 5 Příklad 1

Refraktivní hyperchromatický afokální jednočlenný dvoučočkový optický systém 1 (obr. 1) s úhlovým zvětšením  $\Gamma_{str}=1,07$  pro střední vlnovou délku  $\lambda_{str}=1,4 \mu\text{m}$ , který koriguje disperzní projevy difraktivního zobrazovacího prvku 2 s ohniskovou vzdáleností  $f'_{dif, str}=500 \text{ mm}$  a ve spojení s ním vytváří apochromatický zobrazovací systém ve spektrální oblasti od nejkratší vlnové délky  $\lambda_{kr}=1,145 \mu\text{m}$  do nejdelší vlnové délky  $\lambda_{dl}=1,655 \mu\text{m}$ . Refraktivní afokální optický systém 1 je tvořen jedním optickým členem 10 ( $m=1$ ), který je složen ze dvou refraktivních optických prvků, kterými je dvojice čoček 11, 12 z optických materiálů s Abbeovými čísly  $\nu_I=66,1$  a  $\nu_{II}=129,4$ , o ohniskových vzdálenostech  $f'_{I, str}=14,0 \text{ mm}$  a  $f'_{II, str}=-13,2 \text{ mm}$ , takže podmínka achromatizace 
$$\frac{1}{\nu_I} - \frac{1}{\nu_{II}} = -\frac{\lambda_{kr} - \lambda_{dl}}{\lambda_{str}} \frac{f'_{I, str}}{mf'_{dif, str}}$$
 je splněna s dostatečnou přesností, stejně jako pod-

15 mínka apochromatizace požadující shodnost relativních disperzí optických materiálů  $P_{1(kr, str)}=0,491$  a  $P_{2(kr, str)}=0,508$ . Ohnisková vzdálenost  $f'_{II, str}$  čočky 12 je volena tak, aby systém byl afokální i po zavedení reálných tvarových parametrů čoček určených poloměry křivosti ploch 101, 102, 103, 104, tloušťkami a mezerami a po korekci zbytkových aberací.

20 Tento refraktivní afokální optický systém 1 má konstrukční parametry uvedené v tabulce na obr. 9. Optické schéma tohoto refraktivního afokálního optického systému 1, průběhy paprskových vad a funkce přenosu kontrastu jsou pak znázorněny na obr. 4.

#### Příklad 2

Refraktivní hyperchromatický afokální jednočlenný dvoučočkový optický systém 1 (obr. 1) s úhlovým zvětšením  $\Gamma_{str}=1,07$  pro střední vlnovou délku  $\lambda_{str}=1,4 \mu\text{m}$ , který koriguje disperzní projevy difraktivního zobrazovacího prvku 2 s ohniskovou vzdáleností  $f'_{dif, str}=500 \text{ mm}$  a ve spojení s ním vytváří apochromatický zobrazovací systém ve spektrální oblasti od nejkratší vlnové délky  $\lambda_{kr}=1,145 \mu\text{m}$  do nejdelší vlnové délky  $\lambda_{dl}=1,655 \mu\text{m}$ . Refraktivní afokální optický systém 1 je tvořen jedním optickým členem 10 ( $m=1$ ), který je složen ze dvou refraktivních optických prvků, kterými je dvojice čoček 11, 12, z optických materiálů s Abbeovými čísly  $\nu_I=78,51$  a  $\nu_{II}=129,4$ , o ohniskových vzdálenostech  $f'_{I, str}=10,0 \text{ mm}$  a  $f'_{II, str}=-9,3 \text{ mm}$ , takže podmínka achromatizace 
$$\frac{1}{\nu_I} - \frac{1}{\nu_{II}} = -\frac{\lambda_{kr} - \lambda_{dl}}{\lambda_{str}} \frac{f'_{I, str}}{mf'_{dif, str}}$$
 je splněna s dostatečnou přesností, stejně jako

35 podmínka apochromatizace požadující shodnost relativních disperzí optických materiálů  $P_{1(kr, str)}=0,503$  a  $P_{2(kr, str)}=0,508$ . Ohnisková vzdálenost  $f'_{II, str}$  čočky 12 je volena tak, aby systém byl afokální i po zavedení reálných tvarových parametrů čoček určených poloměry křivosti ploch 101, 102, 103, 104, tloušťkami a mezerami a po korekci zbytkových aberací.

Tento refraktivní afokální optický systém 1 má konstrukční parametry uvedené v tabulce na obr. 10. Optické schéma tohoto refraktivního afokálního optického systému 1, průběhy paprskových vad a funkce přenosu kontrastu jsou pak znázorněny na obr. 5.

