

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA OPTIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Hodnocení kvality fotografických objektivů



| | |
|--------------------------|--------------------------------|
| Vypracoval: | Patrik Mikeska |
| Studijní program: | B1701 Fyzika |
| Studijní obor: | Digitální a přístrojová optika |
| Forma studia: | Prezenční |
| Vedoucí diplomové práce: | Ing. Zdeněk Řehoř, Ph.D. |
| Termín odevzdání práce: | Květen 2019 |

Poděkování

Zde bych chtěl vyjádřit vděčnost svému vedoucímu Ing. Zdeňkovi Řehořovi Ph.D., který mě trpělivě vedl po celou dobu práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Jaromíru Křepelkovi, CSc. za veškerou pomoc, také p. učitelkám z MŠ Bieblova za využití jejich prostor a v neposlední řadě rodině a kamarádům.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Zdeňka Řehoře, Ph.D. a že jsem použil zdrojů, které cituji a uvádím v seznamu použitých pramenů.

V Olomouci dne 19. května 2019

.....
Patrik Mikeska

Bibliografická identifikace

| | |
|-------------------------|---|
| Jméno a příjmení autora | Patrik Mikeska |
| Název práce | Hodnocení kvality fotografických objektivů |
| Typ práce | Bakalářská |
| Pracoviště | Katedra optiky |
| Vedoucí práce | Ing. Zdeněk Řehoř, Ph.D. |
| Rok obhajoby práce | 2019 |
| Abstrakt | Cílem bakalářské práce je rozdělit vyráběné konstrukce fotografických objektivů podle různých kritérií. Na základě vybraných parametrů s ohledem na předpokládané využití stanovit vhodné kritérium pro hodnocení kvality zvolených fotografických objektivů a zvolit vhodný test pro orientační posouzení kvality. |
| Klíčová slova | fotografický objektiv, MTF, Siemensova hvězda |
| Počet stran | 38 |
| Počet příloh | 22 |
| Jazyk | český |

Bibliographical identification

| | |
|--------------------------------|---|
| Autor's first name and surname | Patrik Mikeska |
| Title | Evaluation of quality of photographic objectives |
| Type of thesis | Bachelor |
| Department | Department of Optics |
| Supervisor | Ing. Zdeněk Řehoř, Ph.D. |
| The year of presentation | 2019 |
| Abstract | The aim of this bachelor thesis is to divide the manufactured constructions of photographic lenses according to various criteria. On the basis of the selected parameters, to determine the appropriate criterion for assessing the quality of selected photographic lenses and to select an appropriate test for an indicative quality assessment, considering the intended use. |
| Keywords | photographic lens, MTF, Siemens star |
| Number of pages | 38 |
| Number of appendices | 22 |
| Language | czech |

Obsah

| | |
|--|-----------|
| Úvod | 6 |
| 1 Teoretická část | 7 |
| 1.1 Fotografický objektiv a jeho parametry | 7 |
| 1.1.1 Základní parametry | 7 |
| 1.1.2 Jiné parametry | 10 |
| 1.2 Rozdělení fotografických objektivů | 16 |
| 1.3 Testování objektivů | 18 |
| 1.3.1 Druhy testů | 19 |
| 2 Experimentální část | 22 |
| 2.1 Sestava a pomůcky | 22 |
| 2.2 Postup a výsledky měření | 24 |
| 2.3 Závěr experimentální části | 34 |
| Závěr | 36 |
| Literatura | 37 |
| Přílohy | |

Úvod

Fotografování je v dnešní době velice populární ať už na amatérské či profesionální úrovni. Základní kámen každého fotoaparátu tvoří objektiv, který má hlavní vliv na výslednou fotografii. Každý fotografický objektiv je díky své konstrukci vhodný pro různé účely a uplatní se tak při různých technikách focení.

Tato práce je v teoretické části zaměřena na rozdělení fotografických objektivů podle různých kritérií, hodnocení kvality objektivů a definuje základní pojmy, které se objektivů týkají. Práce rovněž shrnuje vybrané druhy testů, které se při posuzování kvality a výkonu využívají.

V experimentální části jsou testovány dva různé univerzální objektivy s cílem určit parametry hodnotící jejich výkon. Obsahem této části je také nastavení fotoaparátu a uspořádání tetovací tabule na míru danému žánru. Na konec je vyvozen stručný závěr a krátce jsou zhodnoceny aspekty, které mohly měření ovlivnit.

Kapitola 1

Teoretická část

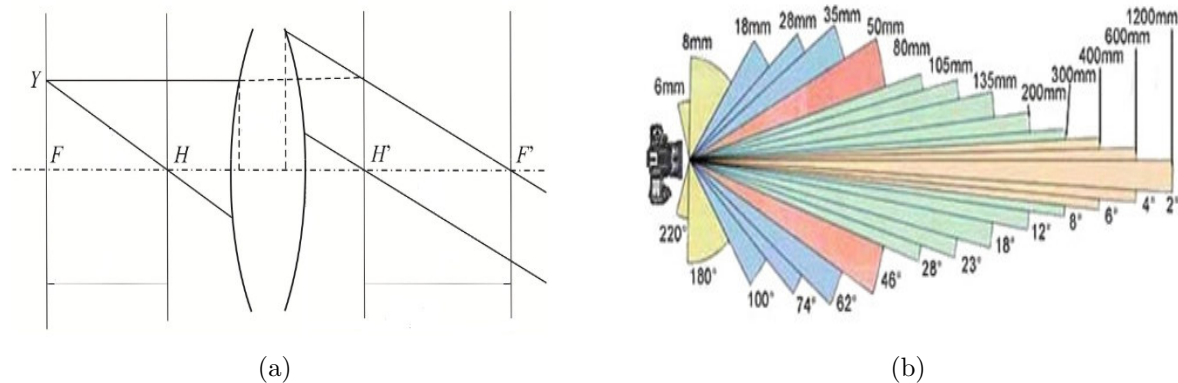
1.1 Fotografický objektiv a jeho parametry

Fotografický objektiv je optická soustava tvořená soustavou čoček, jehož úkolem je vytvářet obraz v rovině čipu.

1.1.1 Základní parametry

Základními parametry každého objektivu jsou ohnisková vzdálenost, clonové číslo a světelnost objektivu.

Ohnisková vzdálenost je definována jako vzdálenost obrazového ohniska F' od obrazového hlavního bodu H' pro předmět v nekonečnu a jedná se tedy o vzdálenost $H'F'$, viz obrázek 1.1(a) [1]. V důsledku definice ohniskové vzdálenosti plyne fakt, že každé ohnisko má různý úhel záběru a ohnisko tak určuje oblast, kterou objektiv umožňuje pokrýt a vytvořit z ní na snímáči obraz [5]. To je možno vidět na obrázku 1.1(b).



Obrázek 1.1: Definice ohniskové vzdálenosti a úhel záběru v závislosti na ohniskové vzdálenosti v kombinaci s full frame snímáčem. Převzato z [1], upraveno a [5].

Dnešní fotoaparáty mívají různé rozměry snímáčů, proto je pak také různá efektivní ohnisková vzdálenost objektivů, což je ohnisková vzdálenost, kterou má objektiv při nasazení na fotoaparát s konkrétní velikostí snímáče. S tím je spojena problematika ořezového faktoru neboli *crop factoru*. Jedná se o koeficient, kterým se přepočítává ohnisková vzdálenost, jakou by měl objektiv se stejným zorným úhlem na kinofilmovém fotoaparátu [6]. Ořezový faktor fotoaparátu s full frame snímáčem, jehož rozměry jsou stejné jako rozměry klasického kinofilmu (36×24 mm), je roven 1 a

předpokladu, že předmět leží v nekonečnu na optické ose. Pokud by byly zanedbány ztráty světla při jeho pohlcování na rozhraních, odpovídala by světelnost reciproké hodnotě clonového čísla, označované také jako relativní otvor [8]. Obecně platí, že čím vyšší má objektiv světelnost, tím je objektiv kvalitnější. Hodnoty světelnosti pro zobrazení vzdálenějších předmětů je dána vztahem:

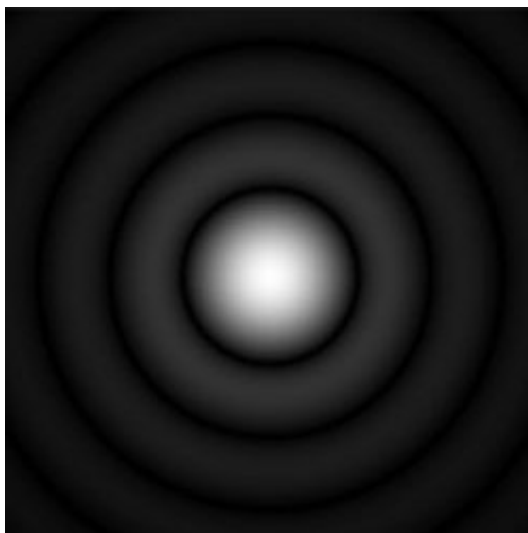
$$S = \frac{p}{4 \cdot n^2 \cdot c^2}, \quad (1.3)$$

kde S je světelnost, p je propustnost v %, n je index lomu a c je clonové číslo.

Jakost objektivů je typicky omezena aberacemi při nastavení malých clonových čísel, kdy se projevuje otvorová vada a naopak difrakcí při velkých clonových číslech. Aberace závisejí na návrhu čoček, kvalitě výroby a výrazně se liší u různých čoček. Difrakce neboli ohyb světla je základní fyzikální efekt projevující se tím, že se světlo, kterému byla do cesty postavena překážka (clona), šíří i za hranice geometrického stínu. Čím je clona užší (čím vyšší je hodnota clonového čísla), tím je difrakce výraznější, což způsobí měkčí kresbu a neostře detaily. Difrakce způsobuje, že zobrazovaný bod se nepromítne opět jako bod, nýbrž jako ploška lemována vedlejšími ohybovými maximy [1]. Velikost a tvar difrakčního obrazce závisí na velikosti a tvaru clony a vlnové délce světla. Centrální část difrakčního obrazu, který je vidět na obrázku 1.3, vytvořená ohybem světla na kruhovém otvoru, se nazývá Airyho disk. Pro dokonalou optickou soustavu je průměr Airyho disku definován vztahem [3]:

$$d = 2,44 \cdot \lambda \cdot c, \quad (1.4)$$

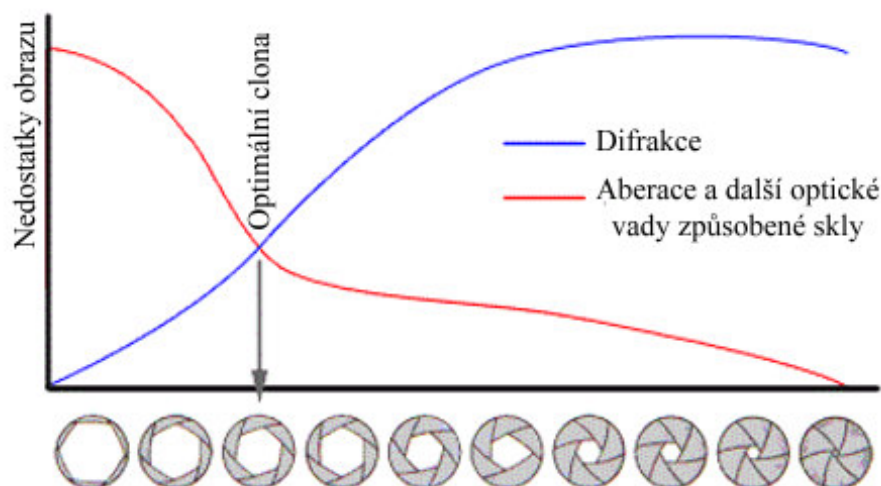
kde d je průměr Airyho disku, λ je vlnová délka světla a c je clonové číslo.



Obrázek 1.3: Ohybový obraz bodu. Převzato z [18]

Difrakce a otvorová vada pak způsobuje, že objektiv dosahuje optimální kresby jen v určitém rozsahu středních clon při takzvané optimální cloně, někdy též označované *zlaté okno* objektivu, které bývá typicky kolem $f/5.6$ až $f/8$ pro formát 35 mm [18]. Obrázek 1.4 pak ukazuje, jak se vyvíjejí aberace objektivu a difrakce při různém zclonění objektivu.

Clona v neposlední řadě ovlivňuje také *bokeh* neboli rozostření. *Bokeh* ve fotografii označuje estetické kvality rozostřených částí snímku, tedy částí ležících mimo rovinu



Obrázek 1.4: Závislost aberací a difrakci na cloně. Převzato z [18]

ostrosti. Na výsledný *bokeh* má vliv více faktorů, zejména tvar clony a počet lamel, nastavené zaclonění a v neposlední řadě konstrukce objektivu. Za žádoucí jsou považovány rovnoměrně osvětlené rozptylové kroužky s neostrými okraji, jak je vidět na obrázku 1.5, naopak nežádoucí jsou ostře ohraničené mnohoúhelníky [9].



Obrázek 1.5: Ukázka rozdílu snímku bez *bokeh* (vlevo) a snímku s žádoucím *bokehem* (vpravo). Převzato z [19], upraveno.

1.1.2 Jiné parametry

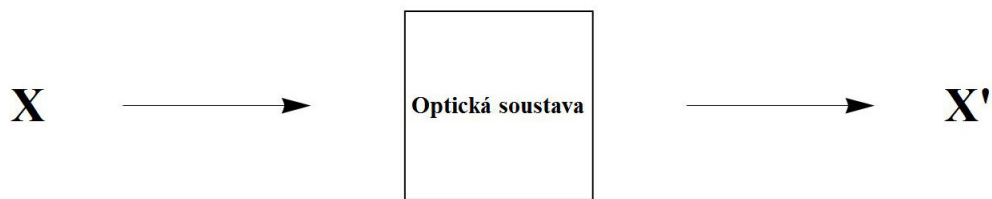
Dalším parametrem, který charakterizuje objektiv je rozlišovací schopnost. Obecně se jedná o minimální vzdálenost, kdy od sebe rozlišíme dva blízké bodové objekty stejné velikosti a kdy nám ještě nesplynou v jeden. U fotografického objektivu se pro hodnocení rozlišovací schopnosti zpravidla využívá čárových testů, u nichž se střídají bílé a černé čáry. Nás pak zajímá maximální frekvence testu neboli počet dvojic čar na milimetr, které objektiv ještě přenese s požadovanou kvalitou. Čím je vyšší rozlišovací schopnost, tím objektiv dokáže lépe zobrazit jemné detaily. Rozlišovací schopnost lze zlepšit zacloněním objektivu, tedy použitím vyššího clonového čísla, kdy bude obraz

vykreslován jen střední částí čoček a neprojeví se tak některé aberace. Na druhou stranu zaclonění nad optimální mez (viz obrázek 1.4) vyvolá difrakci způsobenou vlnovou povahou světla a kvalita obrazu opět poklesne. Maximální prostorovou frekvenci, nazývanou též mezní či *cut off frequency*, kterou fyzikálně dokonalá soustava dokáže přenést určuje *Sparrow kritérium* [3]. To je definované podle následujícího vztahu:

$$f_c = \frac{2 \cdot NA}{\lambda}, \quad (1.5)$$

kde f_c je mezní frekvence, NA je numerická apertura a λ je vlnová délka použitého světla.

Další důležitou vlastností každého objektivu je jeho přenosová funkce. Ta sleduje jak je objektiv schopen přenést kvalitu z předmětového prostoru do obrazu, což je znázorněno na obrázku 1.6.



Obrázek 1.6: Přenos kvality přes optický systém.

V ideálním případě by optická soustava zobrazila obraz s naprosto stejnou kvalitou, jakou má předmět. Vlivem nedokonalostí systému (pohlcování světla, rozptyl světla na čočkách či jiné aspekty) se kvalita obrazu zhoršuje. Přenosová funkce je pak definována podle vzorce:

$$PF = \frac{X'}{X}, \quad (1.6)$$

kde PF je přenosová funkce, X' je obrazový signál a X je dvourozměrný signál předmětu. Ze vztahu je zřejmé, že kvalita obrazu bude tím lepší, čím se hodnota přenosové funkce bude blížit jedné, respektive 100%. V optice se pak nejčastěji bavíme o optické přenosové funkci, jakožto komplexní funkci složené z reálné a imaginární složky. Reálnou složkou je funkce přenosu modulace a imaginární částí je funkce přenosu fáze, což vystihuje následující vzorec [3]:

$$OTF(f) = |MTF(f)| \exp[i(PTF(f))], \quad (1.7)$$

kde $OTF(f)$ je optická přenosová funkce, $MTF(f)$ je funkce přenosu modulace a $PTF(f)$ je funkce přenosu fáze. Vlivem přenosu fáze dochází k posunu obrazové struktury, avšak z hlediska hodnocení kvality objektivů nás zajímá především funkce přenosu modulace [3]. Lze říct, že $MTF(f)$ popisuje schopnost přenést užitečnou informaci při určitém rozlišení snímku do obrazu [10].

Následně je posuzována degradace obrazu způsobená zkoušeným objektivem, tedy výstup z objektivu naproti snímanému vzoru. Pro testování se využívá čárový test složený z dvojic černých a bílých čar stejné tloušťky s různou prostorovou frekvencí, tedy hustotou čar na milimetr [10]. Na obrázku 1.7 je pak vidět takovýto test, kde vrchní část odpovídá předloze a spodní část ukazuje obraz testu po degradaci.

Pokud je přechod mezi černou a bílou čarou v testu skokový (jedná se o pravoúhlou



Obrázek 1.7: Čárový test před a po degradaci. Převzato z [10]

modulaci), nebude v reálném případě na výstupu přechod dokonalý, ale postupný, což znamená, že se bude jevit rozmazaný nebo méně či více kontrastní, podle toho jak velké aberace soustava zavádí [4]. S testy souvisí i kontrast, který definuje prostorové rozložení jasu v obraze. Jedná se o bezrozměrnou veličinu, kterou lze vypočítat ze vztahu[3]:

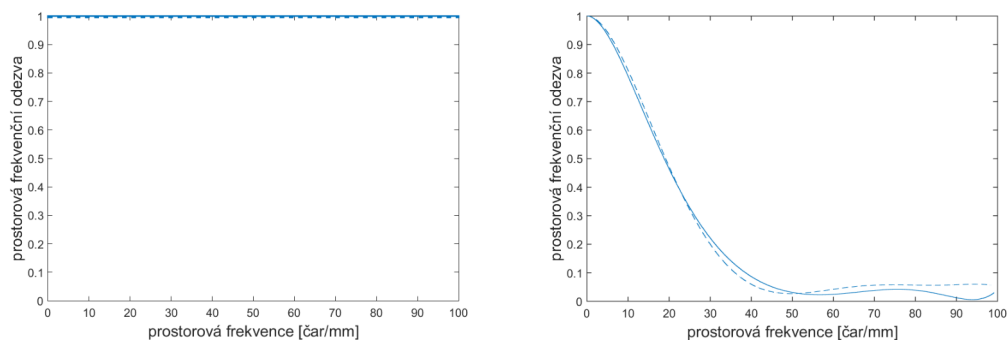
$$C = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}, \quad (1.8)$$

kde C je kontrast, I_{max} je maximální intenzita světla a I_{min} je minimální intenzita světla. V čárových testech bývá černá čára jako maximum a bílá jako minimum. Kontrast takového testu je tedy roven 1, případně 100%.

Přenos modulace udává poměr modulace na vstupu a výstupu optické soustavy. V ideálním případě by byl roven jedné, což by znamenalo, že soustava dokázala bez degradace přenést obrazovou informaci, charakterizovanou prostorovými frekvencemi. Jak už bylo řečeno, ideálnímu zobrazení se můžeme pouze blížit. V důsledku nedokonalostí optických soustav bude výstupní modulace nižší a přenos modulace bude menší než jedna, respektive 100%. Pro různé hustoty čar neboli různou prostorovou frekvenci testu, která udává počet dvojic čar na milimetr dostaneme různé hodnoty přenosu modulace a získáme tak modulační přenosovou funkci, z angličtiny známou jako Modul Transfer Function [10, 4].

Výsledky měření jsou zpravidla znázorněny do grafů, kde je vidět průběh prostorové frekvenční odezvy (SFR). Na ose y je přenosová funkce v rozmezí od 0 do 1 (respektive od 0 do 100%). Hodnota 1 značí, že se optický signál přenesl bez degradace a naopak hodnota 0 značí, že soustava nedokázala optický signál správně přenést. Na ose x je prostorová frekvence testu, která představuje hustotu čar v testu na jeden milimetr. Jednotky prostorové frekvence jsou čáry na milimetr [čar/mm], které značí počet dvojic černé a bílé čáry na jeden milimetr, v mezinárodní literatuře pak odpovídají jednotkám line pairs per millimeter [lp/mm] [4].

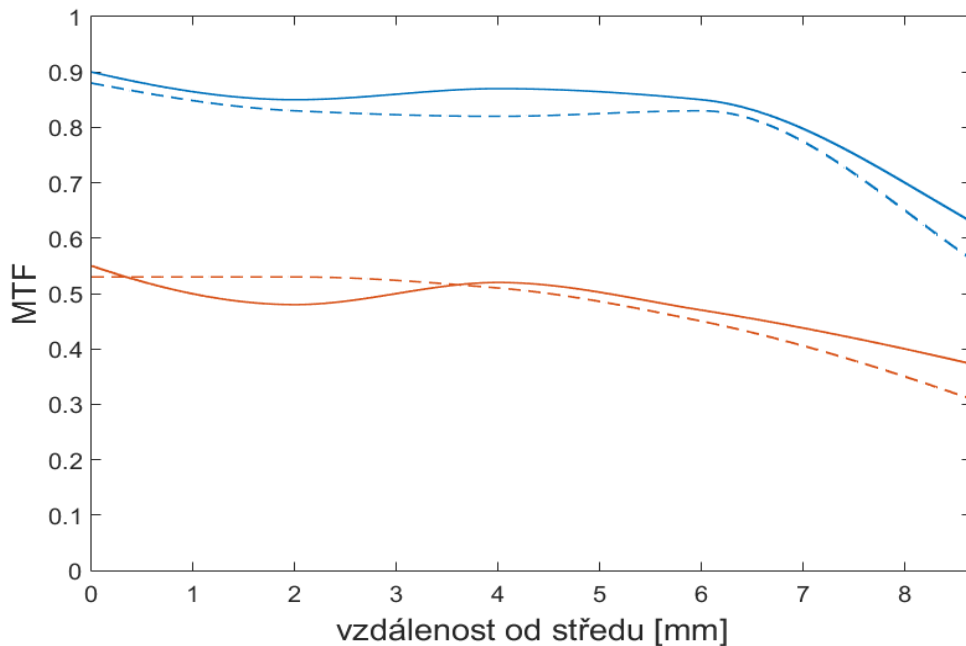
Obrázek 1.8 ukazuje grafy prostorové frekvenční odezvy pro ideální objektiv a reálný objektiv, který je zatížený aberacemi.



Obrázek 1.8: Prostorová frekvenční odezva pro ideální systém (vlevo) a reálný (vpravo).

Při testování se zkoumá odezva alespoň ze dvou rovin, a to z roviny tangenciální (horizontální, vodorovné) a z roviny sagitální (vertikální, svislé), která je kolmá na rovinu tangenciální. V grafech se pak objevují dvě křivky. Plná křivka signalizuje odezvu z tangenciálního směru zatímco čárkovaná křivka odezvu ze směru sagitálního. Čím více se křivka reálného optického systému blíží křivce ideálního systému, tím je optika kvalitnější. Pro hodnocení kvality přenosu kontrastu optického systému se sleduje odezva na nízkých frekvencích, naopak vyšší prostorové frekvence vyjadřují, jak optická soustava umožňuje rozlišit jemné detaily [10].

