

G02B 13/22 (2006.01)
G02B 9/64 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA

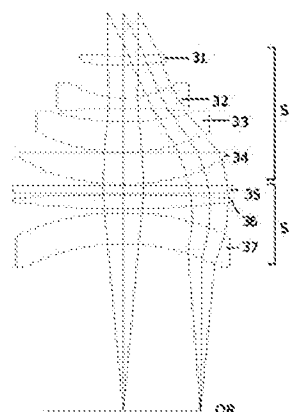


ÚŘAD
PRŮMYSLVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: 2020-451
(22) Přihlášeno: 11.08.2020
(40) Zveřejněno: 23.02.2022
(Věstník č. 8/2022)
(47) Uděleno: 29.06.2022
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: 10.08.2022
(Věstník č. 32/2022)

(56) Relevantní dokumenty:
US 2019/0187146 A1; US 6650477 B2; CN 109633865 A; US 5790321; US 5838481; US 4396254.

(73) Majitel patentu:
Meopta - optika, s.r.o., Přerov, Přerov I-Město, CZ
(72) Původce:
Ing. Stanislav Horák, Velké Albrechtice, CZ
Ing. Jaroslav Hopp, Praha 8, Karlín, CZ
Mgr. Bohumil Stoklasa, Prostějov, Domamyslice, CZ
Mgr. Ing. Libor Úlehla, Prostějov, CZ
(74) Zástupce:
Ing. Dobroslav Musil, patentová kancelář, Ing.
Dobroslav Musil, patentový zástupce, Zábřdovická
801/11, 615 00 Brno, Zábřdovice



(54) Název vynálezu:
Telecentrický f-theta objektiv s korigovanou chromatickou vadou pro laserové aplikace v UV oblasti

(57) Anotace:
Telecentrický f-theta objektiv (3) s korigovanou chromatickou vadou pro laserové aplikace v UV oblasti obsahuje ve své optické stavbě alespoň jeden difraktivní optický element (35) uzpůsobený pro korekci chromatické vady v UV oblasti, kde difraktivní optický element (35) je v optické stavbě objektivu (3) situován jako nejdříve druhý optický element ve směru chodu laserového záření objektivem (3), přičemž optická stavba objektivu je rozdělena na první skupinu (S1) optických elementů a druhou skupinu (S2) optických elementů, kde obě skupiny (S1, S2) jsou vzájemně odděleny difraktivním optickým elementem (35), který je uspořádán před první plochou té čočky, na které má výška dopadu hlavního paprsku krajního svazku na první plochu větší hodnotu, než je požadované maximální obrazové pole, přičemž pro ohniskové vzdálenosti (f_{S1} , f_{S2}) těchto skupin (S1, S2) platí $|f_{S1}| > f_S$ a difraktivní optický element (35) má laterální chromatickou aberaci CA_{DOE} , pro kterou platí $|CA_r(x, y) - CA_{DOE}(x, y)| \sim D_{spot}$, kde CA_r je laterální chromatická vada refraktivních optických elementů a D_{spot} je nominální velikost difrakčně limitovaného spotu f-theta objektivu.

Telecentrický f-theta objektiv s korigovanou chromatickou vadou pro laserové aplikace v UV oblasti

5 Oblast techniky

Vynález se týká telecentrického f-theta objektivu s korigovanou chromatickou vadou pro laserové aplikace v ultrafialové oblasti pro zlepšení optického výkonu sestavy, kde objektiv má ve své optické stavbě alespoň jeden difrakтивní optický element uzpůsobený pro korekci chromatické vady v UV oblasti.

Dosavadní stav techniky

15 F-theta objektivы nacházejí využití především ve skenovací optice napříč širokým spektrem průmyslových odvětví od laserových tiskáren až po laserové obrábění. Princip f-theta objektivu spočívá v přesně pozičně vydefinovaném fokusování svazku do obrazové roviny v závislosti na vstupním úhlu θ do f-theta objektivu. Typický známý systém obsahující f-theta objektiv je zobrazen na obr. 1. Závislost pro určení výšky obrazu y odpovídá vztahu

$$y = f' \cdot \theta ,$$

kde f' je ohnisková vzdálenost f-theta objektivu a θ úhel laserového svazku ze zdroje 1, který vystupuje z vychylovacího zařízení 2. Typicky se využívá systém vychylovacích zrcátek nebo rotující mnohostěn. Přesná pozice dopadu vychýleného svazku je ovlivněna vadami, a především zkreslením optické sestavy – f-theta objektivu 3. Pro nejpřesnější aplikace, mezi něž patří také laserové mikroobrábění, je potřeba dosáhnout hodnot zkreslení v řádech jednotek až desetin mikrometrů v celém rozsahu skenovaného pole. Velikost skenovaného pole se liší dle aplikace, ale typicky se pohybuje pro refraktivní návrhy od několika milimetrů až po stovky milimetrů.