#### Příklad 3

40 Refraktivní afokální jednočlenný dvoučočkový hyperchromatický optický systém 1 (obr. 1) s úhlovým zvětšením  $\Gamma_{str}=1,06$  pro střední vlnovou délku  $\lambda_{str}=1,4 \mu\text{m}$ , který koriguje disperzní projevy difraktivního zobrazovacího prvku 2 s ohniskovou vzdáleností  $f'_{dif, str}=500 \text{ mm}$  a ve spojení s ním vytváří apochromatický zobrazovací systém ve spektrální oblasti od nejkratší vlnové délky  $\lambda_{kr}=1,145 \mu\text{m}$  do nejdelší vlnové délky  $\lambda_{dl}=1,655 \mu\text{m}$ . Refraktivní afokální optický systém

1 je tvořen jedním optickým členem 10 ( $m=1$ ), který je složen ze dvou refraktivních optických prvků, kterými je dvojice čoček 11, 12, z optických materiálů s Abbeovými čísly  $\nu_I=70,23$  a  $\nu_{II}=127,78$ , o ohniskových vzdálenostech  $f'_{I,str}=11,4$  mm a  $f'_{II,str}=-11,3$  mm, takže podmínka achromatizace 
$$\frac{1}{\nu_I} - \frac{1}{\nu_{II}} = - \frac{\lambda_{kr} - \lambda_{dl}}{\lambda_{str}} \frac{f'_{I,str}}{mf'_{dif,str}}$$
 je splněna s dostatečnou přesností, stejně jako pod-

5 mínka apochromatizace požadující shodnost relativních disperzí optických materiálů  $P_{1(kr,str)} = 0,503$  a  $P_{2(kr,str)} = 0,505$ . Ohnisková vzdálenost  $f'_{II,str}$  čočky 12 je volena tak, aby systém byl afokální i po zavedení reálných tvarových parametrů čoček určených poloměry křivosti ploch 101, 102, 103, 104, tloušťkami a mezerami a po korekci zbytkových aberací.

10 Tento refraktivní afokální optický systém 1 má konstrukční parametry uvedené v tabulce na obr. 11. Optické schéma tohoto refraktivního afokálního optického systému 1, průběhy paprskových vad a funkce přenosu kontrastu jsou pak znázorněny na obr. 6.

#### Příklad 4

15 Refraktivní hyperchromatický afokální dvoučlenný čtyřčočkový optický systém 1 (obr. 2) s úhlovým zvětšením  $\Gamma_{str}=0,98$  pro střední vlnovou délku  $\lambda_{str}=1,4$   $\mu\text{m}$ , který koriguje disperzní projevy difraktivního zobrazovacího prvku 2 s ohniskovou vzdáleností  $f'_{dif,str}=500$  mm a ve spojení s ním vytváří apochromatický zobrazovací systém ve spektrální oblasti od nejkratší vlnové délky  $\lambda_{kr}=1,145$   $\mu\text{m}$  do nejdelší vlnové délky  $\lambda_{dl}=1,655$   $\mu\text{m}$ .

20 Refraktivní afokální dvoučlenný ( $m=2$ ) optický systém 1 sestává ze dvou členů 10, 20, každý složený ze dvou refraktivních optických prvků, z nichž první člen 10 je tvořen tmelenou dvojicí čoček 11, 12, s plochami 101, 103 a tmelenou plochou 102, z optických materiálů s Abbeovými čísly  $\nu_I=66,1$  a  $\nu_{II}=129,4$ , o ohniskových vzdálenostech  $f'_{I,str}=21,8$  mm a  $f'_{II,str}=-20,7$  mm, takže podmínka achromatizace 
$$\frac{1}{\nu_I} - \frac{1}{\nu_{II}} = - \frac{\lambda_{kr} - \lambda_{dl}}{\lambda_{str}} \frac{f'_{I,str}}{mf'_{dif,str}}$$
 je splněna s dostatečnou přesností, stejně

25 jako podmínka apochromatizace požadující shodnost relativních disperzí optických materiálů  $P_{1(kr,str)} = 0,491$  a  $P_{2(kr,str)} = 0,507$  a druhý člen 20 je identický s prvním členem 10, ale má opačnou orientaci, přičemž je tvořený dvojicí čoček 21, 22, s plochami 201, 203 a tmelenou plochou 202.

Tento refraktivní afokální optický systém 1 má konstrukční parametry uvedené v tabulce na obr. 12. Optické schéma tohoto refraktivního afokálního optického systému 1, průběhy paprskových vad a funkce přenosu kontrastu jsou pak znázorněny na obr. 7.

#### 30 Příklad 5

35 Refraktivní afokální dvoučlenný čtyřčočkový hyperchromatický optický systém 1 (obr. 3) s úhlovým zvětšením  $\Gamma_{str}=1,0$  pro střední vlnovou délku  $\lambda_{str}=1,4$   $\mu\text{m}$ , který koriguje disperzní projevy difraktivního zobrazovacího prvku 2 s ohniskovou vzdáleností  $f'_{dif,str}=500$  mm a ve spojení s ním vytváří apochromatický zobrazovací systém ve spektrální oblasti od nejkratší vlnové délky  $\lambda_{kr}=1,145$   $\mu\text{m}$  do nejdelší vlnové délky  $\lambda_{dl}=1,655$   $\mu\text{m}$ .

