PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:
308 821
(13) Druh dokumentu: **B6**
(51) Int. Cl.:

G02B 11/30	(2006.01)
G02B 11/32	(2006.01)
G02B 13/14	(2006.01)
G02B 27/58	(2006.01)
G01J 3/04	(2006.01)
G01J 3/28	(2006.01)

(19) ČESKÁ REPUBLIKA

ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ

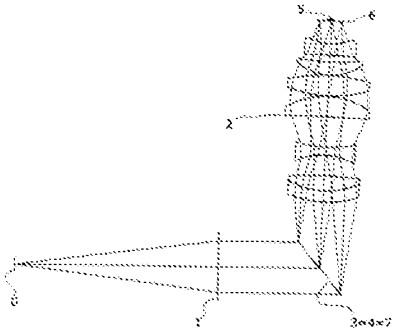
(21) Číslo přihlášky: **2018-725**
(22) Přihlášeno: **20.12.2018**
(40) Zveřejněno: **01.07.2020**
(Věstník č. 27/2020)
(47) Uděleno: **05.05.2021**
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **16.06.2021**
(Věstník č. 24/2021)

(56) Relevantní dokumenty:
https://www.nikon.com/news/2012/0131_prostaff5_01.htm , Prostaff 5 Fieldscope 60 with SEP-20-60, 31.1.2012.
CZ 305560 B6; CZ 305559 B6; CS 19893992 A3; CZ 304175 B6; US 8101918 B1; US 10067058 B1.

(73) Majitel patentu:
Meopta - optika, s.r.o., Přerov, Přerov I-Město, CZ
Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, CZ

(72) Původce:
RNDr. Josef Kapitán, Ph.D., Šternberk, CZ
Ing. Daniel Vacula, Břest, CZ
RNDr. Vlastislav Svoboda, Přerov, Přerov I-Město, CZ

(74) Zástupce:
Ing. Dobroslav Musil, patentová kancelář, Ing. Dobroslav Musil, Zábrdovická 801/11, 615 00 Brno, Zábrdovice



(54) Název vynálezu:
Fokusační objektiv pro spektrální analyzátor a spektrální analyzátor

(57) Anotace:
Řešení se týká fokusačního objektivu (2) pro spektrální analyzátor obsahující alespoň pět optických členů (O1 až O5). Objektiv (2) má vstupní pupilu (4) umístěnu před první plochou (R1) prvního optického členu (O1) a splňuje podmínky, že $x/f = 0,35 \div 0,9$, $c = 1,5 \div 1,8$ a $2\alpha = 15 \div 20°$, kde x je sečná vzdálenost předmětového ohniska objektivu (2), f je předmětová ohnisková vzdálenost objektivu (2), c je clonové číslo objektivu (2) a 2α je zorné pole objektivu (2). Řešení se také týká spektrálního analyzátoru obsahujícího za vstupní aperturou (0) uspořádaný kolimační objektiv (1), za nímž je uspořádán disperzní element (3), za kterým je uspořádán fokusační objektiv (2), za kterým je v ohniskové rovině (6) fokusačního objektivu (2) uspořádán detektor (5).

CZ 308821 B6

Fokusační objektiv pro spektrální analyzátor a spektrální analyzátor

Oblast techniky

Vynález se týká fokusačního objektivu pro spektrální analyzátor obsahující alespoň pět optických členů.

Vynález se také týká spektrálního analyzátoru obsahujícího za vstupní aperturou uspořádaný kolimační objektiv, za nímž je uspořádán disperzní element, za kterým je uspořádán fokusační objektiv, za kterým je v ohniskové rovině fokusačního objektivu uspořádán detektor.