Specificky pro mikroobrábění jsou na f-theta objektivы kladeny další nároky, jako je podmínka telecentricity výstupního svazku, což v praxi znamená minimalizování úhlu dopadu hlavního optického paprsku vztaženého k normále obrazové roviny 4.

35 Dalšími zásadními parametry jsou tvar a stálost spotu, tj. dopadového obrazce, v celém skenovacím rozsahu objektivu, které jsou popsány pomocí parametrů kruhovitosti a uniformity. Kruhovitost je dána poměrem velikostí maximální a minimální osy spotu v obrazové rovině, kdy je uváděna pro sestavu objektivu největší hodnota v celém skenovaném poli. Uniformita je udávána jako poměr největšího a nejmenšího spotu přes celé skenované pole, kde velikost spotu je nadefinována jako průměr minimální a maximální velikosti spotu. Dosažení rovnoměrného a v poli uniformního spotu spolu s důrazem na zmenšování jeho velikosti vede k difrakčně limitovaným designům. Vztah pro difrakční limit velikosti spotu D_{spot} pro užívaný vstupní gaussovský svazek laseru je

$$D_{spot} = M^2 \cdot Apo \cdot \frac{\lambda \cdot f'}{D} ,$$

45 kde M^2 je hodnota kvality výstupního svazku laseru, Apo apodiziační faktor sestavy závislý na poměru průměru laserového svazku k průměru vstupní pupily, λ je vlnová délka laseru, f' je ohnisková vzdálenost f-theta objektivu a D je velikost vstupního gaussovského svazku definovaná jako šířka v poklesu intenzity na $1/e^2$. Ze vztahu plyne, že pro minimalizaci velikosti výstupního spotu D_{spot} je potřeba zmenšit ohniskovou vzdálenost f' , zvětšit průměr vstupního svazku D nebo zmenšit vlnovou délku laseru λ . Parametr f' je fixovaný do úzkého intervalu díky požadavkům na

pracovní vzdálenost a zásadní zvětšování parametru vstupního svazku D značně komplikuje optický návrh. Pro maximalizaci optického výkonu se proto využívá posunutí používané vlnové délky laseru λ právě až do UV oblasti pod 300 nm a níže.

- 5 Další otázkou pro návrh f-theta objektivu je kvalita spojená s parametrem M^2 a typ použitého laseru, což ovlivňuje tvar a velikost výsledného spotu. Pro samotný návrh je klíčová šířka spektra záření použitého laseru, protože již rozdíl desetiny nanometrů způsobí chromatickou vadu v laterálním směru, která má vliv na výslednou kruhovitost a uniformitu ve formě vzniku eliptických spotů v obrazové rovině OR ve větší vzdálenosti od optické osy sestavy, a především v kraji pole.

10 Je známo kompenzování chromatické vady použitím rozdílných materiálů optických prvků. Pro UV oblast ovšem nastává problém se škálou možností použitých optických materiálů, jelikož dostatečně propustné a kvalitní jsou pro tyto účely fluoritová skla (CaF_2 , MgF) a tavené SiO_2 s poměrně podobnou hodnotou disperze. Omezení počtu použitelných optických materiálů však svazuje diverzitu optického návrhu, který využívá rozdílných vlastností skel. Tato omezení pak ve výsledku vedou při navrhování f-theta objektivů pro UV oblast k návrhům mnohem robustnějších optických soustav, kde může být vyžadován počet optických členů dokonce i násobný oproti návrhu optické soustavy se stejnými parametry ve viditelné oblasti, což je hlavní nevýhoda dosavadního stavu techniky.

Z fotografických objektivů pro oblast viditelného světla je známo použití difrakčních optických prvků pro korekce optických vlastností takových objektivů ve viditelné oblasti světla.

- 25 Z US 2019/0187416 A1 je znám f-theta objektiv pro piko- a femto- sekundové lasery, ze kterých je záření skenováno do f-theta objektivu pomocí skenovacího zrcátka. Tento f-theta objektiv v jednom provedení obsahuje difraktivní optický element pro kompenzaci laterální chromatické vady, který je uspořádán ve směru chodu laserového záření f-theta objektivem ještě před první čočkou, tj. tvoří první optický prvek f-theta objektivu. Toto uspořádání difraktivního optického elementu však snižuje účinnost systému z důvodu velkých dopadových úhlů záření ze skenovacího zrcátka, zvyšuje nároky na vytvoření takového difraktivního optického elementu a také zvyšuje riziko poškození tohoto difraktivního optického elementu.