40 Refraktivní afokální dvoučlenný ( $m=2$ ) optický systém 1 sestává ze dvou členů 10, 20, každý složený ze dvou refraktivních optických prvků, z nichž první člen 10 je tvořen dvěma netmelenými čočkami 11, 12, s plochami 101, 102, 103, 104, z optických materiálů s Abbeovými čísly  $\nu_I=78,51$  a  $\nu_{II}=129,4$ , o ohniskových vzdálenostech  $f'_{I,str}=15,6$  mm a  $f'_{II,str}=-14,5$  mm, takže podmínka achromatizace 
$$\frac{1}{\nu_I} - \frac{1}{\nu_{II}} = - \frac{\lambda_{kr} - \lambda_{dl}}{\lambda_{str}} \frac{f'_{I,str}}{mf'_{dif,str}}$$
 je splněna s dostatečnou přesností, stejně jako

podmínka apochromatizace požadující shodnost relativních disperzí optických materiálů  $P_{1(kr,str)} = 0,500$  a  $P_{2(kr,str)} = 0,507$  a druhý člen 20 je identický s prvním členem 10, ale má opačnou orientaci, přičemž je tvořený dvojicí čoček 21, 22, s plochami 201, 202, 203, 204.

Tento refraktivní afokální optický systém 1 má konstrukční parametry uvedené v tabulce na obr. 13. Optické schéma tohoto refraktivního afokálního optického systému 1, průběhy paprskových vad a funkce přenosu kontrastu jsou pak znázorněny na obr. 8.

### Průmyslová využitelnost

- 5 Refraktivní afokální optický systém pro korekci difrakční disperze, podle technického řešení, lze využít pro vytvoření hybridního systému umožňujícího zachování kvality zobrazení při použití záření s šířkou spektra v desítkách až stovkách nanometrů, které zajistí dosažení vysokého rozlišení v širokospektrální korelační mikroskopii a zobrazovacích systémech využívajících difrakčních zobrazovacích prvků, zejména difrakčních zobrazovacích prvků výhodně vytvořených pomocí PMS.
- 10

## NÁROKY NA OCHRANU

1. Refraktivní afokální optický systém pro korekci barevné vady difrakčních zobrazovacích prvků, zejména refraktivní afokální optický systém (1) s úhlovým zvětšením  $\Gamma_{str}$  pro vlnovou délku  $\lambda_{str}$ , pro korekci barevné vady difrakčního zobrazovacího prvku (2), zejména pro korekci 15 disperzních projevů difrakčního zobrazovacího prvku (2) o ohniskové vzdálenosti  $f_{dif, str}$  a ve spojení s tímto difrakčním optickým prvkem (2) pro vytvoření achromatického či apochromatického zobrazovacího systému ve spektrální oblasti od nejkratší vlnové délky  $\lambda_{kr}$  do nejdelší vlnové délky  $\lambda_{dl}$ , **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že obsahuje  $m$  optických členů (10, 20), přičemž každý z těchto optických členů (10, 20) je tvořen dvojicí refraktivních optických prvků 20 o ohniskových vzdálenostech  $f'_{I, str}$ ,  $f'_{II, str}$ , které jsou z refraktivních optických materiálů, jejichž zobecněná Abbeova čísla  $v_I$  a  $v_{II}$  jsou vázána vztahem 
$$\frac{1}{v_I} - \frac{1}{v_{II}} = - \frac{\lambda_{kr} - \lambda_{dl}}{\lambda_{str}} \frac{f'_{I, str}}{m f'_{dif, str}}$$
, přičemž

relativní disperze všech použitých refraktivních optických materiálů je v rozsahu 0,49 až 0,51 a ohnisková vzdálenost druhého členu dvojice  $f'_{II, str}$  je zvolena tak, že pro střední vlnovou délku  $\lambda_{str}$  je optický člen afokální.

- 25 2. Refraktivní afokální optický systém podle nároku 1, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že pro střední vlnovou délku  $\lambda_{str}$  je výsledná optická mohutnost systému  $K_{str}=0$  a úhlové zvětšení splňuje podmínku  $0,5 < \Gamma_{str} < 2,0$ .

- 30 3. Refraktivní afokální optický systém podle nároků 1 a 2, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že každý z refraktivních optických prvků je tvořen nejméně jednou čočkou a nejvíce čtyřmi čočkami.

