

Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra geoinformatiky

**ANALÝZA OPTICKÝCH VLASTNOSTÍ KAMER
VE VAZBĚ NA FOTOGRAMMETRII**

Bakalářská práce

David MOTLÍČEK

Vedoucí práce RNDr. Jakub Miřijovský, Ph.D.

Olomouc 2022
Geoinformatika a geografie

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá základními vadami objektivu, a to vinětací, chromatickou aberací, MTF, distorzí objektivu a u kamer úroveň šumu v obraze. Charakteristika těchto vad je důležitá nejen pro fotogrammetrické účely, ale také pro profesionální fotografy, kteří hledají optimální objektiv nebo fotoaparát a potřebují kvalitní výstup.

Cílem práce je otestovat vybrané přístroje použitelné ve fotogrammetrii a vyhodnotit jejich průběh vad při změně clonového čísla, ohniskové vzdálenosti nebo nastavení citlivosti ISO.

Testovaná zařízení jsou fotoaparáty s různou velikostí snímače, drony a mobilní telefon. Přístroje byly testovány formou experimentu postupně na všechny zmíněné typy vad. Po zpracování dat byla vytvořena série grafů pro jednotlivé přístroje, a série komplexních grafů k porovnání zařízení mezi sebou. Každý graf je doplněn slovním komentářem.

Hlavním výstupem práce je série grafů napříč všemi testovanými vadami pro všechny přístroje a jednotlivé ohniskové vzdálenosti. Dále také slovní komentář vad v závislosti na nastavení. Součástí práce je i povinný web, strukturovaný podle jednotlivých objektivů, zařízení a vad pro přehlednost výsledků.

KLÍČOVÁ SLOVA

Fotogrammetrie; vinětace; chromatická aberace; distorze objektivu; MTF

Počet stran práce: 77

Počet příloh: 16 (z toho 14 vázaných a 2 volné)

ANOTATION

The bachelor thesis deals with the basic lens defects, namely vignetting, chromatic aberration, MTF, lens distortion and, for cameras, the level of noise in the image. The characterization of these defects is important not only for photogrammetric purposes, but also for professional photographers who are looking for an optimal lens or camera and need a quality output.

The aim of this work is to test selected devices used in photogrammetry and to evaluate their defect performance when changing aperture number, focal length or ISO sensitivity setting.

The devices tested are cameras with different sensor sizes, drones and a mobile phone. The devices were tested in the form of an experiment successively for all mentioned types of defects. After processing the data, a series of graphs were created for each device, as well as a series of comprehensive graphs to compare the devices with each other. Each graph is accompanied by a verbal commentary.

The main output of the work is a series of graphs across all defects tested for all devices and individual focal lengths. Furthermore, a verbal commentary of the defects depending on the setup is also provided. The thesis also includes the obligatory web site, structured by individual lens, devices and defects for clarity of results.

KEYWORDS

Fotogrammetry; vignetting; chromatic aberration; MTF; lens distortion

Pages: 77

Appendixes: 16

Prohlašuji, že

- bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu

- jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo,

- beru na vědomí, že Univerzita Palackého v Olomouci (dále UP Olomouc) má právo nevydělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užívat (§ 35 odst. 3),

- souhlasím, aby jeden výtisk bakalářské práce byl uložen v Knihovně UP k prezenčnímu nahlédnutí,

- souhlasím, že údaje o mé bakalářské práci budou zveřejněny ve Studijním informačním systému UP,

- v případě zájmu UP Olomouc uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít výsledky a výstupy mé bakalářské práce v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,

- použít výsledky a výstupy mé bakalářské práce nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem UP Olomouc, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly UP Olomouc na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Olomouci dne

David Motlíček

Velmi rád bych poděkoval vedoucímu práce RNDr. Jakobovi Miřijovskému, Ph.D. za připomínky, cenné rady, zapůjčení techniky a především čas, který mi během vypracování práce byl ochoten věnovat. Dále bych chtěl poděkovat Katedře geoinformatiky Univerzity Palackého za poskytnutí prostor a zapůjčení vybavení během testování.

Také děkuji své rodině a přátelům za neustálou podporu.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

Přírodovědecká fakulta
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: David MOTLÍČEK
Osobní číslo: R19468
Studijní program: B1301 Geografie
Studijní obor: Geoinformatika a geografie
Téma práce: Analýza optických vlastností kamer ve vazbě na fotogrametrii
Zadávající katedra: Katedra geoinformatiky

Zásady pro vypracování

Cílem práce je analyzovat optické vlastnosti a charakteristiky vybraných kamer pro účely fotogrammetrie. Student provede sérii testů kamer, které jsou využitelné pro letecké snímkování a bude hodnotit kvalitu optiky a výsledného obrazu. Mezi základní charakteristiky, které budou modelovány patří MTF (Modulation Transfer Function), vinětace, chromatická aberace, distorze objektivu, úroveň šumu v obraze a další. Všechny charakteristiky budou modelovány pro různé citlivosti a clonová čísla. Výsledkem práce budou analyzovaná data v podobě grafů, tabulek a textového hodnocení.

Celá práce (text, přílohy, výstupy, zdrojová a vytvořená data) se odevzdá v digitální podobě na paměťovém nosiči (CD, DVD, SD karta, flash disk). Text práce s vybranými přílohami bude odevzdán ve dvou svázaných výtiscích na sekretariát katedry. O diplomové práci student vytvoří webovou stránku v souladu s pravidly dostupnými na stránkách katedry. Práce bude zpracována podle zásad dle Voženílek (2002) a závazné šablony pro diplomové práce na KGI. Povinnou přílohou práce bude poster formátu A2.

Rozsah pracovní zprávy: max. 50 stran
Rozsah grafických prací: dle potřeby
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam doporučené literatury:

Elizabeth A. (2017). The Manual of Photography (10th. ed.). Focal Press.
Pavelka, K. (2002). Fotogrammetrie 10, 2.přepřac. vyd. Praha: FSv ČVUT, 198 s.
CAMPBELL, J., B., WYNNE, R. H. Introduction to Remote Sensing. 5th ed. Guilford Press, New York, 667 s., 2011.
Voženílek, V. (2002): Diplomové práce z geoinformatiky. Vydavatelství Univerzity Palackého, Olomouc, UP, 31 s

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Jakub Miřijovský, Ph.D.
Katedra geoinformatiky

Datum zadání bakalářské práce: 4. května 2021
Termín odevzdání bakalářské práce: 4. května 2022

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA GEINFORMATIKY
17. listopadu 50, 771 46 Olomouc
-1-



L.S.

doc. RNDr. Martin Kubala, Ph.D.
děkan

prof. RNDr. Vít Voženílek, CSc.
vedoucí katedry

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	8
ÚVOD	9
1 CÍLE PRÁCE.....	11
2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ.....	12
3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	18
4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ	23
4.1 Použité přístroje a nastavení	23
4.2 Průběh experimentu	24
4.2.1 Testování vinětace	24
4.2.2 Testování chromatické aberace	26
4.2.3 Testování Modular Transfer Function (MTF)	28
4.2.4 Testování distorze objektivu.....	29
4.2.5 Testování úroveň šumu v obraze.....	30
4.3 Vyhodnocení experimentu.....	32
4.3.1 Vyhodnocení vinětace	32
4.3.2 Vyhodnocení chromatické aberace	39
4.3.3 Vyhodnocení Modular Transfer Function (MTF)	46
4.3.4 Vyhodnocení distorze objektivu	57
4.3.5 Vyhodnocení úrovně šumu v obraze.....	65
5 VÝSLEDKY	74
6 DISKUZE	76
7 ZÁVĚR.	77
POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE	
PŘÍLOHY	

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
DNG	Digital Negative
DSLR	Digital Single-Lens Reflex
EXIF	Exchangeable image file format
GIS	geografický informační systém
JPEG	Joint Picture Experts Group
JSON	JavaScript Object Notation
MFT	Micro Four Thirds
MILC	Mirrorless interchangeable-lens
MTF	Modular Transfer Function
RMS	Root Mean Square
SNR	Signal-to-noise ratio
TIFF	Tag Image File Format

ÚVOD

Fotogrammetrie je vědní obor, který je v dnešní době rozvoje geografických informačních systémů čím dál více rozšiřován. Zabývá se především zpracováním informací na fotografických snímcích. Jedna z definic je dle Pavelky (2003): „*Fotogrammetrie je věda, způsob a technologie, která se zabývá získáváním dále využitelných měření, map, digitálního modelu terénu a dalších produktů, které lze získat z obrazového, nejčastěji fotografického záznamu.*“

Především při fotogrammetrické práci je tedy potřeba znát vlastnosti a charakteristiky optiky fotoaparátů a kamer, neboť mají zásadní vliv na kvalitu výsledného snímku. Není zas tak důležité, že se na snímcích vyskytují vady, mnohem důležitější je znát jejich průběh, počítat s nimi předem a plánovat podle nich. Jejich průběh má především vliv na plán letu. Například při malé ostrosti v rozích snímku je potřeba plánovat větší překryvy, podle výběru ohniskové vzdálenosti, a tedy vlivu distorze objektivu, se plánuje výška letu. A od clonového čísla a hodnoty citlivosti ISO se zase odvíjí rychlost závěrky, a tedy rychlost letu.

V dnešní době je k dispozici spousta zařízení, se kterým lze provádět fotogrammetrii. Různá zařízení však disponují různou přesností výstupu – od běžných amatérských fotoaparátů až po speciální fotogrammetrické kamery. K většině fotoaparátů a objektivů z těchto přístrojů vznikají recenze a popisy jejich vad, avšak ne konkrétně pro fotogrammetrii. Zoomové objektivy jsou hodnoceny pouze pro některé ohniskové vzdálenosti. Většinou to jsou pouze nejkratší ohniska, jedna, maximálně dvě ohniskové vzdálenosti uprostřed rozsahu objektivu a pak nejdelší ohniska. Navíc se netestují všechna clonová čísla, které u objektivů lze nastavit. Pro tyto práce se také čím dál více využívají i drony, které však nejsou rozsáhle testovány na vady, které se u nich na snímku projevují.

Ve fotogrammetrii se využívají primárně širokouhlé objektivy a malá clonová čísla. Problém je, že při takovémto nastavení také vzniká nejvíce vad objektivů. Proto je potřeba buď s těmito vadami počítat nebo zvolit vhodnější nastavení, které není na tyto vady tak náchylné – použít delší ohniskovou vzdálenost a zvýšit clonové číslo.

Výstupy a výsledky z této práce mohou pomoci při výběru vhodného zařízení nejen pro fotogrammetrické účely. Případně mohou pomoci při volbě nejvhodnějšího nastavení přístroje.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem bakalářské práce je analyzovat optické vlastnosti a charakteristiky vybraných kamer pro účely fotogrammetrie. Bude provedeno vlastní testování formou experimentu. Zařízení budou testována na základní vady, mezi které patří vinětace, chromatická aberace, Modular Transfer Function, distorze objektivu a úroveň šumu v obraze. Tyto vady budou testovány na jednotlivých přístrojích pro různá clonová čísla, ohniskové vzdálenosti a citlivosti snímače. Vytvořené snímky budou následně analyzovány podle vady, která bude zkoumána. Testované přístroje budou vybrány tak, aby se otestovala technika s různými typy a velikostmi snímačů. Tedy fotoaparáty, drony i mobilní telefon. V případě potřeby budou vytvořeny testovací diagramy, které budou nasnímkovány, a na kterých bude vada v laboratorních podmínkách měřena. Jednotlivé vady budou zpracovány v odlišných programech a pokud to bude možné, bude hledán alternativní způsob testování v programech primárně určených k jiné práci.

Hlavním výstupem práce budou analyzovaná data, která budou vyhodnocena a v podobě grafů a textového hodnocení interpretována. Grafy budou vytvořeny tak, aby bylo pro uživatele nejsnazší porovnat si naměřené hodnoty testovaných vad napříč ohniskovými vzdálenostmi a clonovými čísly. V závěru práce bude vytvořeno celkové vyhodnocení zařízení pro jednotlivé vady a ohniskové vzdálenosti. Dalším výstupem bude web, přehledně strukturován podle jednotlivých zařízení a vad pro snazší orientaci.

Výsledky práce umožní vybrat vhodné vybavení k fotogrammetrické práci. Případně pomohou při výběru vhodné ohniskové vzdálenosti při plánování výšky letu nebo nastavení překryvů u leteckého snímání, z důvodů neostrosti rohů snímků.

2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

Po obdržení zadání bakalářské práce byla provedena rešerše a studium zadaných pojmů. Testované vady jsou detailně vysvětleny v literatuře *Manual of Photography* (Allen a Triantaphillidou 2011). Nejvíce informací bylo čerpáno ze stránek společnosti Imatest, která se profesionálně zabývá testováním techniky. Další informace a doporučení byly nastudovány z webu Bobatkins.com. Po zpracování rešerše byl navržen způsob a postup testování na jednotlivé vady, výběr testovaných zařízení a nastavení fotoaparátů.

Experiment byl prováděn za konstantních podmínek pro všechna zařízení tak, aby byla mezi sebou porovnatelná. Při fotografování na fotoaparáty s patičí blesku byl použit rádiový odpalovač a dvě záblesková světla. Byl použit expozimetr pro dosažení správné expozice fotografie. Při testování dronů a mobilního telefonu byla použita trvalá světla.