35 Cílem vynálezu je odstranit nebo alespoň zmírnit nevýhody dosavadního stavu techniky.

Podstata vynálezu

40 Cíle vynálezu je dosaženo telecentrickým f-theta objektivem s korigovanou chromatickou vadou pro UV oblast, jehož podstata spočívá v tom, že do optické stavby f-theta objektivu je jako nejdříve druhý optický element ve směru chodu laserového záření v UV oblasti objektivem zakomponován difraktivní optický element (DOE), který dovoluje uspořádat značné výrobní náklady, jelikož umožňuje nahradit až několik klasických sférických optických členů f-theta objektivu, současně umožňuje korekci chromatické vady v širokém rozsahu pole, eliminuje velké dopadové úhly záření a riziko poškození.

50 Konkrétní řešení f-theta objektivu pro UV oblast s korigovanou chromatickou vadou se dle rozměrových parametrů a zadání pozice a velikosti vstupní pupily může lišit, co do počtu elementů, tak do rozměrů samotné optické sestavy. Optická stavba se ovšem vždy skládá ze dvou hlavních částí (viz obr 2.), kde první skupina S1 optických prvků upravuje svazek dopadající do f-theta objektivu pro dosažení patřičné výšky obrazu a druhá skupina S2 optických prvků zajišťuje primárně fokusaci svazku. K oddělení první skupiny S1 a druhé skupiny S2 dochází před první plochou čočky, na které má výška dopadu hlavního paprsku krajního svazku na první plochu větší hodnotu než požadované maximální obrazové pole. Z výše uvedeného plyne, že pro případy standardního použití f-theta objektivu bude platit pro ohniskové vzdálenosti skupin

$$|f_{s1}^*| > f_{s2}^*.$$

DOE se v celé sestavě může vyskytovat jak v první skupině S1, tak ve druhé skupině S2, jelikož jeho primární použití je ke kompenzaci chromatické vady a jeho optická mohutnost je typicky řádově menší než u ostatních optických prvků f-theta objektivu. V návrhu je kladen důraz na to, aby byly dopadové úhly na DOE co nejmenší z důvodu správné funkce a maximalizace difrakční účinnosti. DOE není nikdy použit na prvním optickém elementu celé sestavy z důvodu velkých dopadových úhlů a většího rizika poškození. Vždy je před DOE zařazen alespoň jeden optický element, který upravuje dopadové úhly z vychylovacího systému. Difrakční struktura DOE může být umístěna jak na rovinné nebo sférické ploše čočky, tak také na rovinné ploše plan (plochého) skla.

Jelikož je využití optických materiálů v UV oblasti pod 300 nm je omezeno na fluoritová skla CaF_2 , MgF a tavený SiO_2 , do značené míry toto omezuje možnosti kompenzace chromatické vady těmito optickými prvky. Proto pro celou vlnovou šířku spektra laseru platí, že primární laterální chromatická vada refraktivních optických elementů CA_r bude pro skenovací systémy kompenzována laterální chromatickou vadou difrakční struktury DOE CA_{DOE} tak, že platí:

$$|CA_r(x, y) - CA_{DOE}(x, y)| \sim D_{spot},$$

kde D_{spot} je nominální velikost difrakčně limitovaného spotu f-theta objektivu a CA jsou hodnoty pro libovolnou pozici x, y v obrazové rovině. Rozdíl refraktivních aberací může nabývat hodnot taky výrazně menších, než je hodnota D_{spot} . Všechny veličiny mají rozměr délkových jednotek.

V předkládaném vynálezu je DOE dle výše popsaného vztahu uzpůsobeno primárně ke kompenzaci laterální chromatické vady, ale také jej lze využít i pro kompenzaci dalších optických aberací celé optické sestavy. V optické sestavě lze na DOE pohlížet jako na tzv. negativní rotačně symetrickou asférickou čočku.

Typická sestava f-theta objektivu podle vynálezu musí obsahovat cíleně vytvořené zkreslení pole odpovídající f-theta podmínice, které je zajištěno především optickými členy v první skupině S1. V této skupině S1 se vyskytuje vždy minimálně jedna rozptylná čočka s velkým zkreslením, které je následně kompenzováno zbytkem optické sestavy především v první skupině S1. Pro nejpřesnější aplikace už pak nestačí pouze korekce zkreslení v této části optické sestavy, ale musí se uvažovat i o menších přispěvcích optických elementů ze druhé skupiny S2 optických elementů. Hodnota f-theta zkreslení pro celou optickou sestavu je v návrhu minimalizována na daný podíl nebo maximální hodnotu zkreslení vychylovacího systému, kde nelze tuto aberaci ani složitým mechanismem náklonu vychylovacím zrcátkem zcela odstranit.