Reálné optické soustavy, ať už objektivy fotoaparátů nebo dalekohledy, mívají větší zorné pole a proto se volí místa, ze kterých zjišťujeme odezvu tak, aby popisovaly průběh $MTF(f)$ pro celé zorné pole. $MTF(f)$ je funkcí vzdálenosti od středu obrazu, clony, spektra světla, ohniskové vzdálenosti a dokonce i vzdálenosti zaostření. Na rozdíl od předešlého případu, kdy se zobrazovala prostorová frekvenční odezva (SFR), nebude na ose x prostorová frekvence, nýbrž vzdálenost od středu optické osy. Takovéto grafy pak odkazují jak na brilanci (kontrast), tak na ostrost objektivu. Na ose y je úroveň kontrastu a ostrosti. Výsledkem takového testování je $MTF(f)$ graf (CTF(f) graf viz rovnice 1.14), který lze vidět na Obrázku 1.9.

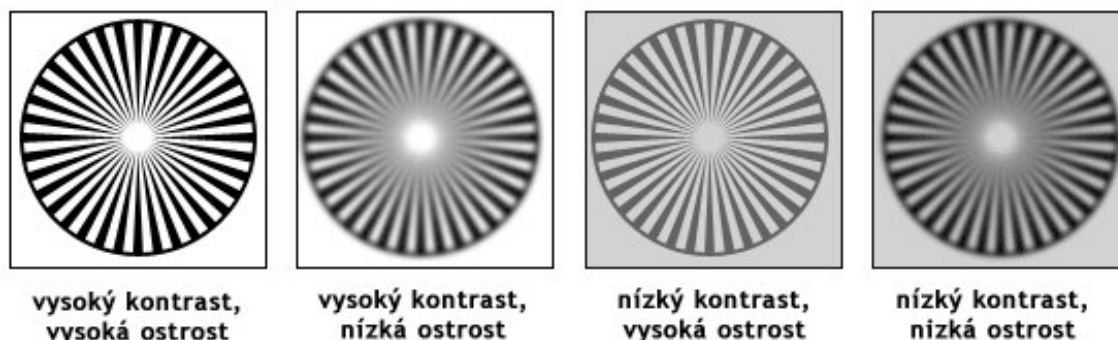


Obrázek 1.9: Výsledný $MTF(f)$ graf.

Z $MTF(f)$ grafů lze vyčíst a odvodit mnoho základních vlastností optické soustavy a modulační přenosová funkce je považována za jedno z nejlepších kritérií k posouzení její kvality. Grafy $MTF(f)$ poukazují na kontrast a ostrost optického systému [4].

Pro tyto parametry jsou definované příslušné prostorové frekvence v čárovém testu, kdy zpravidla 10 čar/mm se uplatňuje pro odezvu na kontrast. Je potřeba si uvědomit, že se nejedná přímo o definici kontrastu, který je definován jako poměr jasů objektu k jasů pozadí. Často se tedy hovoří o brilanci obrazu namísto kontrastu, setkat se však můžeme s oběma pojmy. Na ostrost odkazuje oblast testu s vyšší prostorovou frekvencí, a to 30 čar/mm. U sledování brilance je pozorovatel schopen rozpoznat i malé rozdíly, a to i 2,5% oproti rozeznání ostrosti, kdy často nelze rozeznat ani 10% rozdíly v zobra-

zení testu [4]. Ostrost však není limitována brilancí (kontrastem) obrazu, což lze vidět i na následujícím obrázku 1.10, který je prezentován Siemensovými hvězdami, o nichž se bude hovořit v části 1.4.



Obrázek 1.10: Kontrast versus ostrost v praxi. Převzato z [11]

Průběh $MTF(f)$ nebývá shodný pro celé zorné pole. Na Obrázku 1.10 levý obrazec reprezentuje kvalitní objektiv, který kreslí ostře i kontrastně. Bývá tak nejčastěji v blízkosti středu zorného pole objektivu. Obrazec druhý zleva ukazuje objektiv, který nekreslí tak ostře a takovýto obraz odpovídá většinou zobrazení předmětu ve větší vzdálenosti od středu zorného pole. Obrazec třetí zleva odpovídá objektivu, který i v rozích disponuje dobrou kresbou ale silně vinětuje, tedy dochází k poklesu jasů do krajů zorného pole. Obrazec úplně vpravo nejspíše znázorňuje část snímku z kraje zorného pole, a to objektivu, který špatně kreslí a zároveň vinětuje [11].

V grafu na obrázku 1.9 si lze všimnout čtyř různých křivek. Modré křivky popisují brilanci (kontrast) objektivu a oranžové křivky znázorňují jeho ostrost. Plné křivky jsou odezvou z vodorovně umístěného testu zatímco ty čárkované jsou odezvou ze směru svislého, obdobně jako tomu bylo u grafu pro prostorovou frekvenční odezvu. Dvojice plné a čárkované by se neměla významně rozbíhat, jinak můžeme usuzovat, že se kvalita zobrazení v těchto dvou směrech značně liší a systém není dokonale vykorigovaný. V praxi se může stát, že se bude jevit ostřeji soustava disponující vyšší brilancí (kontrastem) než soustava, která má vyšší ostrost a nižší kontrast. Optimální však je, když jsou obě tyto veličiny vysoké [4].

Většina zobrazovacích systémů se skládá z více komponent, kdy každá z nich má charakteristickou frekvenční odezvu. Odezva celého systému, nebo skupiny komponent, může být vypočtena vynásobením odpovědí všech komponent.

$MTF(f)$ systému lze stanovit i kvantitativně, nejdříve je však potřeba zjistit následující hodnoty. A to průměrný jas pro černé oblasti při nízkých prostorových frekvencích (V_B), průměrný jas bílé plochy při nízkých prostorových frekvencích (V_W), minimální jas v blízkosti dané frekvence (V_{min}) a maximální jas vzorku v blízkosti určité frekvence (V_{max}). Pro nalezení $MTF(f)$ pak platí následující vztahy:

$$C(0) = \frac{V_W - V_B}{V_W + V_B}, \quad (1.9)$$

kde $C(0)$ je nízkofrekvenční (černobílý) kontrast.

$$C(f) = \frac{V_{max} - V_{min}}{V_{max} + V_{min}}, \quad (1.10)$$

kde $C(f)$ je kontrast při prostorové frekvenci f .

$$MTF(f) = 100\% \cdot \frac{C(f)}{C(0)}, \quad (1.11)$$

tato rovnice platí při všech frekvencích pro sinusový vzor. Pro tyčové vzory se skokovými přechody platí rovnice:

$$MTF(f) \approx 78,5\% \cdot \frac{C(f)}{C(0)}. \quad (1.12)$$

$MTF(f)$ je založeno na odezvě ze sinusových vzorů, ale často pracujeme s testy s pravoúhloú modulací, kde je přechod mezi čarami skokový. Kontrastní poměr získaný přímo z sloupcového grafu se nazývá funkce kontrastu a je definován následujícím vzorcem:

$$CTF(f) = 100\% \cdot \frac{C(f)}{C(0)}, \quad (1.13)$$

kde $CTF(f)$ je funkce kontrastu, ale není to totéž co $MTF(f)$. Lze však z jedné dopočítat druhou a naopak. Pro převod platí následující vztah:

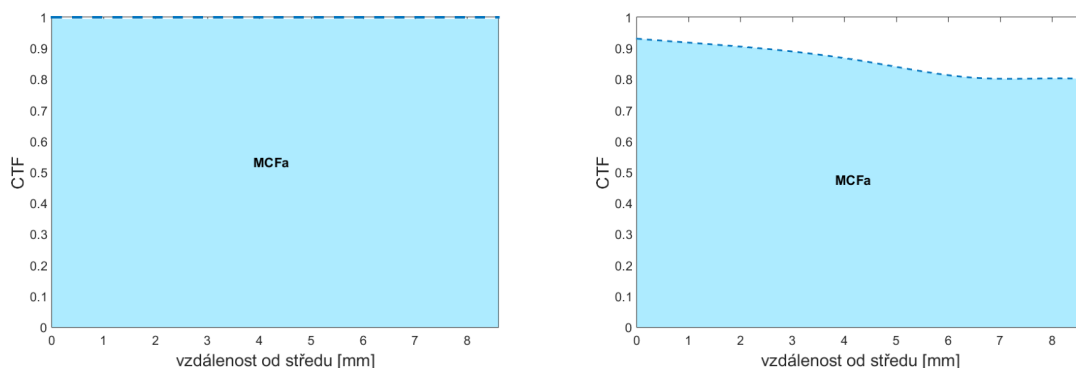
$$MTF(f) = 0,785 \cdot CTF(f) \approx 78,5\% \cdot \frac{C(f)}{C(0)}, \quad (1.14)$$

avšak tato rovnice 1.14 je přesná pouze u relativně vysokých frekvencí, kde dochází k poklesu odezvy a musí být splněna podmínka, že

$$C(f) < 0,7 \cdot C(0). \quad (1.15)$$

Vztahy 1.7 až 1.13 jsou převzaty z [12].

Dalším parametrem hodnotící kvalitu objektivů je koeficient $MCFa$. Tento koeficient je úzce spjat s $CTF(f)$ křivkami a přímo z nich vychází. Je definován jako podíl obsahu plochy pod $CTF(f)$ křivkou reálného zkoumaného objektivu ku obsahu plochy takového objektivu v ideálním případě. Na následujícím obrázku 1.11 jsou tyto plochy naznačeny. Obsah plochy pod $CTF(f)$ křivkou lze vypočítat pomocí určitého integrálu.



Obrázek 1.11: Plocha pod $CTF(f)$ křivkou pro ideální případ (vlevo) a reálný případ (vpravo).

$MCFa$ koeficient lze zjistit následujícím vztahem [2]:

$$MCFa = \int_0^{\infty} \frac{CTF(f)df}{f \cdot CTF_{ideal}}, \quad (1.16)$$

Pro ideální případ (*CTFideal*) platí to samé jako co bylo dříve zmíněno pro *MTFideal*, tedy $CTF(f)$ křivka bude úsečka rovnoběžná s osou x se stálou hodnotou 1 neboli 100%. Vztah lze tedy upravit následovně:

$$MCFa = \frac{\int_0^\infty CTF(f)df}{f}. \quad (1.17)$$

Pro $MCFa$ koeficient tedy není důležitá ani tak hodnota rozlišovací schopnosti, jako průběh a tvar $CTF(f)/MTF(f)$ křivky, které mají primární vliv na hodnotu koeficientu. Obecně tedy platí, že čím více bude tvar $CTF(f)$ křivky podobný $CTF(f)$ křivce pro ideální případ, tím bude plocha pod křivkou větší a hodnota koeficientu se bude blížit více 1, což je maximální hodnota, kterou by dosáhla v ideálním případě. Obdobně jako byl definován $MCFa$ koeficient, můžeme definovat $MTFa$ koeficient s tím rozdílem, že vycházíme z křivek $MTF(f)$.

$MTF(f)$ je jedna z nejuniverzálnějších charakteristik optických soustav. Z jejího průběhu lze určit například astigmatismus [4]. Tato vada je způsobena tím, že se paprsky světla dopadající ve dvou kolmých rovinách k optické ose promítají ve dvou různých vzdálenostech. Důsledkem je neostrý a deformovaný obraz. Astigmatismus nastane zejména při zobrazování předmětů, které jsou pozorovány pod velkým zorným úhlem [13]. Poznáme ji z grafu tak, že křivky z tangenciálního a sagitálního směru se vůči sobě výrazně rozbíhají. Ovšem nejsou to pouze $MTF(f)$ křivky, které poukazují na kvalitu objektivů. Některé nedostatky z jediné křivky zjistit nelze, jako například zklenutí obrazového pole, vinětaci, distorzi nebo barevnou vadu [4].

1.2 Rozdělení fotografických objektivů

Fotografický objektiv má primární roli při vytváření obrazu v rovině čipu. Lze říct, že plní podobnou funkci jako lidské oko. V dnešní době se vyrábí řada různých objektivů, které lze rozdělit ať už podle základních parametrů objektivu či účelu, ke kterému je vhodné objektiv použít.

Objektivy lze dělit do dvou hlavních skupin, a to na pevně vestavěné a výměnné objektivy. Pevně vestavěné mívají kompaktní fotoaparáty u nichž nelze měnit objektivy a obě části jsou tak napevno spojené, disponují většinou malými rozměry, malou hmotností a nízkou cenou. Výměnné objektivy se používají zpravidla u zrcadlovek, tedy fotoaparátů, které používají k zobrazení scény v hledáčku zrcadlo. Mohou se osazovat na různá těla, případně jedno tělo fotoaparátu můžeme spojit s co nejvhodnějším takovýmto objektivem pro daný snímek, avšak fotoaparát musí mít stejný typ uchycení bajonetu jinak se potřeba použít redukce. Nevýhodou však může být, že při výměně objektivu je snímací čip a vnitřek fotoaparátu méně chráněn před vnějšími vlivy [14].

Dále lze objektivy rozdělit na pevné a zoom objektivy. Prvně jmenované mají přesně definovanou jedinou ohniskovou vzdálenost, kterou nelze měnit. Je nutno brát ohled na ořezový faktor a znát velikost snímače, potom může být ekvivalentní ohnisková vzdálenost jiná než je uvedeno na objektivu. Pevné objektivy mívají díky jednoduché konstrukci a malému počtu optických členů obvykle dobrou světelnost a méně optických vad, proto se hodí při fotografování i za horších světelných podmínek. Nevýhodou je, že pokud potřebujeme scénu přiblížit či oddálit, musíme změnit vzdálenost, ze které fotíme. Zoom objektivy jsou skla s proměnnou ohniskovou vzdáleností, kterou lze měnit v určitém stanoveném intervalu. Lze tak s nimi scénu přibližovat a zvolit správný záběr

a zorný úhel. Avšak kvůli složitější konstrukci a více optických prvků vykazují značnější zkreslení na koncích zoomu i větší aberace. Tyto objektivy obvykle mívají i horší světelnost a vyšší hmotnost než pevnoohniskové [14].

Objektivy se také dělí podle ohniskové vzdálenosti do několika skupin. Širokoúhlé objektivy jsou vyznačovány kratší ohniskovou vzdáleností (přibližně od 15 do 35 mm) a snímky mívají širší záběr. Extrémním případem této skupiny jsou takzvaná *rybí oka*, jejichž ohnisková vzdálenost je ještě kratší a úhel záběru může být až 180°, což v důsledku dává velké zkreslení, které ale u těchto objektivů bývá často žádoucí. Další skupinou jsou normální objektivy, jejichž úhel záběru je asi 50°, odpovídá tak úhlu vnímání lidského oka a jejich ohnisková vzdálenost je okolo 50 mm. Účelem je zachytit scénu tak, jak ji vnímá člověk. Takovéto snímky mají pak nejpřirozenější perspektivu. Opakem širokoúhlých objektivů jsou teleobjektivy, které jsou definovány delší ohniskovou vzdáleností (100 mm a více), zachycují užší zorný úhel, dávají zvětšený obraz a jsou konstruovány ke zobrazení vzdálených předmětů [15].



Obrázek 1.12: Ukázka širokoúhlého (vlevo) a teleobjektivu (vpravo). Převzato z [22] a [20].

Rozdělit objektivy lze i podle řady dalších faktorů jako například podle světelnosti, clony, způsobu ostření, typu zoomování, typu závitů, druhu uchycení objektivu k tělu, vnitřního a vnějšího provedení a v neposlední řadě podle účelu a použití.

Různé fotografické žánry kladou na objektivy odlišné požadavky. U fotografování architektury je důležitá ostrost snímku a dobrá kresba. Často také vzniká problém, že musíme být velmi blízko vybraného objektu, aby do záběru nezasahovaly jiné objekty, které by fotografovanou stavbu překryly. Využívány proto jsou širokoúhlé objektivy, které disponují vysokou ostroší. Dalším problémem bývá perspektivní sbíhání linií způsobené odlišnou vzdáleností částí stavby. Uplatnění zde nachází též *tilt-shift* objektivy, které umožňují naklánět a posouvat optickou osu objektivu vůči ose snímače či filmu, vlivem toho lze měnit hloubku ostrosti, posouváním se může dosáhnout srovnání kácejících se linií [14]. Takový objektiv je ukázán na obrázku 1.13.



Obrázek 1.13: Tilt-shift objektiv od firmy Canon. Převzato z [21].

Při fotografování interiérů nebývá problémem výška a sbíhání svislic, ale horší světelné podmínky. Většina interiérů bývá tmavých a jsou tak potřeba světelné objektivy. Žádaná je i velká hloubka ostrosti, což vede ke znatelnějšímu zaclonění objektivu a nastavení delších expozičních časů. Volba místa fotografa je též často omezená, proto se zde také využívají širokouhlé objektivy, které se však často vykazují znatelným soudkovitým zkreslením a prohýbáním čar a tvarů [14].

Pro krajinářské objektivy je zase klíčové barevné podání, kresba a ostrost, tedy prokreslení jemných detailů. Většinou je žádané mít celý snímek ostrý a nastavit tak velkou hloubku ostrosti. Tyto objektivy mají pak za cíl mít rovnoběžný průběh MTF(f) křivky, která bude klesat co nejpozději a kresba s rozlišovací schopností bude tak co nejlepší. Žádané zde je, aby nedocházelo k poklesu kvality od středu objektivu do krajů.

V reportážní fotografii se uplatňují jak širokouhlé objektivy pro zachycení širšího okolí událostí a větší skupiny lidí, tak i delší ohniska, které tolik netrpí soudkovitým zkreslením, zkreslující perspektivou a více přitáhnou aktéry dané události. Z častého důvodu omezených možností pohybu fotografa se využívají zoom objektivy a ten z jednoho místa pak pořídí různé záběry. Důležitá je zde pohotovost, kvalitní a rychlé ostřicí mechanismy a vysoká světelnost objektivů, kvůli krátkým expozičním časům pro zachycení okamžiku, kdy nemůžeme použít blesk ani stativ [14].

Při fotografování portrétů je cílem získat ostrý obraz očí nebo částí obličeje, které diváka zaujmou a zbylé části je vhodné plynule a jemně rozmazat. Na druhou stranu na ostrost se nekladou velké požadavky, jinak by se objevovaly pleťové nedostatky a žádanější je spíše měkčí kresba. Rozlišovací schopnost takovýchto objektivů nemusí být nikterak vysoká a MTF(f) křivky mohou padat dříve než například u krajinářských objektivů. Velmi důležitá je zde však světelnost, z důvodu nastavení malé hloubky ostrosti, díky níž dosáhneme rozostření rušivých pozadí či kvalitnějšího *bokeh*. Portrétní objektivy by měly mít minimální zkreslení, proto se nejčastěji využívají pevné objektivy a delší ohniskové vzdálenosti [14].

Sportovní žánr si většinou žádá dynamiku snímku a někdy i pohybové rozmazání, které upozorňuje na rychlost. Sportovní dění se ve většině případů odehrává ve větší vzdálenosti od fotografa, proto je nutné použití teleobjektivů, kdy pak kvůli velkému ořezu se může snímek jevit plochý. Expoziční časy je potřeba volit značně malé, aby nebyla pohybová neostrost příliš velká, tudíž objektivy musí být dostatečně světelné. Hloubka ostrosti se nastavuje malá, dosáhne se tak ostrého sportovce a rozmazaného pozadí [14].

Existují i takzvané univerzální objektivy, vhodné na všechny žánry. Vyznačují se proměnnou ohniskovou vzdáleností, na druhou stranu čím je jejich rozsah menší, tím má optická soustava méně členů a je více kvalitnější. Důležitý je také značný rozsah clonových čísel, aby se dosáhlo co nejlepší světelnosti. Samozřejmě, jak už to u univerzálních věcí bývá, lze u nich obtížněji dosáhnout kvalit objektivů vyvinutých na přesný účel.

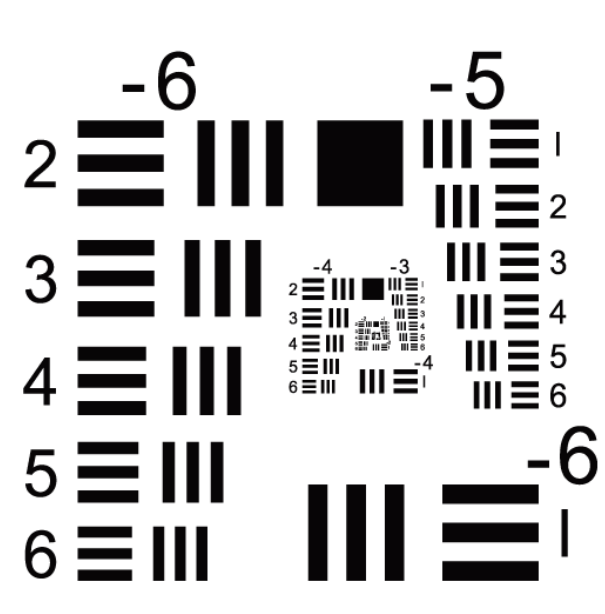
1.3 Testování objektivů

Při výběru objektivu je důležité dbát nejen na ohniskovou vzdálenost, ale i na jeho optickou kvalitu, někdy označovanou jako výkon. Kvalitou se myslí především dobrá kresba, ostrost a schopnost převést co nejvíce obrazové informace bez ztrát z předmětového prostoru do obrazu. Ideální objektiv by dokázal přenášet všechny detaily předmětu do obrazu bez jakýchkoliv změn, avšak v reálném světě ideální objektiv neexistuje. Objektivy se liší vzorek od vzorku. V dnešní době mnoho výrobců a uživatelů

uvádí na internetových stránkách výsledky testů svých objektivů, není to však pravidlo. Často také testy neodpovídají představám zákazníka, který se chce dozvědět více o jemných detailech výkonu objektivu, například o tom, jak se ostrost liší podle clony, vzdálenosti od středu obrazu, vzdálenosti od objektu či jiných aspektech. Samotné testování by mělo být navrženo co neoptimálněji, čímž je myšleno, aby výsledky byly co nejobektivnější, důvěryhodné a nezmanipulovatelné, případně aby bylo možno z výsledků poznat aberace, čili optické vady, které objektiv zavádí.

1.3.1 Druhy testů

Mezi nejznámější test patří USAF-1951. Tento test navržený americkou armádou získal využití i v optickém inženýrství k testování optických přístrojů jako jsou fotoaparáty, mikroskopy, dalekohledy, obrazové snímače a jiné. Test je prvotně navržen pro stanovení rozlišovací schopnosti soustav [4]. Formát testu se skládá ze šesti skupin v kompaktním spirálovém uspořádání tří vrstev, jak je ukázáno na obrázku 1.14.

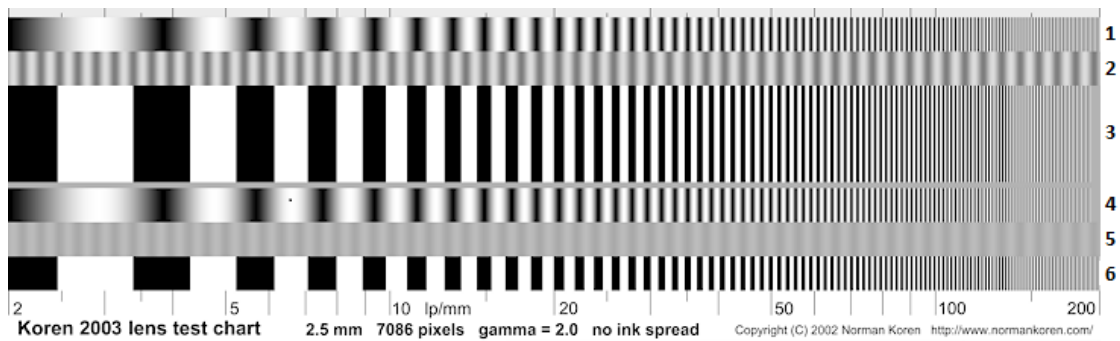


Obrázek 1.14: Vzhled testu USAF 1951. Převzato z [4]

Největší dvě skupiny, tvořící první vrstvu, jsou umístěny na vnějších stranách. Menší vrstvy se skládají z opakování postupně menších párů směrem ke středu. Každá skupina obsahuje tedy šest různě velkých dvojic čárových testů, které jsou pootočené o 90°. Velikost testů v rámci skupiny je přesně definována. V uspořádání platí, že velikost prvního testu ve skupině má vždy poloviční velikost než test skupiny předešlé [4]. Z testu lze zjistit i funkci přenosu modulače vynesemím pozorovaného kontrastu obrazu jako funkce prostorových frekvencí různých prvků [16]. Test je však nevhodný pro počítačové analýzy kvůli roztržitému uspořádání a není příliš vhodný ani pro vizuální odhad rozlišovací schopnosti systémů. Lidé mohou měnit pozorovací vzdálenost, aby dosáhli lepšího rozlišení, to však vede k falešným výsledkům, které neodpovídají reálné kvalitě obrazu. Výsledky jsou tedy subjektivní, na což je tedy nutno brát ohled.