Dosavadní stav techniky

V čočkových spektrálních analyzátorech, tzv. spektrografech, viz. obr. 1, se používají optické soustavy obsahující za vstupní aperturou 0 umístěný kolimační objektiv 1, na který navazuje fokusační objektiv 2. Mezi oběma objektivy 1 a 2 je umístěn disperzní element 3, např. difrakční mřížka. Tyto optické soustavy zprostředkovávají přenos obrazu vstupní apertury 0 (štěrbiny) spektrografu na detektor 5. V současné době se jako fokusační objektivy 2 většinou používají komerčně dostupné fotografické objektivy, např. Holospec f/1,8 od firmy Kaiser, např. http://www.andor.com/learning-academy/andor-holospec-the-high-throughput-spectrograph, které sice mají vysoký výkon a mají také velmi dobře korigované optické vady, nicméně mají vstupní pupilu 4 umístěnu v samotném fokusačním objektivu, v některých případech až za fokusačním objektivem 2 (např. http://www.verybiglobo.com/zeiss-milvus-851-4-vs-zeiss-otus-851-4-vs-zeiss-planar-851-4-comparative-lens-review-2/2/ a https://wiki.panotools.org/Entrance_Pupil_Database). Vstupní pupila 4 je obraz aperturní clony 7 (u fotografických objektivů to bývá irisová clona) v předmětovém prostoru, tedy není to reálná clona (kromě případů, kdy je aperturní clona 7 přímo na první ploše první čočky nebo před ní. V těchto případech je aperturní clona 7 zároveň i vstupní pupilou 4). Ohnisková vzdálenost dělená průměrem vstupní pupily 4 určuje clonové číslo, které spolu právě s ohniskovou vzdáleností patří mezi základní parametry objektivu. Poloha vstupní pupily 4 má velký vliv na vinětaci a měla by být brána v úvahu již při samotném návrhu optické soustavy. Aby nedocházelo k vinětaci, musí všechny paprsky z celého zorného pole procházet vstupní pupilou 4. Pokud se vstupní pupila 4 nachází za první plochou první čočky, jako je tomu u komerčního objektivu na obr. 1 (v tomto případě se nachází dokonce za samotným objektivem, tj. za soustavou čoček), musíme si paprsky 8 vystupující z difrakční mřížky imaginárně prodloužit až k poloze vstupní pupily 4. Z toho je pak patrné, že daný průměr vstupní pupily 4 nestačí a dochází k vinětaci. U fotografických objektivů snímajících vzdálené objekty je z hlediska vinětace výhodná poloha vstupní pupily 4 tak, jak je uvedeno výše. Ve spektrálních analyzátorech je z hlediska vinětace nejlepší volit polohu vstupní pupily 4 v oblasti disperzního elementu 3 nebo v jeho blízkosti, a to z důvodů disperze (rozkladu světla). Na obr. 1 je znázorněna soustava spektrálního analyzátoru s fokusačním objektivem 2, podle výše popsaného stavu techniky, u které je kolimační objektiv 1, pro jednoduchost, zobrazen jen jako paraxiální čočka. Jako disperzní element 3 je na obr. 1 použita difrakční mřížka.

Cílem vynálezu je odstranit nebo alespoň minimalizovat nevýhody dosavadního stavu techniky, zejména z hlediska eliminace vinětace v celém uvažovaném zorném poli.

Podstata vynálezu

Cíle vynálezu je dosaženo objektivem pro spektrograf, jehož podstata spočívá v tom, že objektiv má vstupní pupilu umístěnu před první plochou prvního optického členu a splňuje podmínky, že $x/f = 0{,}35 \div 0{,}9$, $c = 1{,}5 \div 1{,}8$ a $2\alpha = 15 \div 20°$, kde x je sečná vzdálenost předmětového ohniska F,

f je předmětová ohnisková vzdálenost objektivu, *c* je clonové číslo objektivu a 2*α* je zorné pole objektivu.

Podstata spektrálního analyzátoru spočívá v tom, že jeho fokusační objektiv je tvořen fokusačním objektivem podle kteréhokoli z nároků 1 až 4.

Takto vytvořený objektiv a s ním vytvořený spektrální analyzátor má díky předsazené pupile minimalizovanou nebo žádnou vinětaci v celém uvažovaném zorném poli. Pokud je navíc vstupní pupila, nebo přímo aperturní clona spektrografu, umístěna v předmětovém (předním) ohnisku, stává se objektiv telecentrickým v obrazovém prostoru. Výsledkem vynálezu je pak vysoce světelný telecentrický objektiv a spektrální analyzátor bez vinětace nebo jen s velmi malou vinětací v zorném poli.

Objasnění výkresů

Vynález je schematicky znázorněn na výkrese, kde ukazuje obr. 1 dosavadní stav techniky v podobě soustavy spektrálního analyzátoru s komerčním fokusačním objektivem s ohniskem f‘ = 85 mm a clonovým číslem F/1,4, obr. 2 soustava spektrálního analyzátoru s objektivem podle tohoto vynálezu, obr. 3 schéma optické soustavy objektivu podle vynálezu, obr. 4 příklad uskutečnění objektivu podle vynálezu s pěti jednoduchými optickými elementy, obr. 5 příklad uskutečnění objektivu podle vynálezu se šesti jednoduchými optickými elementy a obr. 6 příklad uskutečnění objektivu podle vynálezu se šesti optickými elementy, z nichž jeden je tvořen optickým dubletem.