Druhá skupina S2 optických prvků podle vynálezu obsahuje členy rozměrově podobné a větší, než je samotné výstupní pole, což je způsobeno požadavkem na telecentrický chod paprsků. Telecentricitu celé optické sestavy zajišťují typicky 1 až 3 elementy na konci druhé skupiny S2 optických prvků, které pouze fokusují svazek a už nemají zásadní vliv na optické aberace. Optické návrhy s výše popsanou stavbou, pak dosahují úhlu telecentricity menšího než 6° .

Pro vysokovýkonnostní aplikace musí být optické elementy dále ošetřeny dostatečnou vzdáleností optického průměru od mechanického průměru, aby nedocházelo ke kumulování energie, či nežádoucím odrazům na mechanických částech f-theta objektivu. V oblasti vysokých výkonů je vhodné také použít krycí sklo na výstupu f-theta objektivu.

Při návrhu je potřeba počítat i s rozměrovým uložením optické sestavy. Pracovní vzdálenost spolu se vzdáleností od vstupní pupily a celkovou délkou f-theta objektivu jsou kritickými parametry pro

fungování ve vyšších sestavách, což musí být vždy bráno v potaz. Výhodou v tomto ohledu při použití DOE v f-theta objektivu pro UV oblast je omezení počtu použitých optických elementů, které právě také usnadňuje prostorové řešení návrhu.

5

Objasnění výkresů

Obecně ze stavu techniky známé schéma f-theta objektivu je znázorněno na obr. 1. Podoba optické stavby podle vynálezu pro UV oblast, zde konkrétně vlnových délek 257,5 až 258,1 nm, s DOE je znázorněna na obr. 2. Grafy optických parametrů kalibrované laterální chromatické vady, f-theta zkreslení a odchylky od kruhovitosti polychromatického spotu pro příklad uskutečnění na obr. 2 jsou znázorněny na obr. 3, 4 a 5. Pro srovnání parametrů chromatické aberace s návrhem f-theta objektivu bez DOE a se stejným počtem optických elementů jako příklad uskutečněného řešení s DOE je na obr. 6 znázorněn průběh laterální chromatické aberace monochromatického návrhu bez DOE.

15

Příklady uskutečnění vynálezu

Vynález bude popsán na konkrétním příkladu uskutečnění f-theta objektivu zasazeného do vyšší sestavy složené z vysoko výkonnostního laseru 1 o centrální vlnové délce 257,8 nm s vlnovou šířkou $\pm 0,3$ nm, tedy vlastností odpovídající laseru s ps pulsem typickým pro procesy mikroobrábění. Výstupní laserový gaussovský svazek má konkrétní průměr 10 mm. Dále je umístěn vychylovací systém 2 řešený zde konkrétně pomocí vychylovacích zrcátek, který umožňuje vytvořit vstupní pupilu optické sestavy mezi těmito zrcátky. Velikost vstupní pupily je konkrétně 14 mm, ale v případě potřeby ji lze omezit před vstupem do vychylovacího systému na menší hodnotu. Dalším prvkem je samotný f-theta objektiv 3 fokusující vstupní svazky do obrazové roviny 4. Rozměry výstupního pole systému jsou konkrétně 50 x 50 mm².

25

F-theta objektiv 3 obsahuje sedm optických elementů (prvků, členů) 31 až 37, včetně difraktivního optického elementu 35 (dále jen "DOE 35"). Optické elementy 31 až 37 zde zahrnují dva rozptylné elementy 32 a 37, čtyři spojné čočky 31, 33, 34, 36 a jeden DOE 35 zde s difrakční strukturou umístěnou na skleněné plan (rovinné) desce. Materiálem pro všechny optické prvky 31 až 37 je s výhodou tavený oxid křemičitý, jelikož fluoritová skla nejsou snadno obrobitelná pro přesné aplikace. Samozřejmě je ale možno optické členy 31 až 37 zhotovit i z fluoritových skel. DOE 35 je uspořádán v nejširší části optické sestavy, kde úhly dopadajících paprsků k normále plan skla dosahují nejmenších hodnot.

35

První čtyři optické prvky 31 až 34 jsou součástí první skupiny S1 optických prvků a poslední dva optické prvky 36 a 37 jsou součástí druhé skupiny S2 optických prvků.

40

Celá sestava má zde konkrétně ohniskovou vzdálenost $f' = 105$ mm, z toho lze odvodit maximální úhel vystupujícího svazku z vychylovací sestavy pro zadané výstupní pole jako $\theta = 20^\circ$. První skupina S1 slouží primárně pro šíření svazku do potřebné výšky a pro vyvolání umělého zkreslení, kde jediný rozptylný optický element 32 s negativním zkreslením je kompenzován ostatními optickými elementy (členy) 31, 33 a 34 první skupiny S1 tak, aby byla splněna f-theta podmínka pro výšku obrazu, konkrétně znázorněná na obr. 4.