Další testovací tabulkou je test Koren 2003, jehož verze byla navržena Normanem Korenem v roce 2003. Test je navržen pro určování MTF(f) a umožňuje její přesné stanovení i pro vyšší prostorové frekvence [4]. Testovací tabulka se skládá ze 6 pásem,

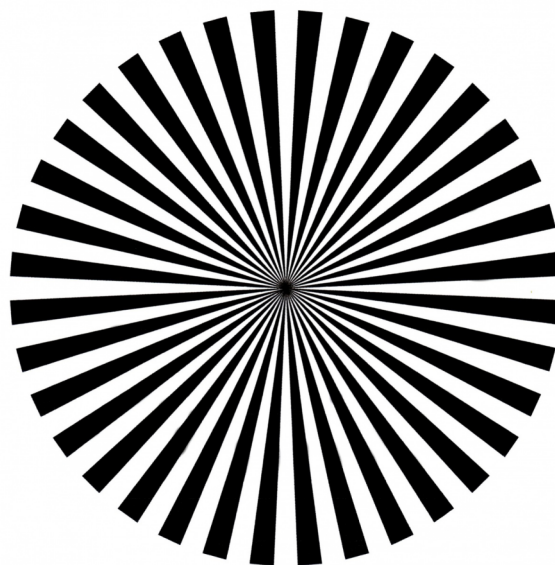
což je vidět na obrázku 1.15.



Obrázek 1.15: Vzhled testu Koren 2003. Převzato z [12]

Základem jsou dva pásy, a to s čárovým vzorem (pás 3 a 6), který slouží k určení CTF(f) a úrovně zaostření a sinusovým vzorem (pás 1 a 4) sloužící ke stanovení průběhu MTF(f). Prostorová frekvence se v logaritmickém měřítku nepřetržitě zvyšuje z 2 na 200 čar/mm. Odezva objektivů většinou nepřesahuje hodnoty vyšší jak 100 čar/mm, proto není třeba test rozvíjet o vyšší frekvence. Rozlišitelnost čárového testu je vyšší než sinusového (přibližně o 27%), čehož se využívá při ostření, kdy se doostřuje tak, aby se dosáhlo rozlišení co nejvyšší prostorové frekvence. Z čárového vzoru lze také určit i MTF(f), ale je potřeba brát v úvahu problematiku odlišnosti MTF(f) a CTF(f) a vycházet ze vzorce 1.14, a tudíž vynásobit výsledek koeficientem 0,785. Zbylé pásy (2 a 5) se u digitalizovaných snímků nepoužívají a uplatňují se jen k vizuálnímu vyhodnocení pro přímé porovnání pozorovatelného kontrastu s vyhodnocovaným pásmem. Pásy mají konstantní prostorovou frekvenci a sinusové přechody. Kontrast pásu 2 je 50% a kontrast pásu 5 je 10% [4].

Dalším využívaným testem je Siemensová hvězda. Jedná se o obdobu čárového testu. Test tvoří kruhová plocha, která je rozdělena na určitý počet stejných výsečí připomínající paprsky, což je vidět na obrázku 1.16. V testu se střídají výseče černé a bílé



Obrázek 1.16: Vzhled Siemensové hvězdy. Převzato z [23]

barvy, kdy přechody mezi výsečemi mohou být buď sinusové, popřípadě pravoúhlé, tedy ostré. Test se využívá převážně k zjištění rozlišovací schopnosti, kdy se využívají právě Siemensové hvězdy s pravoúhlou modulací. Vlivem nedokonalostí objektivů a difrakce vzniká uprostřed testu nerozlišená středová oblast šedé barvy. Rozlišovací schopnost je přímo úměrná průměru této rozmazané oblasti. Při vyhodnocování hraje roli i tvar nerozlišené oblasti. V ideálním případě má tato plocha kruhový tvar. Pokud tomu tak není a oblast vykazuje nějaké zploštění a získává tvar elipsy, poukazují výsledky i na jiné aberace, a to astigmatismus. Ze Siemensové hvězdy lze též určit MTF(f) v libovolném směru obrazového pole, k čemuž se naopak využívají hvězdy se sinusovou modulací výsečí [4].

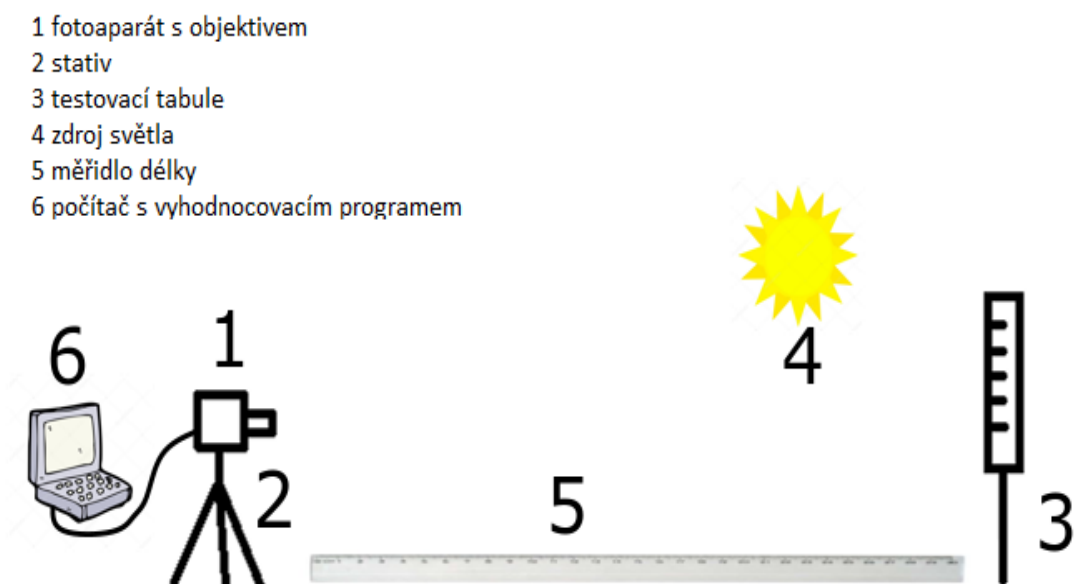
Z každého testu lze určit různé charakteristiky a vady objektivu. Některé testy jsou navrženy na určování více parametrů a tak následně můžeme získané výsledky porovnávat, popřípadě diskutovat o přesnosti testovacích metod. Podle zkoumaných veličin a parametrů se testy uspořádávají do testovacích cílů, většinou se jedná o testovací tabule. Pro správnost měření je však potřeba dodržet některá pravidla. Roli hraje samotný tisk testů, kdy je potřeba nastavit tiskárnu na nejvyšší rozlišení. Dalším důležitým atributem, zejména u testů s proměnnou prostorovou frekvencí, jako například test Koren 2003, je dodržet definovanou vzdálenost objektivu od testovací tabule, aby bylo měřítko prostorové frekvence správně kalibrováno. Testy se rozmisťují většinou ve stejných intervalech po uhlopříčce zorného pole. Stačí však uspořádání provést jen pro polovinu zorného pole neboli od středu do kraje, protože objektiv by měl být symetrický a mít stejné vlastnosti i v druhé polovině. Uspořádání testovací tabule a dílčích testů je velice individuální. Objektivy pro různé fotografické žánry kladou specifické požadavky a s ohledem na měřené veličiny a hledané parametry se testovací tabule navrhuje.

Kapitola 2

Experimentální část

2.1 Sestava a pomůcky

Na následujícím obrázku 2.1 je znázorněno experimentální uspořádání pro mé testování objektivů.



Obrázek 2.1: Schéma experimentálního uspořádání.

Cílem této části práce je otestovat a vyhodnotit dva objektivy různé konstrukce od firmy Panasonic. Jedním z nich je objektiv s proměnnou ohniskovou vzdáleností Panasonic Lumix G Vario 12-32 mm f/3,5-5,6 a druhým je pevný objektiv Panasonic Lumix DG 25 mm f/1,7. Testování obou objektivů je prováděno na stejném těle, a to fotoaparátu Panasonic Lumix DMC-GX80. Jedná se o bezzrcadlovku neboli systémový kompak (CSC), tedy kompak s výměnným objektivem, který má obrazový snímač vybavený stabilizátorem. Optickou stabilizací jsou vybaveny také oba objektivy a nabízí tak spolu s tělem fotoaparátu duální stabilizaci. Formát snímáče je 4/3, jeho rozlišení je 16 Mpx. Rozteč pixelů, což je vzdálenost od středu jednoho pixelu ke středu dalšího pixelu je $3,75 \mu\text{m}$. Rozměry snímáče jsou $17,3 \times 13 \text{ mm}$, je tedy nutno brát ohled na ořezový faktor, který je roven 2, tudíž všechny objektivy nasazené na tento fotoaparát mají ekvivalentní ohniskovou vzdálenost dvojnásobně větší než je uvedeno na objektivu.



Obrázek 2.2: Vlastní uspořádání experimentu.

Tento kompaktní nabízí rozlišení fotografií 4592×3448 a umožňuje nastavení expozice od minimální citlivosti ISO 200 až na maximální citlivost ISO 25600. Pro měření jsou použity stativy Velbon EX-Macro a Velbon SHERPA 50. Stativ je vhodné volit co nejpevnější a nejstabilnější, aby nedocházelo kvůli otřesům ke zkresleným výsledkům.

Pro testování jsou zvoleny objektivy tak, aby bylo možné měření provést na stejné ohniskové vzdálenosti, a to 25 mm (50 mm po přepočtu ořezovým faktorem). Jedná se o dva univerzální objektivy, které však bývají majitelem nejčastěji používány ke krajinářskému žánru, od čehož se odvíjí další volba testů, uspořádání testovací tabule, způsob zaostřování a jiné atributy. Jak již bylo zmíněno, pro krajinářské objektivy je důležitá kresba a ostrost, to znamená prokreslení detailů a důležité je i barevné podání. Nežádoucí jsou pak odlesky, barevná vada, či vinětace způsobující tmavnutí rohů, které se však v některých případech používá jako působivý kompoziční prvek. Co zde nehraje primární roli jako u většiny ostatních žánrů je světelnost. Často dochází spíše k případům, kdy je potřeba objektiv zaclonit z důvodu získání větší hloubky ostroty a tak se bez prvotřídní světelnosti většinou obejdeme. Protože se krajiny často fotografují ze stativu, oželíme absenci stabilizátorů, které naopak u univerzálních objektivů spolu s vysokou světelností oceníme. S ohledem na tyto požadavky bylo tedy nutné vybrat co nejvhodnější test. Nepříliš vhodný test je USAF-1951, ze kterého nelze přímo získat MTF(f) křivky a určování rozlišovací schopnosti je spíše subjektivní, což může vést k mylným výsledkům, proto jsem tento test k mému měření ne zvolil. Naopak struktura testu Koren 2003 je navržena velmi vhodně právě k vyhodnocování zkoumaných objektivů. Lze z ní přímo získat křivky MTF(f) a zjistit tak informace o brilanci a ostroty objektivu a následnou integrací křivek můžeme určit MCFa koeficient. Stejně tak se dá díky proměnlivé prostorové frekvenci v testu stanovit rozlišovací schopnost. Díky těmto výhodám se test Koren 2003 stal ústředním prvkem mého testování, a to zejména

jeho čárový vzor, z důvodu snazšího porovnání výsledků rozlišovací schopnosti s dalším použitým testem, kterým byla Siemensova hvězda s pravoúhloú modulací výsečí. Ta bylo zvolena právě kvůli porovnání výsledků rozlišovací schopnosti s testem Koren 2003 a také ke sledování deformací tvaru hvězdy po jejím zaznamenání.

Oba dva zvolené testy jsou volně dostupné na internetu, je však ale potřeba dbát na správné vytištění testů, pro něhož platí následující pravidla. Test Koren 2003 má dvě délkové varianty, a to 5 mm a 2,5 mm, který se však využívá spíše pro fotoaparáty s malými snímači. Oba jsou navrženy k tisku o délce 25 cm, takže test 5 mm bude zvětšen 50-krát ($M=50$) a test 2,5 mm 100-krát ($M=100$), aby se zabránilo omezením tiskárny. Roli hraje také délka pixelů. Testy o délce 7086 pixelů jsou nejlepší pro tisk s násobkem 720 dpi (tiskárny Epson), doporučuje se však nejméně 1440 dpi a testy o délce 5906 pixelů jsou nejlepší pro tisk při násobcích 600 dpi (tiskárny Canon a HP), kdy se zase doporučuje nejméně 1200 dpi. Další veličinou tisku je *gamma*, což je exponent funkce, která se vztahuje na úroveň pixelů pro monitorování jasu a odrazivosti tisku. To ovlivňuje hustotu sinusových vzorů, ale má jen malý vliv na čisté černobílé tóny v čárovém vzoru. Pro první pokus se doporučuje *gamma*=1,5 a pokud je test vytištěn tmavě ve vysokých prostorových frekvencích, pak je dobré zkusit nastavit tisk na *gamma*=2. Malé rozdíly v *gamma* jsou však stěží viditelné a neměly by výsledky nijak vážně zkreslovat. Tisk ovlivňuje také šíření inkoustu nazývaný též bodový zisk, který se vyskytuje u většiny inkoustových tiskáren a ovlivňuje vytištěný vzhled čárového vzoru v nejvyšší prostorové frekvenci. V grafech s šířením inkoustu rovno nule mají černé a bílé pruhy stejnou šířku a nejsou tedy kompenzovány. V grafech s šířením inkoustu rovným 0,25 jsou černé pruhy zúžené pevným množstvím, které se rovná faktorů 0,25 při nejvyšší prostorové frekvenci [12]. Při tisku Siemensové hvězdy je zase klíčové, aby nerozlišená středová oblast byla co nejmenší. Pro tisk tedy neplatí přesné definice ani pravidla, za kterých je test co nejkvalitnější. Dá se říct, že optimálním způsobem jak získat co nejlepší test je, když veličiny ovlivňující tisk nastavíme na různé kombinace a pomocí lupy se zvětšením alespoň $M=10$ hledáme co nejdokonalější výtisk.

Po vytištění testů je potřeba sestavit testovací tabuli a pro správnou kalibraci měřítka prostorové frekvence u testu Koren 2003 ji umístit do správné vzdálenosti od objektivu. Tahle vzdálenost je definována následující rovnicí [12]:

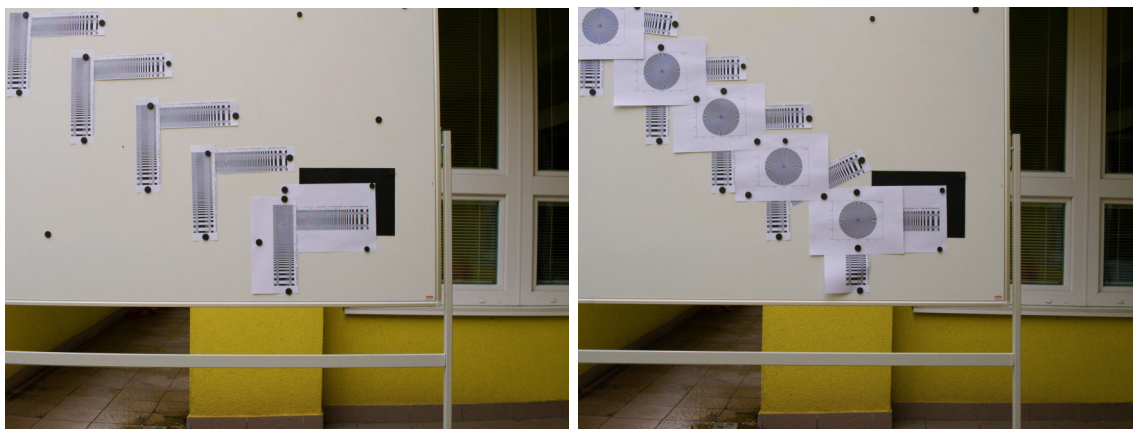
$$d = (M + 1) \cdot f, \quad (2.1)$$

kde d je vzdálenost testovací tabule od objektivu, M je jmenovité zvětšení a f je ohnisková vzdálenost objektivu. Z rovnice plyne, že je lepší používat 5 mm testy se zvětšením $M=50$, protože dostaneme kratší vzdálenost mezi tabulí a objektivem. Samozřejmě, že tabuli lze umístit i do jiné vzdálenosti, než kterou dostaneme dosazením do vzorce, pak je nutné s tím však počítat a udělat přepočty ke zjištění odpovídajících prostorových frekvencí. Vzdálenost však nemusí být dokonale přesná, malé chyby přibližně do 5% nehrají významnou roli.

2.2 Postup a výsledky měření

Pro mé testování byl zvolen 5 mm test Koren 2003 a Siemensova hvězda. Po vyzkoušení několika nastavení tisku se jako nejlepší ukázaly testy vytištěné na *gamma* rovno 1,5 s šířením inkoustu 0,25. Jako testovací cíl byla použita magnetická tabule, na kterou byly rozmístěny testy. Protože jsou většinou potřeba velké plochy pro pokrytí

celého zorného pole, což je v běžných podmínkách nesnadno realizovatelné, byla tabule navržena tak, aby pokryla polovinu zorného pole. Na bílou plochu tabule bylo umístěno pět dvojic testů Koren 2003 se stejnými mezerami, aby pokryli plochu od středu do kraje zorného pole. Jeden z dvojice testů byl situován do směru tangenciálního a druhý kolmo na něj do směru sagitálního, a to tak, aby vyšší prostorové frekvence v obou testech se přibližovaly k sobě. Následně do stejných pozic bylo po odfotografování umístěno pět Siemensových hvězd. Obě dvě uspořádání jsou vidět na obrázku 2.3.



(a) Tabule s testy Koren 2003

(b) Tabule se Siemensovými hvězdami

Obrázek 2.3: Uspořádání testů Koren 2003 a Siemensových hvězd na testovací tabuli.

Po dosažení do rovnice 2.1 byla zjištěna vzdálenost testovací tabule od objektivu, tak aby se shodovaly hodnoty prostorové frekvence uvedené na testu. Hledaná vzdálenost odpovídala 2550 mm.

Dalším důležitým krokem je zaznamenání testovací tabule, tedy její odfotografování, čímž rozumíme nastavení co nejlepšího zaostření a podmínek pro focení. K zabránění otřesům a chvění je dobré použít co nejpevnější stativ. Vhodná je také dálková spoušť, ne každý fotoaparát je však takovou spouští vybaven, takže stačí využít například samospoušť či zpoždění závěrky. Před focením je potřeba sundat z objektivů veškeré filtry, které snižují propustnost světla a dosáhlo by se tak zhoršených výsledků. Velmi důležité je také nastavení citlivosti ISO, které je potřeba nastavit na nejnižší možnou hodnotu, abychom zabránili šumu a nesnížil se výsledný kontrast. Panasonic Lumix DMC-GX80 umožňuje nastavit minimální ISO 200, tudíž tak byl fotoaparát nastaven. Nevhodné je využití blesku, což by způsobilo odlesky.

Testovací tabule by měla být rovnoměrně osvětlena po celé své ploše a to ideálně šikmým světlem zhruba 30° od cílového povrchu, aby odlesky šly mimo nás. Pokud není možné zajistit dokonale osvětlenou místnost, můžeme tabuli umístit ven na denní světlo, nejlépe když je zamračeno, čímž se dosáhne rozptýleného světla. Při slunečném dni by mohly vznikat opět odlesky a stíny.

Zaostření je výhodnější provádět v manuálním režimu a zaostřit na požadovaná místa. V případě testu Koren 2003 zaostřit na maximální prostorovou frekvenci při hledání mezní frekvence a na prostorové frekvence 10 a 30 čar/mm při zjišťování kontrastu a ostrosti. Siemensovou hvězdu je potřeba zaostřit tak, aby byla nerozlišená středová oblast co nejmenší. Pro lepší zaostření se používá černý papír jako podklad pod středový test, kdy následně lépe zaostříme rozhraní černého papíru a bílé plochy tabule. Panasonic Lumix DMC-GX80 zobrazuje zaostřené místa na displeji modře, což

můžeme vidět na obrázku 2.4 a s výhodou pak lze zaostření sledovat a nastavovat.

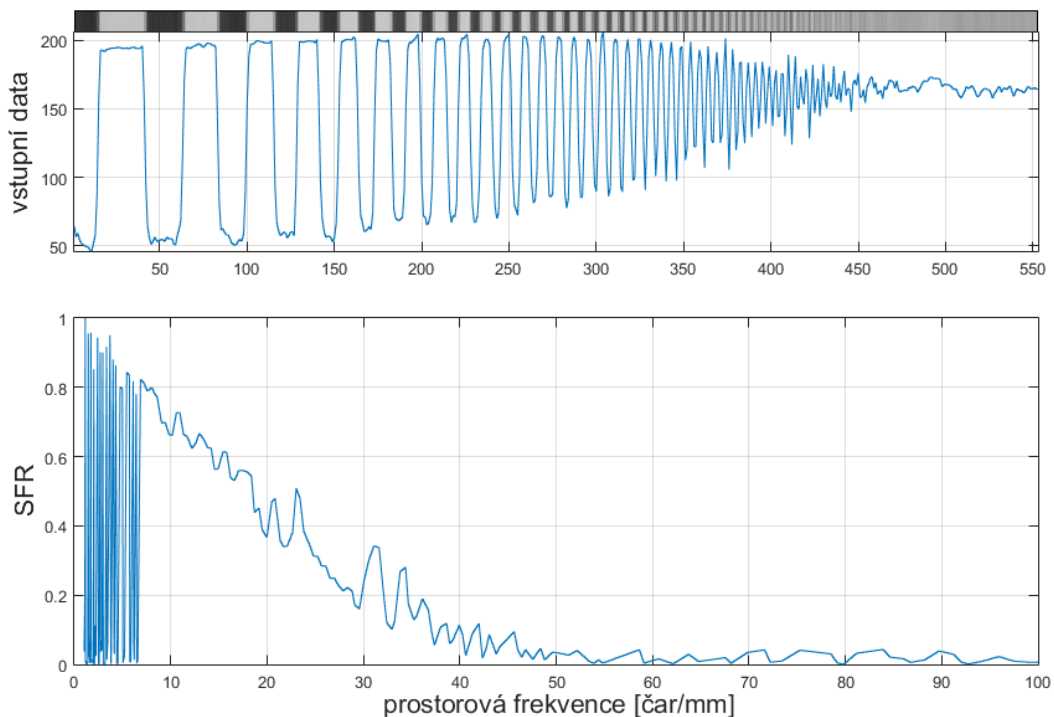


(a) Zaostření na test Koren 2003

(b) Zaostření na Siemensovu hvězdu

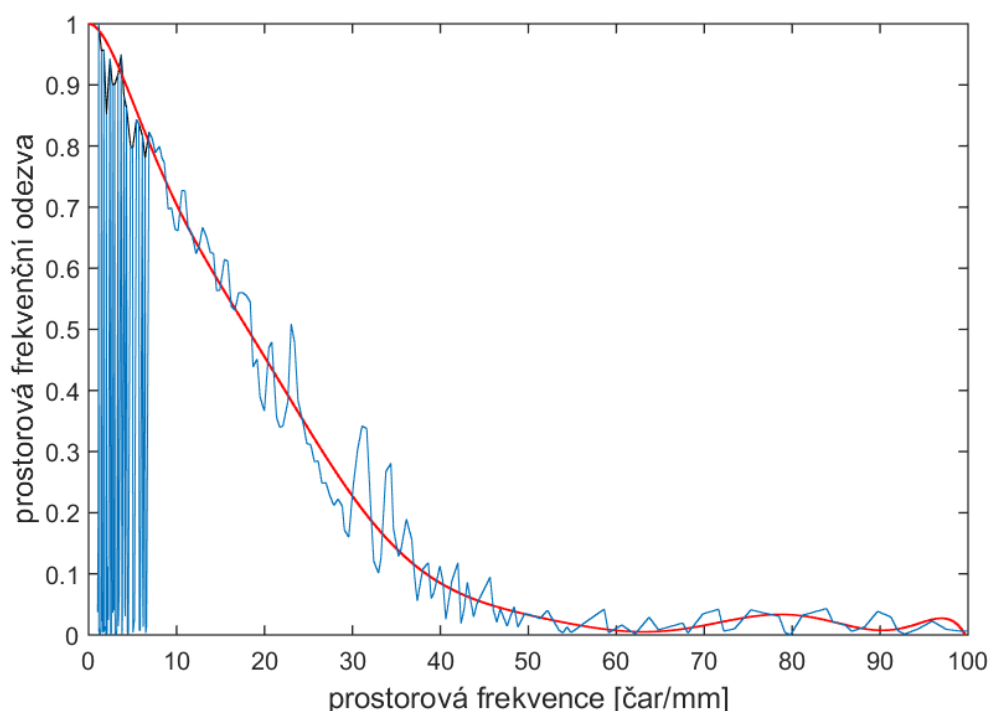
Obrázek 2.4: Zaostřování testů Koren 2003 a Siemensových hvězd na fotoaparátu Panasonic Lumix DMC-GX80.