Příklady uskutečnění vynálezu

Vynález bude popsán na příkladech provedení optické soustavy pro spektrální analyzátor a několika příkladech fokusačních objektivů pro takové optické soustavy. Na obr. 2 je znázorněno schéma spektrálního analyzátoru, který obsahuje vstupní aperturu 0 (štěrbinu), za kterou je situován kolimační objektiv 1, za kterým je umístěn disperzní element 3, zde konkrétně difrakční mřížka. Za disperzním elementem 3 je umístěn fokusační objektiv 2, jehož vstupní pupila 4, která je zároveň aperturní clonou 7, je situována ve středu disperzního elementu 3. Na obr. 2 naznačený chod paprsků ukazuje, že všechny difragované paprsky jsou zobrazeny v ohniskové rovině 6, ve které je také umístěn detektor 5 spektrálního analyzátoru.

Objektiv 2, schematicky znázorněný na obr. 3, vykazuje podle vynálezu následující parametry:

- poměr sečné vzdálenosti předmětového ohniska *x* k předmětové ohniskové vzdálenosti *f* (viz obr. 3) je v rozmezí hodnot 0,35 ÷ 0,9;
- clonové číslo je v rozmezí od 1,5 do 1,8;
- zorné pole 2*α* je v rozsahu od 15 do 20°;
- vstupní pupila 4 je určena přední sečnou vzdáleností *x*;
- fokusační objektiv 2 je určen pro spektrální rozsah 400 až 1000 nm;
- kvalita zobrazení je charakterizována vysokým kontrastem pro požadovanou frekvenci 30 čar na mm.

Pro lepší osvětlení rozdílu mezi sečnou vzdáleností předmětového ohniska *x* a předmětovou ohniskovou vzdáleností *f* na obr. 3 představují roviny *P* a *P‘* hlavní roviny optické soustavy a roviny *F* a *F‘* představují ohniskové roviny.

K osvětlení vynálezu bude dále použito několik příkladů uskutečnění fokusačního objektivu 2 s ohniskovou vzdáleností *f‘* = 85 mm, sečnou vzdáleností předmětového ohniska *x* = -65 mm,

clonovým číslem F/1,7 a se zorným polem $2\alpha = 19{,}5°$. Obecně je fokusační objektiv 2 podle vynálezu tvořen pěti a více optickými členy.

Na obr. 4 je znázorněno provedení fokusačního objektivu s optickou osou o a s pěti optickými členy O1 až O5, z nichž ve směru průchodu paprsků první dva optické členy O1 a O2 jsou tvořeny spojnými menisky, třetí optický člen O3 je tvořen rozptylným meniskem, čtvrtý optický člen O4 je tvořen bikonvexní čočkou a pátý optický člen O5 je tvořen třetím spojným meniskem. Parametry tohoto fokusačního objektivu 2 přitom vyhovují následujícím podmínkám: $1{,}1\ f' > f'_1 > 1{,}4\ f'$, $0{,}7\ f' > |f'_3| > 1{,}1\ f'$, $0{,}8\ f' > f'_4 > 1{,}2\ f'$, kde f' je ohnisková vzdálenost celé optické soustavy, f'_1 je ohnisková vzdálenost prvního optického členu O1, f'_3 je ohnisková vzdálenost třetího optického členu O3 a f'_4 je ohnisková vzdálenost čtvrtého optického členu O4. Fokusační objektiv 2 podle tohoto provedení je technologicky nenáročný a při relativním otvoru 1:1,7 dosahuje tento fokusační objektiv 2 pro frekvenci 30 čar na mm kontrastu 0,5 pro střed zorného pole a 0,4 pro dvě třetiny zorného pole.

V tabulce 1 níže, je uveden příklad návrhu objektivu s pěti optickými elementy.

Tabulka 1 uvádí konkrétní specifikace návrhu objektivu s pěti optickými členy **O1** až **O5** podle provedení na obr. 4.