45

DOE 35 je zde konkrétně s využitým výstupním 1. řádem difrakce a primárně je zde uzpůsoben, tj. primárně slouží, ke korekci laterální chromatické vady (viz obr. 3) při chromatické disperzi samotného optického materiálu, zde příkladně, taveného SiO₂ pro vlnovou délku 257,8 nm $dn/d\lambda = 3,0769 \mu\text{m}^{-1}$. V návrhu se také využívá možnost modulace frekvencí DOE 35 a jsou zde kompenzovány i další optické aberace. Poslední dva optické členy 36 a 37 optické sestavy, tj. druhá skupina S2, korigují průběh svazku do telecentrické podoby.

55

Pro konkrétně použitý DOE 35 v této konkrétní optické sestavě f-theta objektivu 3 platí, že nejvyšší frekvence kruhově symetrické mřížky je $4 \cdot 10^5 \text{ m}^{-1}$ (velikost nejmenší zóny je $2,5 \text{ }\mu\text{m}$) a dle zvolené vlnové délky je maximální hloubka substrátu 512 nm. Tvar struktury DOE 35 v tomto případě je nejméně 4stupňová struktura, aby došlo k dostatečnému vyvážení energie v požadovaném řádu a nedošlo ve vysoko výkonnostní aplikaci k přehřívání či poškození nějaké součásti vyššího systému.

Optická sestava s konkrétním popisem jednotlivých optických prvků 31 až 37 je v tab. 1.

Tab. 1

element		rádius (mm)	tloušťka (mm)	Nd/Vd
	EP	Infinity	29,300	
31	R1	-132,367	5,556	1,458/67,795
	R2	-74,661	22,086	
32	R1	-42,103	6,791	1,458/67,795
	R2	2701,449	7,902	
33	R1	-81,122	18,837	1,458/67,795
	R2	-70,036	0,563	
34	R1	-5737,852	18,188	1,458/67,795
	R2	-79,607	0,747	
35	R1	Infinity	5,000	1,458/67,795
	R2	Infinity	0,609	
36	R1	534,522	8,046	1,458/67,795
	R2	-319,067	2,570	
37	R1	79,786	18,045	1,458/67,795
	R2	83,668	111,424	

Celá tato optická sestava v nominálním návrhu je difrakčně limitovaná s maximální velikostí spotu $4 \text{ }\mu\text{m}$ v celém polychromatickém spektru použitého laseru. Odchylka od ideální kruhovitosti v celém poli pro polychromatické spektrum je menší než 4,4 % (viz obr. 5) a odchylka od ideální uniformity je menší než 4,5 %. Změna kruhovitosti a uniformity je dána zejména laterální chromatickou vadou, která nedosahuje v celém spektru větší hodnoty než $0,5 \text{ }\mu\text{m}$ (viz obr. 3). Maximální hodnota kalibrovaného f-theta zkreslení je pro nominál sestavy $0,4 \text{ }\mu\text{m}$. Pro využití v obráběcím průmyslu je tato sestava navržena telecentricky s maximálním úhlem dopadu do obrazové roviny OR vůči její normále $0,32^\circ$ v celém poli.

Pro srovnání je zde také uveden graf (obr. 6) chromatické vady difrakčně limitované sestavy monochromatického f-theta objektivu se sedmi optickými elementy 31 až 37 bez DOE 35, resp. s plan sklem bez DOE 35, pouze s využitím jediného optického materiálu, taveného SiO_2 . Pro případ s použitím materiálů CaF a SiO_2 by sestava s podobnými parametry a vykompenzovanou chromatickou vadou musela mít minimálně násobně větší počet optických elementů.

Průmyslová využitelnost

F-theta objektivu s vykorigovanou chromatickou vadou v UV oblasti a s telecentrickým chodem paprsků mohou nalézt široké spektrum využitelnosti ve skenovacích sestavách. Zde mohou přispět k rozvoji dalších navazujících technik využívající skenovací optiku pro případy, když už nestačí standardní návrhy s refraktivními prvky. Také značně omezi velkou složitost optické stavby, kde při vhodné realizaci DOE může dojít ke značným úsporám. Jedna z konkrétních oblastí uplatnění