Aby nedocházelo ke ztrátám kvality obrazu při jeho zaznamenávání, je potřeba pořizovat snímky do bezztrátového formátu RAW. Pro analýzu výsledků posloužily dva programy, a to ImageJ a Matlab. Testy Koren 2003 byly vyhodnocovány následovně. V ImageJ byla označena zkoumaná část testu, přičemž je nutné znát jeho prostorovou frekvenci. Analýzu této oblasti je třeba uložit do textového souboru, který využije program pro získání prostorové frekvenční odezvy (dostupný z [12]) v prostředí Matlab. Výsledkem tohoto programu je výstup se třemi částmi, což je vidět na obrázku 2.5.



Obrázek 2.5: Výstup programu v Matlabu.

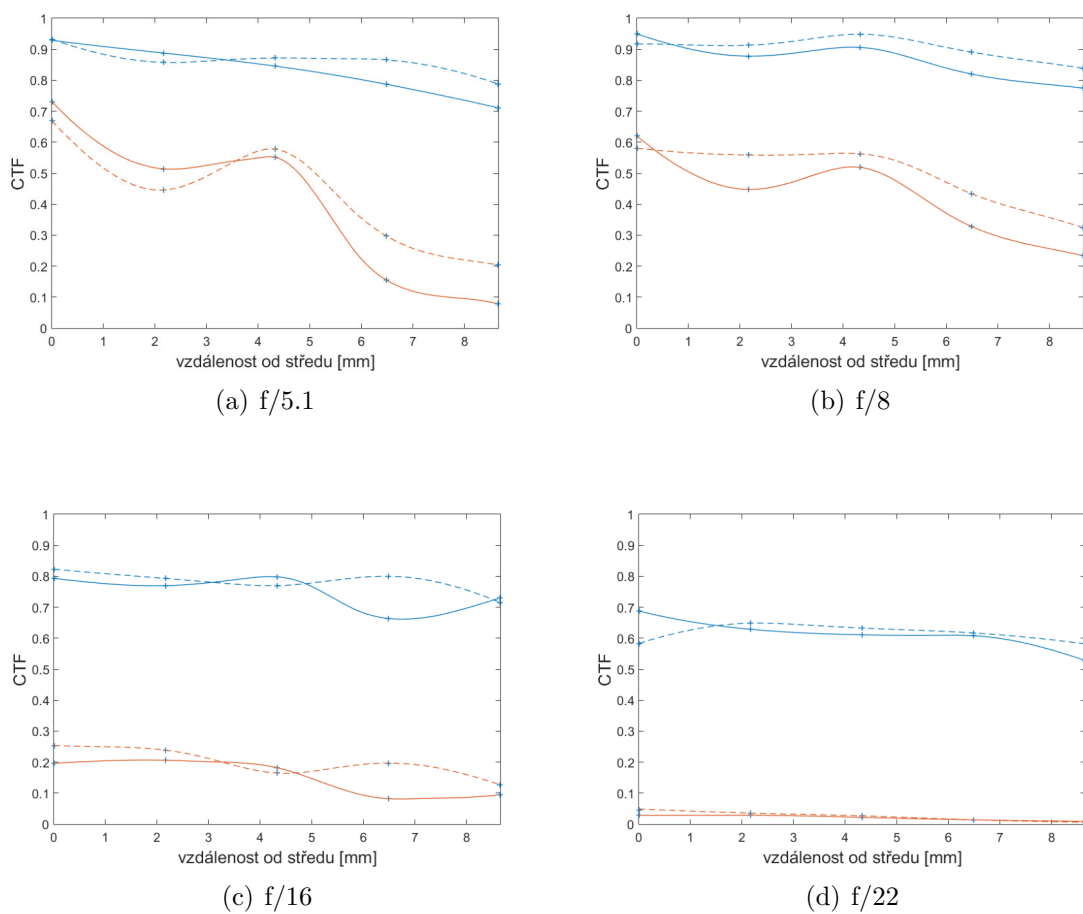
První je pruh ilustrující obraz čáry vybraný pro analýzu. Druhá část ukazuje hodnoty pixelů řádkového obrázku, což je stejný jako profil zobrazený pomocí ImageJ a třetí část, pro mě nejdůležitější, prezentuje graf prostorové frekvenční odezvy (SFR). V tomto grafu však často dostáváme nepravdivé nízké hodnoty při nízkých prostorových frekvencích a SFR křivka obsahuje řadu lokálních maxim, které nejsou skutečné, ale jsou výsledkem chyb vzorkovací fáze a nedokonalostí v tištěném grafu. Pravou odezvou je křivka začínající v souřadnicích $[0;1]$, která tyto maxima vyhladí, což ukazuje obrázek 2.6.



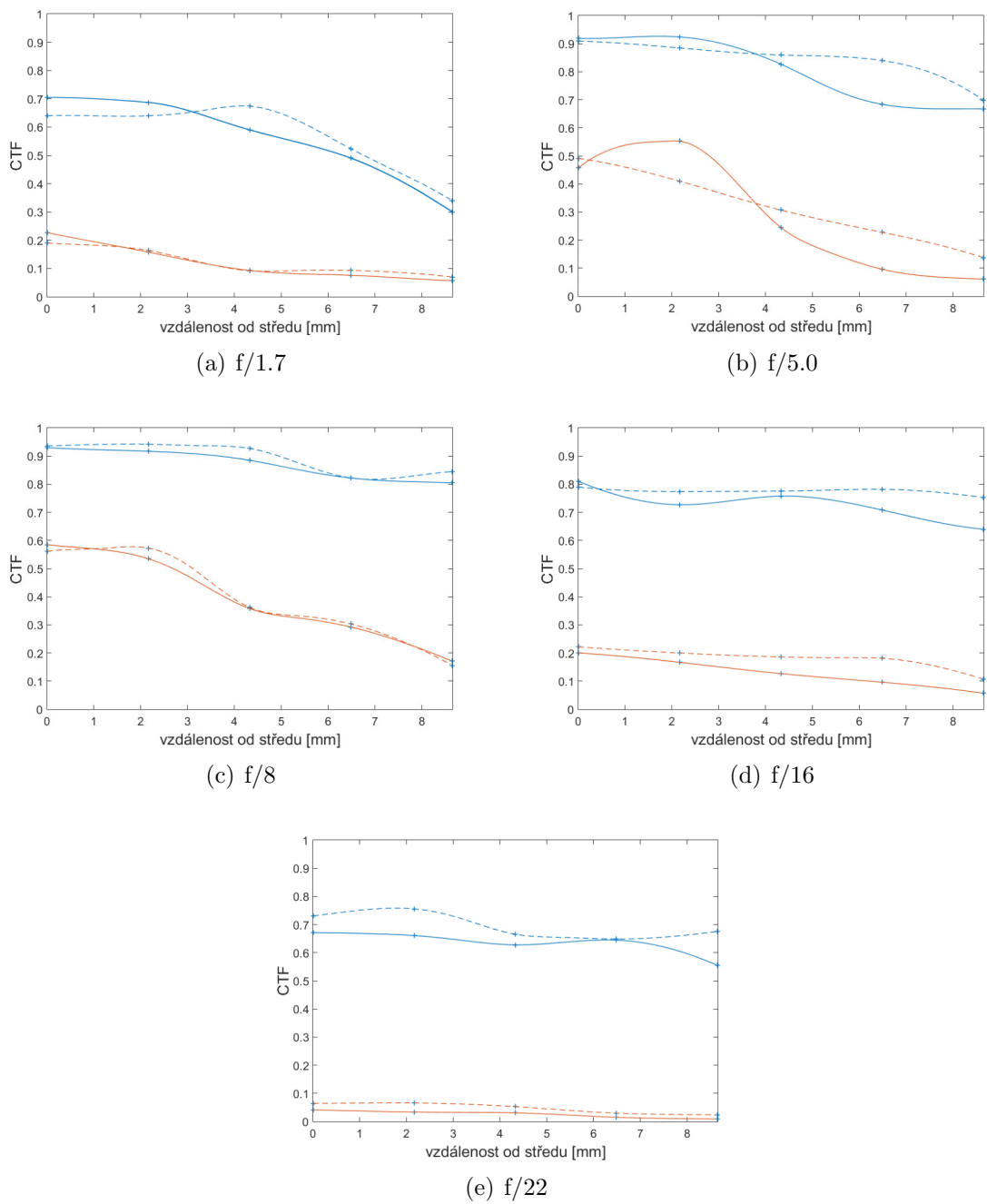
Obrázek 2.6: Vyhlazená křivka prostorové frekvenční odezvy ze středového tangenciálního (vodorovného) testu, který byl zaznamenán pevným objektivem Panasonic Lumix DG 25 mm $f/1,7$ právě při cloně $f/1,7$ zaostřeným na 10 čar/mm.

U vysokých prostorových frekvencí dochází k někdy opětovnému nárůstu vyhlazené křivky prostorové frekvenční odezvy, jedná se spíše o důsledek nepřesného prokládání původních dat než o následné zvýšení odezvy systému. V kapitole Přílohy budou ukázány grafy prostorové frekvenční odezvy testovaných objektivů pro nejvýznamnější clony (nejnižší, optimální, nejvyšší). Veškeré grafy prostorové frekvenční odezvy jsou obsaženy na příloženém DVD. Z těchto dílčích grafů můžeme následně formovat křivky $MTF(f)/CTF(f)$, a to tak, že nás zajímají hodnoty ze křivek prostorové frekvenční odezvy při frekvenci 10 a 30 čar/mm (brilance a ostrost). Ze zjištěných hodnot jednotlivých testů, pro odpovídající místo zorného pole můžeme již jednoduše tvořit $MTF(f)/CTF(f)$ křivky. Pro komplexnější zkoumání byly testy foceny různě zacloněným objektivem. Pevný objektiv při clonách $f/1,7$, $f/5,0$, $f/8$, $f/16$ a $f/22$, zoom objektiv nedisponuje takovou světelností a mohly tak být nastaveny pouze clony $f/5,1$, $f/8$, $f/16$ a $f/22$. Výsledné $CTF(f)$ křivky obou objektivů jsou uvedeny na obrázku 2.7, 2.8 a 2.9. Absencí ostřícího kroužku u zoom objektivu se ukázalo, že existuje jedno správné zaostření jak na dosažení maximálního kontrastu, tak maximální rozlišovací schopnosti, čemuž bylo testování a výsledky přizpůsobeny. Grafy ukazují, že objektivy dávají

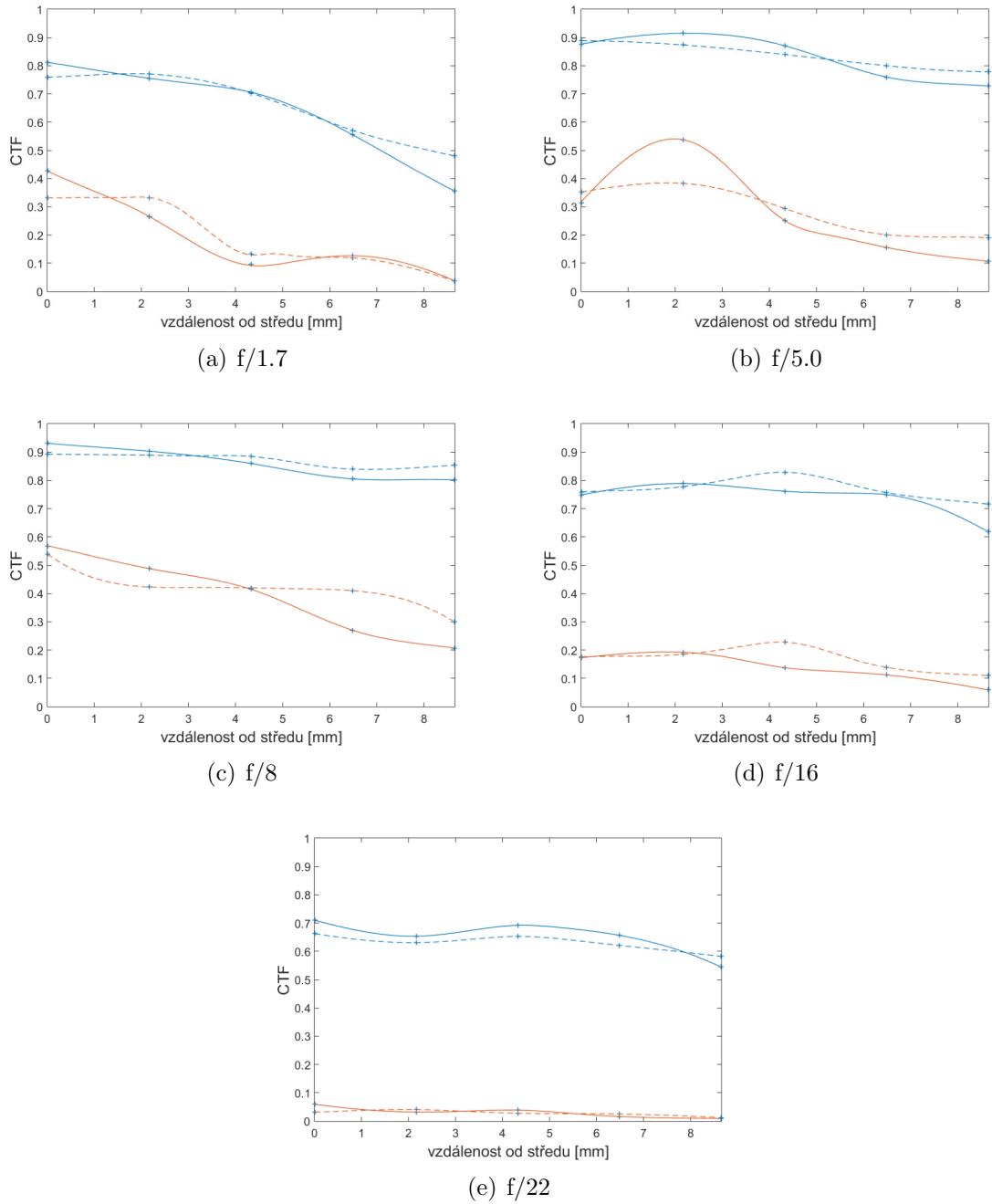
nejvyšší výkon na optimálních clonách $f/5.0$ ($f/5.1$ zoom) a $f/8$, což se z teoretické části předpokládalo. Křivky také vykazují u většiny nastavených clon značnou symetrii. U vyšších clonových čísel nedochází ani k výrazným poklesům hodnot do krajů zorného pole a objektivy by tak při těchto clonách neměly vykreslovat kraje s výrazně nižší kvalitou, naopak při minimálním zaclonění padají křivky již výrazněji ke krajům zorného pole a projevuje se tak pravděpodobně otvorová vada. Při maximálně zacloněných objektivěch jsou hodnoty ostrosti značně nízké, což můžeme přisuzovat nejspíše difrakci. Zajímavé z výsledků také je, že se nikterak významně neliší grafy pevného objektivu při dvou různých zaostření.



Obrázek 2.7: Výsledné CTF(f) křivky pro zoom objektiv při různých clonách.



Obrázek 2.8: Výsledné CTF(f) křivky pro pevný objektiv zaostřený na 10 a 30 čar/mm při různých clonách.



Obrázek 2.9: Výsledné CTF(f) křivky pro pevný objektiv zaostřený na maximální rozlišení při různých clonách.

Integrací těchto křivek z obrázků 2.7, 2.8 a 2.9 a se znalostí vzorce 1.17 lze zjišťovat koeficient MCFA, jakožto další důležitý parametr kvality objektivů. Hodnoty koeficientů pro oba testované objektivy jsou shrnuty v tabulce 2.1. Výsledky jsou odlišeny barvami, přičemž modrá oblast signalizuje nízké hodnoty (< 0.4), žlutá průměrné ($0.4 - 0.8$) a zelená vysoké (> 0.8).

Tabulka 2.1: Hodnoty koeficientu MCFA pevného a zoom objektivu podle jednotlivých clon pro kontrast (10 čar/mm) a ostrost (30 čar/mm).

| | | F1.7 | | | |
|-----------------|---------------------|-------------------------|--------|--------|--------|
| | | 10č/mm | | 30č/mm | |
| | | vodor. | svisle | vodor. | svisle |
| Koeficient MCFA | Pevný max kontrast | 0.5353 | 0.5859 | 0.1160 | 0.1205 |
| | Pevný max rozlišení | 0.6416 | 0.6681 | 0.1584 | 0.1746 |
| | Zoom | nemá takovou světelnost | | | |

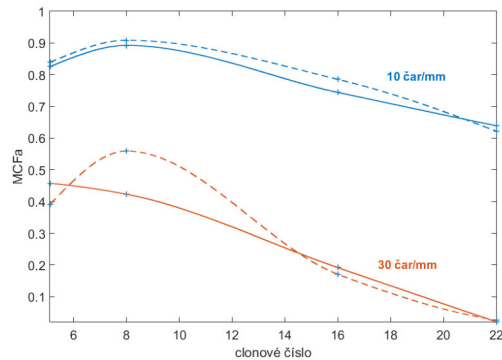
| | | F5.0 (zoom 5.1) | | | |
|-----------------|---------------------|-----------------|--------|--------|--------|
| | | 10č/mm | | 30č/mm | |
| | | vodor. | svisle | vodor. | svisle |
| Koeficient MCFA | Pevný max kontrast | 0.7803 | 0.8522 | 0.2948 | 0.3163 |
| | Pevný max rozlišení | 0.9029 | 0.8370 | 0.3029 | 0.3376 |
| | Zoom | 0.8254 | 0.8393 | 0.4578 | 0.3908 |

| | | F8 | | | |
|-----------------|---------------------|--------|--------|--------|--------|
| | | 10č/mm | | 30č/mm | |
| | | vodor. | svisle | vodor. | svisle |
| Koeficient MCFA | Pevný max kontrast | 0.8983 | 0.8946 | 0.3938 | 0.4046 |
| | Pevný max rozlišení | 0.8532 | 0.8405 | 0.3503 | 0.3561 |
| | Zoom | 0.8925 | 0.9086 | 0.4231 | 0.5595 |

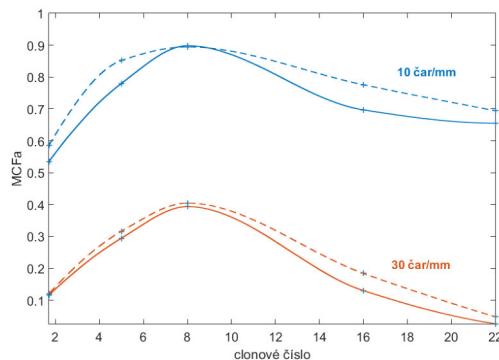
| | | F16 | | | |
|-----------------|---------------------|--------|--------|--------|--------|
| | | 10č/mm | | 30č/mm | |
| | | vodor. | svisle | vodor. | svisle |
| Koeficient MCFA | Pevný max kontrast | 0.6971 | 0.7761 | 0.1303 | 0.1845 |
| | Pevný max rozlišení | 0.6983 | 0.7761 | 0.2139 | 0.1283 |
| | Zoom | 0.7444 | 0.7857 | 0.1919 | 0.1711 |

| | | F22 | | | |
|-----------------|---------------------|--------|--------|--------|--------|
| | | 10č/mm | | 30č/mm | |
| | | vodor. | svisle | vodor. | svisle |
| Koeficient MCFA | Pevný max kontrast | 0.6555 | 0.6944 | 0.0262 | 0.0484 |
| | Pevný max rozlišení | 0.6671 | 0.6046 | 0.0293 | 0.0296 |
| | Zoom | 0.6393 | 0.6220 | 0.0210 | 0.0260 |

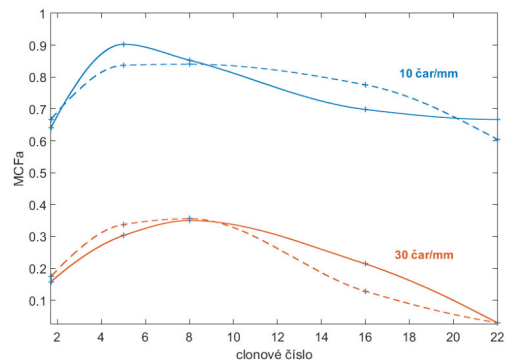
Pro názornější přehled byly průběhy koeficientu MCFa pro oba objektivy zaneseny do grafu v závislosti na clonovém čísle, jak je vidět na obrázku 2.10. Poté můžeme také zjišťovat, jaká je optimální clona zkoušených objektivů.



(a) Zoom



(b) Pevný zaostřen na kontrast a ostrost



(c) Pevný zaostřen na maximální rozlišení

Obrázek 2.10: Průběhy MCFa koeficientů pro zoom a pevný objektiv při dvou zaostření pro kontrast (10 čar/mm) s ostrostití (30 čar/mm) a maximální rozlišení.

Obrázek 2.10 ukazuje, že ve většině případů optimální clona odpovídá právě $f/8$, jakožto teoretické optimální cloně. Jen u zaostření na maximální rozlišení u pevného objektivu se optimální clona posouvá směrem k nižším clonovým číslům, stejně tak jako u zoom objektivu v případě odezvy na ostrost z vodorovných testů.

Pro vyhodnocení rozlišovací schopnosti ze Siemensových hvězd posloužil také program ImageJ. Se znalostí okrajové šířky paprsku, ohniskové vzdálenosti objektivu a vzdálenosti testu od objektivu určíme velikost segmentu testu na čipu. Rozlišení testu na jeho okraji pak odpovídá převrácené hodnotě určené velikosti segmentu testu, dáno vzorcem:

$$R = \left(\frac{Y \cdot f}{d} \right)^{-1}, \quad (2.2)$$

kde R je rozlišení testu na okraji, Y je okrajová šířka paprsku v testu, f je ohnisková vzdálenost objektivu a d je vzdálenost testu od objektivu. Následně jen zjistíme velikost nerozlišené středové oblasti a výsledné rozlišení testu v tomto místě. Rozlišovací schopnost objektivů lze určovat i z testu Koren 2003, zde sledujeme prostorové frekvence, kde křivka prostorové frekvenční odezvy klesla k nulovým hodnotám. V tabulkách 2.2 a 2.3 jsou shrnuty výsledky rozlišovací schopnosti pevného a zoom objektivu z testů

Koren 2003 při zaostření na maximální rozlišení a zaostření na kontrast (10 čar/mm) a ze Siemensových hvězd. Hodnoty jsou uvedeny v jednotkách [čar/mm], kde svislá a vodorovná šipka odkazuje na umístění testu (směr vodorovný a svislý), který byl analyzován.