4. Refraktivní afokální optický systém podle nároků 1 až 3, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že korigovaný difrakční zobrazovací prvek (2) má ohniskovou vzdálenost splňující podmínku  $250 \text{ mm} < f_{dif, str} < 600 \text{ mm}$ , při použití záření se střední vlnovou délkou  $1,1 \mu\text{m} < \lambda_{str} < 1,45 \mu\text{m}$ .

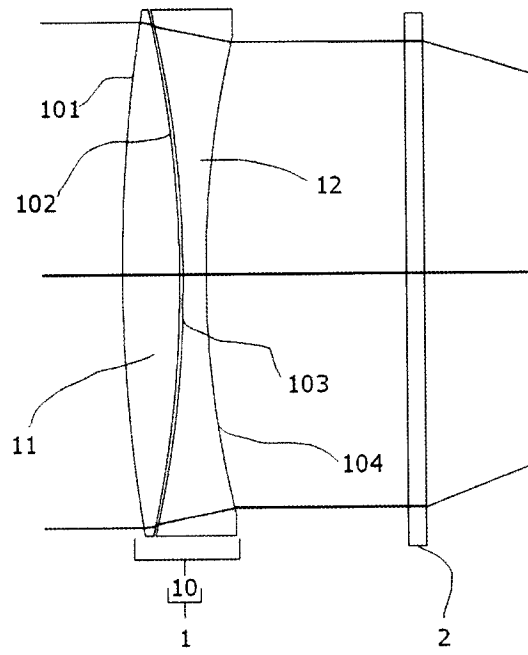
10 výkresů

35

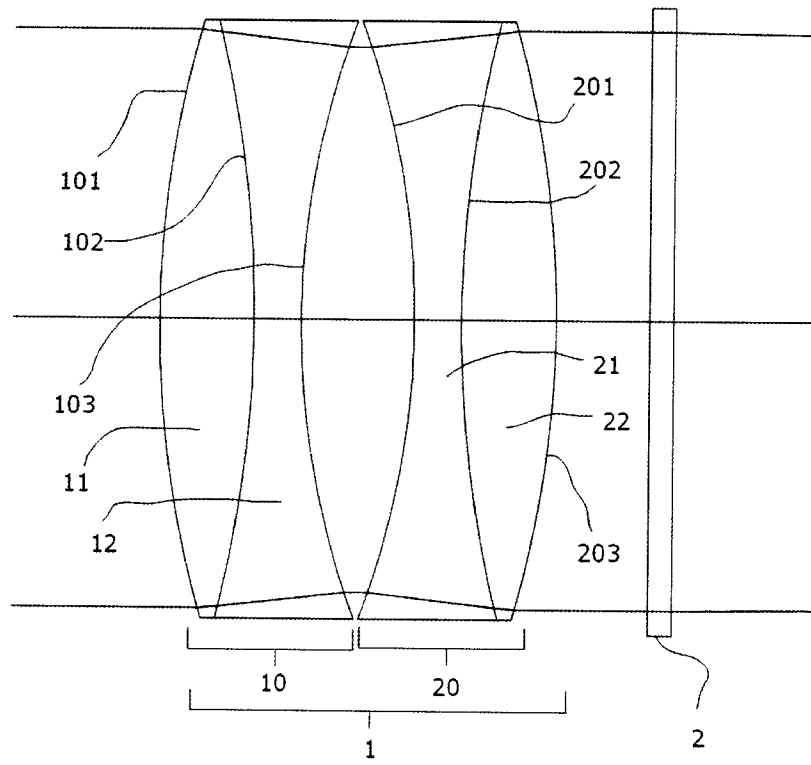


## Seznam vztahových značek:

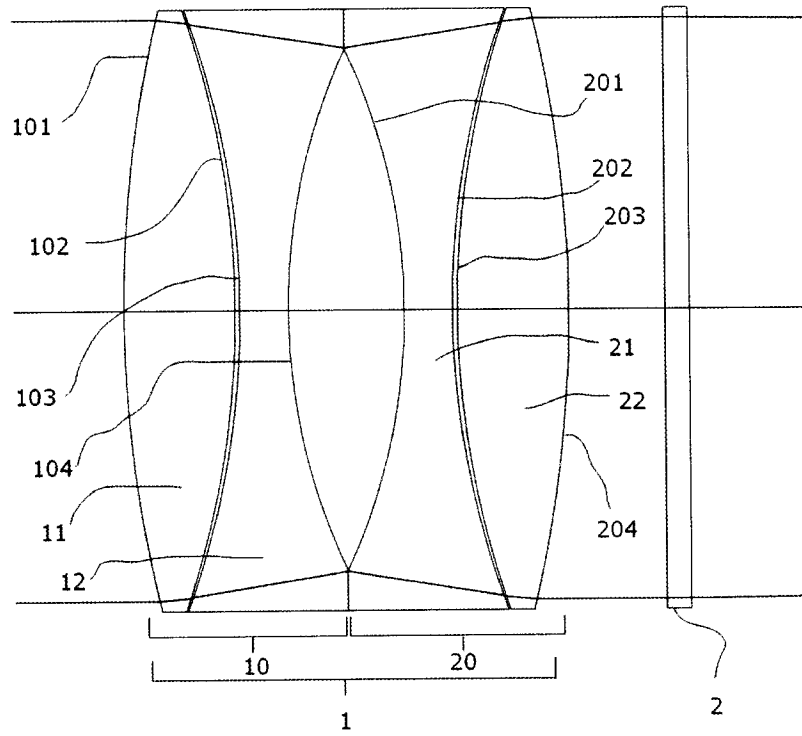
	1	optický systém
	2	difraktivní zobrazovací prvek
	10	člen I
5	11	čočka I
	12	čočka II
	20	člen II
	21	čočka III
	22	čočka IV
10	101	plocha I
	102	plocha II
	103	plocha III
	104	plocha IV
	201	plocha V
15	202	plocha VI
	203	plocha VII
	204	plocha VIII.