by měla být v laserovém mikroobráběcím průmyslu, ve kterém lze UV zdroj záření a vhodnou optiku lze využít pro přesnější obrábění a vytváření menších struktur.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Telecentrický f-theta objektiv (3) s korigovanou chromatickou vadou pro laserové aplikace v UV oblasti obsahuje ve své optické stavbě alespoň jeden difraktivní optický element (35) uzpůsobený pro korekci chromatické vady v UV oblasti, **vyznačující se tím**, že difraktivní optický element (35) je v optické stavbě objektivu (3) situován jako nejdříve druhý optický element ve směru chodu laserového záření objektivem (3), přičemž optická stavba objektivu je rozdělena na první skupinu (S1) optických elementů a druhou skupinu (S2) optických elementů, kde obě skupiny (S1, S2) jsou vzájemně odděleny difraktivním optickým elementem (35), který je uspořádán před první plochou té čočky, na které má výška dopadu hlavního paprsku krajního svazku na první plochu větší hodnotu, než je požadované maximální obrazové pole, přičemž pro ohniskové vzdálenosti (f'_{S1}, f'_{S2}) těchto skupin (S1, S2) platí $|f'_{S1}| > f'_{S2}$ a difraktivní optický element (35) má laterální chromatickou aberaci CA_{DOE} , pro kterou platí $|CA_r(x, y) - CA_{DOE}(x, y)| \sim D_{spot}$, kde CA_r je laterální chromatická vada refraktivních optických elementů a D_{spot} je nominální velikost difrakčně limitovaného spotu f-theta objektivu.

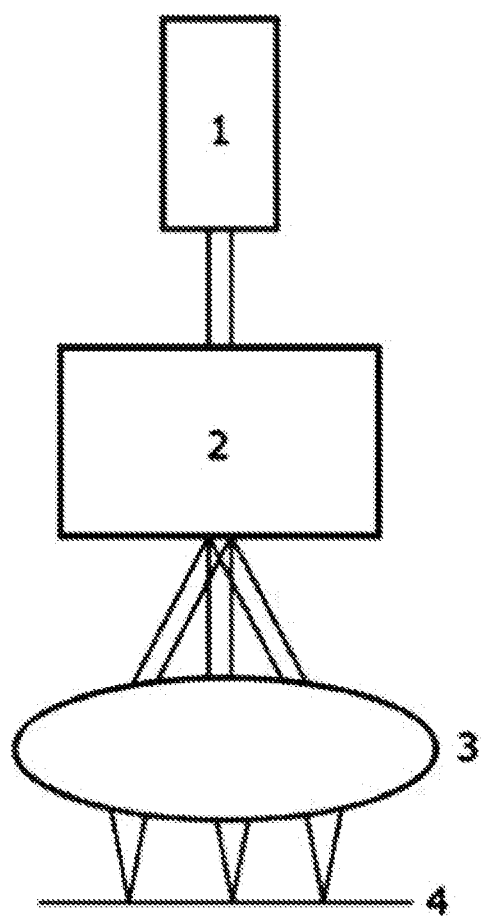
2. Telecentrický f-theta objektiv (3) podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že difraktivní optický element (35) má difrakční strukturu uspořádanou na plan nebo sférické ploše libovolného optického prvku optické sestavy.

3. Telecentrický f-theta objektiv (3) podle kteréhokoli z nároků 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že optická stavba objektivu (3) je rozdělena na první skupinu (S1) optických elementů a druhou skupinu (S2) optických elementů, přičemž první skupina optických elementů (S1) obsahuje nejméně jeden rozptylný optický element se zkreslením, které je kompenzováno ostatními optickými elementy zejména první skupiny (S1) optických elementů k potlačení f-theta zkreslení objektivu.

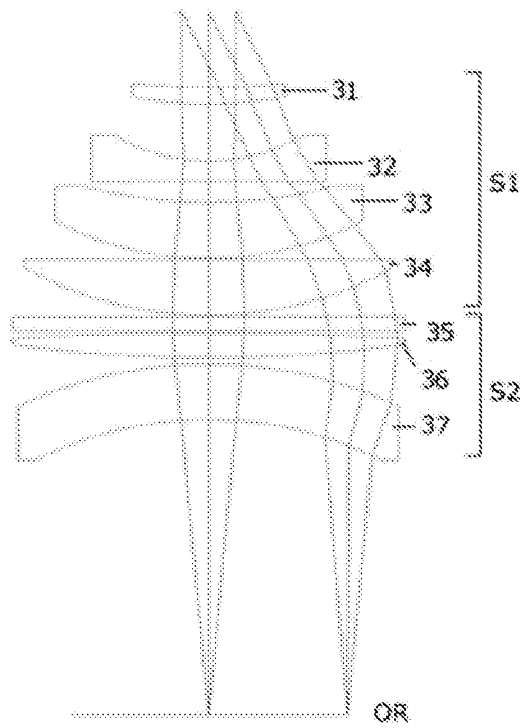
4. Telecentrický f-theta objektiv (3) podle kteréhokoli z nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že optická stavba objektivu (3) má skenovací svazek, který je v obrazové rovině telecentrický s maximálním úhlem hlavních paprsků vůči optické ose 6° .