Tabulka 2.2: Výsledky rozlišovací schopnosti z obou testů pro pevný objektiv, hodnoty jsou odlišeny barvami, přičemž modrá oblast signalizuje nízké hodnoty (< 40), žlutá průměrné (40–60) a zelená vysoké (> 60).

| | | Pevný f/1.7 | | | | | | | | | |
|----------------------|--|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
| | | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ |
| Koren 2003 rozlišení | | 56 | 54 | 48 | 50 | 40 | 43 | 44 | 44 | 33 | 28 |
| Koren 2003 kontrast | | 55 | 48 | 55 | 45 | 42 | 40 | 40 | 40 | 35 | 32 |
| Siemensová hvězda | | 52 | 48 | 46 | 46 | 42 | 38 | 37 | 39 | 31 | 30 |

| | | Pevný f/5.0 | | | | | | | | | |
|----------------------|--|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
| | | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ |
| Koren 2003 rozlišení | | 50 | 50 | 60 | 55 | 50 | 48 | 45 | 45 | 40 | 43 |
| Koren 2003 kontrast | | 57 | 62 | 62 | 60 | 50 | 50 | 43 | 45 | 40 | 41 |
| Siemensová hvězda | | 48 | 47 | 49 | 51 | 45 | 44 | 46 | 40 | 42 | 37 |

| | | Pevný f/8 | | | | | | | | | |
|----------------------|--|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
| | | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ |
| Koren 2003 rozlišení | | 60 | 60 | 65 | 60 | 57 | 55 | 50 | 52 | 48 | 50 |
| Koren 2003 kontrast | | 68 | 65 | 63 | 60 | 59 | 51 | 48 | 50 | 45 | 43 |
| Siemensová hvězda | | 61 | 59 | 57 | 56 | 55 | 53 | 55 | 52 | 46 | 44 |

| | | Pevný f/16 | | | | | | | | | |
|----------------------|--|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
| | | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ |
| Koren 2003 rozlišení | | 47 | 47 | 47 | 43 | 40 | 42 | 38 | 39 | 35 | 37 |
| Koren 2003 kontrast | | 45 | 48 | 45 | 48 | 42 | 44 | 38 | 41 | 33 | 38 |
| Siemensová hvězda | | 43 | 41 | 41 | 40 | 40 | 38 | 39 | 36 | 37 | 32 |

| | | Pevný f/22 | | | | | | | | | |
|----------------------|--|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
| | | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ |
| Koren 2003 rozlišení | | 35 | 31 | 34 | 34 | 33 | 32 | 30 | 30 | 27 | 28 |
| Koren 2003 kontrast | | 37 | 38 | 37 | 38 | 36 | 37 | 30 | 32 | 29 | 30 |
| Siemensová hvězda | | 35 | 32 | 35 | 33 | 33 | 31 | 29 | 27 | 27 | 25 |

Tabulka 2.3: Výsledky rozlišovací schopnosti z obou testů pro zoom objektiv, hodnoty jsou odlišeny barvami, přičemž modrá oblast signalizuje nízké hodnoty (< 40), žlutá průměrné (40–60) a zelená vysoké (> 60).

| | | Zoom f/5.1 | | | | | | | | | |
|-------------------|--|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
| | | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ |
| Koren 2003 | | 65 | 65 | 70 | 65 | 58 | 60 | 40 | 50 | 37 | 47 |
| Siemensová hvězda | | 58 | 56 | 56 | 56 | 56 | 55 | 54 | 49 | 49 | 45 |

| | | Zoom f/8 | | | | | | | | | |
|-------------------|--|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
| | | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ |
| Koren 2003 | | 65 | 60 | 65 | 58 | 64 | 57 | 53 | 53 | 45 | 50 |
| Siemensová hvězda | | 58 | 58 | 58 | 58 | 55 | 53 | 53 | 52 | 51 | 46 |

| | | Zoom f/16 | | | | | | | | | |
|-------------------|--|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
| | | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ |
| Koren 2003 | | 43 | 45 | 45 | 46 | 42 | 40 | 37 | 39 | 35 | 40 |
| Siemensová hvězda | | 45 | 41 | 43 | 41 | 42 | 40 | 38 | 37 | 37 | 35 |

| | | Zoom f/22 | | | | | | | | | |
|-------------------|--|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | |
| | | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ | ↔ | ↕ |
| Koren 2003 | | 33 | 35 | 33 | 31 | 30 | 32 | 28 | 30 | 28 | 28 |
| Siemensová hvězda | | 33 | 31 | 33 | 30 | 31 | 39 | 30 | 29 | 28 | 27 |

2.3 Závěr experimentální části

Experiment vedl k vyhodnocení výkonu dvou objektivů různé konstrukce od stejného výrobce. Z teoretické části je známo, že pevné objektivы díky své jednodušší konstrukci bývají charakterizovány vyšším výkonem než zoom objektivы s proměnnou ohniskovou vzdáleností a mohly by být považovány za etalon kvality. Vlastní měření však ukázalo, že výsledky nevykazují žádnou velkou odlišnost a zoom objektiv dokázal svými výsledky konkurovat či dokonce v některých případech i předčít testovaný pevný objektiv.

Z výsledků je patrné, že oba objektivы dávají nejlepší výkon při clonách f/5.0 (f/5.1 zoom) a f/8, tedy v blízkosti teoretické optimální clony. Středové oblasti mají vynikající vykreslení, pak dochází hlavně u zoom objektivu k poklesům zejména ostrosti a jejímu opětovnému nárůstu ve středových oblastech. Ostatní MTF(f) křivky, při větším zaclonění se projevují téměř konstantní kvalitou pro celé zorné pole a jen mírným poklesem na jeho krajích, což je právě pro objektiv využívaný pro krajinářský žánr žádané. Zajímavé je, že pevný objektiv i při malé cloně (f/1.7) vykazuje značný výkon, avšak jeho pokles je rychlejší než u vyšších clonových čísel. Na druhou stranu u případů, kdy byly objektivы hodně zacloněny je viditelný vliv difrakce, což se projevilo velmi značným snížením ostrosti až téměř k nulovým hodnotám.

V případě výsledků rozlišovací schopnosti (hledání mezní frekvence) jsme dostali podobné výsledky jak z testu Koren 2003, tak ze Siemensové hvězdy, což je žádané, protože by si měly odpovídat. Nutno však podotknout, že analýza zejména Siemensové hvězdy je již značně subjektivní a každý může její nerozlišenou středovou oblast vnímat

jinak. Zaznamenané Siemsenové hvězdy ve středových oblastech se jevíly značně symetrické, ale u krajů zorného pole docházelo u některých k mírnému zploštění. Některé výsledky rozlišovací schopnosti se liší v daném místě zorného pole pro tangenciální a sagitální směr. Nelze však přímo říct, že by se přímo jednalo o problém s astigmatismem objektivů, spíše by mohla být příčinou právě subjektivnost analýzy Siemsenové hvězdy či nedokonalost prokládání původních SFR křivek, viz obrázek 2.6.

Důležité je také zmínit, že existuje mnoho aspektů, které mohlo měření ovlivnit. V mém případě by mohlo hrát roli hlavně osvětlení tabule, případně nepatrný třes místa vlivem silné dopravy v blízkosti. I když byl pro focení zvolen zamračený den, aby se dosáhlo rozptýleného světla, byla v blízkosti budova, která mohla tabuli mírně stínit. Nutno říct, že tabule byla prvotně focena i ve vnitřních prostorách s umělým osvětlením, ale již mezivýsledky se projevovaly nižší kvalitou. Dále může měření ovlivnit i nepřesnost zaostření, a to zejména u objektivů, které nejsou vybaveny ostrícím kroužkem.

Závěr

Cílem této práce bylo rozdělení fotografických objektivů podle různých kritérií a testování výkonu dvou objektivů různé konstrukce vybraných pro daný fotografický žánr. V teoretické části byly popsány základní pojmy týkající se objektivů a jejich testování .

Experimentální část ukázala jak testovací sestavu uspořádat a vyhodnotit zkoumané parametry, což může usnadnit práci mnoha fotografům při realizaci vlastních měření a posuzování kvality vybraných objektivů, přičemž pro stanovení rozlišovací schopnosti byly ukázány dva postupy, jejichž výsledky můžeme mezi sebou porovnávat. Zjištěno bylo, že MCFa koeficienty u obou objektivů jsou velice podobné a dražší zoom objektivy mohou konkurovat levnějším pevným objektivům, což ukázaly také výsledné CTF(f) křivky, kdy se oba objektivy při optimálních clonách dokázali dostat přes vynikající hodnotu 0,9.

Přínos práce spočívá v jednoduchosti vyhodnocení vybraných objektivů, například při jeho koupi, kdy míváme určitou lhůtu na vrácení zboží, popřípadě nás může zajímat i jeho jiné chování a vlastnosti, které nebyly nikde prezentovány a pro které může být vlastní testování vhodné. Dosažené výsledky však nebudou enormně přesné, jako při profesionálním vyhodnocování předních světových firem a expertů, kteří mají nesrovnatelné podmínky a možnosti testování. Při správném dodržení jednotlivých kroků popsaných v experimentální však můžeme dosáhnout výsledků dostačujících pro většinu našich požadavků, jakožto bylo i v mém případě.

Další výzkum by se mohl zabírat detailnějším vyhodnocením, například zkoumáním výsledků při nasvícení testovací tabule světlem různých vlnových délek, či vytištění testů v různých barvách, nebo zkoumání do jaké míry ovlivňují kvalitu snímků filtry objektivů, které bývají nezdědka používány byť jen pro ochranu čoček. Další možností by mohla být spolupráce s programátory, kteří by mohli zjednodušit, vylepšit a zautomatizovat vyhodnocovací programy.

Literatura

- [1] VYŠÍN, I.; ŘÍHA, J. *Paprsková a vlnová optika*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2012, 123 s. ISBN 978-80-244-3334-9.
- [2] MALACARA, D. *Optical shop testing*. 2. edition, John Wiley&Sons, Inc., New York, 1992, ISBN 0-471-52232-5
- [3] BOREMAN, G.D. *Modulation Transfer Function in Optical and Electro-Optical Systems*. SPIE Press, Bellingham, WA, 2001, 120 s. ISBN 9780819441430.
- [4] ŘEHOŘ, Z. *Hodnocení optických přístrojů 4 (Přenosová funkce)*. Přístrojová a optická sekce České astronomické společnosti [online]. 2013 [cit. 12.5.2019]. Dostupné z: <http://posec.astro.cz/index.php/clanky/teorie/21-optbasic/23-zaklady-optickych-pristroju-4-prenosova-funkce>
- [5] BŘEZINA, P. *Ohnisková vzdálenost v 8 otázkách*. DIGIarena.cz [online]. 2013 [cit. 12.5.2019]. Dostupné z: <https://digiarena.e15.cz/ohniskova-vzdalenost-v-8-otazkach>
- [6] Bouška, L. *Crop faktor*. MEGAPIXEL s.r.o. [online]. 2009 [cit. 12.5.2019]. Dostupné z: <https://www.megapixel.cz/crop-faktor>
- [7] Příspěvatelé Wikipedie, *Clona*. Wikipedie: Otevřená encyklopedie [online]. 2018 [cit. 12.5.2019] Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Clona>
- [8] MACENAUER, A. *Co je světelnost objektivu?* FotoAparát.cz [online]. 2001 [cit. 12.5.2019]. Dostupné z: <https://www.fotoaparát.cz/clanek/44/co-je-svetelnost-objektivu-2149/>
- [9] Příspěvatelé Wikipedie, *Bokeh*. Wikipedie: Otevřená encyklopedie [online]. 2018 [citováno 12. 05. 2019], Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Bokeh>
- [10] Kinali. *Jak se měří kvalita optických systémů: funkce MTF*. Kinalisoft s.r.o. [online]. 2017 [cit. 12.5.2019]. Dostupné z: <http://www.prumysloveobjektivy.cz/pages/view/jak-se-meri-kvalita-optickych-systemu-funkce-mtf>
- [11] DOLEJŠÍ, T. *Vybíráme objektiv (8): jak číst a hodnotit MTF křivky*. Fotorádce.cz [online]. 2008 [cit. 12.5.2019]. Dostupné z: <https://www.fotoradce.cz/vybirame-objektiv-8-jak-cist-a-hodnotit-mtf-krivky>
- [12] KOREN, N. *Lens testing*. Norman Koren Photography [online]. 2005 [cit. 12.5.2019]. Dostupné z: <http://www.normankoren.com/Tutorials/MTF5.html>
- [13] Příspěvatelé Wikipedie, *Čočka (optika)*. Wikipedie: Otevřená encyklopedie [online]. 2019 [citováno 12. 05. 2019]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=%C4%8Co%C4%8Dka_\(optika\)&oldid=17045247](https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=%C4%8Co%C4%8Dka_(optika)&oldid=17045247)

- [14] LIBICH, J. *Jak vybrat ten správný objektiv. Podrobný průvodce vánočním trhem.* Technet.cz [online]. 2007 [cit. 12.5.2019]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/technet/audio-foto-video/jak-vybrat-ten-spravny-objektiv-podrobny-pruvodce-vanocnim-trhem.A071126_124011_tec_foto_jlb
- [15] Příspěvatelé Wikipedie, *Objektiv.* Wikipedie: Otevřená encyklopedie [online]. 2018 [citováno 12. 05. 2019]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Objektiv>
- [16] Příspěvatelé Wikipedie, *1951 USAF resolution test chart.* Wikipedie: Otevřená encyklopedie [online]. 2019 [citováno 12. 05. 2019]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/1951_USAF_resolution_test_chart
- [17] Alza. *File:clona.jpg.* Alza.cz a.s. [online]. [cit. 12.5.2019]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/slovník/clona-art4785.htm>
- [18] PIHAN, R. *Difrakce (Diffraction).* FotoRoman [online]. 2011 [cit. 12.5.2019]. Dostupné z: http://www.fotoroman.cz/glossary/2_difrakce.htm
- [19] ASHRAF, A. *File:bokeh-example.jpg.* Pixelcg Tips & Tricks [online]. [cit. 12.5.2019]. Dostupné z: <http://www.pixelcg.com/blog/?p=189>
- [20] MANSUROV, N. *File:Nikon-800mm-f5.6E-FL-ED-VR.jpg.* Photography Life [online]. [cit. 12.5.2019]. Dostupné z: <https://photographylife.com/reviews/nikon-800mm-f5-6e-vr>
- [21] Megapixel. *File:17261.jpg?v=1403621118.* MEGAPIXEL s.r.o. [online]. [cit. 12.5.2019]. Dostupné z: <https://www.megapixel.cz/canon-ts-e-17-mm-f-4-1>
- [22] Oehling. *File:0059006m.jpg.* Oehling CZ [online]. [cit. 12.5.2019]. Dostupné z: <https://www.oehling.cz/meike-8mm-f35-fisheye-cs-fuji-x>
- [23] Oehling. *File:0025943l.jpg.* Oehling CZ [online]. [cit. 12.5.2019]. Dostupné z: <https://www.oehling.cz/big-siemens-hvezda>

Přílohy

Seznam příloh

- P1 Kód pro program Matlab na vyhodnocení prostorové frekvenční odezvy
- P2 Prostorové frekvenční odezvy pro pevný objektiv zaostřený na kontrast a ostrost
- P3 Prostorové frekvenční odezvy pro pevný objektiv zaostřený na maximální rozlišení
- P4 Prostorové frekvenční odezvy pro zoom objektiv

P1 Kód pro program Matlab na vyhodnocení prostorové frekvenční odezvy

```
function sfrcalc(varargin)
% Calculate SFR or MTF from an Excel-formatted text data file from
  ImageJ.
% The frequency scale is assumed to be logarithmic.
% Command line input data [default]:
% filename. minimum frequency (lp/mm) [2], maximum frequency (lp/mm)
  [200],
% Picture Height [24 mm]; optional
% Example: sfrcalc inputfile.tif 2 80 15.1
%           EOS-10D 70-200 f/4 @ 70 mm, f/8

inpfile = varargin{1}; % data file from ImageJ (convert from cell.)
fileprt = strrep(inpfile, '_', '\_'); % To print correctly in plots.
minlp = 2; maxlp = 200; picht = 24; % Defaults for min,
                                     max lp/mm and picture height.

if (nargin>=3)
    minlp = str2num(varargin{2}); maxlp = str2num(varargin{3});
                                     % Scale lp/mm min, max.
end

if (nargin>=4)
    picht = str2num(varargin{4}); % Picture height mm.
end

descr = input('Enter system description: ','s');
[fid,MESSAGE] = fopen(inpfile, 'rt'); % open data file for read
if (fid<0) error(MESSAGE); end
[arrinp,l_ar] = fscanf(fid, '%f %f');
fclose(fid); close all;
% Data in the first column is unreliable-- limited precision.
  Throw it out.
arr2 = arrinp(2:2:l_ar); l_ar = length(arr2);
dif1 = diff(arr2);
fprintf('%d data points read in\n',l_ar);
```

Příloha 1: První část volně dostupného kódu pro analýzu testu Koren 2003 (viz obrázek 2.5) napsaný pro program Matlab [12]. Program také dostupný na přiloženém DVD.

```

cmap = zeros(256,3); % Color map: gray scale. Apparently gamma
    corrected.
gamma = 1; cmap(1:256,1) = ([0:255]'/255).^(1/gamma);
cmap(1:256,2) = cmap(1:256,1); cmap(1:256,3) = cmap(1:256,1);
yim = ones(25,1)*arr2'; % Input image for check.
yim(1,1:l_ar) = 0; yim(1:25,1) = 0; yim(1:25,l_ar) = 0;
                                % Black line on top, sides.
%         Detect peaks.
d1 = (dif1>0); % 1 or 0.
d1 = (d1(2:l_ar-1) ~= d1(1:l_ar-2)); % 1 at peaks; 0 elsewhere.
% d2 = d1.*(abs(arrflt(1:l_ar-1))>thresh*maxflt); % Detection
    threshold
% peak_loc = find(d2==1); % integer peak locations.
peak_loc = find(d1==1)+1; % integer peak locations.
n_peaks = length(peak_loc); % number of detected peaks.
fprintf('%d detected peaks\n',n_peaks);
peak_ampl = arr2(peak_loc); % End peak detection.

if (nargin<3)
    figure; plot(peak_loc, peak_ampl); grid on; zoom on;
    title(descr); axis tight;
    p1 = get(gcf,'Position'); p1(4) = p1(4)-60; p1(3) = p1(3)-80;
    set(gcf,'Position',p1);
    fprintf('Scale values not entered. End program.\n');
else
    summ = peak_ampl(1:n_peaks-1)+peak_ampl(2:n_peaks);
    resp1 = abs(diff(peak_ampl))./summ; resp1 = resp1/max(resp1);
    % Use equations from www.normankoren.com/Tutorials/MTF5.html
    lpratio = maxlp/minlp;
    xax1 = (0:l_ar-1)/(l_ar-1); % Input data x-axis.
    lpmm1 = minlp*lpratio.^xax1;
    figure; p1 = get(gcf,'Position'); p1(4) = p1(4)-60;
    p1(3) = p1(3)-80; plot(lpmm1,arr2); grid on; zoom on;
    title(descr);
    set(gcf,'Position',p1);
    xlabel('Line pairs per millimeter (lp/mm)'); ylabel('Input data');
    xax2 = peak_loc(2:n_peaks)/(l_ar-1); % X-axis for MTF;
    lpmm2 = minlp*lpratio.^xax2;

    figure; p1 = get(gcf,'Position'); % Composite figure.
    p1(2) = p1(2)-120; p1(4) = p1(4)+80; p1(3) = p1(3)-140;
    set(gcf,'Position',p1);
    % p2 = get(gcf,'PaperPosition');
    % p2(2) = p2(2)-1; p2(4) = p2(4)+2; set(gcf,'PaperPosition',p2);
    subplot('Position',[.11 .92 .85 .03]);
    image(yim); colormap(cmap); axis off; title(descr);
    subplot('Position',[.11 .63 .85 .29]);
    plot(arr2); grid on; zoom on; axis tight;