Použité metody

Pro testování vinětace bylo vyfoceno bílé plátno, které bylo rovnoměrně nasvíceno po celé své ploše. Pro účely fotogrammetrie byla využita maximální plocha tohoto plátna, při změně ohniska objektivu se vzdálenost mezi plátnem a objektivem zvětšovala. Pro stejná ohniska byly použity stejné vzdálenosti. Při fotografování na fotoaparáty byla použita záblesková světla. Při fotografování na drony a mobilní telefon byla použita trvalá halogenová světla.

Při testování chromatické aberace byl vytvořen testovací diagram, který byl umístěn na stěnu a nasvícen stejným způsobem jako při testování vinětace. Z důvodu omezené tisknutelné velikosti byla vzdálenost mezi zařízením a diagramem menší. Byl kladen důraz na vyplnění snímáče terčem, přičemž na fotoaparátech Olympus, které fotí ve formátu 4/3, byl terč oříznut na delší straně.

Vada MTF byla vyhodnocována na stejných snímcích, které vznikly při testování chromatické aberace. Byl však použit zcela jiný program a způsob vyhodnocování.

Při vyhodnocování úrovně šumu v obraze byl vyfotografován kalibrační diagram ColorChecker z minimální možné vzdálenosti. Při testování této vady nebyla potřeba záblesková světla, protože tato vada není ovlivněna objektivem, ale snímáčem fotoaparátu. Proto byl nastaven expoziční režim priorita clony a čas byl zařízením dopočítáván automaticky.

Distorze objektivu byla testována vyfotografováním pravidelné mřížky, která byla promítnuta na obrazovku televize. Bylo pořízeno vždy pět fotografií z různých úhlů pro každé testované ohnisko na všech zařízeních.

Použitá data

Veškerá data, se kterými se pracovalo, jsou data primární a byla vytvořena autorem přímo pro tuto práci. Vzhledem k tomu, že cílem práce je analyzovat optické vlastnosti a charakteristiky vybraných zařízení, byly snímky vytvářeny přímo na těchto zařízeních.

Pro účely bakalářské práce byly vytvořeny testovací diagramy, ze kterých byl nakonec použit pouze jeden, a to diagram, který vychází ze standardu eSFR ISO 12233 pro testování chromatické aberace a MTF.





Použité přístroje

Testovaná zařízení byla vybrána ta, která se mohou používat pro fotogrammetrické účely a zároveň aby byla různého druhu s různými velikostmi snímáčů. Proto seznam použité techniky obsahuje fotoaparát typu DSLR a fotoaparáty MILC, drony s různou

velikostí snímače a mobilní telefon. V rámci testování byla vybrána kamera Phase One, která se běžně používá při fotogrammetrických účelech. Tato kamera však nemohla být otestována, a to z důvodu pevně nastavené zaostřovací vzdálenosti na nekonečno. Proto snímky pořízené ze vzdálenosti 10 metrů nemohly být zaostřeny a následně analyzovány.

Tab. 2.1 Seznam použité techniky – přístroje



Přístroj	Fotografie zařízení	Velikost snímače	Objektiv
Phase One IXA-R 80		Medium format	50 mm f/4 (ekv. 35 mm)
Nikon D750		Full frame 36×23,9 mm	Výměnný
Olympus OMD E-M1 Mark II		Micro 4/3 17,3×13 mm	Výměnný
Olympus OMD E-M5 Mark II		Micro 4/3 17,3×13 mm	Výměnný
Olympus OMD E-M10 Mark II		Micro 4/3 17,3×13 mm	Výměnný

Fotoaparát	Fotografie zařízení	Velikost snímače	Objektiv
DJI Phantom 4 Pro		1" CMOS 13,2×8,8 mm	FOV: 84° f/2,8-11 (ekv. 24 mm)
DJI Mavic 2 Pro		1" CMOS 13,2×8,8 mm	FOV: 77° f/2,8-11 (ekv. 28 mm)
DJI Mavic Mini		1/2.3" CMOS	FOV: 83° f/2,8 (ekv. 24 mm)
Mobilní telefon Xiaomi Redmi Note 9 Pro		1/1.72"	FOV: 79,8° (ekv. 24 mm)

Na fotoaparátech, které to umožňují, se testovaly různé objektivy. Byla vybrána ta ohniska, která se dají využít ve fotogrammetrii. Byl kladen důraz na to, aby se vybraná ohniska vyskytovala na co nejvíce zařízeních a mohla tak být porovnávána mezi sebou.

Tab. 2.2 Seznam použité techniky – objektivy

Objektiv	Fotografie zařízení	Ohnisková vzdálenost (ekv. 35 mm)
Tamron AF 24-70 mm f/2.8 SP Di USD VC		24–70 mm
Sigma Art 35 mm f/1,4		35 mm
Samyang 12 mm f/2,0 NCS CS MFT		24 mm
Olympus M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3		24–400 mm
Olympus M.Zuiko Digital ED 12-40 mm f/2,8 Pro		24–80 mm

Objektiv	Fotografie zařízení	Ohnisková vzdálenost (ekv. 35 mm)
Olympus M.Zuiko Digital ED 14-42 mm f/3,5-5,6 EZ Pancake		28–84 mm
Olympus M.Zuiko Digital ED 17 mm f/1,8		34 mm

Další použitou technikou byl stativ Manfrotto Befree Advanced Alpha, dvě záblesková světla GODOX AD600Pro s difuzory, rádiový odpalovač GODOX Xpro-N, expozimetr Sekonic L-558 a halogenová světla. Testovací diagram byl vytisknut na plotru Canon ImagePROGRAF TX-4000.

Část testované i testovací techniky je autorova vlastní, část byla zapůjčena od RNDr. Jakuba Miříjovského Ph.D. a část je majetkem katedry geoinformatiky.

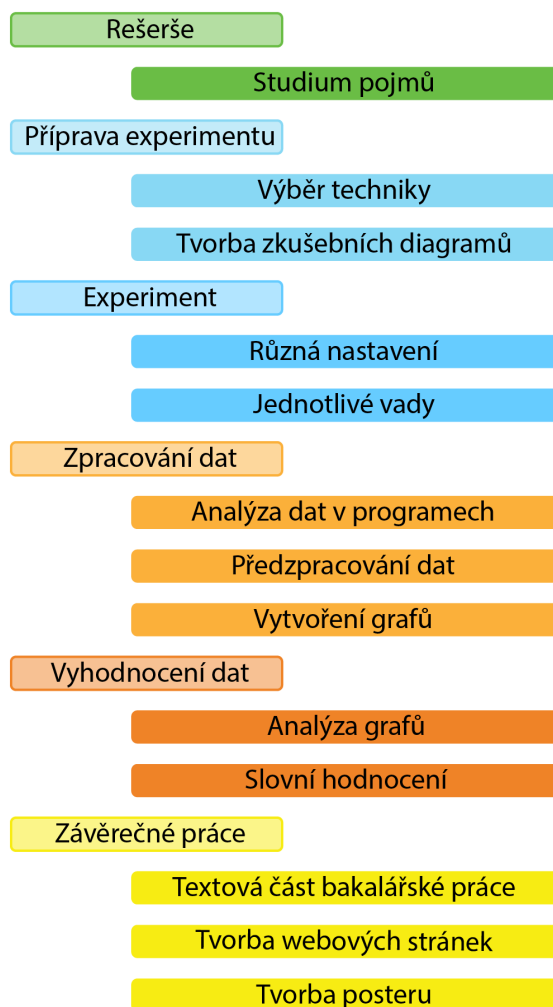
Použité programy

Veškeré vyfocené snímky byly pro lepší orientaci přejmenovány v programu Zoner Photo studio X. Zařízení, která umožňují fotit do surového formátu RAW byly ve většině případů bez dalších úprav v tomto programu převedeny na formát TIFF pro další zpracování.

Při testování vinětaže byl každý snímek převeden na odstíny šedi a naimportován do programu ArcGIS Pro 2.9.0 kde byl analyzován. Hodnoty byly následně přepsány do tabulky a zařízení porovnána. Chromatická aberace byla testována na diagramu vytvořeném v programu Adobe Illustrator a analyzována v programu Adobe Photoshop. Vada MTF byla vyhodnocována na stejných snímcích v programu Imatest Master 2021.2 v trial verzi programu. V totožném programu byly vyhodnocovány i snímky z testování úrovně šumu. Distorze objektivu byla testována na pravidelné mřížce, která je součástí nástrojů v programu Agisoft Metashape Professional 1.8.0, kde byla vada následně analyzována. Zpracování hodnot získaných zkoumáním jednotlivých vad proběhlo v prostředí Microsoft Excel, kde byly následně vytvořeny veškeré grafy.

Postup zpracování

Na uvedeném diagramu je graficky zobrazen postup zpracování (obr. 2.1).



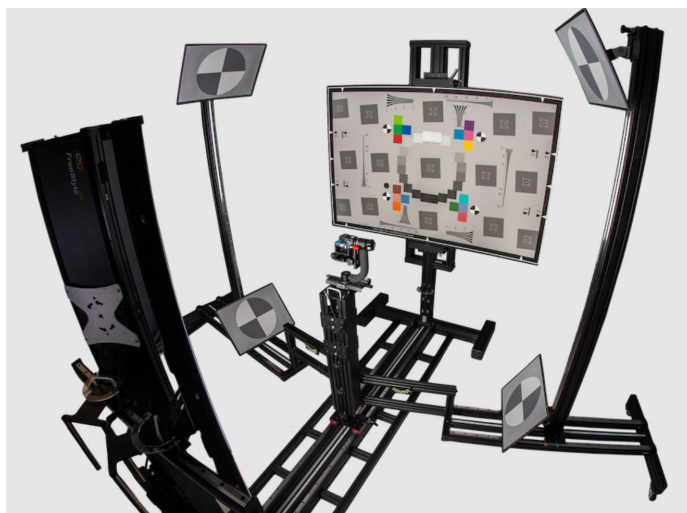
Obr. 2.1 Postup zpracování.

3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Nejen pro fotogrammetrické účely je důležité vědět, jak se dané zařízení chová a jaké má vlastnosti a charakteristiky při určitém nastavení. Touto problematikou se na profesionální úrovni zabývá například společnost Imatest (Atkins 2017a), která pro testování techniky vyvinula vlastní software Imatest Master. Další, kdo se zabývá problematikou vad objektivů a fotoaparátů, je například Bob Atkins, který kromě recenzí na jednotlivá zařízení na svých stránkách (<http://bobatkins.com/photography/>) uvádí, jak lze svou techniku otestovat v domácích podmínkách (Koren 2004c). Dále je potřeba zmínit web [opticallimits](https://www.opticallimits.com/), který provedl testování opravdu velkého množství objektivů a recenzuje je na svých stránkách (<https://www.opticallimits.com/>). Další web, který se zabývá podobně jako [opticallimits](https://www.opticallimits.com/) testováním objektivů, je [Dxomark](https://www.dxomark.com/) (<https://www.dxomark.com/>). Ten však testuje nejen objektivy, ale i další techniku a své výsledky pak sdílí na svých stránkách v podobě recenzí.

Objektivy jsou náchylné k různým vadám. Mnohé z nich se dají zmírnit již při výrobě a mnohé z vad se dají následně buď zcela odstranit nebo alespoň zredukovat následnými úpravami a korekcemi v grafických programech. Mezi ty základní vady lze zařadit vinětaci, chromatickou aberaci, ostrost (MTF) a distorzi objektivu, případně i difrakci. Úroveň šumu v obraze je vada samotného zařízení, která je ovlivněna snímačem. (Allen a Triantaphillidou 2011)

Testování techniky na vady se může provádět různými způsoby. Při profesionálním testování je zapotřebí speciálních a velmi přesných pomůcek (obr. 3.1). Mezi ně patří testovací kalibrační terče, které nejsou tištěné nýbrž vyvolávané a výkonné osvětlení, které nasvítí rovnoměrně celou plochu terče. Dále pak testovací stojany, se kterými se umístí zařízení do přesné pozice vůči diagramu a další. Samozřejmostí je laboratoř se stálými podmínkami. (Koren 2004f)



Obr. 3.1 Příklad profesionálního vybavení (Koren 2022).

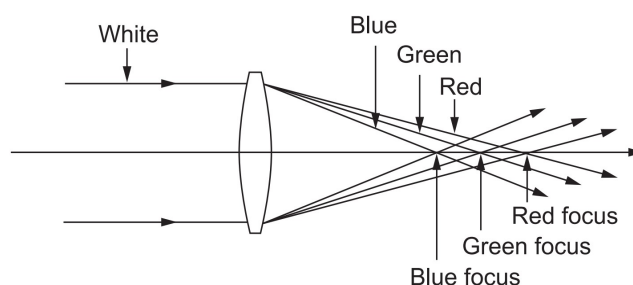
Vinětace

Tato vada objektivu se projevuje úbytkem světla v rozích snímku. Je ovlivněna především dvěma faktory. Jedním z faktorů je velikost optických prvků objektivu a velikost mechanické překážky, tedy nastavení clony – optická vinětace. Druhým faktorem je princip středového promítání, tedy že světlo musí urazit delší trasu, aby se dostalo do rohu snímku než jen do jeho středu – přirozená vinětace. (Bilissi a kol. 2011)

Tímto druhým faktorem nejvíce trpí širokoúhlé objektivy. Vinětace je snadno odstranitelná vada objektivu. Jeden ze základních způsobů testování je vyfotografování rovnoměrně nasvícené plochy s následným odečtem rozdílů jasů pixelů (Atkins 2017b). Další způsob testování je pomocí programu Imatest Master a nástroje Uniformity, který měří kromě síly vinětace i barevné stínování, mrtvé pixely a další. Nejen vadou vinětace se zabýval ve své diplomové práci Kaláb (2009).