číslo parametru	poloměry R [mm]	tloušťky a mezery d [mm]	index lomu n_e	Abbeovo číslo ν_e
1	69,33	13,9	1,82017	31,09
2	264,53	16,6	1	
3	-59,615	20,2	1,60993	23,64
4	-64,426	0,5	1	
5	262,48	22	1,97188	74,34
6	52,034	9,5	1	
7	138,564	10	1,81081	58,26
8	-128,474	1,9	1	
9	41,82	27	1,83961	49,38
10	37,52		1	

kde R je poloměr příslušné optické plochy příslušného optického prvku podle obr. 4 a d je tloušťka optického elementu nebo vzdálenost příslušné optické plochy příslušného optického prvku od předchozí optické plochy podle obr. 4, n_e je index lomu příslušného optického prvku nebo vzduchu a ν_e je Abbeovo číslo příslušného optického prvku.

Na obr. 5 a 6 jsou znázorněna provedení fokusačního objektivu s optickou osou o a se šesti optickými elementy O1 až O6, složenými ze šesti (obr. 5), respektive sedmi (obr. 6) čoček, kde první optický člen O1 je tvořen spojným meniskem nebo dubletem tvořeným bikonvexní čočkou O1a stmelenou s bikonkávní nebo plankonkávní čočkou O1b, druhý optický člen O2 je tvořen bikonkávní čočkou, třetí a čtvrtý optický člen O3 a O4 jsou každý tvořen jednou bikonvexní čočkou, pátý optický člen O5 je tvořen spojným meniskem a šestý, poslední, optický člen O6 je tvořen bikonkávní čočkou. Parametry tohoto fokusačního objektivu 2 přitom vyhovují následujícím podmínkám: $0{,}5\ f' > |f'_2| > 0{,}7\ f'$, $0{,}9\ f' > f'_3 > 1{,}6\ f'$, $f' > f'_4 > 1{,}2\ f'$, $0{,}5\ f' > |f'_6| > 0{,}8\ f'$, kde f' je ohnisková vzdálenost celé optické soustavy, f'_2 je ohnisková vzdálenost druhého optického členu O2, f'_3 je ohnisková vzdálenost třetího optického členu O3, f'_4 je ohnisková vzdálenost čtvrtého optického členu O4 a f'_6 je ohnisková vzdálenost šestého optického členu O6. Takto vytvořený fokusační objektiv 2 je technologicky nenáročný a při relativním otvoru 1:1,7 dosahuje tento fokusační objektiv 2 pro frekvenci 30 čar na mm kontrastu 0,6 pro střed zorného pole a 0,5 pro dvě třetiny zorného pole.

Tabulka 2 uvádí konkrétní specifikace návrhu objektivu s šesti optickými členy O1 až O6 podle provedení na obr. 5.

číslo parametru	poloměry R [mm]	tloušťky a mezery d [mm]	index lomu n_e	Abbeovo číslo v_e
1	79,62	10,6	1,91048	31,09
2	285,78	19	1	
3	-97,73	10,6	1,85504	23,64
4	97,73	3,65	1	
5	113,777	20,8	1,53949	74,34
6	-94,41	20,8	1	
7	89,949	20	1,65425	58,26
8	-173,786	0,5	1	
9	66,214	20,9	1,77621	49,38
10	223,928	7,6	1	
11	-105,932	3,4	1,64132	42,2
12	47,64		1	

kde R je poloměr příslušné optické plochy příslušného optického prvku podle obr. 5 a d je tloušťka optického elementu nebo vzdálenost příslušné optické plochy příslušného optického prvku od předchozí optické plochy podle obr. 5, n_e je index lomu příslušného optického prvku nebo vzduchu a v_e je Abbeovo číslo příslušného optického prvku.

Tabulka 3 uvádí konkrétní specifikace návrhu objektivu se šesti optickými členy O1 až O6 podle provedení na obr. 6.

číslo parametru	poloměry R [mm]	tloušťky a mezery d [mm]	index lomu n_e	Abbeovo číslo v_e
1	83,552	19,2	1,88815	40,52
2	-186,649	5	1,81265	25,16
3	2133,022	20,35	1	
4	-60,445	3,5	1,85504	23,64
5	136,5	16	1	
6	482,52	20	1,75844	52,07
7	-72,067	0,5	1	
8	78,943	19,2	1,60548	60,34
9	-197,306	0,5	1	
10	80,338	17,4	1,65425	58,26
11	135,623	8,5	1	
12	-83,194	3	1,88815	40,52
13	134,654		1	

kde R je poloměr příslušné optické plochy příslušného optického prvku podle obr. 6 a d je tloušťka optického elementu nebo vzdálenost příslušné optické plochy příslušného optického prvku od předchozí optické plochy podle obr. 6, n_e je index lomu příslušného optického prvku a v_e je Abbeovo číslo příslušného optického prvku.