```

Příloha 2: Druhá část volně dostupného kódu pro analýzu testu Koren 2003 (viz obrázek 2.5) napsaný pro program Matlab[12].

```

xlabel(['Log scale from ' num2str(minlp) ' to ' num2str(maxlp)
      ' lp/mm']);

ylabel('Input data'); grid on; zoom on;
ax1 = axis; a1 = ax1(2)-ax1(1); a2 = ax1(4)-ax1(3);
text(ax1(1)+.4*a1,ax1(3)+.07*a2,fileprt);
subplot('Position',[.11 .08 .85 .46]); % subplot(2,1,2);
plot(lpmm2,resp1); grid on; zoom on;
xlabel('Line pairs per millimeter (lp/mm)');
ylabel('Spatial frequency response');
ax1 = axis; a1 = ax1(2)-ax1(1); a2 = ax1(4)-ax1(3);
if (margin>=4) % Do plot in Line widths/Picture height = LW/PH.
text(ax1(1)+.35*a1,ax1(3)+.92*a2,
['To obtain Line widths per picture height']);
text(ax1(1)+.35*a1,ax1(3)+.84*a2,
['(lw/ph), where ph = ' num2str(picht) ' mm,']);
text(ax1(1)+.35*a1,ax1(3)+.76*a2,
['multiply by ' num2str(2*picht)]);
figure; set(gcf,'Position',p1); % New plot of LW/PH.
subplot('Position',[.11 .92 .85 .03]);
image(yim); colormap(cmap); axis off; title(descr);
subplot('Position',[.11 .63 .85 .29]);
plot(arr2); grid on; zoom on; axis tight;
xlabel(['Log scale from ' num2str(minlp) ' to ' num2str(maxlp)
      ' lp/mm']);

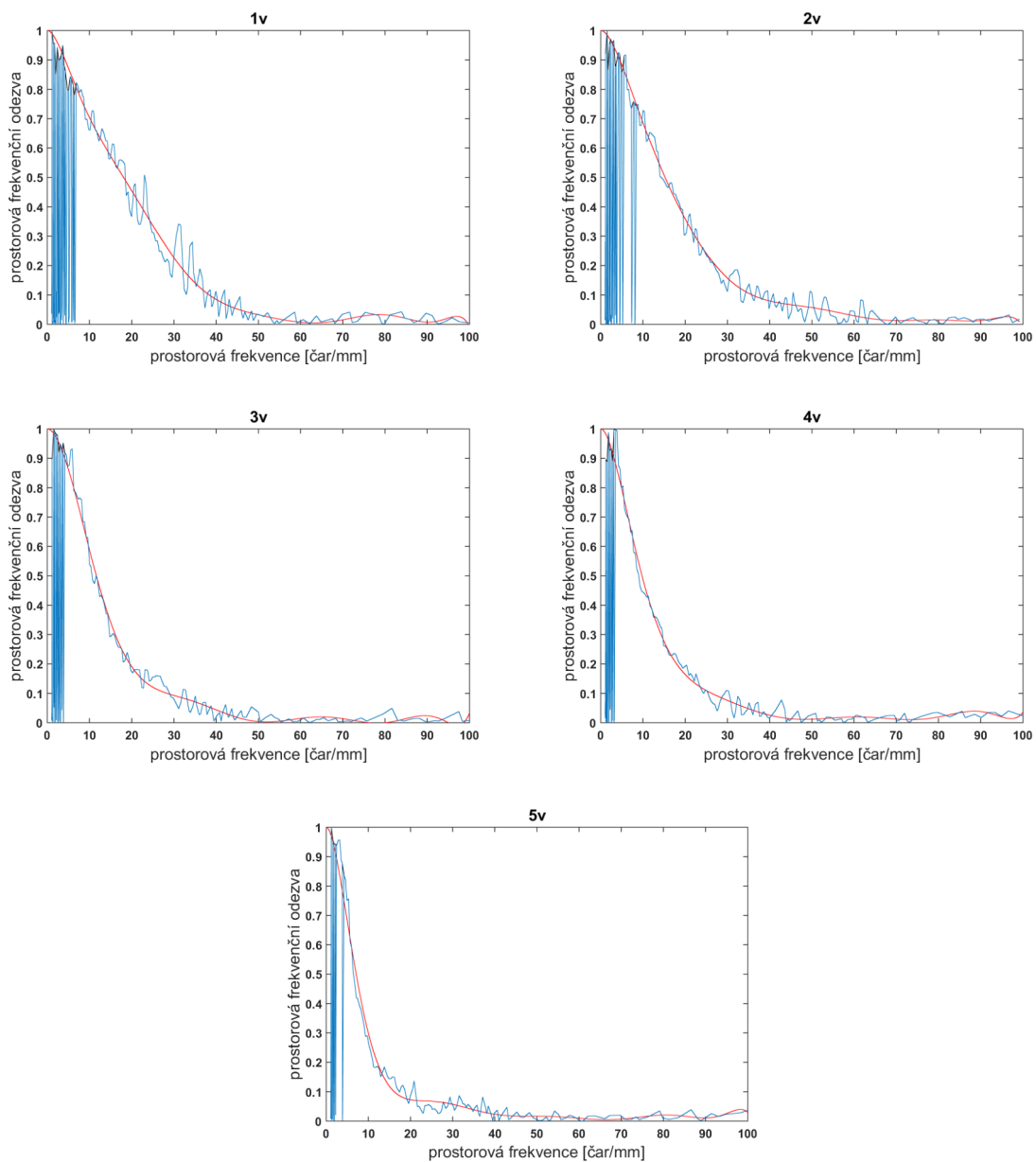
ylabel('Input data'); grid on; zoom on;
ax1 = axis; a1 = ax1(2)-ax1(1); a2 = ax1(4)-ax1(3);
text(ax1(1)+.4*a1,ax1(3)+.07*a2,fileprt);
subplot('Position',[.11 .08 .85 .46]); % subplot(2,1,2);
plot(lpmm2*2*picht,resp1); grid on; zoom on;
xlabel(['Line widths per picture height (lw/ph)
      for ph = ' num2str(picht) ' mm']);
ylabel('Spatial frequency response');
ax1 = axis; a1 = ax1(2)-ax1(1); a2 = ax1(4)-ax1(3);
text(ax1(1)+.42*a1,ax1(3)+.85*a2,['To obtain lp/mm, divide by
      ' num2str(2*picht)]);

end
end

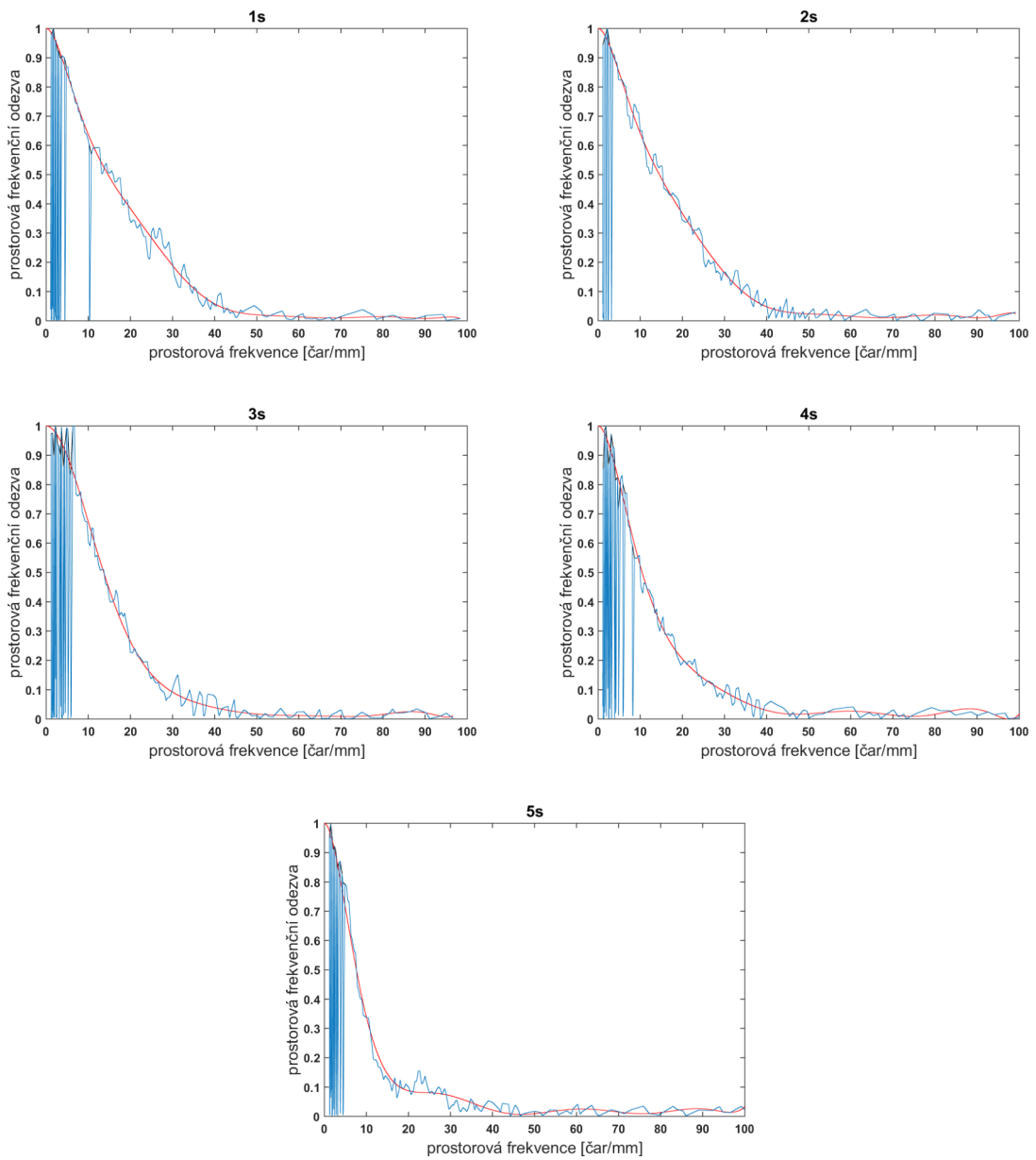
```

Příloha 3: Třetí část volně dostupného kódu pro analýzu testu Koren 2003 (viz obrázek 2.5) napsaný pro program Matlab[12].

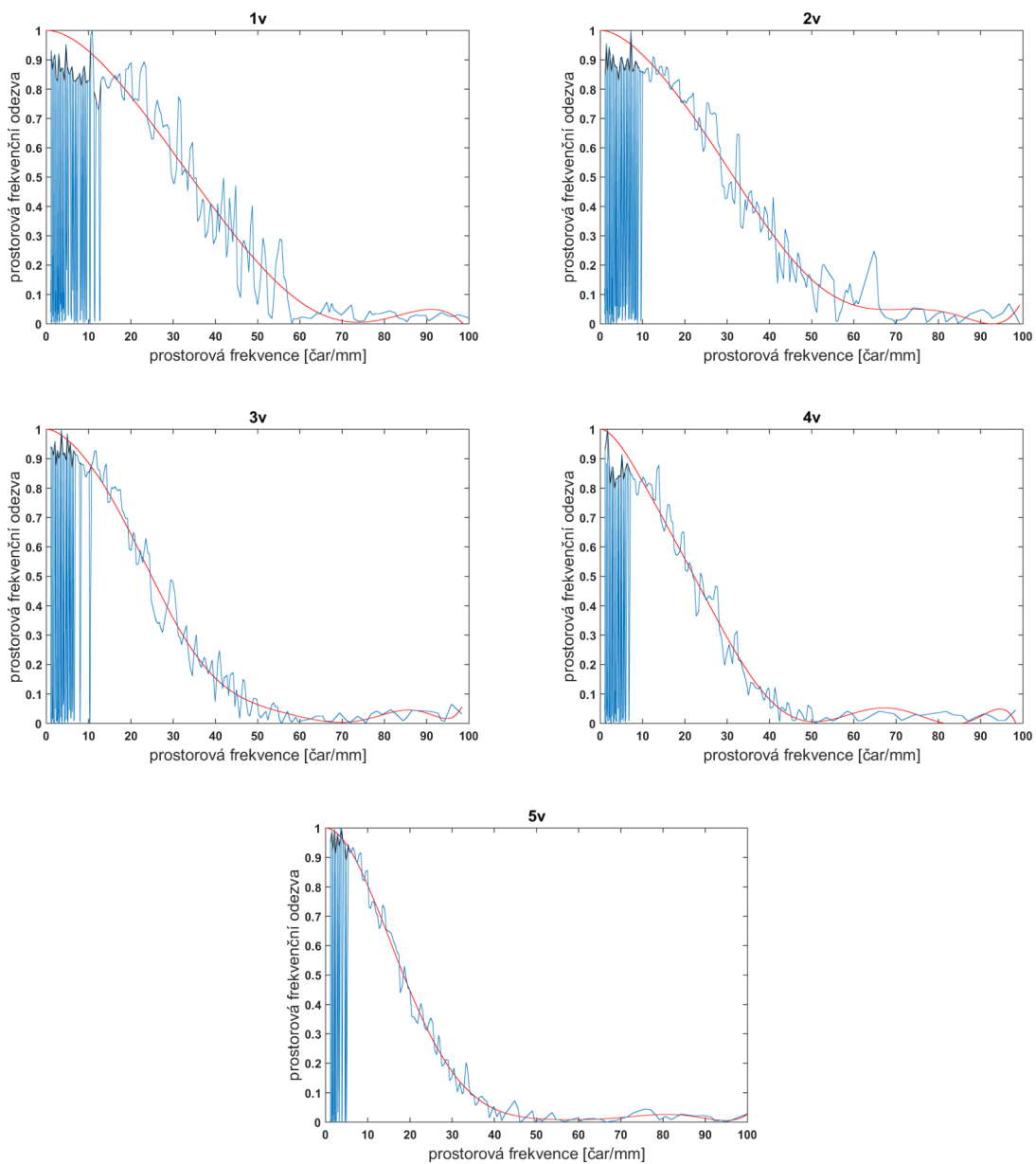
P2 Prostorové frekvenční odezvy pro pevný objektiv zaostřený na kontrast a ostrost



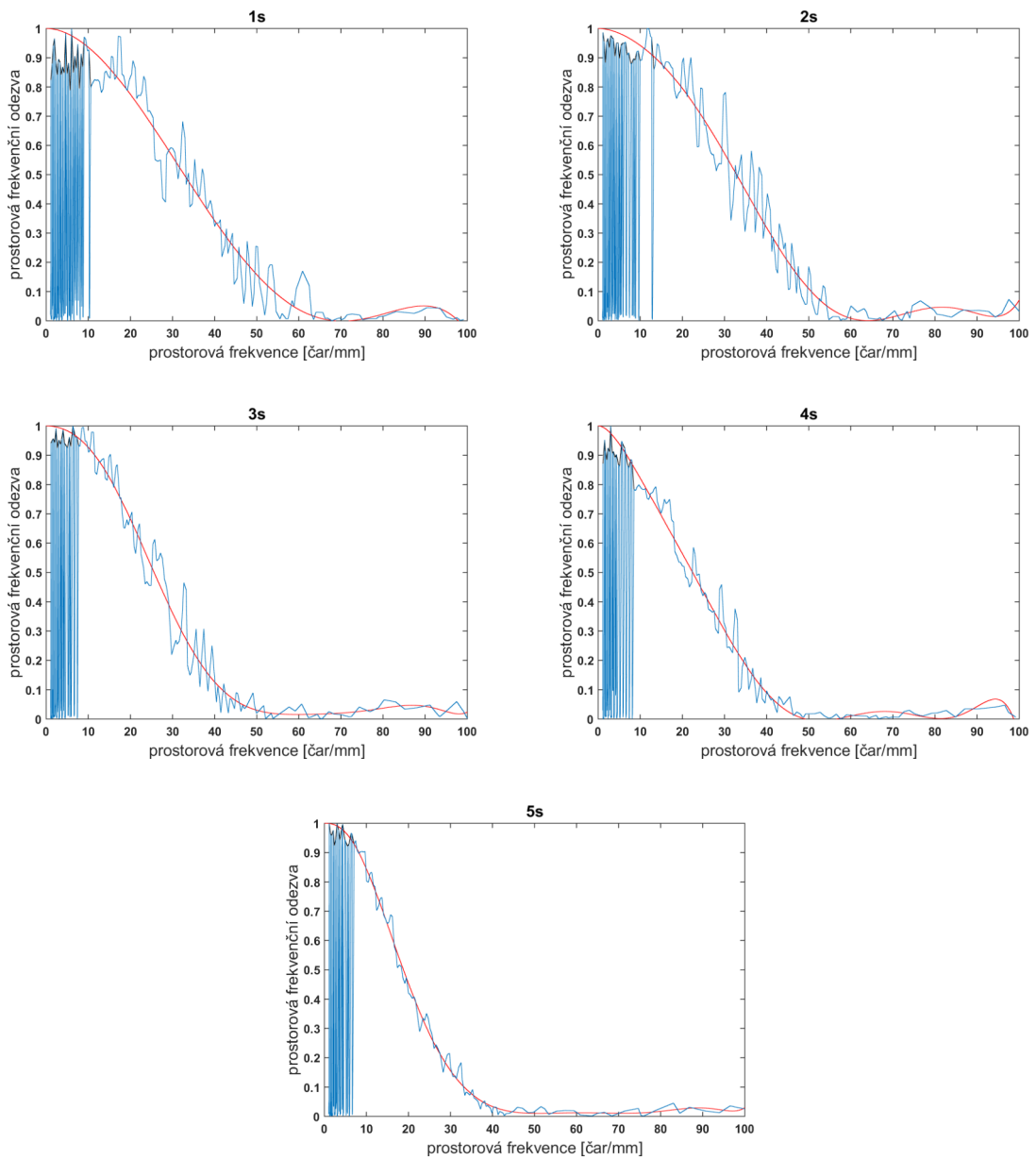
Příloha 4: Prostorové frekvenční odezvy z dílčích vodorovných testů při zaostření na kontrast a ostrost při cloně $f/1.7$ zaznamenaný na pevný objektiv. Čísla 1 až 5 odpovídají poloze testu v zorném poli (1-střed, 5-kraj) a písmena značí směr testu (v-vodorovný, s-svislý), čehož bude používáno i u dalších grafů.



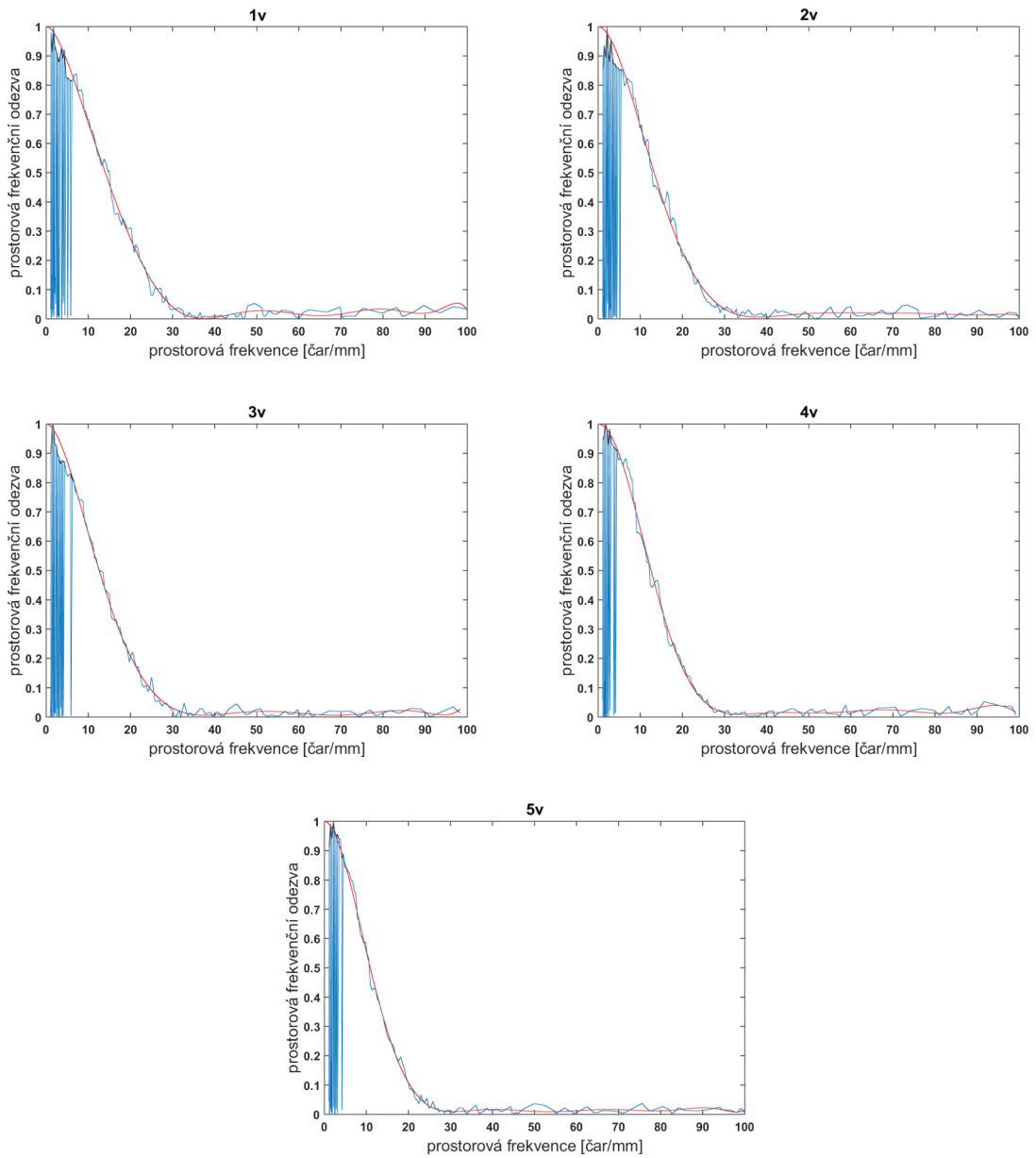
Příloha 5: Prostorové frekvенční odezvy z dílčích svislých testů při zaostření na kontrast a ostrost při cloně $f/1.7$ zaznamenaný na pevný objektiv.



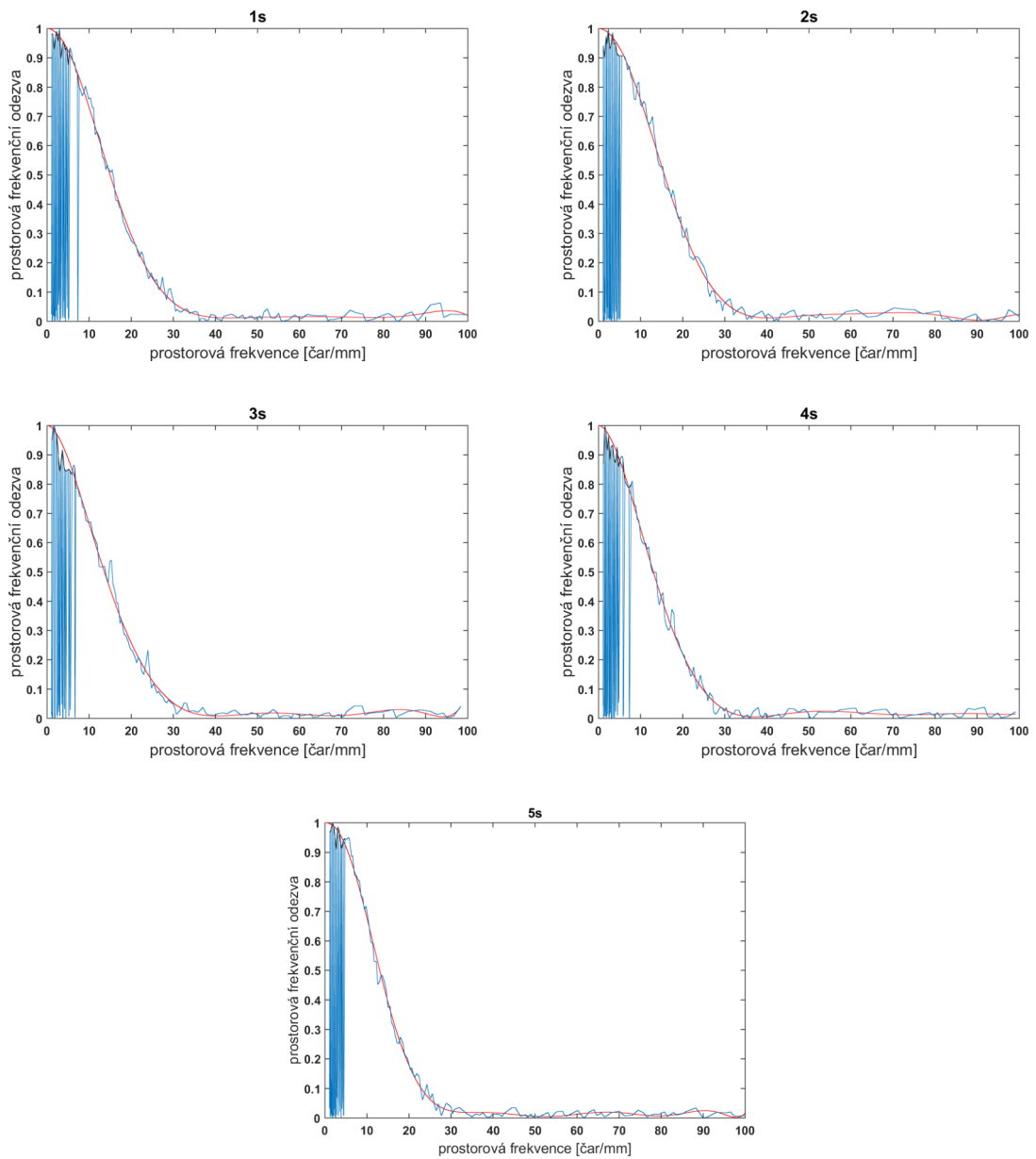
Příloha 6: Prostorové frekvенční odezvy z dílčích vodorovných testů při zaostření na kontrast a ostrost při cloně $f/8$ zaznamenaný na pevný objektiv.



Příloha 7: Prostorové frekvенční odezvy z dílčích svislých testů při zaostření na kontrast a ostrost při cloně $f/8$ zaznamenaný na pevný objektiv.