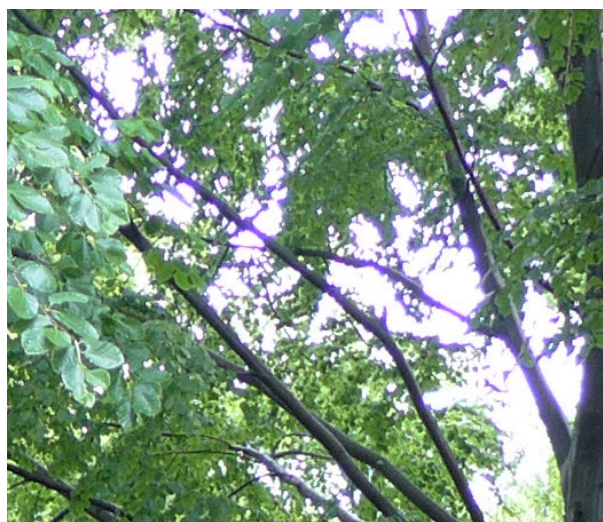
Chromatická aberace

Aberace má mnoho podob. Index lomu skla se mění v závislosti na vlnové délce. Na snímku se projevuje jako barevné lemování podél hran s ostrým kontrastním přechodem. Skleněné čočky ohýbají různé barvy pod různými úhly. Tento jev se nazývá disperze (obr. 3.2). Síla aberace se dá zmírnit již při výrobě objektivu použitím skleněných prvků s různými disperzními vlastnostmi, různá skla mají různé disperzní vlastnosti (Kingslake a Barry Johnson 2010). Ne však u všech typů objektivů je tato úprava možná. Problém nastává u ultra širokoúhlých objektivů, dlouhých teleobjektivů a objektivů s extrémní proměnlivou ohniskovou vzdáleností, a to z důvodu velkého množství optických členů. (Koren 2004a)



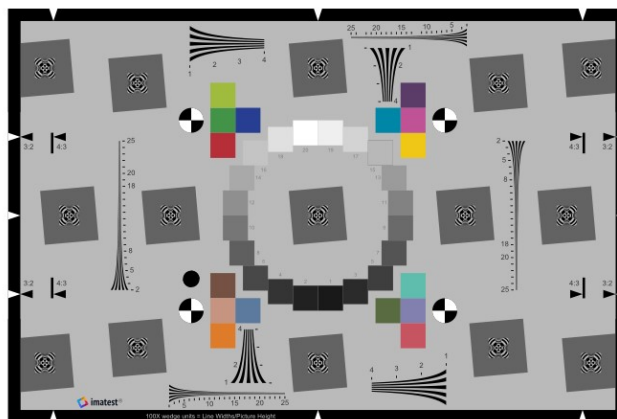
Obr. 3.2 Efekt disperze (Ray 2011).

Chromatická aberace se dále dělí na axiální, laterální a sférickou, podle způsobu výskytu. Právě laterální aberace je barevné lemování, ke kterému dochází podél hran (obr.3.3). Ve středu ohniskové roviny je nulová, ale s rostoucím úhlem záběru se zvětšuje. Axiální aberace se týká zaostřené vzdálenosti, ve které se nachází obraz. Laterální aberace se týká velikosti obrazu. Lze ji korigovat, kromě použití správné konfigurace minimálně tří typů optických skel, také pomocí speciálních optických materiálů. (Ray 2011)



Obr. 3.3 Projev aberace na snímku (Koren 2004a).

Nejlépe se laterální chromatická aberace měří na tečné hraně, na radiální hraně není tak viditelná. (Goh a kol. 2021) Hodnocení chromatické aberace je definováno standardem ISO 15795:2002 (ISO 2002). Boční aberace se analyzuje na tečné hraně v rozích obrazu. K jejímu měření se mohou využít testovací diagramy se čtverci rovnoměrně rozmístěnými po celé ploše a pod úhlem pěti stupňů, například SFRplus nebo eSFR ISO (obr. 3.4) vyvinutými od společnosti Imatest. (Koren 2004a)



Obr. 3.4 Testovací diagram E-SFR ISO 12233:2014 (Koren 2004h).

MTF

Rozlišení, ostrost a Modular Transfer Function souvisejí s prostorovými vlastnostmi obrazu, ale nevyjadřují to samé. Rozlišení popisuje nejjemnější detaily, které zvládne systém zaznamenat. Ostrost popisuje záznam hran nebo přechodů a závisí na schopnosti záznamu systému reprodukovat kontrast. MTF popisuje snížení modulace, resp. kontrastu, ke kterému dochází v konkrétním zobrazovacím systému. (Jenkin 2011)

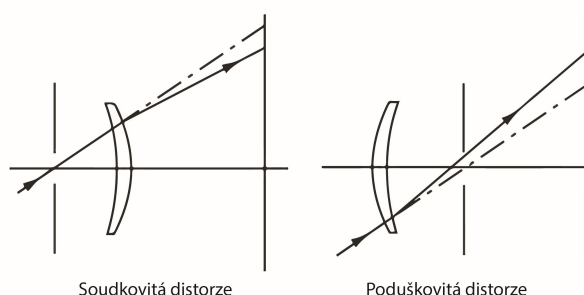
Principy měření této vady jsou definovány standardem ISO 15529:2010 (ISO 2010). MTF je klíčem k měření ostrosti. Ta se dá určit podle vzdálenosti náběhu změny kontrastu mezi bílou a černou plochou. Pomalý náběh znamená rozmazaná hrana, rychlý náběh značí ostré hrany. K výpočtu MTF se používá modulace sinusového vzoru. Odpovídající kontrast sinusového vzoru se přepočítává na MTF pomocí rovnice. Kromě měření MTF pomocí programu Imatest se dá ostrost měřit i pozorováním, a to pomocí odhadu nejvyšší prostorové frekvence při vyfotografování testovacího diagramu složeného z pruhových vzorů. MTF50 vyjadřuje prostorovou frekvenci, kde MTF je 50% nízké frekvence. (Koren 2004e)

Prostorovou frekvenci lze udávat v různých jednotkách. Vzhledem k tomu, že je měřen v cyklech na vzdálenost, platí, že čím delší je odezva, tím více detailů lze sdělit. V době fotografování na film se využívaly jednotky páry čar na milimetr (lp/mm), protože fotoaparáty pořizovaly snímky se stejnou velikostí obrazu 24×36 mm. V dnešní době se však velikosti digitálních snímačů značně liší. Z tohoto důvodu se začala využívat jednotka LW/PH, která vyjadřuje poměr šířky čar na výšku obrazu. Další jednotky prostorové frekvence jsou C/P neboli cyklus na pixel, případně cykly na vzdálenost CP/mm. (Koren 2004e)

Distorze objektivu

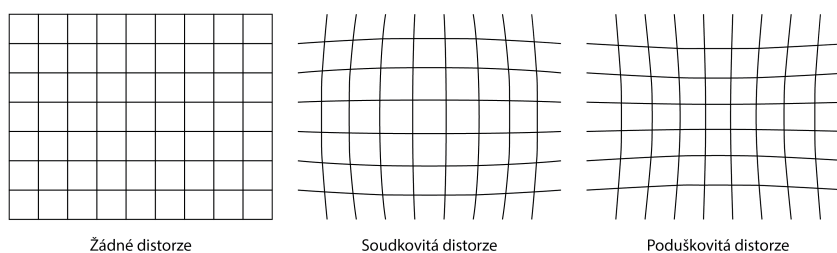
Distorze neboli zkreslení, je vada, která způsobuje zakřivení rovných čar především na okrajích snímku (Koren 2004b). Lze ji rozdělit na radiální a tangenciální. Vzniká

z důvodu nepřesností při výrobě objektivu a samotnou vlastností čoček, které nelze uložit přesně do optické osy objektivu, proto paprsek nevystupuje pod stejným úhlem, pod jakým do optické soustavy vstupoval (Obr. 3.5). (Hofmanová 2016)



Obr. 3.5 vznik distorze (Ray 2011).

Zkreslení se stanovuje dle normy ISO 9039:1008 pro optické systémy, které svou konstrukcí směřují k rotačně symetrické geometrii obrazu (ISO 2008). Projevuje se typicky třemi tvary. Obraz může být bez distorze, nezkreslený, nebo může mít soudkovitý, případně poduškovitý tvar (Obr. 3.6). (Koren 2004b)



Obr. 3.6 Možné tvary distorze (Koren 2004b).

Distorzi lze vypočítat pomocí vzorce:

$$D (\%) = (l \times 100) / L$$

Kde L je vzdálenost bodů na okrajích snímku a l je odchylka od přímky, kterou body spojují. (Tang a kol. 2012).

Další způsob měření distorze objektivu je například pomocí programu Agisoft Metashape. Tento program, který slouží na zpracování digitálních snímků pro fotogrammetrické účely a disponuje nástrojem pro kalibraci objektivu. (Agisoft 2022)

Kalibrace se provádí automaticky po vyfotografování testovací šachovnice a náhrátí snímků do programu. Metashape používá LCD displej, na který se promítne kalibrační terč. Případně lze terč vytisknout a umístit na rovnou plochu. Výhoda při použití tohoto programu je, že software vypočítá celou kalibrační matici fotoaparátu včetně nelineárních koeficientů zkreslení. (Agisoft 2019)

Možnostmi odstranění distorze ze snímků se zabýval Klemsa (2018), který v rámci své bakalářské práce vytvořil software na odstranění zkreslení ze snímku. Další, kdo se touto problematikou zabýval, byla Rýgllová (2016), která provedla testování na rovinném poli s geodeticky zaměřenými body.

Šum

Šum je náhodná změna hustoty obrazu, u digitálních fotoaparátů viditelná jako odchylka pixelů. Vzniká zesílením původního signálu na snímači a je silně ovlivněn velikostí snímače. Na velkých snímačích se, oproti malým, neprojevuje tak viditelně. Ve většině případů je vnímán jako zhoršení kvality. (Koren 2004d) Ve fotogrametrii je nežádoucí hlavně z důvodu, že negativně ovlivňuje ostrost snímku.

Existuje několik příčin šumu v obraze. Šum vzniká jednak z důvodu náhodného rozdělení expozičního světla, ale také se vykytuje v každém zařízení s elektrickými součástkami. Obraz je převáděn z intenzity světla do elektrické podoby, z tohoto důvodu vzniká fotoelektrický šum. Existuje tedy několik druhů šumu, viditelný, ovlivněný dlouhým časem závěrky a ovlivněný nastavenou hodnotou citlivosti snímače – ISO. (Jenkin 2011)

Šum je měřen různými způsoby. Podle vyfotografovaného testovacího diagramu se v programu Imatest Master zjišťují různé druhy šumu. Typicky je šum měřen jako RMS (Root Mean Square), který značí směrodatnou odchylku. Také může být zkoumán v kterémkoli z barevných kanálů. Vzhledem k tomu, že má však smysl pouze ve vztahu k původnímu signálu, je častěji používáno SNR (Signal-to-Noise Ratio) – poměr signálu k šumu. Při testování šumu na diagramech Colorcheck, Stepchart a dalších lze změřit šum například jako jednoduché, případně průměrné číslo, z hodnot v kanálu Y (Luminance). (Koren 2004d)



Obr. 3.7 Diagram Colorcheck (Koren 2004d).

Podle druhu šumu se volí způsob testování. Jinak se testuje šum viditelný, šum ovlivněný dobou expozice, nebo šum závislý na nastavení citlivosti ISO. (Koren 2004d) V této práci je zkoumán šum ovlivněný nastavením ISO. Ten se testuje vyfotografováním standardizovaného kalibračního terče ColorCheck (Obr. 3.7).

Alternativním způsobem hodnocení úrovně šumu je vyfotografování tmavé podexponované plochy. Hodnoty jsou měřeny pomocí grafického programu s histogramem vyhodnoceny za použití vzorců. (Labnut 2011)

4 VLASTNÍ ŘEŠENÍ

V rámci bakalářské práce proběhlo testování jednotlivých zařízení experimentálním způsobem. Experiment probíhal u většiny testovaných vad v zatemněné místnosti z důvodu zachování konstantních světelných podmínek. Byla snaha testovat vady vyfotografováním co největší plochy, aby tak byly nasimulovány podmínky v terénu. Při testování byl využíván stativ pro zachování stability zařízení, v případě testování dronů byl dron položen na pevný podklad. V rámci rešerše bylo vyhledáno několik způsobů testování jednotlivých vad, ze kterých však nemohly být všechny použity, a to z důvodu nemožnosti objektivně porovnat zařízení mezi sebou.

4.1 Použité přístroje a nastavení

Pro tuto bakalářskou práci bylo vybráno devět testovaných zařízení a šest výměnných objektivů. Výběr zařízení byl podle dostupnosti. Vybraná zařízení se využívají nebo se mohou využívat, pro fotogrammetrické účely (Tab 2.1).

Na fotoaparátech, které to umožňují, se testovaly různé objektivy. Byla vybrána ta ohniska, která se dají využít ve fotogrammetrii. Byl kladen důraz na to, aby se vybraná ohniska vyskytovala na co nejvíce zařízeních a mohla tak být porovnáвана mezi sebou (Tab. 2.2).

Při výběru nastavení byl kladen důraz, aby byly otestovány hraniční hodnoty jednotlivých zařízení, a aby výsledky mohly být porovnáваны mezi sebou. To i v případě, že různá zařízení využívají různých snímačů.