R1 až R13 jsou příslušné plochy, přední nebo zadní, jednotlivých optických členů O1 až O6 fokusačního objektivu 2 podle vynálezu.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Fokusační objektiv (2) pro spektrální analyzátor obsahující alespoň pět optických členů (O1 až O5), **vyznačující se tím**, že objektiv (2) má vstupní pupilu (4) umístěnu před první plochou (R1) prvního optického členu (O1) a splňuje podmínky, že $x/f = 0{,}35 \div 0{,}9$, $c = 1{,}5 \div 1{,}8$ a $2\alpha = 15 \div 20°$, kde x je sečná vzdálenost předmětového ohniska objektivu (2), f je předmětová ohnisková vzdálenost objektivu (2), c je clonové číslo objektivu (2) a 2α je zorné pole objektivu (2).

2. Fokusační objektiv (2) podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že vstupní pupila (4) je umístěna v předmětovém ohnisku objektivu (2).

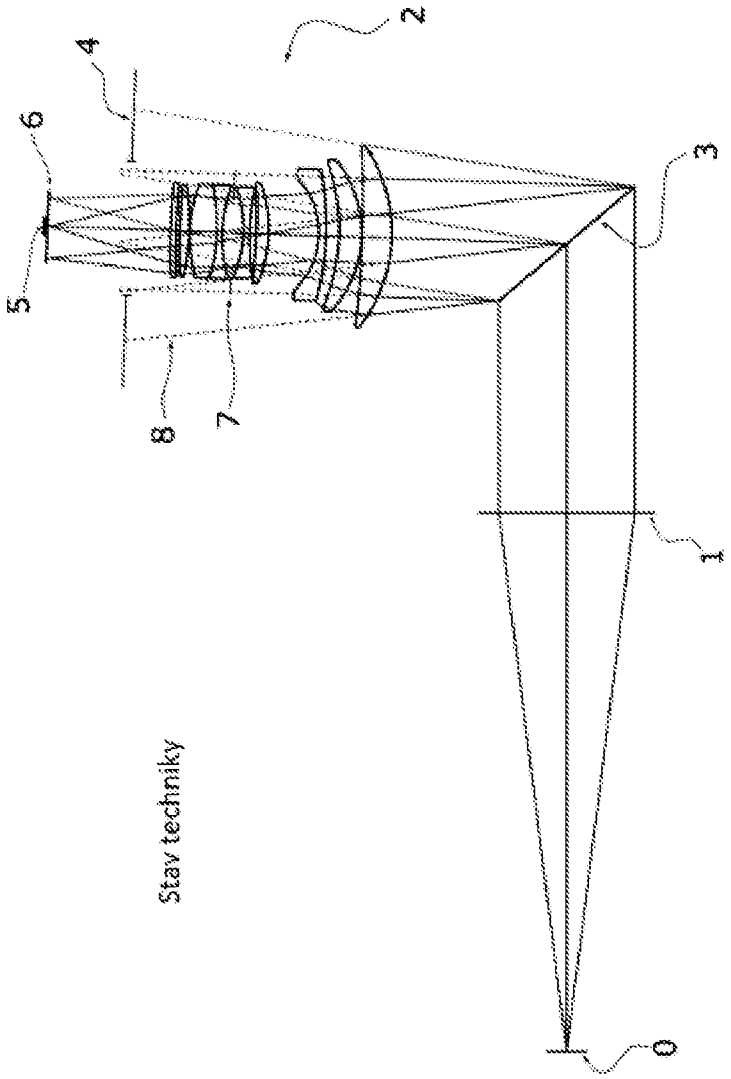
3. Fokusační objektiv (2) podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že obsahuje právě pět optických členů (O1 až O5), kde první dva optické členy (O1 a O2) jsou tvořeny spojnými menisky, třetí optický člen (O3) je tvořen rozptylným meniskem, čtvrtý optický člen (O4) je tvořen bikonvexní čočkou a pátý optický člen (O5) je tvořen spojným meniskem a současně platí, že $1{,}1\ f' > f'_1 > 1{,}4\ f'$, $0{,}7\ f' > |f'_3| > 1{,}1\ f'$, $0{,}8f' > f'_4 > 1{,}2\ f'$, kde f' je ohnisková vzdálenost celé optické soustavy, f'_1 je ohnisková vzdálenost prvního optického členu (O1), f'_3 je ohnisková vzdálenost třetího optického členu (O3) a f'_4 je ohnisková vzdálenost čtvrtého optického členu (O4).