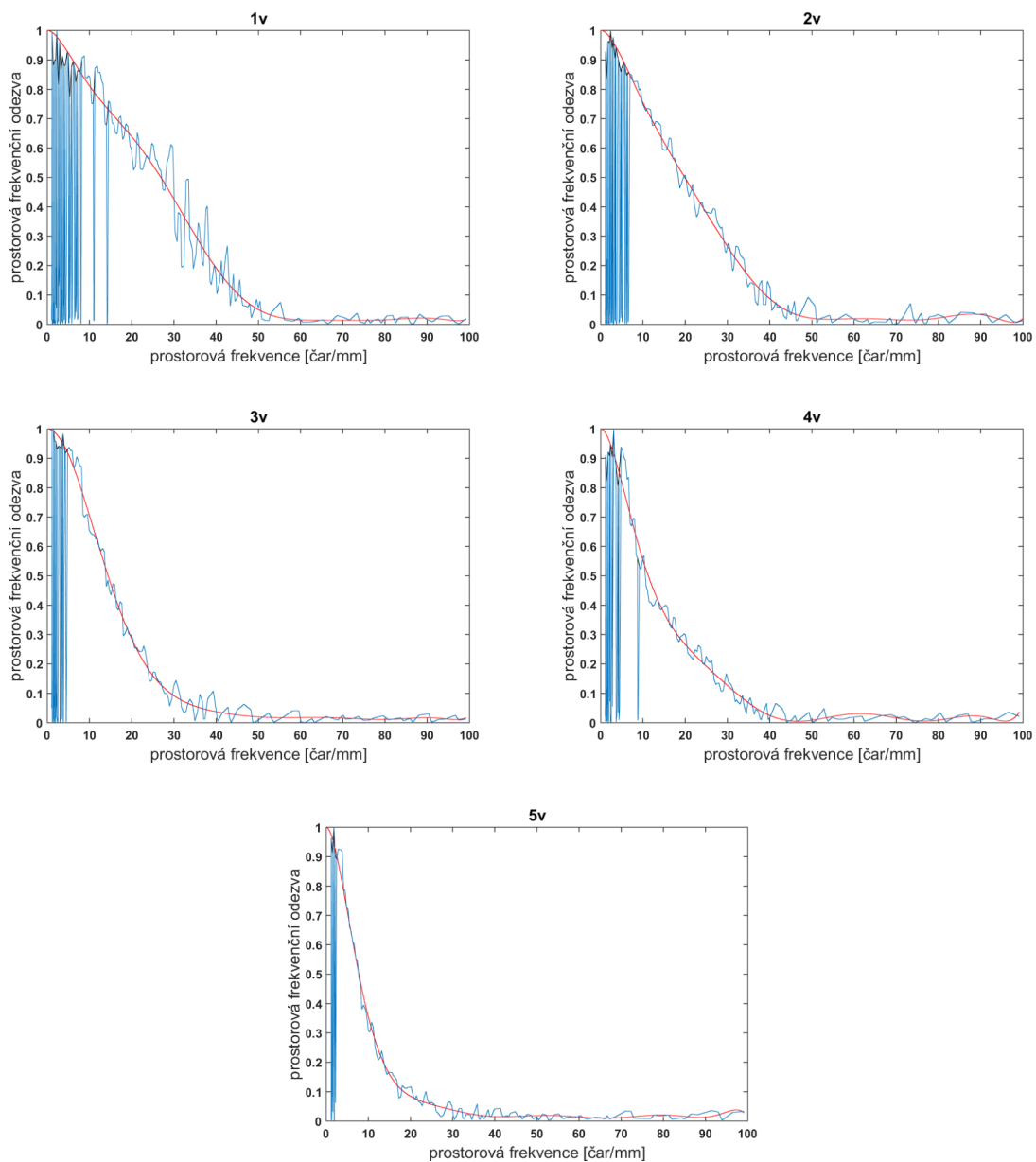


Příloha 8: Prostorové frekvенční odezvy z dílčích vodorovných testů při zaostření na kontrast a ostrost při cloně $f/22$ zaznamenané na pevný objektiv.

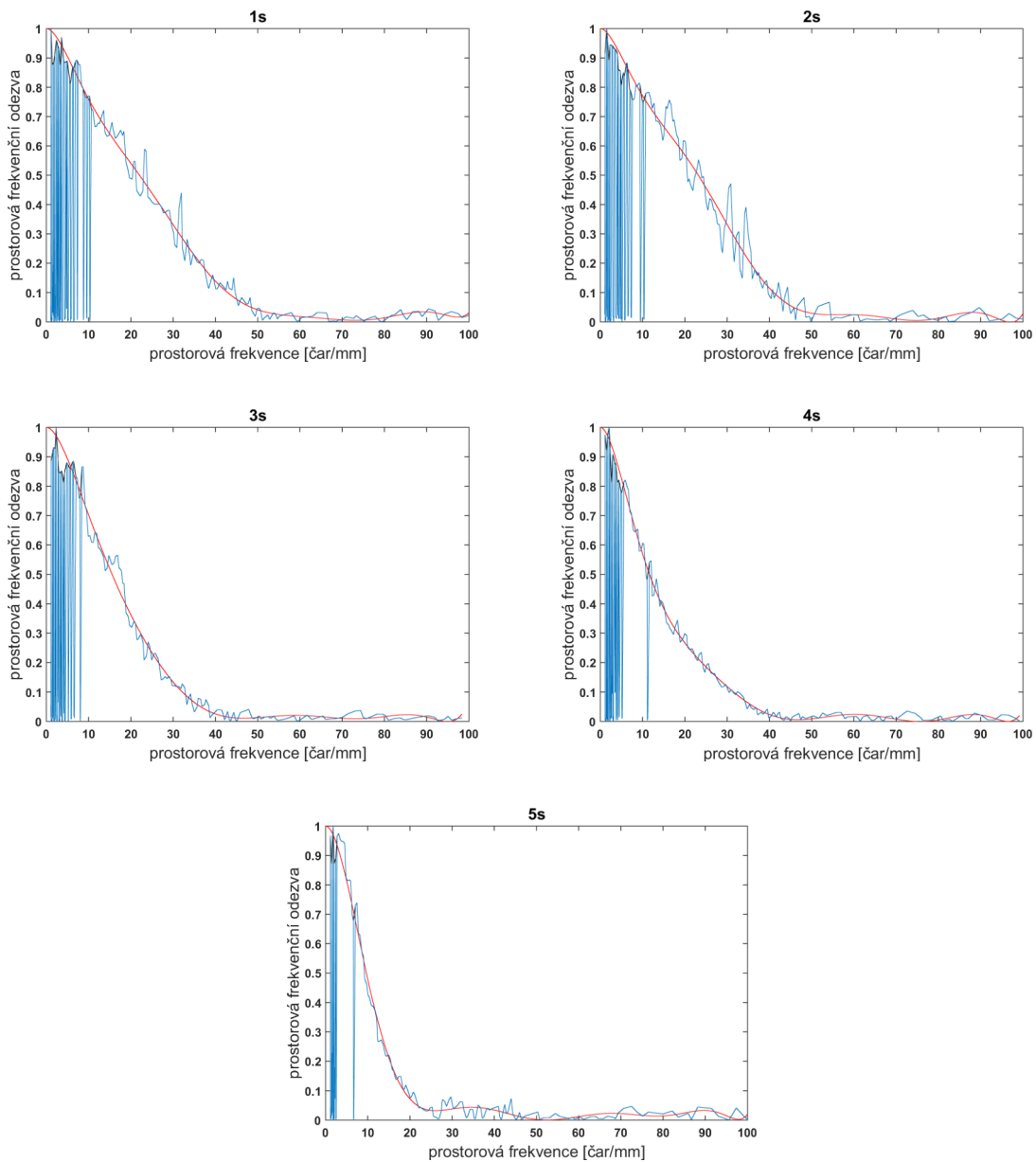


Příloha 9: Prostorové frekvenční odezvy z dílčích svislých testů při zaostření na kontrast a ostrost při cloně $f/22$ zaznamenaný na pevný objektiv.

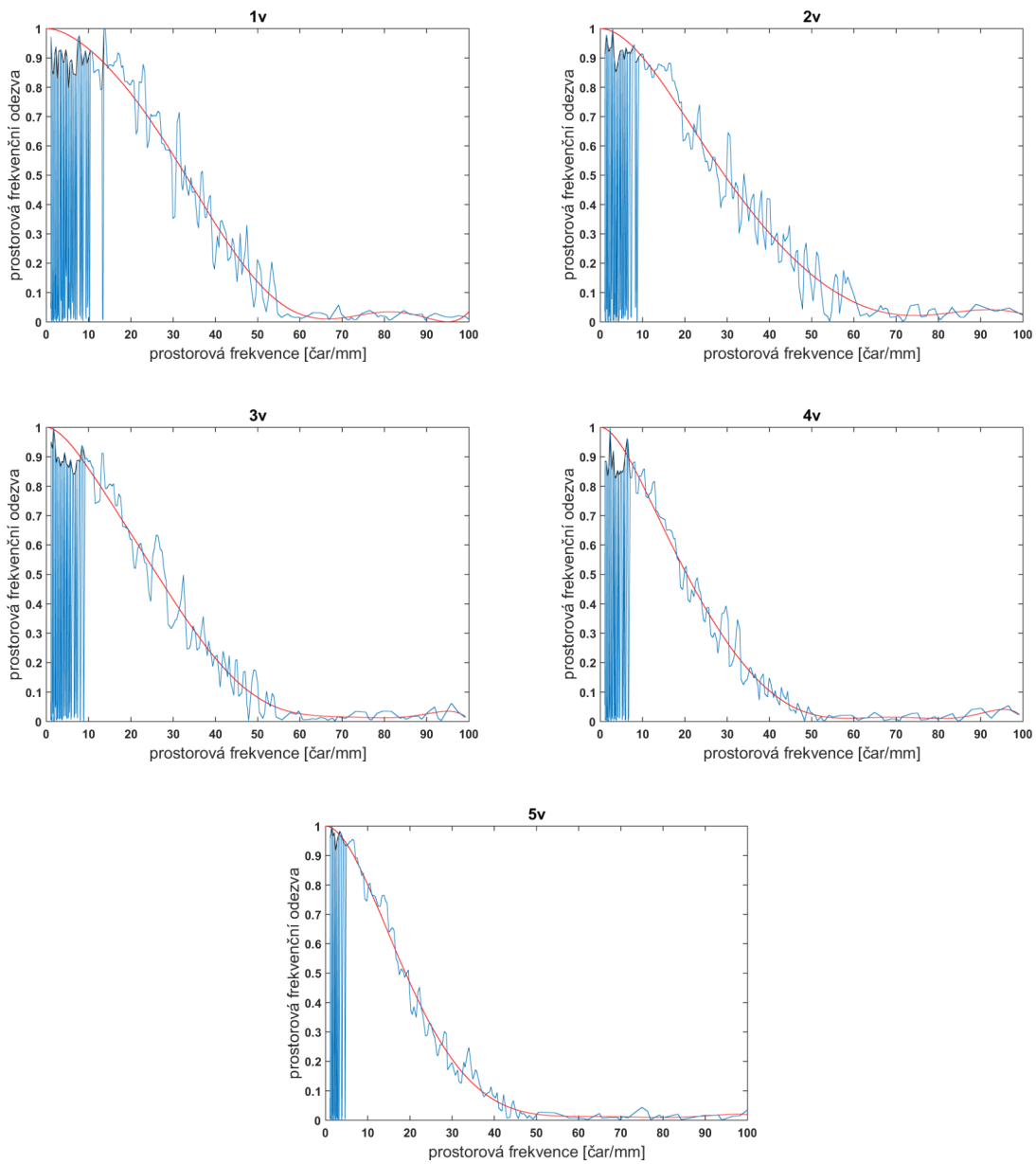
P3 Prostorové frekvenční odezvy pro pevný objektiv zaostřený na maximální rozlišení



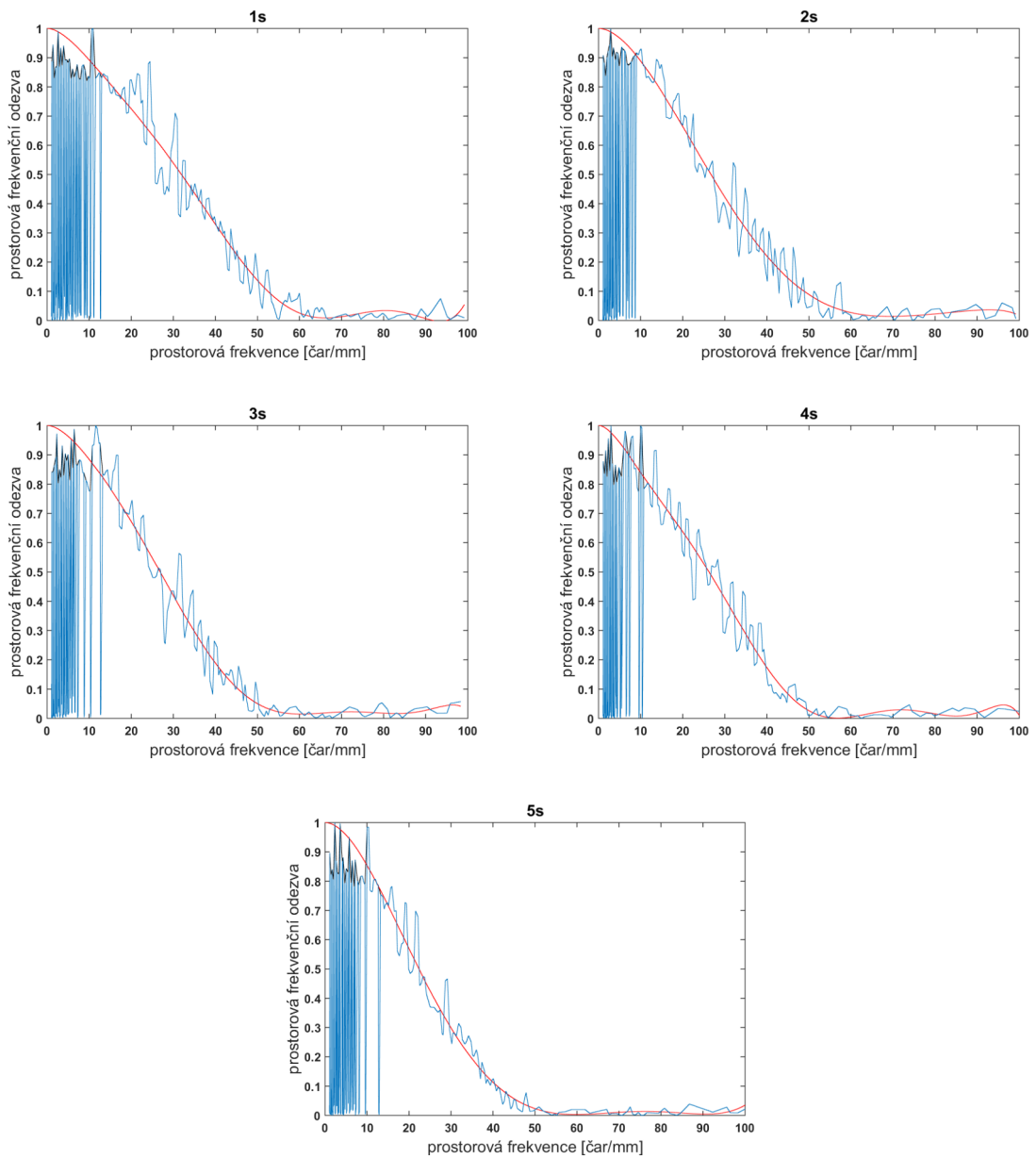
Příloha 10: Prostorové frekvenční odezvy z dílčích vodorovných testů při zaostření na maximální rozlišení při cloně $f/1.7$ zaznamenaný na pevný objektiv.



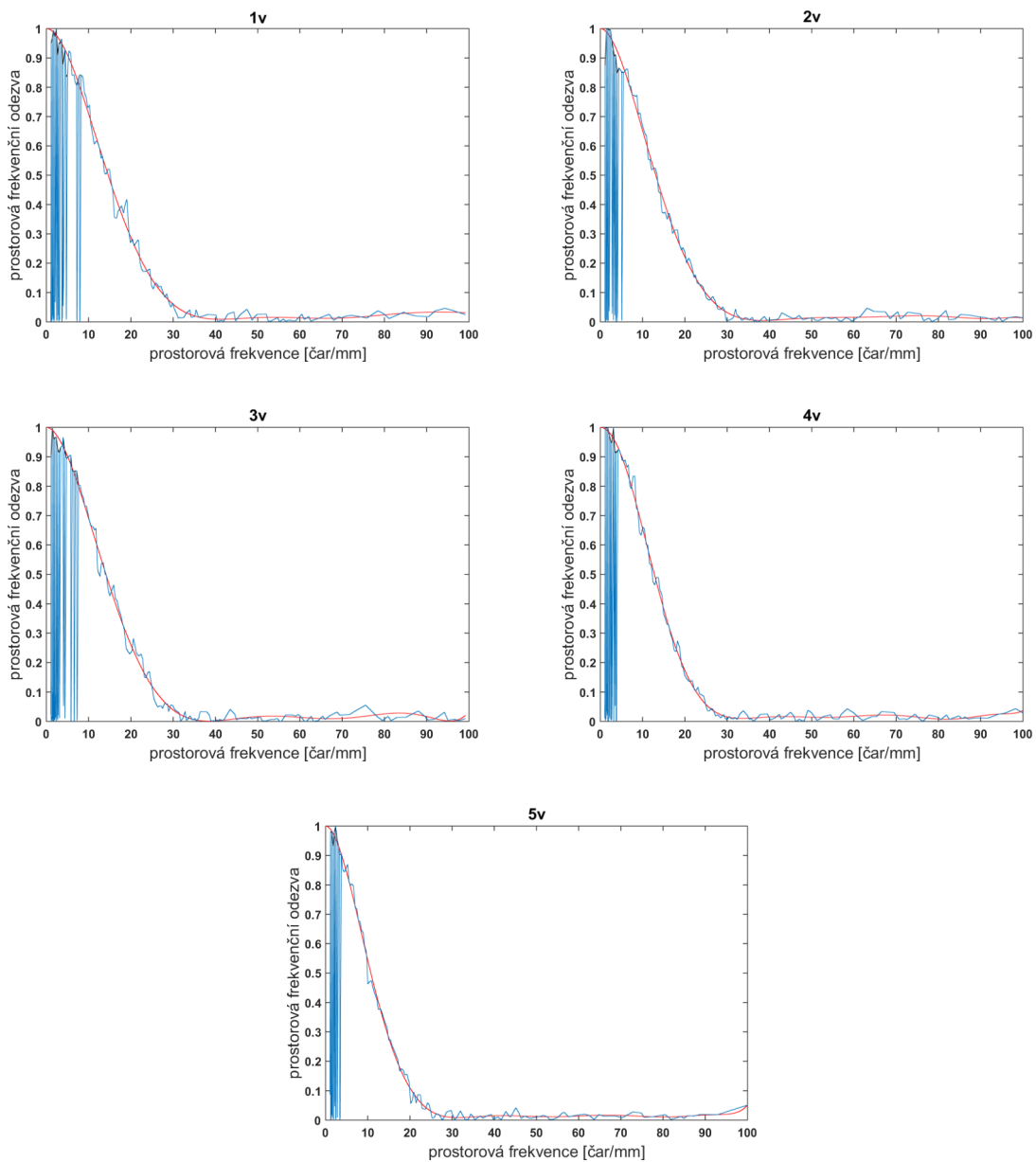
Příloha 11: Prostorové frekvenci odezvy z dílčích svislých testů při zaostření na maximální rozlišení při cloně $f/1.7$ zaznamenané na pevný objektiv.



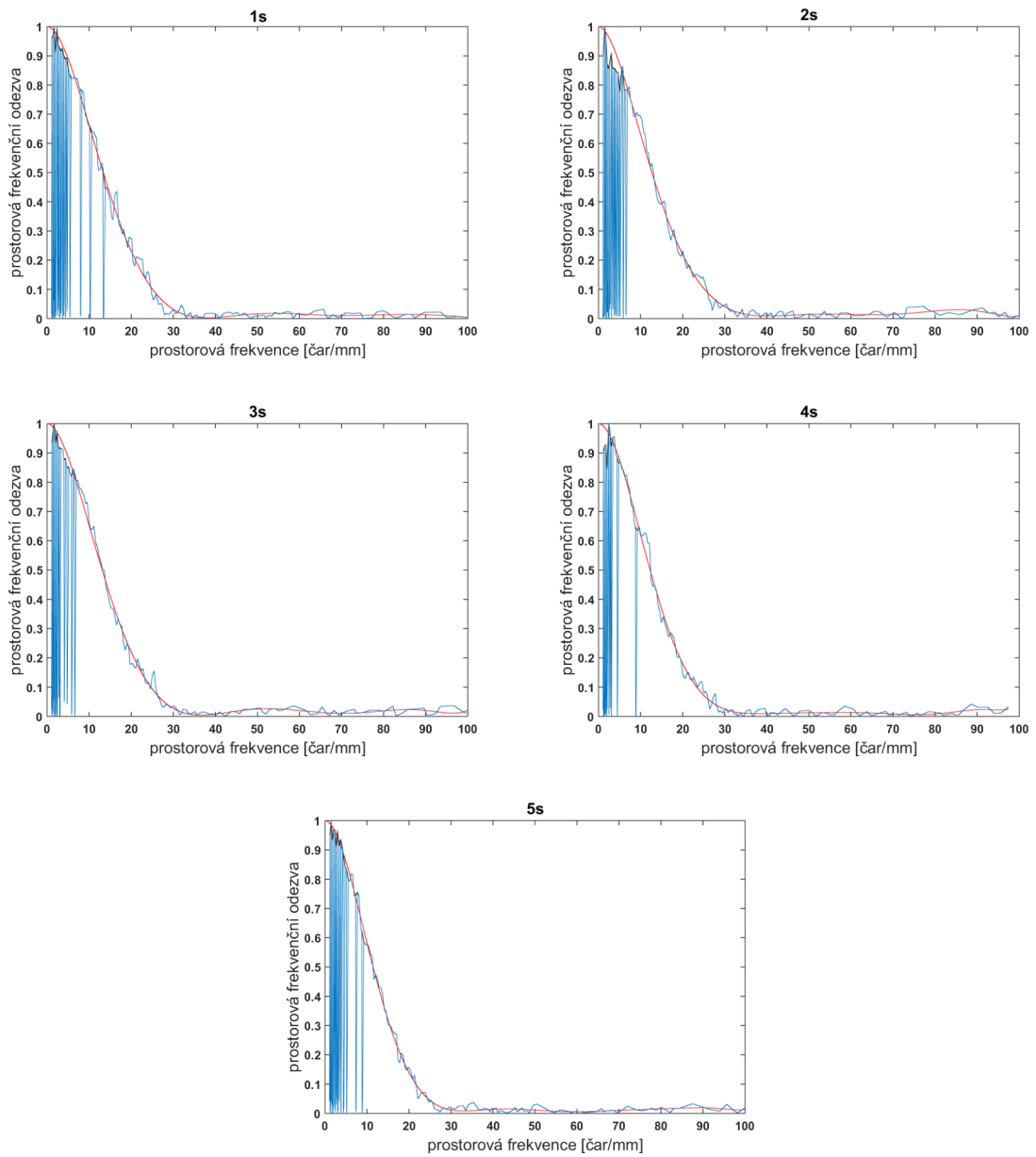
Příloha 12: Prostorové frekvenci odezvy z dílčích vodorovných testů při zaostření na maximální rozlišení při cloně $f/8$ zaznamenaný na pevný objektiv.



Příloha 13: Prostorové frekvence odezvy z dílků svislých testů při zaostření na maximální rozlišení při cloně $f/8$ zaznamenané na pevný objektív.