Byla vybrána tato ohniska (ekv. 35 mm): 24 mm; 28 mm; 35 mm; 40 mm; 50 mm

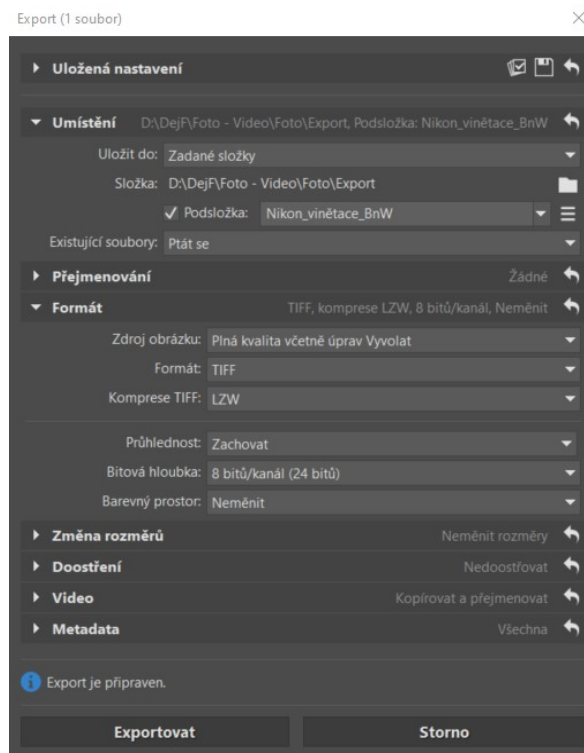
A tato clonová čísla: $f/1,4$; $f/1,6$; $f/1,8$; $f/2$; $f/2,2$; $f/2,2$; $f/2,8$; $f/3,5$; $f/4$; $f/5$; $f/6,3$; $f7,1$.

Některé objektivy nejsou vyrobeny tak, aby mohla být nastavena některá z těchto clonových čísel, proto nemohly být na toto nastavení testovány. Zároveň některé objektivy mají proměnlivou nejnižší hodnotu clony v závislosti na nastaveném ohnisku.

4.2 Průběh experimentu

Zařízení byla testována formou experimentu za použití stejných podmínek, aby mohly být výsledky porovnány mezi sebou. Experiment byl prováděn se všemi zařízeními ve stejné místnosti. Přístroje byly, v závislosti na ohnisku, umístěny do stejných vzdáleností při testování jednotlivých vad.

Veškeré vyfocené snímky byly v programu Zoner Photo Studio X pro snazší orientaci přejmenovány a vyexportovány ve formátu TIFF (obr. 4.2–1).



Obr. 4.2-1 Nastavení exportu.

4.2.1 Testování vinětace

Vinětace je jedna ze základních a velmi častých vad objektivu. Projevuje se ztmavnutím rohů snímku. Nejvíce jsou na ni náchylné širokoúhlé objektivy. Je ovlivněna počtem optických členů v objektivu. Další faktor, který vinětaci ovlivňuje je nastavená clona. Čím je clona více otevřena, tím je vinětace na snímku patrnější.

Vzhledem k tomu, že je vinětace ovlivněna objektivem, byla testována u výměnných objektivů pouze na dvou tělech fotoaparátu. Na Olympus OMD E-M1 Mark II a na Nikon D750. Testování vinětace probíhalo vyfotografováním bílého plátna, které bylo rovnoměrně nasvíceno dvěma zábleskovými světly GODOX AD600Pro s difuzory.

Byla fotografována co největší plocha, aby bylo nasimulováno použití ve fotogrametrii, tedy z velké vzdálenosti. Fotografování probíhalo ze stativu ze stejných míst pro jednotlivá ohniska.

Při testování fotoaparátů byl nastaven manuální režim, čas závěrky na 1/160 a nativní hodnota ISO, pro Nikon 100 pro Olympus 200. Nastavení výkonu zábleskových světel (Tab. 4.2.1-1) proběhlo pomocí expozimetru Sekonic L-558. V místnosti byla zatemněna okna, avšak množství světla se v průběhu celkového

testování lehce měnilo, proto musel být výkon zábleskových světel přizpůsoben aktuálním světelným podmínkám.

Tab. 4.2.1-1 Použité výkony zábleskových světel

Nastavené clonové číslo	Výkon zábleskových světel
f/1,4	1/256
f/1,6	1/256
f/1,8	1/256 + 0,3
f/2	1/256 + 0,7
f/2,2	1/128
f/2,8	1/128 + 0,3
f/3,5	1/64 + 0,3
f/4	1/32
f/5	1/32 + 0,7
f/6,3	1/16 + 0,3
f/7,1	1/16 + 0,7

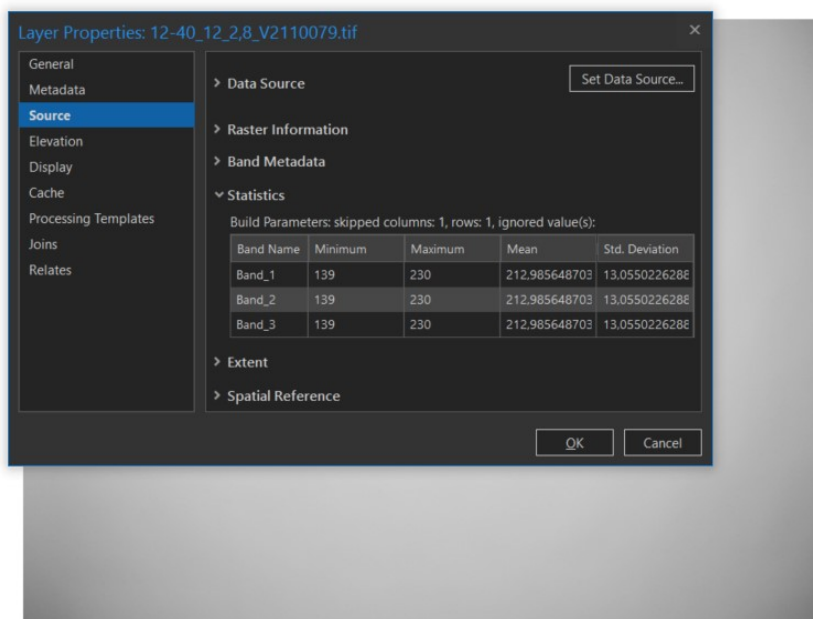


Obr. 4.2.1-1 Dokumentace testování vinětae.

Při testování vinětae na dronech a telefonu byla použita halogenová světla, a to z důvodu, že tato zařízení nedisponují patící blesku. Fotografováno bylo na režim priority clony, kdy hodnota ISO byla co nejnižší a čas závěrky se dopočítával automaticky. Z důvodu malého výkonu halogenových světel muselo být testované zařízení mnohem blíž k fotografované bílé stěně. Při svícení halogenovými světly došlo k ovlivnění, výsledky mohou mít nižší přesnost.

Snímky byly převedeny do odstínů šedi a po vyexportování ve formátu TIFF naimportovány do programu ArcGIS Pro.

V programu ArcGIS Pro (obr. 4.2.1-2) byly u každého snímku zobrazeny metadatové informace, které znázorňují maximální a minimální hodnotu jasu ve všech pixelech.



Obr. 4.2.1-2 ArcGIS Pro zobrazení metadat.

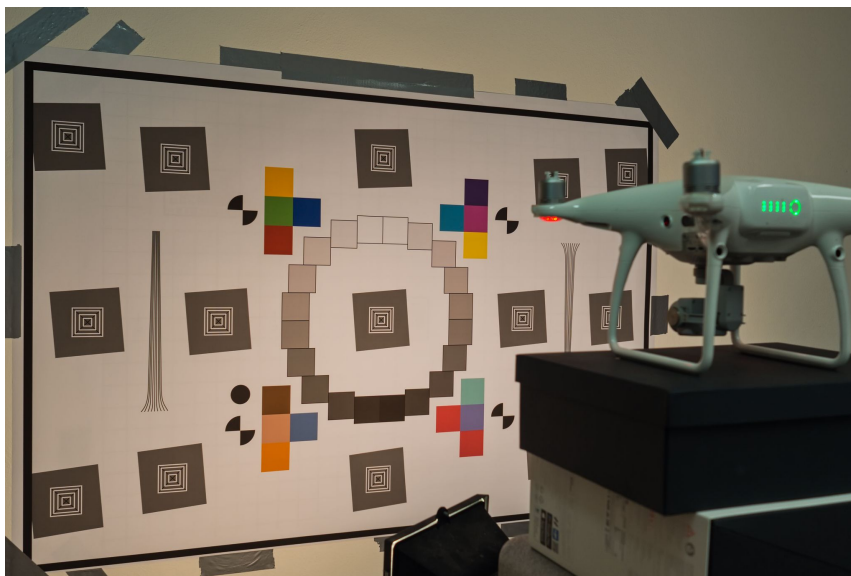
Tyto hodnoty byly přepsány do tabulky a navzájem od sebe odečteny. Předpokládá se, že nejtmavší pixel je v rozích snímku a nejjasnější v jeho středu. Z výsledných hodnot byly vytvořeny grafy k porovnání nastavení u jednotlivých objektivů a grafy k porovnání ohnisek objektivů mezi sebou.

4.2.2 Testování chromatické aberace

Chromatická aberace vzniká z důvodu lomu světla o různé vlnové délce, sklo ohýbá každou barvu jinak. Dá se minimalizovat již při výrobě objektivu, kombinací skleněných prvků s různými rozptylovými vlastnostmi. Nejvíce na chromatickou aberaci trpí ultra široké objektivy a extrémní zoomy.

Na chromatickou aberaci má také vliv nastavená clona, kdy je při nižších hodnotách aberace výraznější. Zároveň se projevuje jinak na rozích snímku a v jeho středu. Na rozích bývá nejvýraznější, ve středu zpravidla nepatrná. Proto byly objektivy posuzovány zvlášť na středech a zvlášť v rozích, ve výsledném hodnocení se porovnávaly pouze rohy.

K testování chromatické aberace lze použít různé testovací diagramy, pro tuto část byl vytvořen autorem testovací diagram, který vychází ze standardu eSFR ISO 12233 (obr. 3.4) v programu Adobe Illustrator. Diagram byl vytisknut na plotru Canon ImagePROGRAF TX-4000 o rozměrech 1350 × 900 mm a umístěn na stěnu. Opět byla použita záblesková světla Godox a při testování dronů halogenová světla. Zařízení byla testována při stejném nastavení jako při testování vinětace (viz kapitola 4.2.1). Vzdálenost, ze které bylo foceno, byla volena tak, aby testovací diagram vyplňoval celý snímek s tím, že při testování fotoaparátů Olympus a dronu Mavic Mini, které fotí ve formátu 4/3, byl snímek oříznut na delší straně.

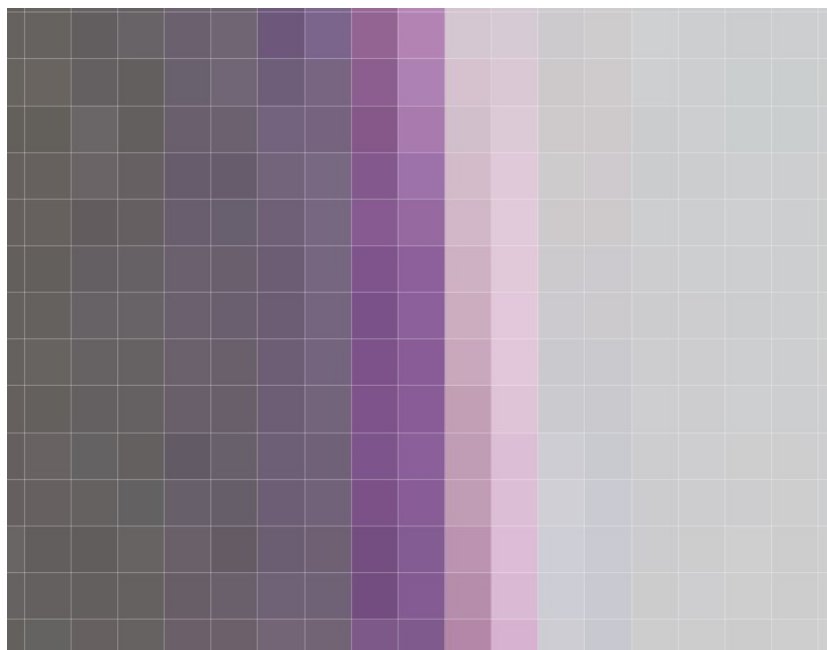


Obr. 4.2.2-1 Dokumentace testování chromatické aberace.

Nafocené snímky byly převedeny do formátu TIFF v programu Zoner Photo Studio X a následně naimportovány do programu Adobe Photoshop 2019. Každý snímek byl zkoumán na pěti místech. Vzhledem k tomu, že je aberace nejvýraznější v rozích (obr. 4.2.2-1), byla zde hodnota aberace vyhodnocována na třech místech. Ze středu snímku na dvou. Síla aberace se udává v pixelech, kdy udávaná hodnota znázorňuje vzdálenost, kam aberace dosahuje. Každý snímek byl přiblížen tak, aby bylo možné spočítat obarvené pixely (obr. 4.2.2-3). Poté byly hodnoty z těchto tří a dvou míst zprůměrovány a zaneseny do grafu.



Obr. 4.2.2-2 Aberace v rohu.



Obr. 4.2.2-3 Aberace v rohu – detail.