4. Fokusační objektiv (2) podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že obsahuje šest optických elementů (O1 až O6), z nichž první optický člen (O1) je tvořen spojným meniskem nebo je tvořen dubletem tvořeným bikonvexní čočkou (O1a) stmelenou s bikonkávní nebo plankonkávní čočkou (O1b), přičemž druhý optický člen (O2) je tvořen bikonkávní čočkou, třetí a čtvrtý optický člen (O3 a O4) jsou každý tvořen jednou bikonvexní čočkou, pátý optický člen (O5) je tvořen spojným meniskem a šestý optický člen (O6) je tvořen bikonkávní čočkou a současně platí, že $0{,}5\ f' > |f'_2| > 0{,}7\ f'$, $0{,}9\ f' > f'_3 > 1{,}6\ f'$, $f' > f'_4 > 1{,}2\ f'$ a $0{,}5\ f' > |f'_6| > 0{,}8\ f'$, kde f' je ohnisková vzdálenost celé optické soustavy, f'_2 je ohnisková vzdálenost druhého optického členu (O2), f'_3 je ohnisková třetího optického členu (O3), f'_4 je ohnisková vzdálenost čtvrtého optického členu (O4) a f'_6 je ohnisková vzdálenost šestého optického členu (O6).

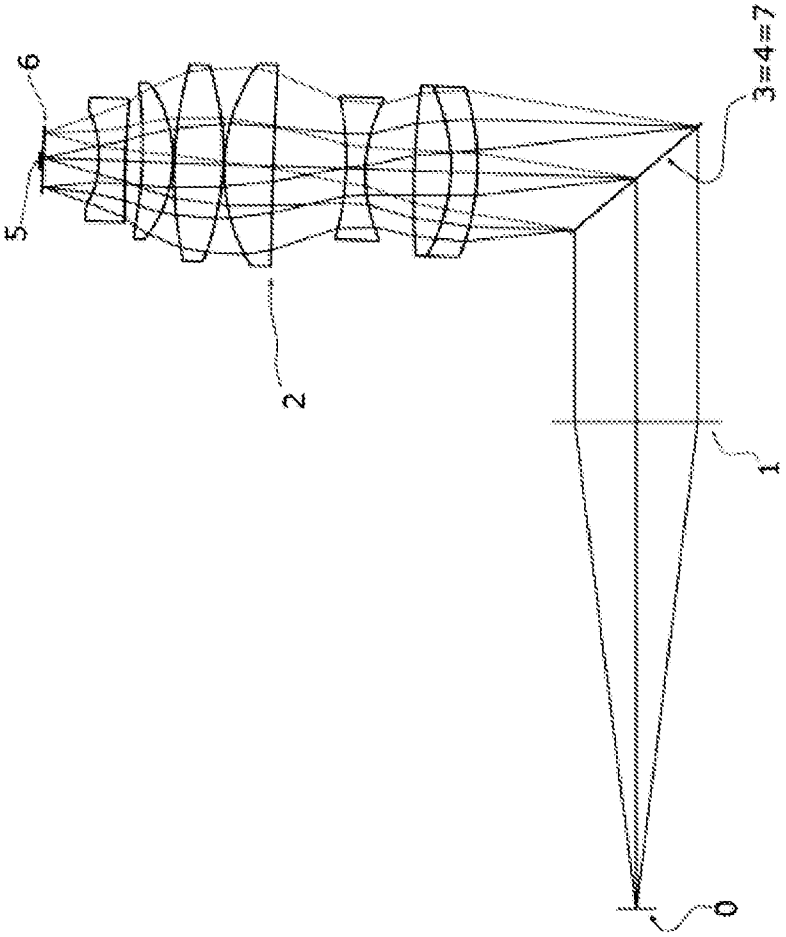
5. Spektrální analyzátor obsahující za vstupní aperturou (0) uspořádaný kolimační objektiv (1), za nímž je uspořádán disperzní element (3), za kterým je uspořádán fokusační objektiv (2), za kterým je v ohniskové rovině (6) fokusačního objektivu (2) uspořádán detektor (5), **vyznačující se tím**, že fokusační objektiv (2) je tvořen fokusačním objektivem podle kteréhokoli z nároků 1 až 4.