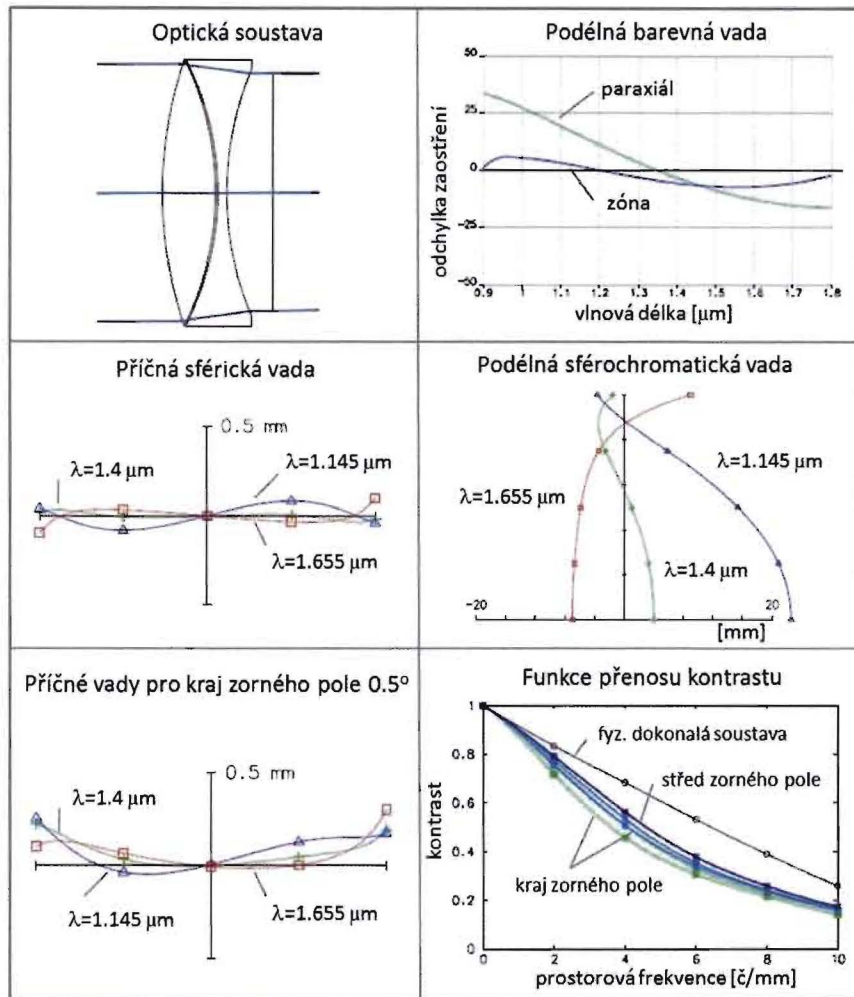
obr.1



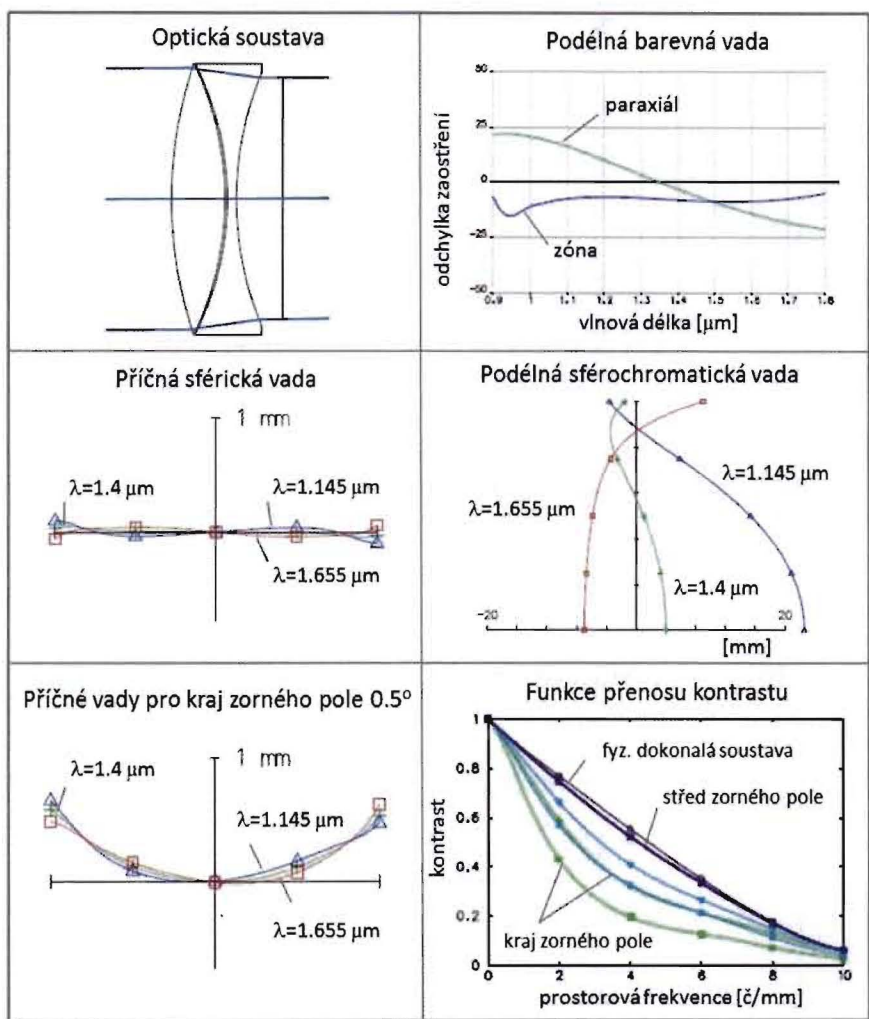
obr.2



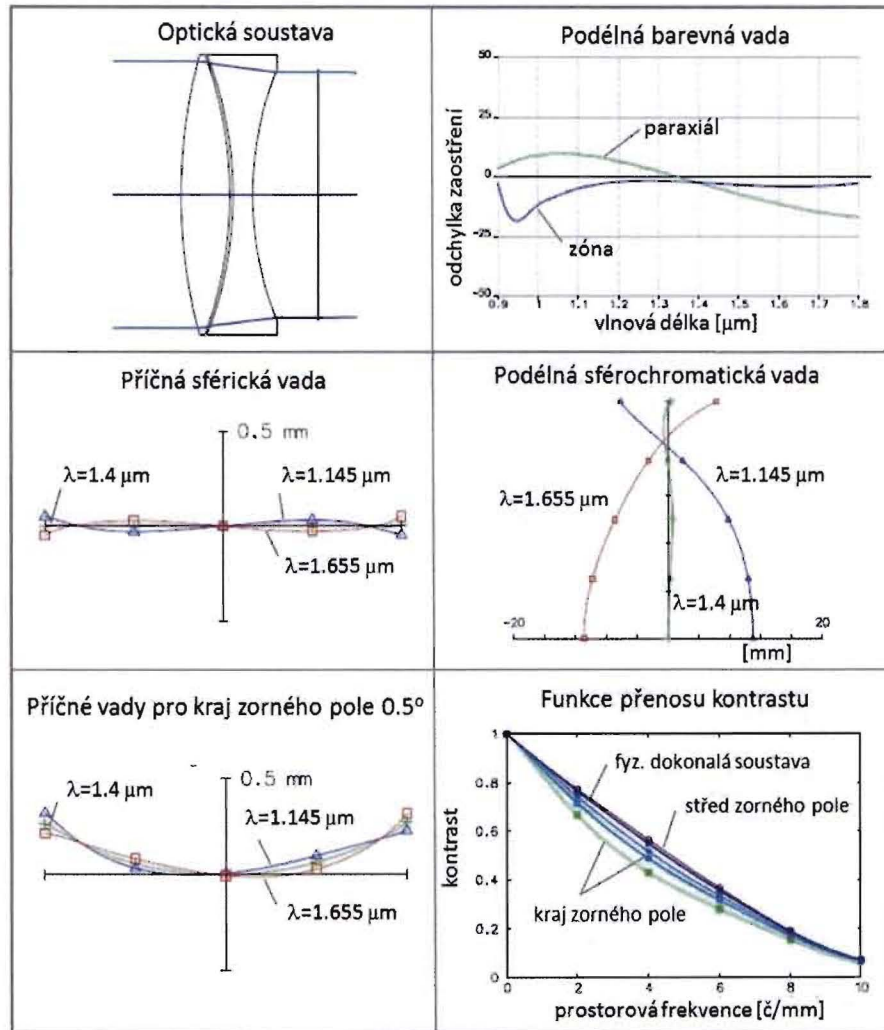
obr.3



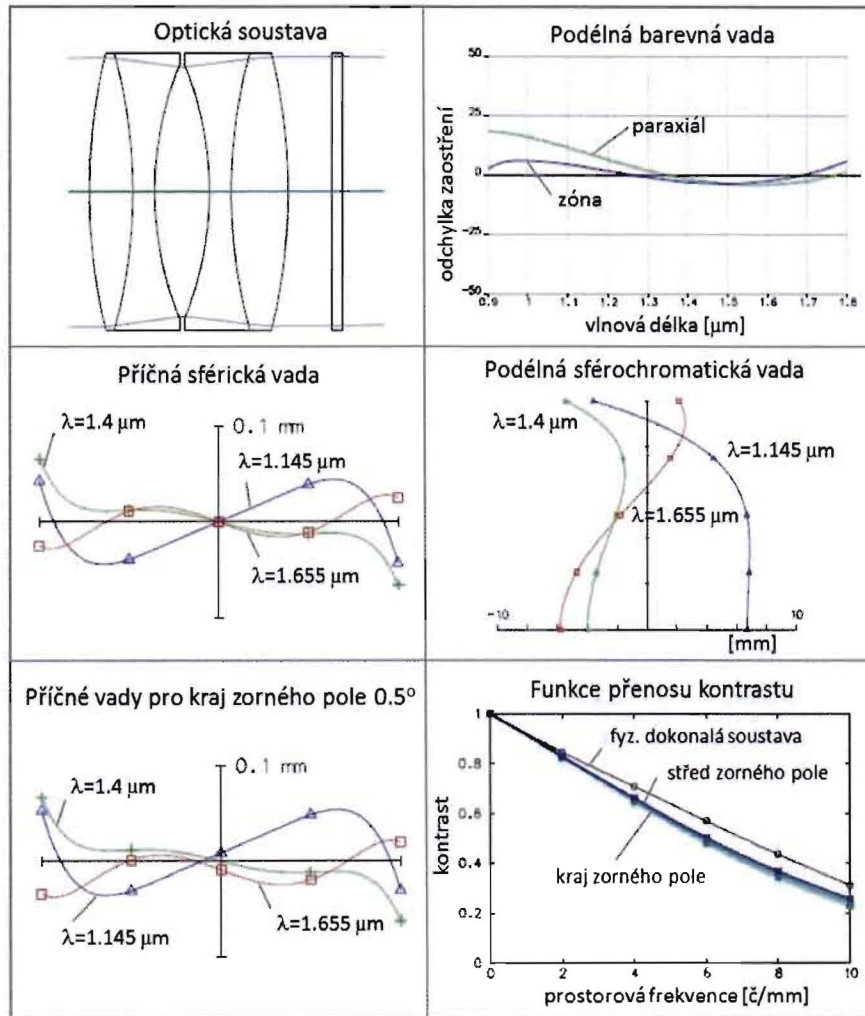
obr.4



obr.5

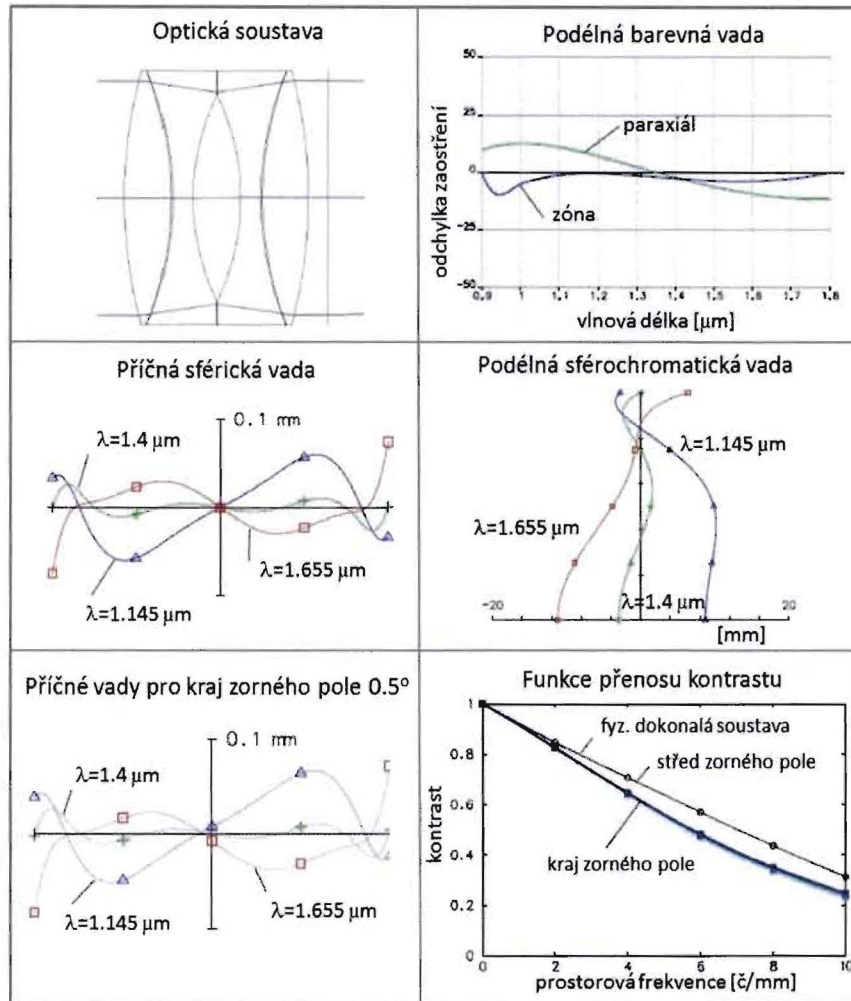


obr.6



obr.7





obr.8

poloměry r [mm]	mezery d [mm]	apertura D/2[mm]	optické prostředí	index lomu $n_{sr}$	Abbeovo číslo $V_{sr}$	$P_{SWR}$
17.5034	2.30	6.10	N-KZFS2	1.54005	66.10	0.4907
-12.7459	0.10	6.10	vzduch	1.00000		
-12.3613	0.40	5.60	N-PK52A	1.48710	129.44	0.5075
13.4972	2.00	5.60	vzduch	1.00000		
0.0000	0.00	6.10	difrakční plocha DF1=-0.001	1.00000	-2.75	0.5000