6 výkresů

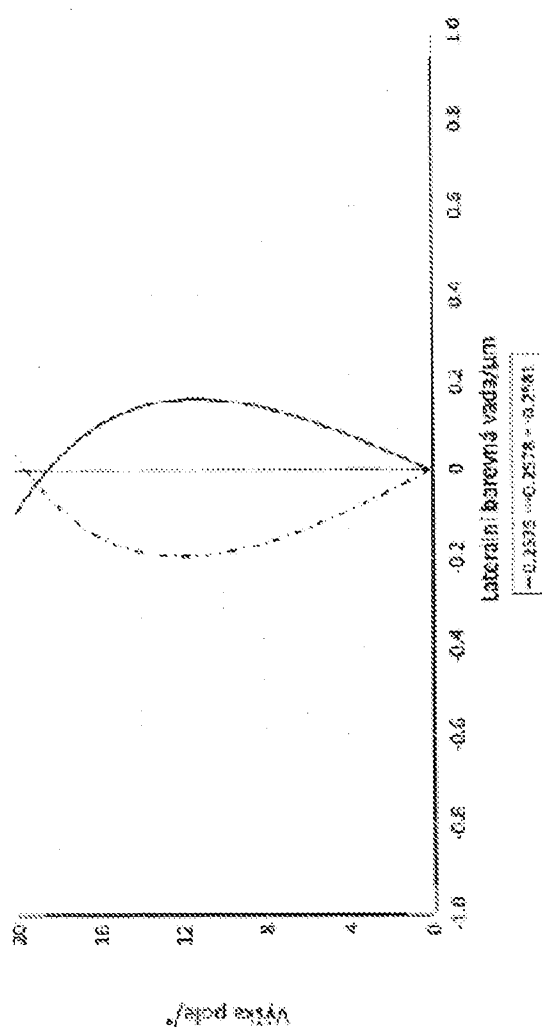
Stav techniky



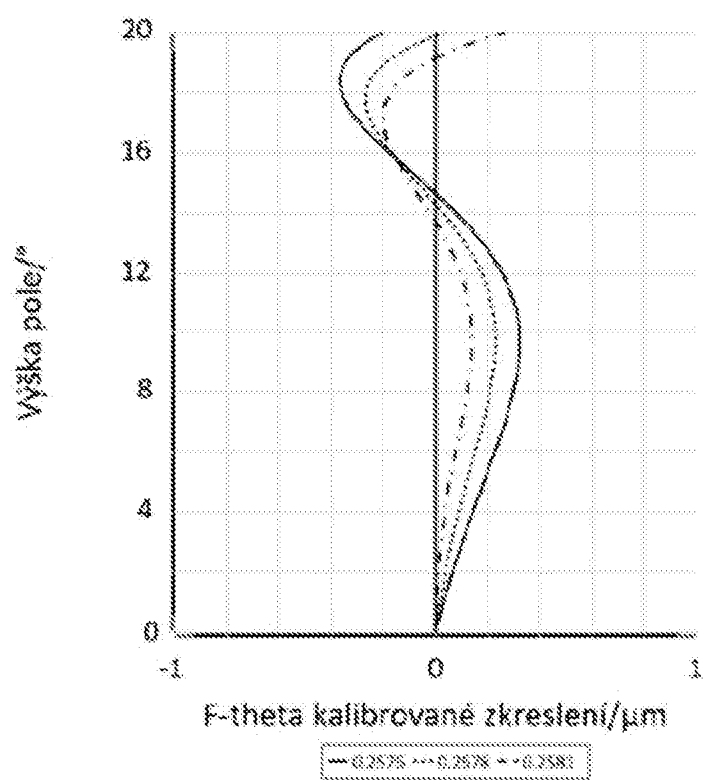
Obr. 1