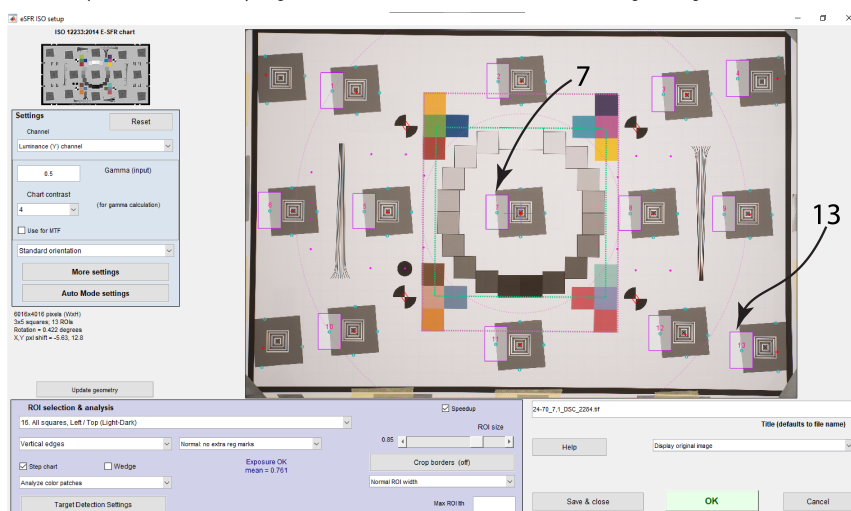
4.2.3 Testování Modular Transfer Function (MTF)

Vada MTF neboli relativní kontrast při dané prostorové frekvenci je klíčem k měření ostrosti. Nejčastěji se pro porovnání různých zařízení mezi sebou používá MTF50, kde MTF je 50% hodnoty nízké frekvence. Hodnoty se udávají v jednotkách LW/PH, kde LW je šířka čar a PH je výška snímku.

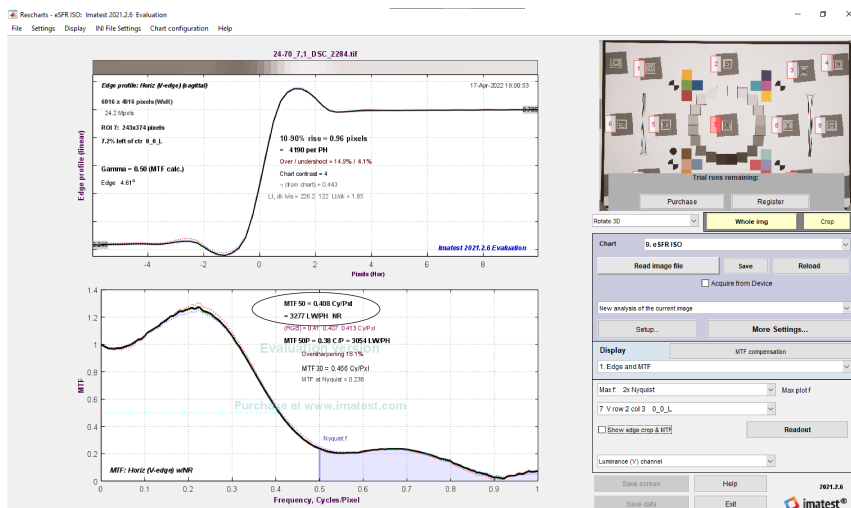
MTF je ovlivněna především objektivem, částečně i velikostí čipu. Pro tuto práci se však velikost čipu zanedbala. Ostrost se liší na rozích a ve středu snímku, ve středu bývá snímek zpravidla nejostřejší.

Pro vyhodnocení vady MTF byly použity snímky pořízené při testování chromatické aberace. Vzhledem k tomu, že ostrost od středu k rohům klesá, byly rohy a středy snímků vyhodnocovány zvlášť. Jednotlivé snímky ve formátu TIFF byly vloženy do programu Imatest Master, byl zvolen vyfotografovaný testovací diagram a program spočítal hodnotu MTF50 v rohu (pozice 13) snímku a ve středu (pozice 7) (obr. 4.2.3-1).

Získaná data (obr. 4.2.3-2) byla vložena do Excel tabulky a vyhodnocena.



Obr. 4.2.3-1 Imatest nastavení analýzy MTF.



Obr. 4.2.3-2 Imatest výsledky analýzy MTF pro střed snímku.

4.2.4 Testování distorze objektivu

Distorze objektivu je jedna ze základních vad zkreslení objektivu. Způsobuje zakřivení přímých čar především na okrajích snímku. Má dva základní tvary, může být soudkovitá nebo poduškovitá, případně pak bez zkreslení.

Na distorzi má největší vliv zvolené ohnisko objektivu. Největší zkreslení se projevuje na extrémně širokoúhlých objektivách, případně pak na teleobjektivách.

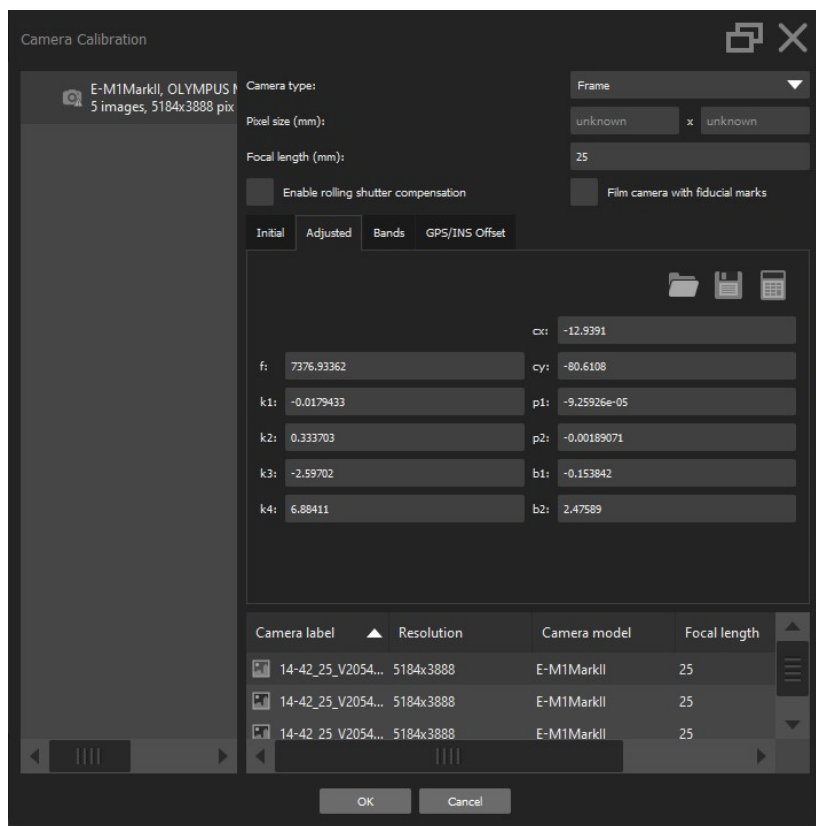
V programu Agisoft Metashape, který disponuje pluginem Agisoft Lens, byla zobrazena pravidelná mřížka, která byla následně promítnuta na obrazovku televize. Tato mřížka byla vyfocena jednotlivými objektivy v testovaných ohniscích z pěti úhlů. Vždy z čela, kolmo k obrazovce, dále pak ze stran, z vrchu a ze spodu. Byly vytvořeny i další čtyři snímky z rohů obrazovky, se kterými se však následně nepracovalo, protože je program nedokázal správně zpracovat.



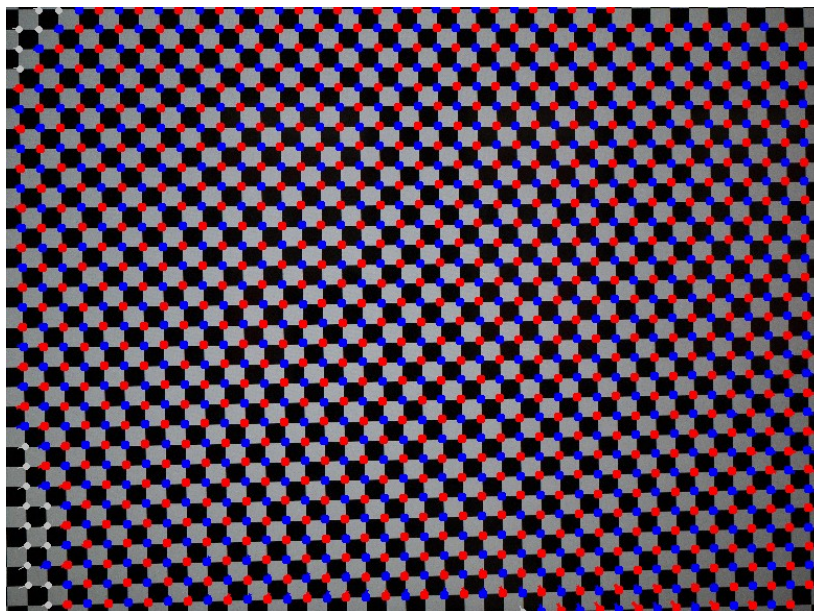
Obr. 4.2.4-1 Dokumentace testování distorze objektivu.

Tyto snímky byly převedeny do formátu TIFF a vloženy do programu Agisoft Metashape. Snímky byly analyzovány spuštěním nástroje *Calibrate Lens*. Po otevření nástroje *Camera Calibration* (obr. 4.2.4-2) program zobrazí vypočítané koeficienty,

případně i graf vývoje distorze a opravenou testovací mřížku (obr. 4.2.4-3). Tyto hodnoty byly vyexportovány do textového souboru a vloženy do Excel tabulky, kde byly následně porovnány s ostatními objektivy.



Obr. 4.2.4-2 Agisoft vypočtené koeficienty.



Obr. 4.2.4-3 Agisoft opravená testovací mřížka.

4.2.5 Testování úroveň šumu v obraze

Úroveň šumu byla poslední testovaná vada. Šum je náhodná změna hustoty obrazu, vzniká zesílením původního signálu na snímači. Je ovlivněn velikostí snímače, na

velkých snímačích se neprojevuje tak viditelně. Existuje několik druhů šumu, viditelný, ovlivněný dobou expozice a ovlivněný nastavenou hodnotou ISO. V této práci je zkoumán šum ovlivněný nastavením ISO. Šum se dá zkoumat různými způsoby. Jedním z nich je vyfotografování standardizovaného kalibračního terče ColorChecker (obr. 4.2.5-1).



Obr. 4.2.5-1 Colorchecker.

Byla pořízena série snímků na každém zařízení při nastavení těchto hodnot ISO: 100, 200, 400, 800, 1600, 3200, respektive při nastavení hodnot, které dané zařízení umožňuje. Fotografovaný terč byl při testování fotoaparátů v nejkratší zaostřovací vzdálenosti, při testování dronů byl umístěn blíže, než lze zaostřit, proto mohou být výsledky u těchto zařízení zkresleny.

Následně byly snímky vloženy do programu Imatest Master, kde byl zvolen testovací diagram ColorChecker. Snímky program zarovnal, případně byly zarovnány ručně, a provedl analýzu na všech barevných čtvercích. Pro tuto práci byl zkoumán a porovnáván pouze základní šum na černém čtverci, bílém čtverci a čtvercích šedých odstínů. Výsledky z analýz jednotlivých snímků byly uloženy ve formátu JSON (obr. 4.2.5-2) a hodnota kanálu Y-Luminance, která udává hodnoty šumu ve zkoumaných čtvercích, byla přepsána do tabulky Excel, kde proběhlo celkové vyhodnocení a porovnání mezi zařízeními.

```
*ColorTone_Mini_400_DJI_0275.tifjson - Poznámkový blok
Soubor Úpravy Formát Zobrazení Nápověda
"max_Delta_C2000_sat_corr": [10.3],
"mean_RegionSize": [65407.7],
"Sequence_dark_to_light": [1,2,3,4,5,6],
"Patch_number": [24,23,22,21,20,19],
"R_noise": [0.01205,0.01186,0.01566,0.01351,0.01092,0.01885],
"G_noise": [0.01099,0.01131,0.01549,0.01357,0.01195,0.01703],
"B_noise": [0.01166,0.01188,0.01568,0.01383,0.01294,0.01603],
"Y_luminance_noise":
[0.01105,0.0112,0.01533,0.01341,0.01161,0.01708],
"R_SNR_ratio": [78.97,73.4,48.85,43.49,34.67,11.12],
"G_SNR_ratio": [83.74,74.84,47.74,40.58,29.22,10.34],
"B_SNR_ratio": [72.33,64.68,40.57,32.67,21.2,9.053],
"Y_luminance_SNR_ratio": [83.41,75.52,48.09,41.09,30.15,10.6],
"R_SNR_dB": [37.95,37.31,33.78,32.77,30.8,20.92],
"G_SNR_dB": [38.46,37.48,33.58,32.17,29.31,20.29],
"B_SNR_dB": [37.19,36.22,32.16,30.28,26.53,19.14],
"Y_luminance_SNR_dB": [38.42,37.56,33.64,32.28,29.59,20.5],
"Y_f_stop_SNR_ratio": [10.85,12.37,11.85,14.16,12.16,6.569],
"Y_f_stop_SNR_dB": [20.71,21.84,21.47,22.02,21.71,6.271]
```

Obr. 4.2.5-2 Vyexportovaný soubor JSON.