6. Spektrální analyzátor podle nároku 5, **vyznačující se tím**, že fokusační objektiv (2) má vstupní pupilu (4) umístěnu v oblasti disperzního elementu (3).

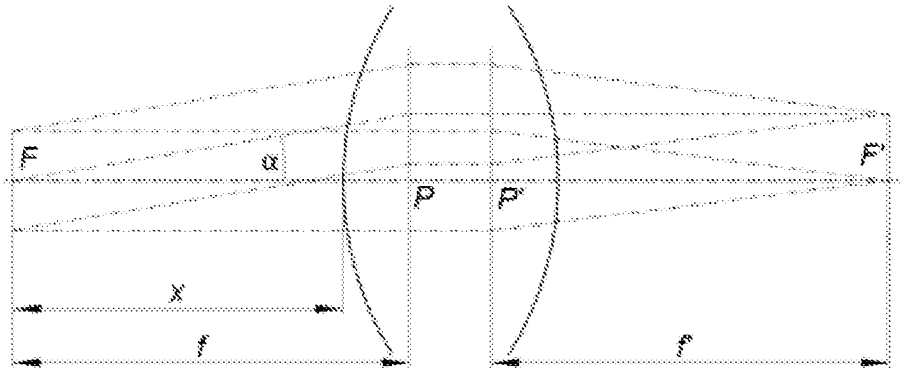
4 výkresy



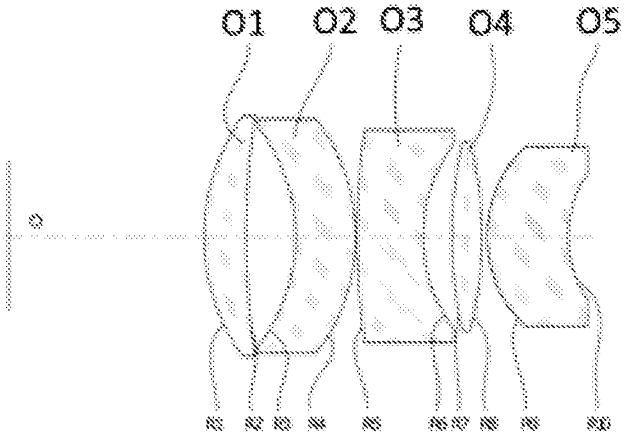
Obr. 1



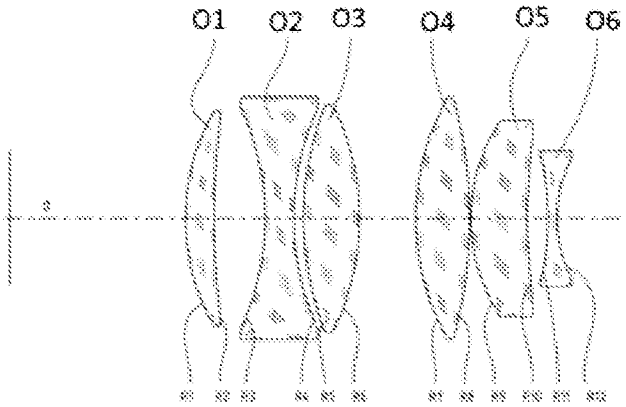
Obr. 2



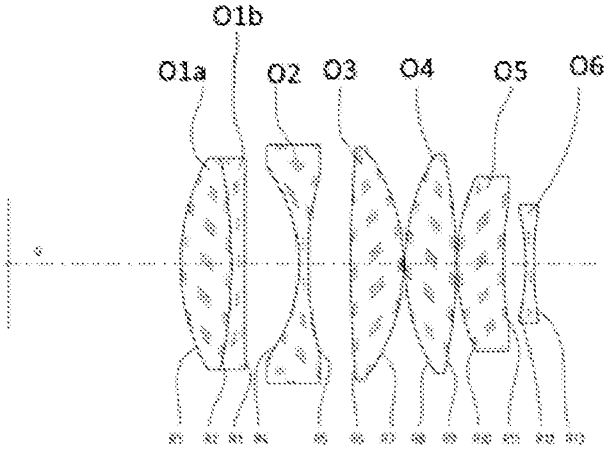
Obr. 3



Obr. 4



Obr. 5



Obr. 6