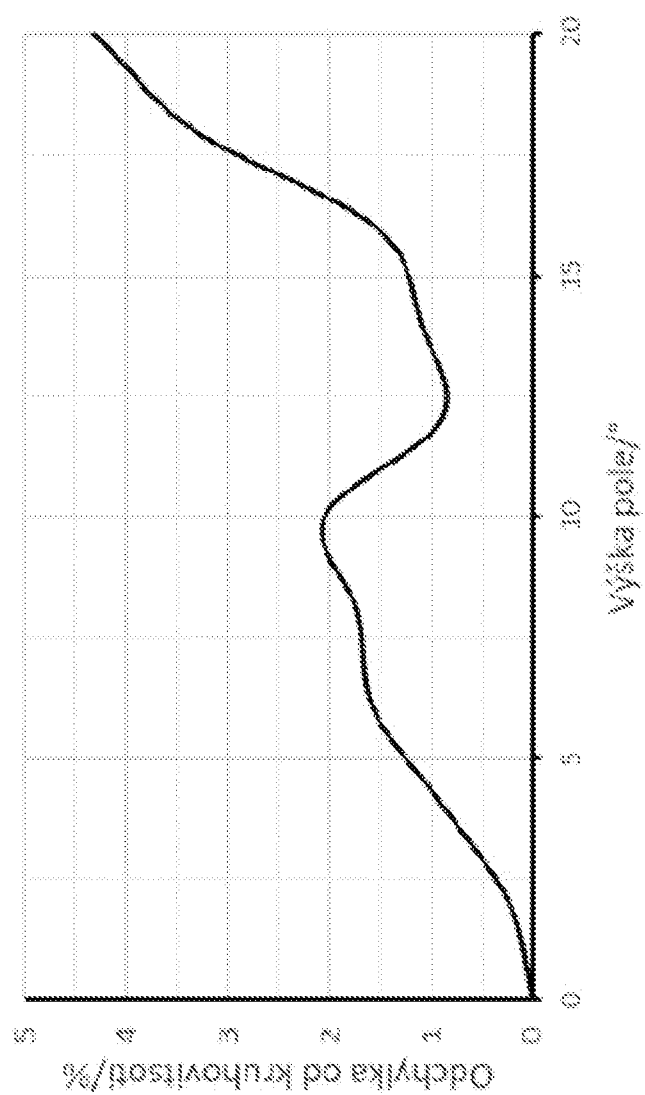
Obr. 2



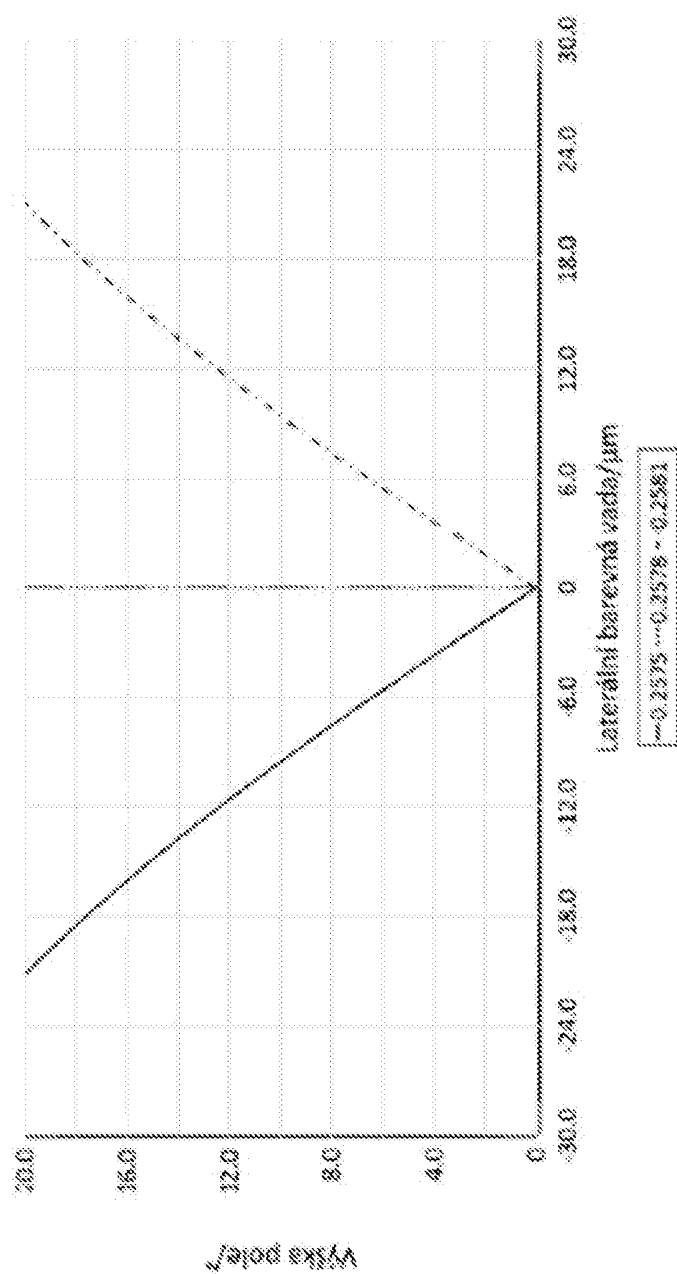
Obr. 3



Obr. 4



Obr. 5



Obr. 6