4.3 Vyhodnocení experimentu

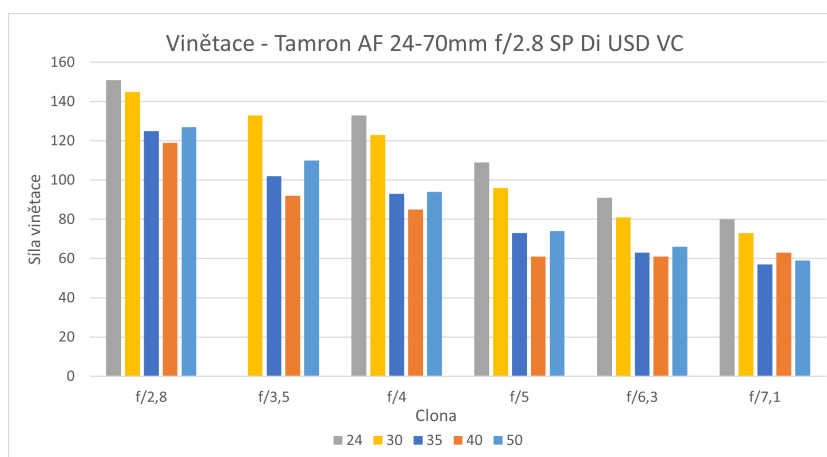
V následujících kapitolách jsou zobrazeny naměřené hodnoty zanesené do grafů pro jednotlivé objektivy, drony a mobilní telefon. U grafů je slovní komentář. Jsou zde také zobrazeny grafy pro porovnání jednotlivých zařízení při použití různých ohnisek. Na konci každé podkapitoly je slovní textové hodnocení za celou vadu.

4.3.1 Vyhodnocení vinětače

Vinětače byla porovnávána v rámci každého zařízení podle nastaveného clonového čísla. U zoom objektivů se porovnávaly navíc i ohniska mezi sebou. U některých z těchto objektivů nelze nastavit všechna testovaná clonová čísla na všech ohniscích, proto nemohly být tyto hodnoty testovány a v datech nejsou zobrazovány.

Objektiv Tamron AF 24-70 mm f/2.8 SP Di USD VC

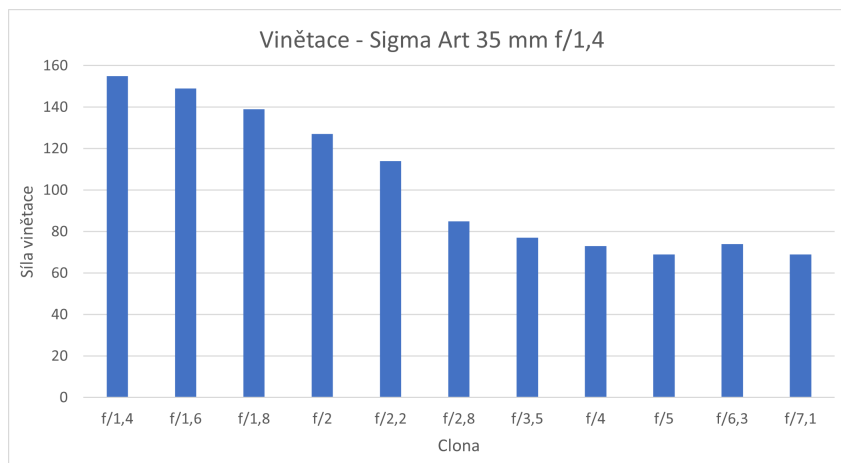
Vinětače na tomto objektivu je velmi silná především na nejkratším ohnisku 24 mm, ale i na 30 mm, a to při nastavení clony f/2,8. Slabá síla vinětače je až při cloně f/5 a ohnisku 35 mm a delším. Na ohnisku 24 mm při cloně f/3,5 chybí údaj, to je zapříčiněno chybějícím snímkem, který nemohl být nahrazen novým z důvodu vzniku jiného nasvícení plochy a vznikem velké odchylky (obr. 4.3.1-1).



Obr. 4.3.1-1 Graf vinětače objektiv Tamron 24-70 mm f/2.8.

Objektiv Sigma Art 35 mm f/1,4

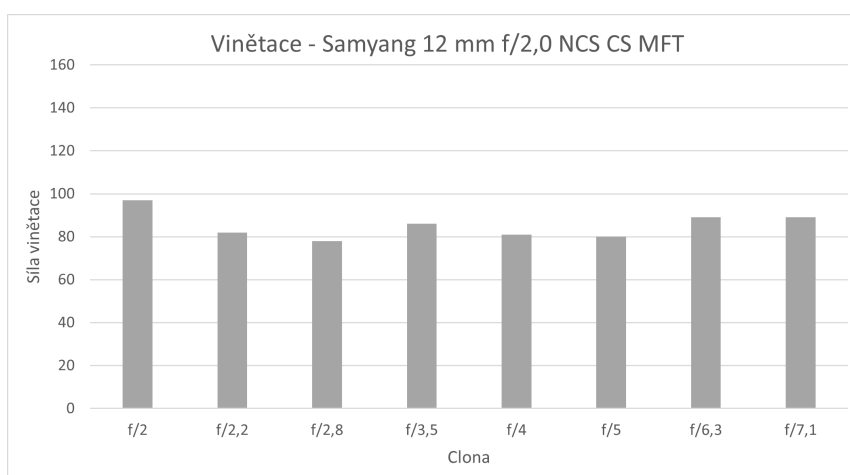
Tento velmi světlý objektiv s pevnou ohniskovou vzdáleností 35 mm má velkou tendenci vinětovat při nejnižších clonových hodnotách. Vinětače klesá se zvyšováním clonového čísla, od hodnoty f/2,8 je vinětače výrazně nižší (obr. 4.3.1-2).



Obr. 4.3.1-2 Graf vinětace objektiv Sigma Art 35 mm f/1,4.

Objektiv Samyang 12 mm f/2,0 NCS CS MFT

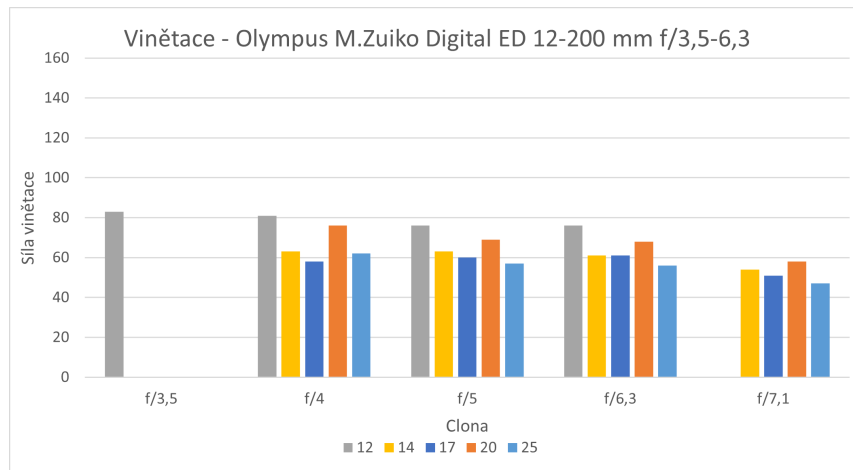
Pevný širokoúhlý objektiv s nejnižším clonovým číslem f/2,0 určen pro fotoaparáty s bajonetem micro4/3, nepřenáší žádná data EXIF do fotoaparátu. Jeho síla vinětace je relativně konstantní a nízká při změně clonových čísel (obr 4.3.1-3).



Obr 4.3.1-3 Graf vinětace objektiv Samyang 12 mm f/2,0.

Objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3

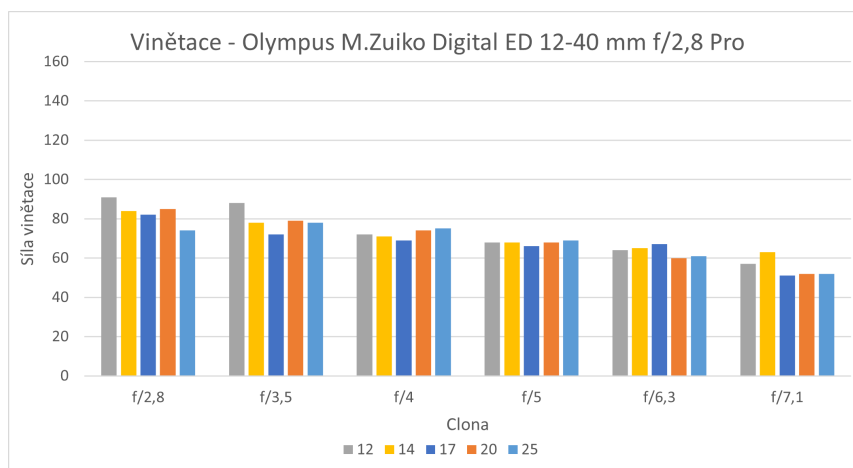
Objektiv s extrémní proměnlivou ohniskovou vzdáleností po přepočtu na full frame 24-400 mm si vedl v tomto testu velice dobře. Nejsilnější vinětaci má při nejkratším ohnisku 12 mm (24 mm ekv.), ale i tak je síla vinětace stále malá. Zajímavý je rozdíl mezi ohnisky 20 mm a 25 mm, kdy při ohnisku 20 mm se síla vinětace opět lehce zvedá. Chybějící údaj na ohnisku 12 mm a cloně f/7,1 je z důvodu absence testovacího snímku, který nemohl být nahrazena novým, z důvodu vzniku velké odchylky (obr 4.3.1-4).



Obr. 4.3.1-4 Graf vinětace objektiv Olympus 12-200 mm f/3,5-6,3.

Objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-40 mm f/2,8 Pro

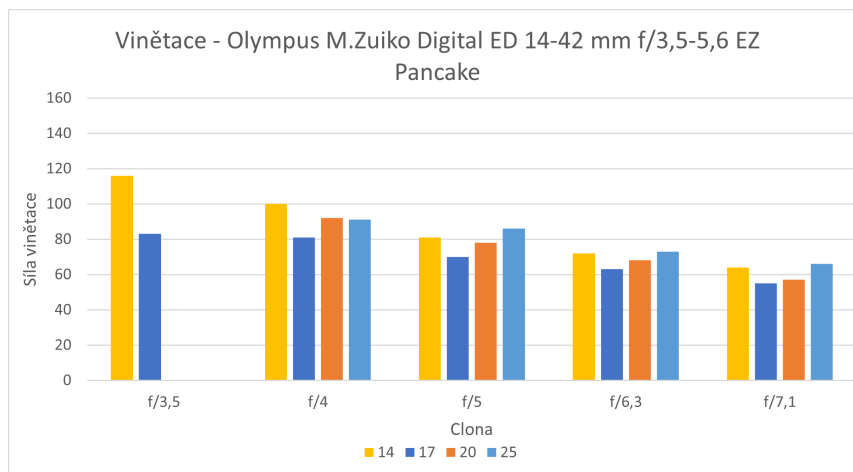
Zoomový objektiv s pevným clonovým číslem v celém rozsahu a s označením Pro, která označuje i odolnost vůči prachu a vodě. Tento objektiv má téměř stejnou sílu vinětace na testovaných ohniscích, se zvyšujícím se clonovým číslem značně klesá, na nejnižších clonových číslech je nejvýraznější u ohnisek 12 mm a 14 mm (obr. 4.3.1-5).



Obr. 4.3.1-5 Graf vinětace objektiv Olympus 12-40 mm f/2,8 Pro.

Objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 14-42 mm f/3,5-5,6 EZ Pancake

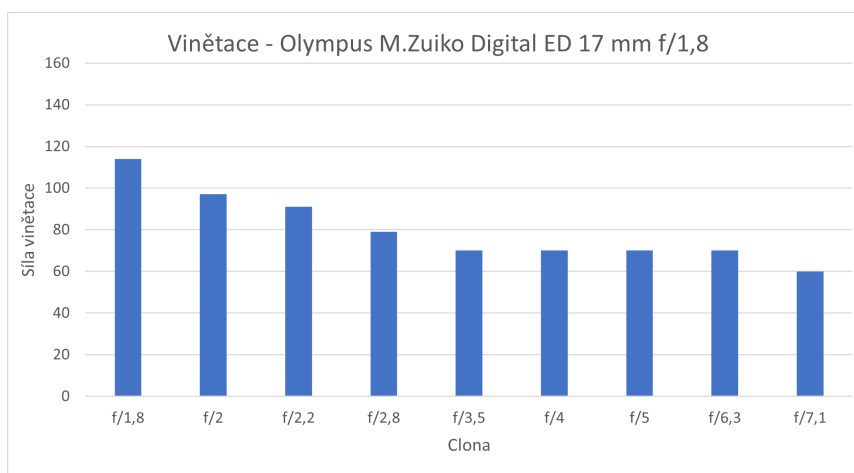
Nejmenší testovaný objektiv s elektronickým zoomem je velmi náchylný na vinětaci na nejkratším ohnisku 14 mm a cloně f/3,5, na ohnisku 17 mm síla vinětace značně klesne. Avšak při použití ohniska 25 mm se opět projeví (obr 4.3.1-6).



Obr 4.3.1-6 Graf vinětace objektiv Olympus 14-42 mm f/3,5-5,6.

Objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 17 mm f/1,8

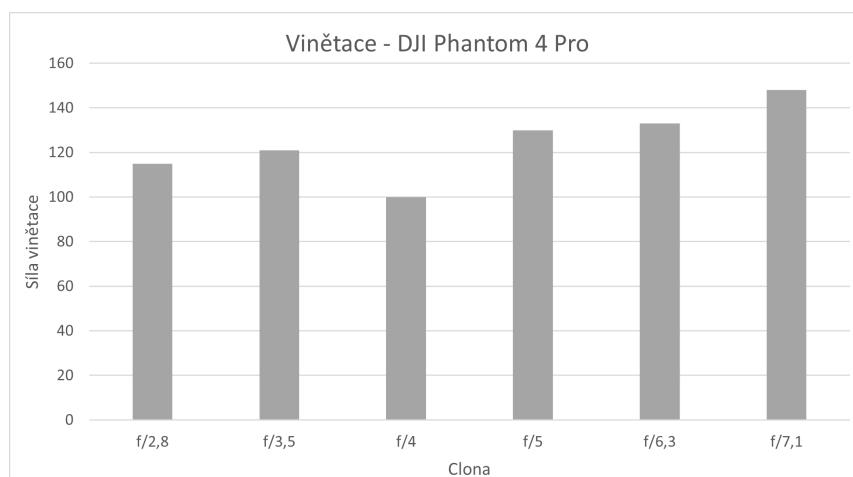
Malý světelný objektiv s pevnou ohniskovou vzdáleností 17 mm, po přepočtu na full frame 34 mm má velkou tendenci vinětovat od plně otevřené clony f/1,8 až po clonu f/3,5, odkud se síla vinětace ustálí, další skok nastává mezi f/6,3 a f/7,1 (obr. 4.3.1-7).



Obr. 4.3.1-7 Graf vinětace objektiv Olympus 17 mm f/1,8.

Dron DJI Phantom 4 Pro

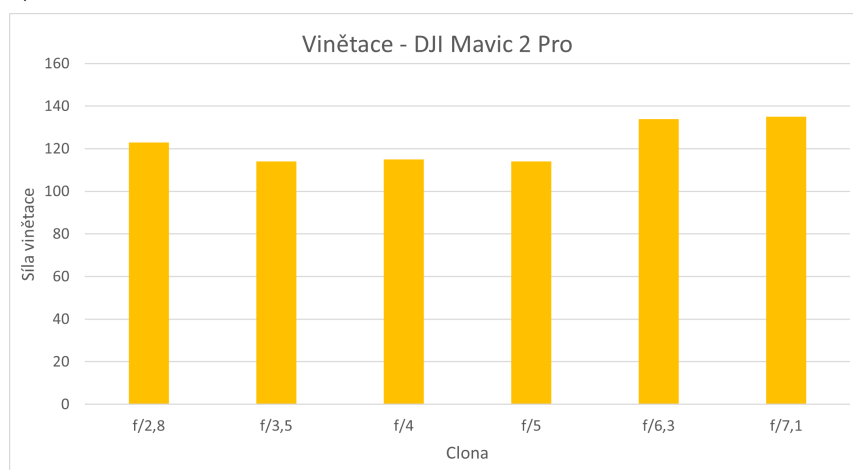
Největší z testovaných dronů s ohniskovou vzdáleností 24 mm po přepočtu na full frame je velmi náchylný na vinětaci. Nejmenší vinětaci má při nastaveném clonovém čísle f/4 a nejsilnější, a to je velmi zajímavé, má při cloně f/7,1 (obr. 4.3.1-8).



Obr. 4.3.1-8 Graf vinětace dron DJI Phantom 4 Pro.

Dron DJI Mavic 2 Pro

Tento dron s ohniskovou vzdáleností 28 mm po přepočtu má podobnou charakteristiku vinětace, jako Phantom, silně vinětuje při všech nastavených clonových číslech a stejně jako předchozí dron má vinětaci nejsilnější při testované cloně f/7,1 (obr. 4.3.1-9).



Obr. 4.3.1-9 Graf vinětace dron DJI Mavic 2 Pro.

Dron DJI Mavic Mini

Nejmenší z testovaných dronů, u kterého nelze měnit clonové číslo. Clona je nastavena na hodnotu f/2,8. Podle testování na vinětaci je toto zařízení nejnáchylnější ze všech vybraných. Dosahuje hodnoty rozdílu mezi nejjasnějším a nejtmaším pixelem 156.

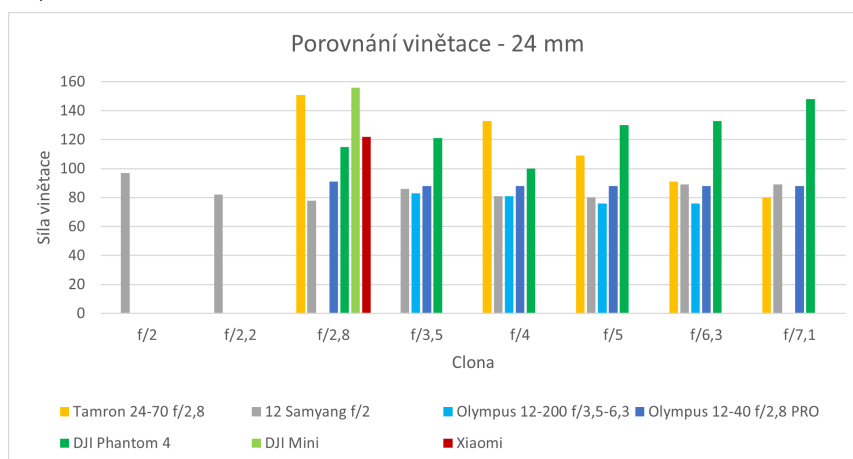
Mobilní telefon Xiaomi Redmi Note 9 Pro

Mobilní telefon s pevně nastavenou clonou má velkou tendenci vinětovat, jeho hodnota rozdílu jasu pixelů je 122.

Porovnání ohnisko 24 mm

Na nejkratším testovaném ohnisku má nejvýraznější vinětaci dron DJI Mavic Mini, hned za ním je objektiv Tamron při cloně f/2,8, f/4 a f/5. Další zařízení, které je na tomto ohnisku velmi náchylné na vinětaci je dron DJI Phantom 4 Pro, který i při cloně f/7,1 má vinětaci silnější než jiná zařízení při nižších clonových číslech. Objektiv

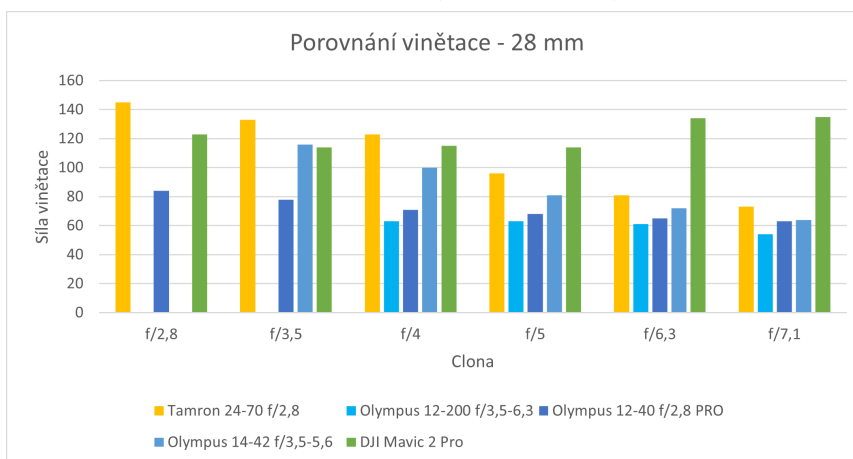
Olympus M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3 vychází na tomto ohnisku nejlépe (obr. 4.3.1-10).



Obr. 4.3.1-10 Graf porovnání vinětace 24 mm.

Porovnání ohnisko 28 mm

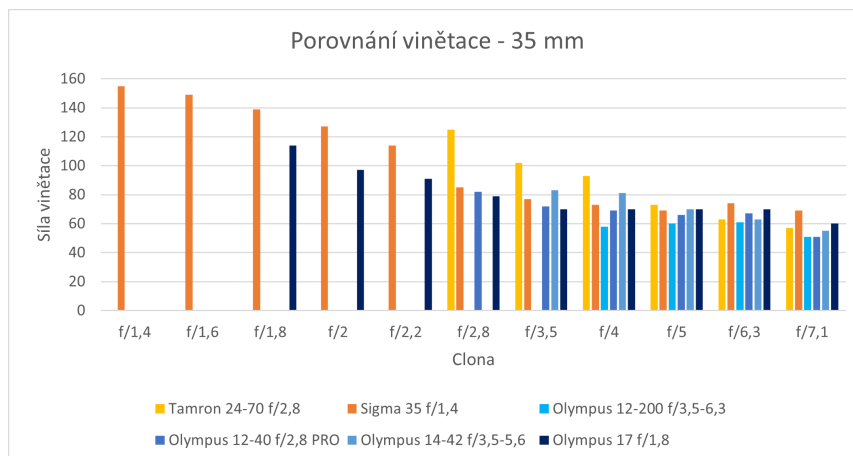
Na tomto ohnisku má největší tendenci vinětovat objektiv Tamron AF 24-70 mm f/2.8 SP Di USD VC, v porovnání s ostatními objektivy na všech clonových číslech. Dron DJI Mavic 2 Pro je na tom obdobně. Je zajímavé, že při cloně f/7,1 má sílu vinětace jen o trochu menší, než Tamron při cloně f/2,8 (obr. 4.3.1-11).



Obr. 4.3.1-11 Graf porovnání vinětace 28 mm.

Porovnání ohnisko 35 mm

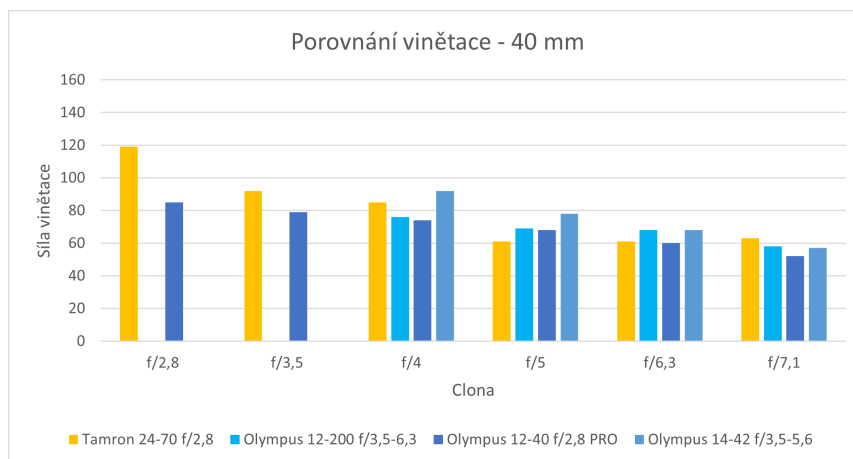
Do tohoto porovnání byly začleněny Olympus objektivy na při použití ohniskové vzdálenosti 17 mm, protože jsou velmi blízké k přepočtenému ohnisku na full frame 35 mm. Objektiv Sigma Art 35 mm f/1,4 má sice vinětaci nejsilnější při nejnižší nastavené cloně, avšak v porovnání s ostatními objektivy, například při cloně f/3,5, má vinětaci slabší. Podobně se chová i objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 17 mm f/1,8. Nejmenší tendenci vinětovat na tomto ohnisku má objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3, na kterém lze nastavit nejnižší clonu pouze f/4, ale na všech vyšších clonových číslech má vinětaci nejmenší (obr. 4.3.1-12).



obr. 4.3.1-12 Graf porovnání vinětace 35 mm.

Porovnání ohnisko 40 mm

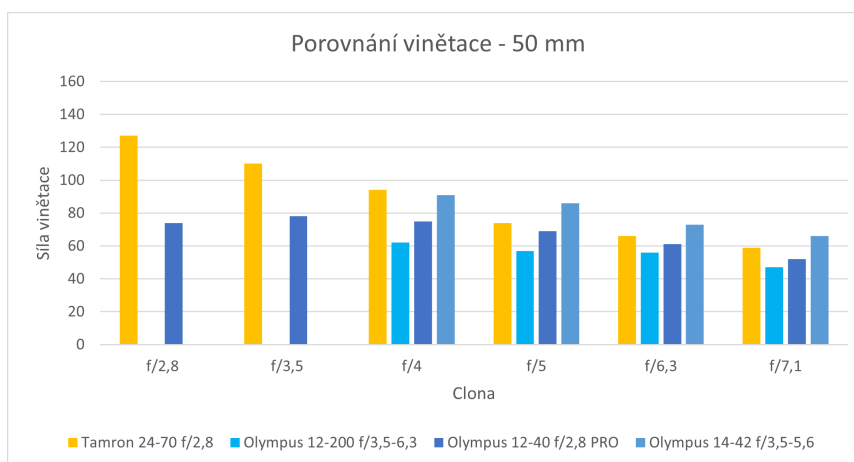
Na tomto ohnisku má nejhorší úroveň vinětace objektiv Tamron AF 24-70 mm f/2.8 SP Di USD VC při cloně f/2,8, avšak při cloně f/4 až f/6,3 je objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 14-42 mm f/3,5-5,6 EZ Pancake horší (obr. 4.3.1-13).



Obr. 4.3.1-13 Graf porovnání vinětace 40 mm.

Porovnání ohnisko 50 mm

Na nejdelším testovaném ohnisku je opět nejhorší objektiv Tamron AF 24-70 mm f/2.8 SP Di USD VC, a to od hodnoty clony f/2,8 až po f/4. Od clony f/5 až po testovanou clonu f/7,1 nejvíce vinětuje objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 14-42 mm f/3,5-5,6 EZ Pancake. Objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3 je na všech testovaných clonových hodnotách nejlepší (obr. 4.3.1-14).



Obr. 4.3.1-14 Graf porovnání vinětace 50 mm.