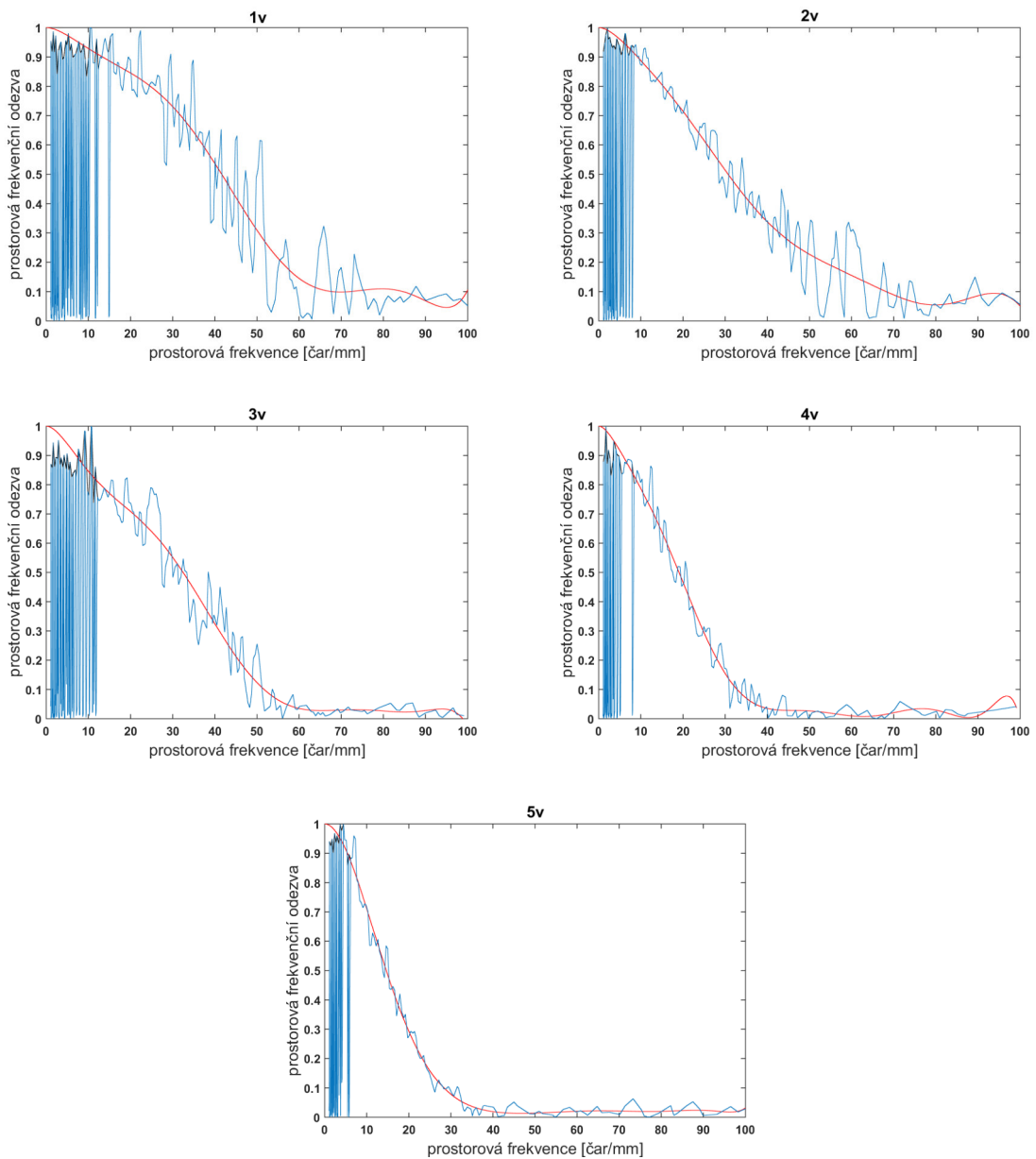


Příloha 14: Prostorové frekvенční odezvy z dílčích vodorovných testů při zaostření na maximální rozlišení při cloně $f/22$ zaznamenaný na pevný objektiv.

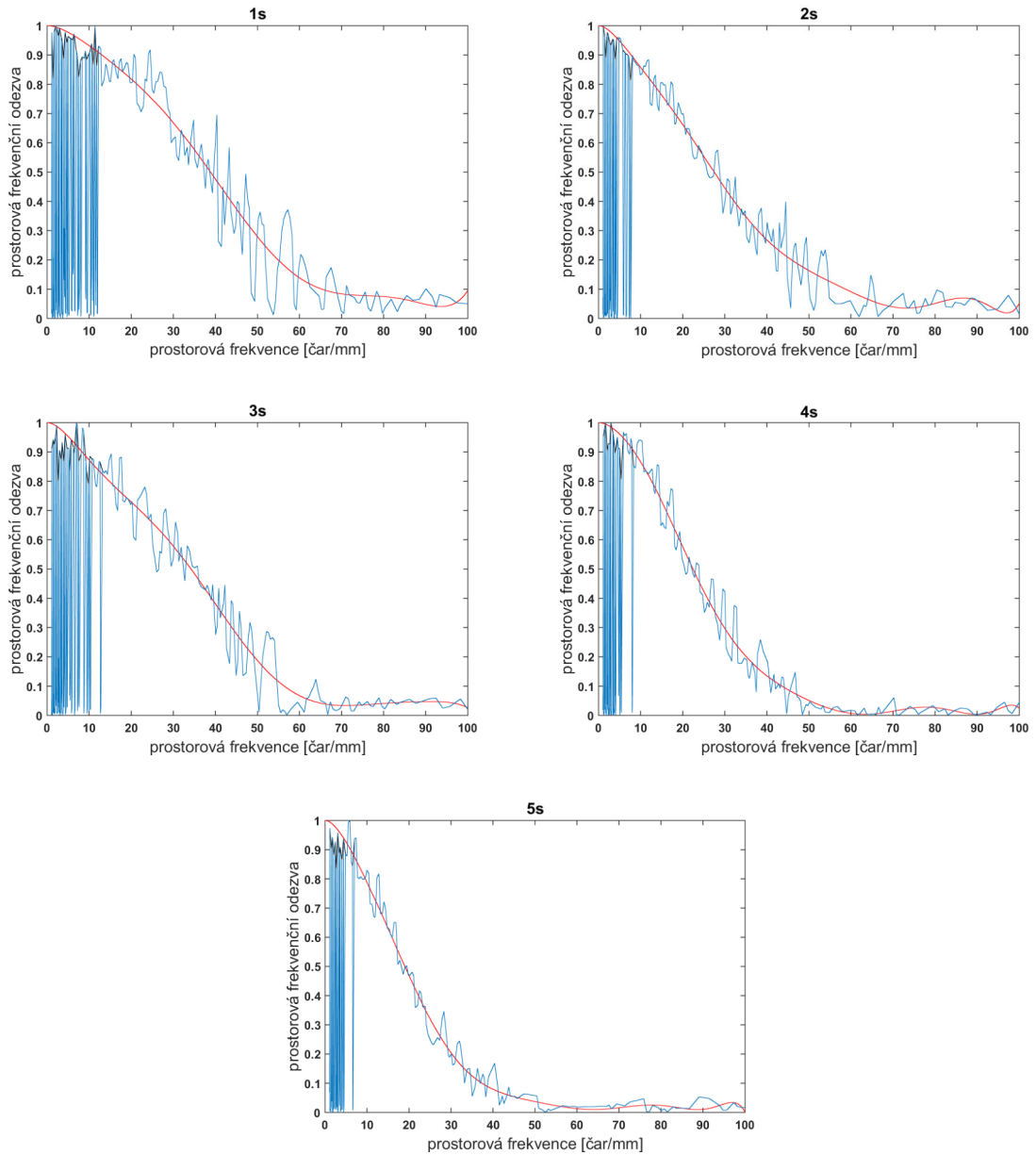


Příloha 15: Prostorové frekvence odezvy z dílčích svislých testů při zaostření na maximální rozlišení při cloně $f/22$ zaznamenaný na pevný objektiv.

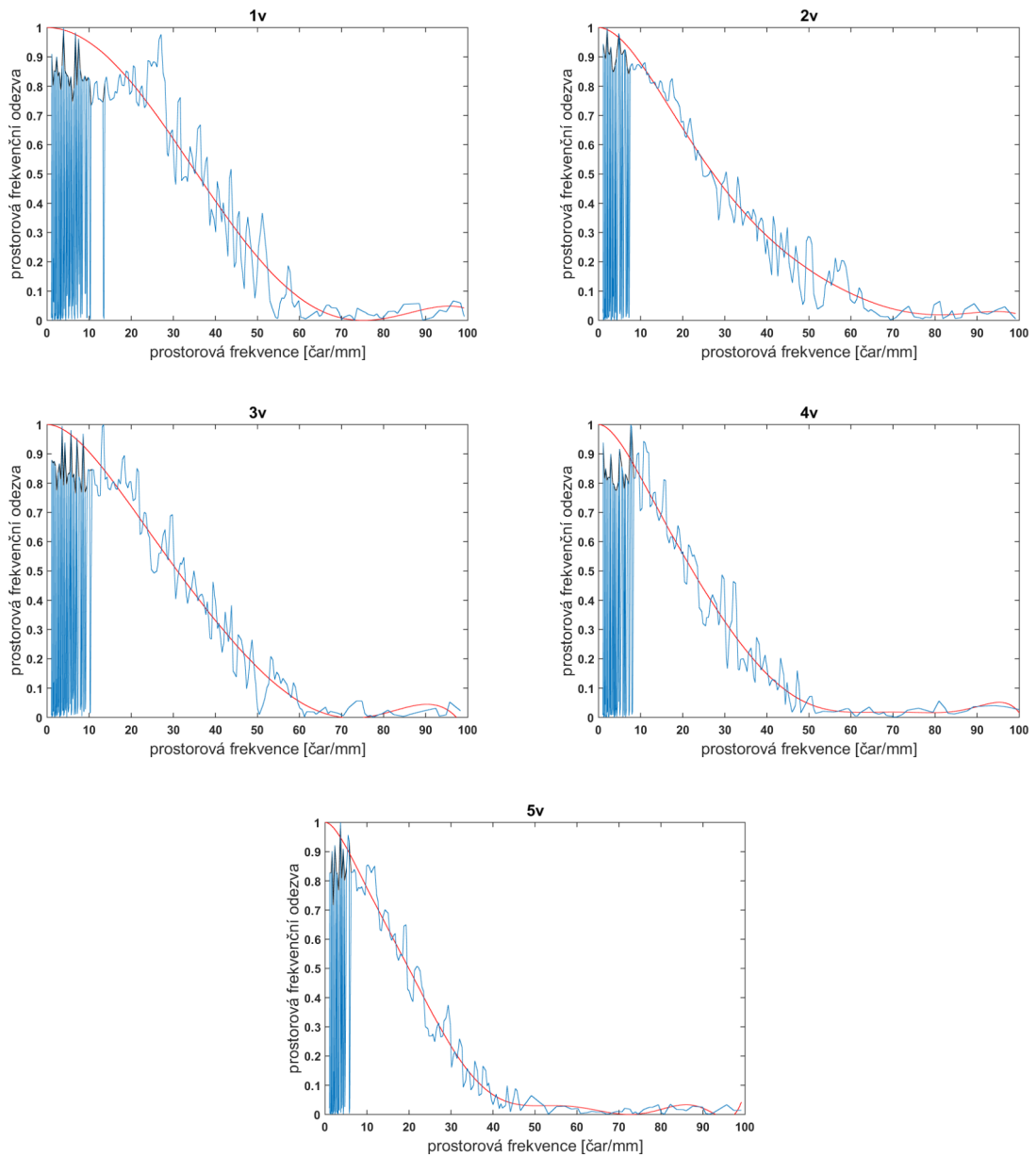
P4 Prostorové frekvenční odezvy pro zoom objektiv



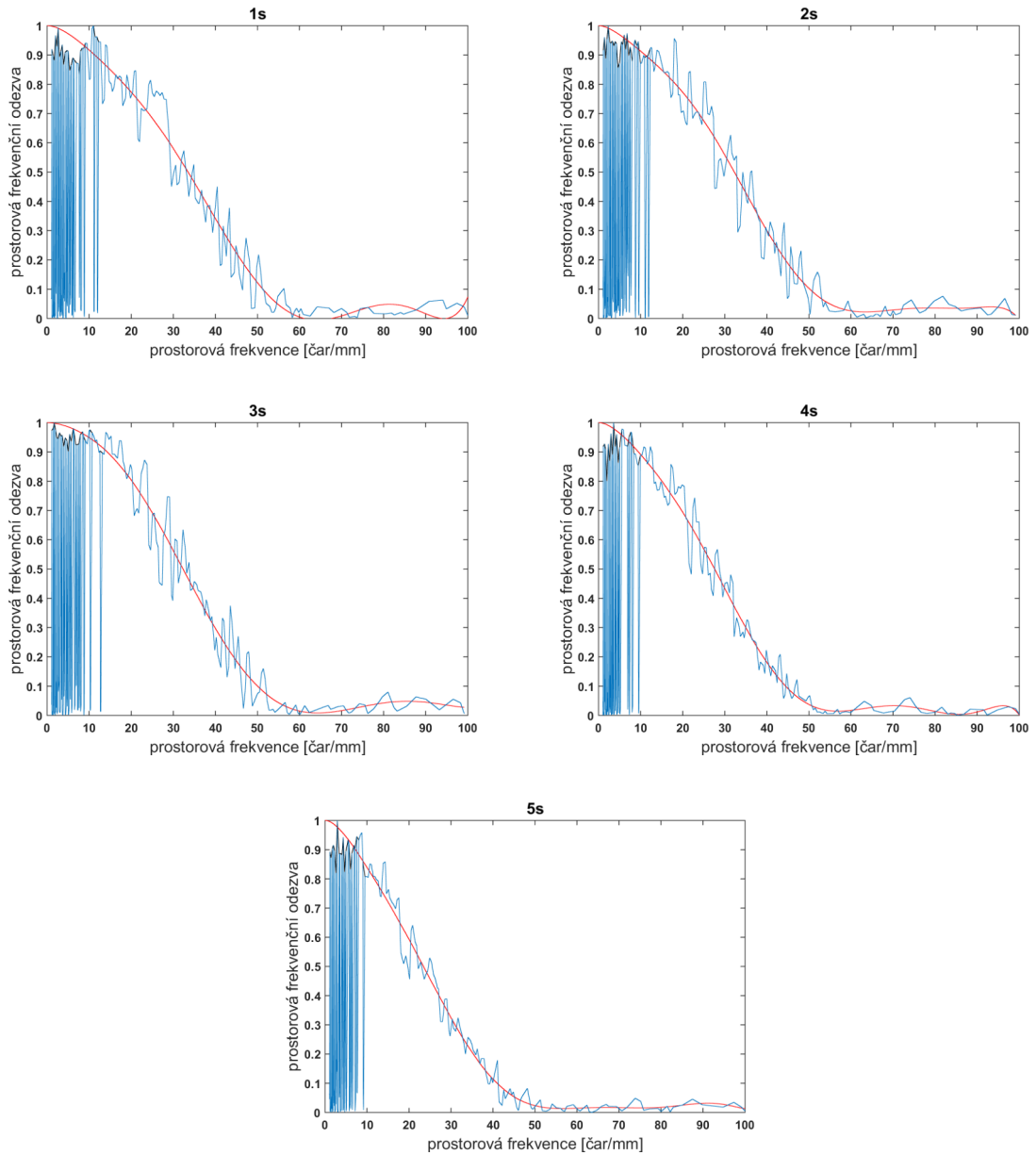
Příloha 16: Prostorové frekvenční odezvy z dílčích vodorovných testů při cloně $f/5.1$ zaznamenaný na zoom objektiv. Nastavení zaostření se ukázalo shodné jak pro zaostření na kontrast a ostrost, tak pro maximální rozlišení.



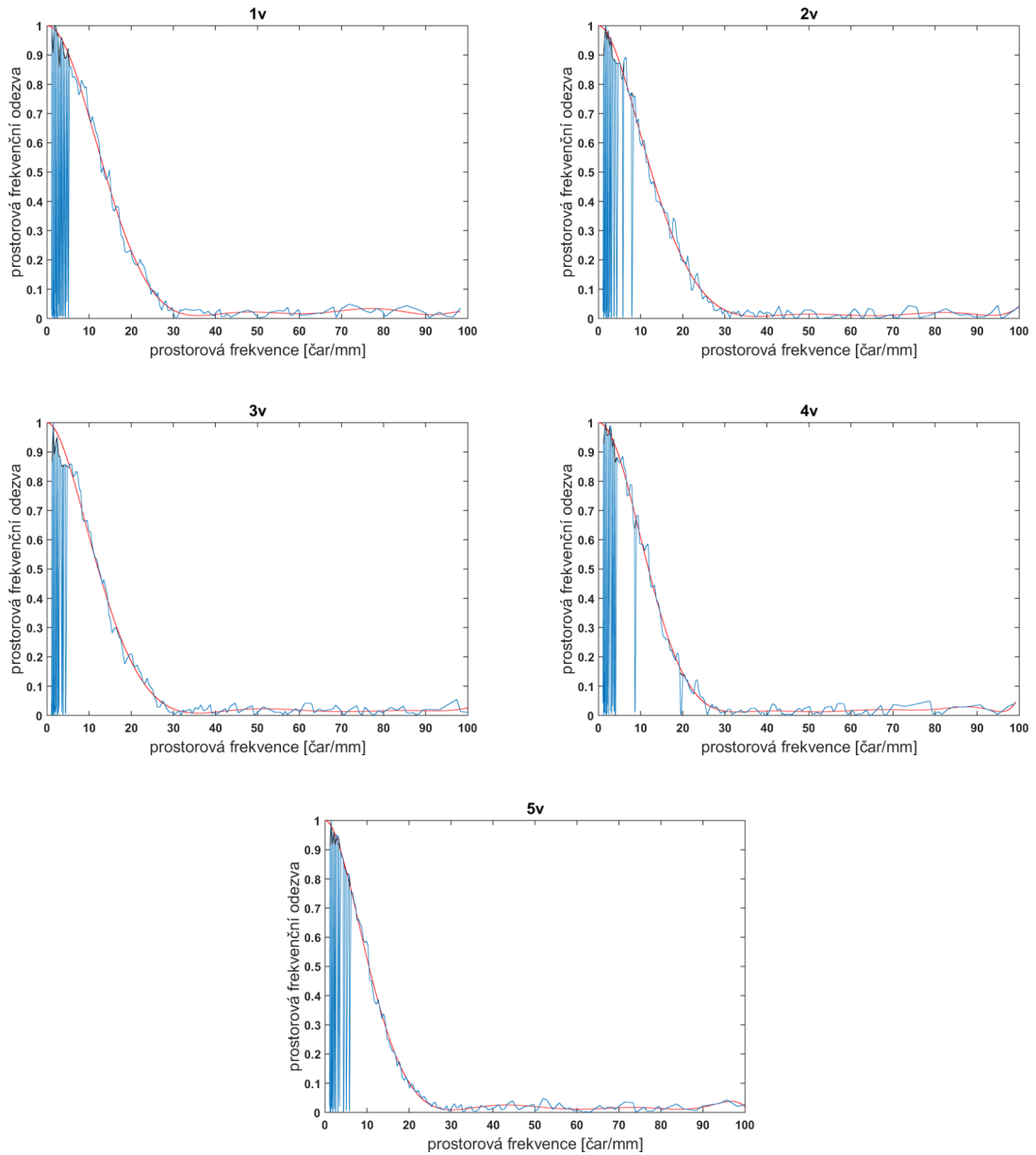
Příloha 17: Prostorové frekvenční odezvy z dílčích svislých testů při cloně $f/5.1$ zaznamenané na zoom objektiv. Nastavení zaostření se ukázalo shodné jak pro zaostření na kontrast a ostrost, tak pro maximální rozlišení.



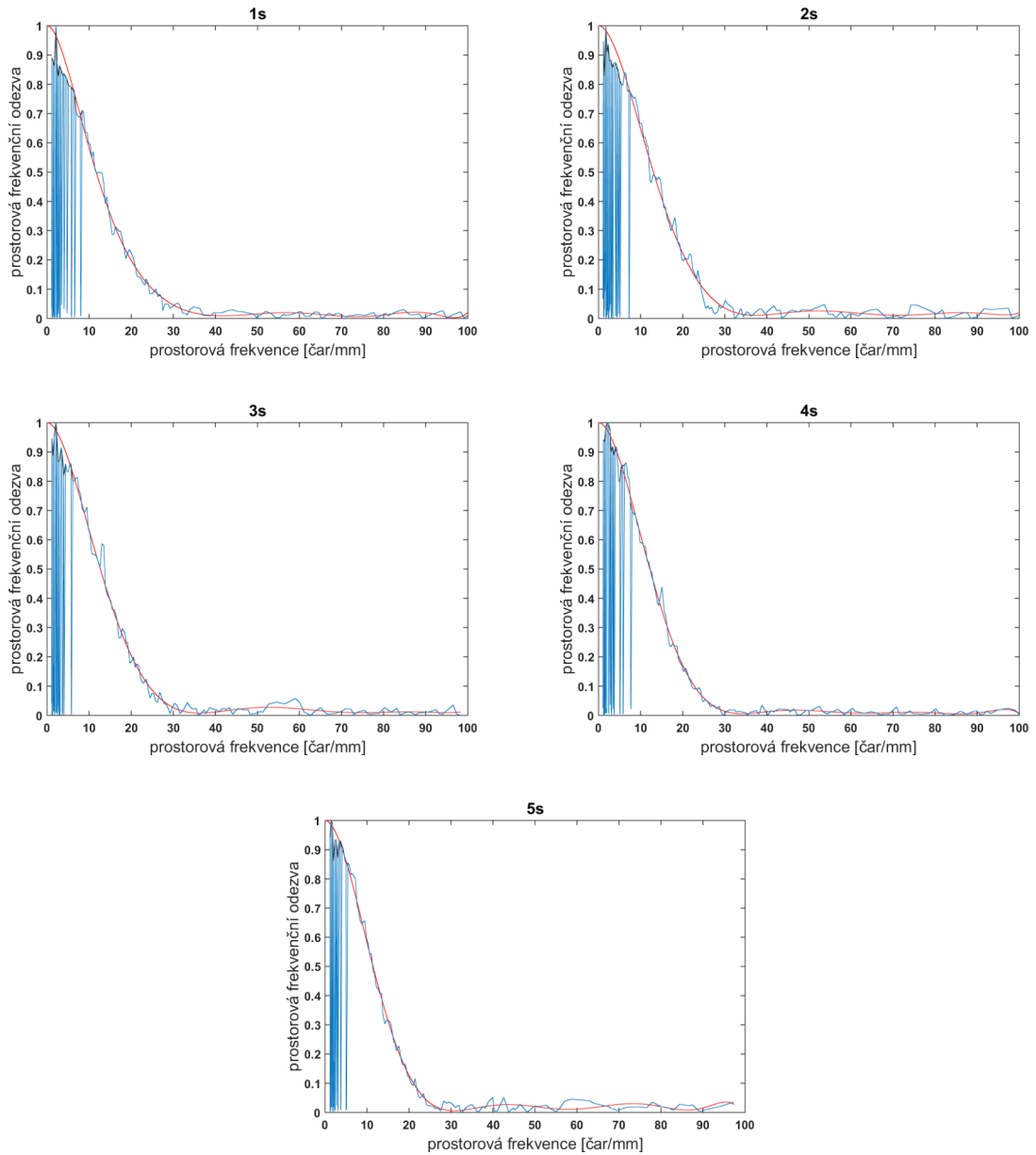
Příloha 18: Prostorové frekvenční odezvy z dílků vodorovných testů při cloně $f/8$ zaznamenány na zoom objektiv. Nastavení zaostření se ukázalo shodné jak pro zaostření na kontrast a ostrost, tak pro maximální rozlišení.



Příloha 19: Prostorové frekvenční odezvy z dílčích svislých testů při cloně $f/8$ zaznamenané na zoom objektiv. Nastavení zaostření se ukázalo shodné jak pro zaostření na kontrast a ostrost, tak pro maximální rozlišení.



Příloha 20: Prostorové frekvenční odezvy z dílčích vodorovných testů při cloně $f/22$ zaznamenaný na zoom objektiv. Nastavení zaostření se ukázalo shodné jak pro zaostření na kontrast a ostrost, tak pro maximální rozlišení.



Příloha 21: Prostorové frekvenční odezvy z dílčích svislých testů při cloně $f/22$ zaznamenané na zoom objektiv. Nastavení zaostření se ukázalo shodné jak pro zaostření na kontrast a ostrost, tak pro maximální rozlišení.