0.0000			vzduch	1.00000		

obr.9

poloměry r [mm]	mezery d [mm]	apertura D/2[mm]	optické prostředí	index lomu	Abbeovo číslo	$P_{SWR}$
16.282	1.50	4.00	N-LAK8	1.69111	78.51	0.5003
-11.626	0.10	4.00	vzduch	1.00000		
-10.916	0.60	4.00	N-PK52A	1.48710	129.44	0.5075
7.94	2.00	3.80	vzduch	1.00000		
0.0000	0.00	4.00	difrakční plocha DF1=- 0.001	1.00000	-2.75	0.5000
0.0000			vzduch	1.00000		

obr.10

poloměry r [mm]	mezery d [mm]	apertura D/2[mm]	optické prostředí	index lomu	Abbeovo číslo	$P_{SWR}$
15.771	1.45	4.20	KzFSN4	1.59153	70.23	0.5031
-11.878	0.10	4.20	vzduch	1.00000		
-11.342	0.60	4.20	N-FK51A	1.47702	127.78	0.5050
9.894	2.00	3.80	vzduch	1.00000		
0.0000	0.00	4.00	difrakční plocha DF1=- 0.001	1.00000	-2.75	0.5000
0.0000			vzduch	1.00000		

obr.11

poloměry r [mm]	mezery d [mm]	apertura D/2[mm]	optické prostředí	index lomu	Abbeovo číslo	P <sub>SWIR</sub>
21.807	2.00	6.20	N-KZFS2	1.540051	66.10	0.4907
-24.650	1.00	6.20	N-PK52A	1.487096	129.44	0.5075
17.234	1.20	5.60	vzduch	1.00000		
0.000	1.20	5.70				
-17.234	1.00	5.60	N-PK52A	1.48710	129.44	0.5075
24.650	2.00	6.20	N-KZFS2	1.540051	66.10	0.54907
-21.807	2.00	6.20	vzduch	1.00000		
0.000	0.00	6.20	difrakční plocha DF1=- 0.001	1.00000	-2.75	0.5000
0.000			vzduch	1.00000		

obr.12

poloměry r [mm]	mezery d [mm]	apertura D/2[mm]	optické prostředí	index lomu	Abbeovo číslo	P <sub>SWIR</sub>
25.22335	2.30	6.10	N-LAK8	1.69111	78.51	0.5003
-18.15158	0.10	6.10	vzduch	1.00000		
-17.21595	1.00	5.60	N-PK52A	1.48524	129.44	0.5075
12.26336	1.20		vzduch			
0.00000	1.20		vzduch			
-12.26336	1.00	5.60	N-PK52A	1.48524	127.78	0.5075
17.21595	0.10	6.10	vzduch	1.00000		
18.15158	2.30	6.10	N-LAK8	1.69111	78.51	0.5003
-25.22335	1.00	6.10	vzduch	1.00000		
0.00000			difrakční plocha DF1=- 0.001	1.00000	-2.75	0.5000

obr.13

Konec dokumentu