Celkové vyhodnocení

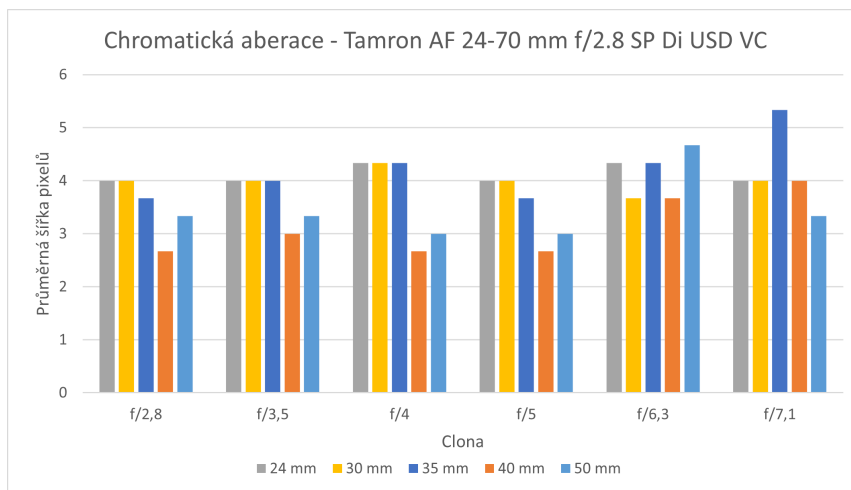
Všechny testované drony trpí na silnou vinětaci, zvláště při vysokých hodnotách clony. Objektiv Tamron AF 24-70 mm f/2.8 SP Di USD VC má velkou tendenci vinětovat téměř při všech clonových číslech. Velmi světelné objektivy s pevnou ohniskovou vzdáleností mají vinětaci nejsilnější při nejnižších nastavených clonách, avšak při clonách vyšších hodnot jsou mnohdy lepší než testované zoom objektivy. Jednoznačně je na vinětaci nejméně náchylný objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3, který na téměř všech ohniscích a všech testovaných clonových číslech dosahuje nejnižších hodnot.

4.3.2 Vyhodnocení chromatické aberace

Chromatická aberace byla stejně jako vada vinětace porovnávána na objektivem a dronech při použití různých clonových čísel a ohnisek. Vzhledem k tomu že se nejvíce projevuje na rozích snímku, jsou následující grafy zobrazovány pouze pro tato místa. V případě, že se aberace vyskytovala i ve středu snímku, je tento úkaz zmíněn v textu.

Objektiv Tamron AF 24-70 mm f/2.8 SP Di USD VC

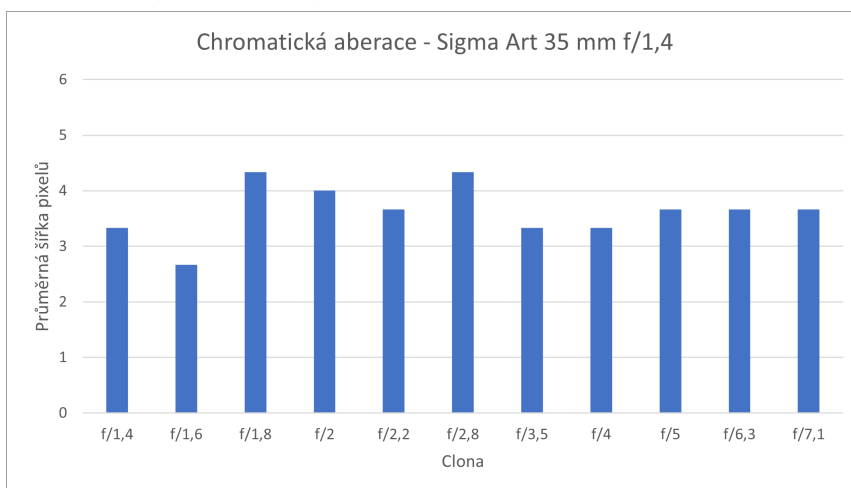
Chromatická aberace je u tohoto objektivu poměrně vysoká. Nejvyšší hodnoty 5,3 px dosahuje při cloně f/7,1 a ohnisku 35 mm. Při ohniscích 40 a 50 mm je aberace výrazně nižší pouze po clonu f/5, poté se opět zvedá. Objektiv však nevykazuje žádné stopy chromatické aberace ve středu snímku na všech ohniscích a všech testovaných clonových číslech (obr. 4.3.2-1).



Obr. 4.3.2-1 Graf chromatická aberace objektiv Tamron 24-70 mm f/2.8.

Objektiv Sigma Art 35 mm f/1,4

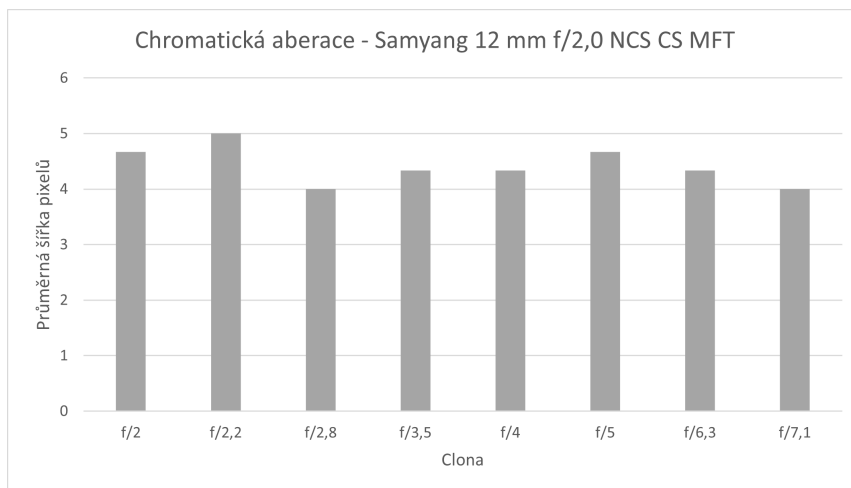
Tento objektiv je velmi náchylný k aberaci, a to na všech clonových číslech. Nejvyšší hodnoty 4,3 px jsou na clonách f/1,8 a f/2,8. Nejnižší hodnota byla naměřena při cloně f/1,6. Podobně se tento objektiv chová i ve středu snímku, kde se aberace nejčastěji vyskytuje v délce 2 px (obr. 4.3.2-2).



Obr. 4.3.2-2 Graf chromatická aberace objektiv Sigma Art 35 mm f/1,4.

Objektiv Samyang 12 mm f/2,0 NCS CS MFT

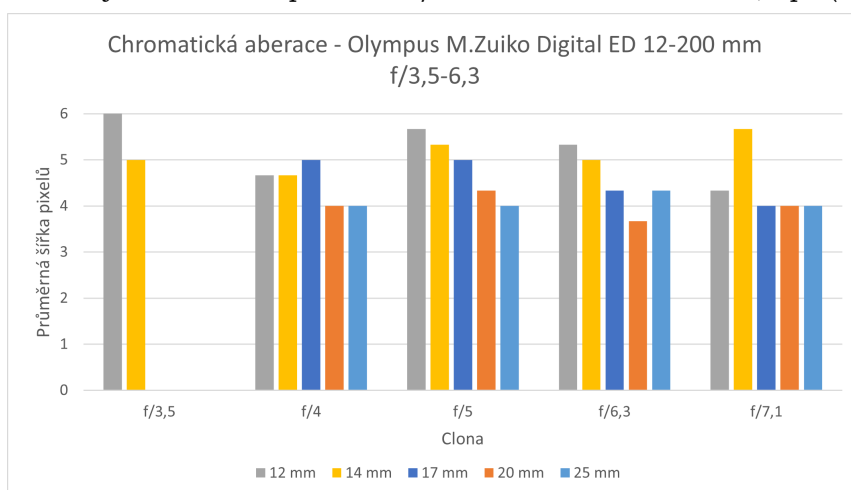
Aberace na tomto objektivu je patrná již na první pohled. Nejvyšší hodnoty pět px dosahuje při cloně f/2,2. při ostatních clonových číslech je stále vysoká, nejnižší hodnota čtyři px byla naměřena při clonách f/2,8 a f/7,1. Ve středu snímku se aberace také vyskytuje, ale již není tak výrazná, nejvyšší hodnotu 1,5 px dosahuje při cloně f/2 (obr. 4.3.2-3).



Obr. 4.3.2-3 Graf chromatická aberace objektiv Samyang 12 mm f/2,0.

Objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3

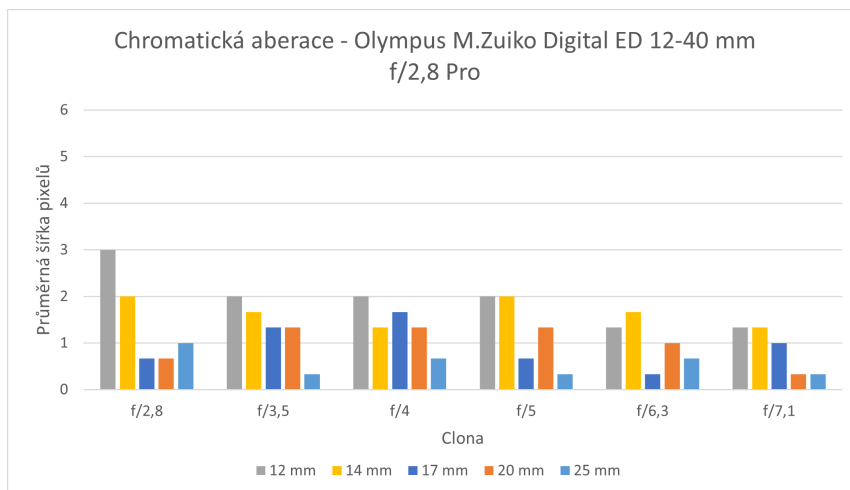
Chromatická aberace je u tohoto objektivu výrazná především na ohnisku 12 a 14 mm, kdy na ohnisku 12 mm a cloně f/3,5 dosahuje hodnoty šest pixelů. Při použití dalších ohnisek síla aberace lehce klesne, avšak i tak se vyskytuje v síle okolo hodnot čtyři px. Ve středu snímku se aberace stále vyskytuje v malé síle až po ohnisko 17 mm, nejvyšší hodnota byla naměřena při cloně f/4 na ohnisku 12 mm – 4,5 px (obr. 4.3.2-4).



Obr. 4.3.2-4 Graf chromatická aberace objektiv Olympus 12-200 mm f/3,5-6,3.

Objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-40 mm f/2,8 Pro

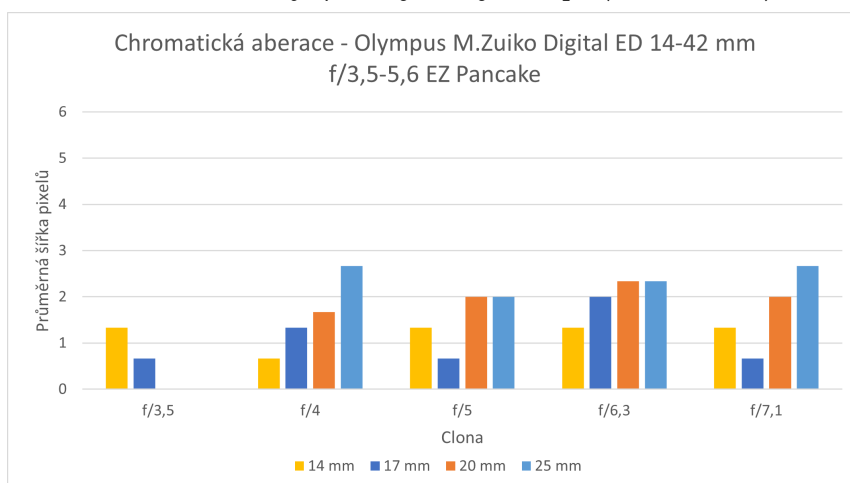
Tento objektiv zvládá chromatickou aberaci velmi dobře, jediná vyšší odchylka tři pixely byla naměřena na ohnisku 12 mm a cloně f/2,8. Nejnižší hodnoty na všech testovaných clonových číslech byly naměřeny při použití ohniska 25 mm. Na středu snímku není aberace patrná, jen při ohnisku 12 mm a cloně f/2,8 je její síla dva px (obr. 4.3.2-5).



Obr. 4.3.2-5 Graf chromatická aberace objektiv Olympus 12-40 mm f/2,8 Pro.

Objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 14-42 mm f/3,5-5,6 EZ Pancake

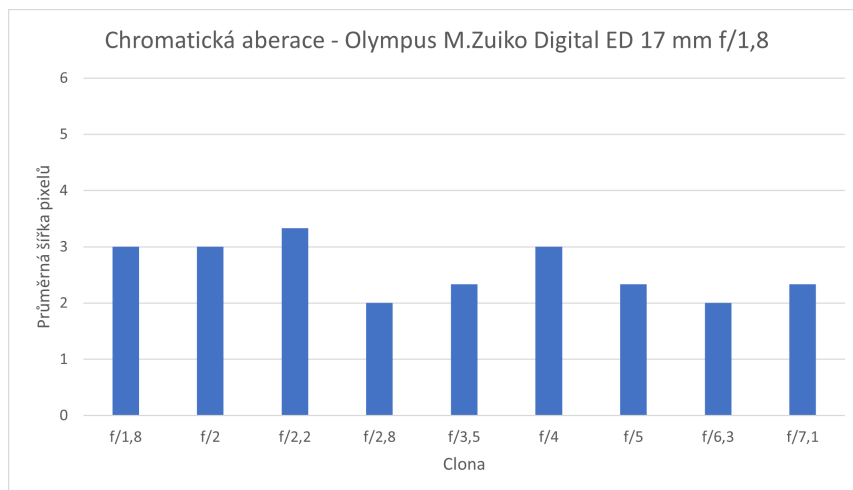
U tohoto objektivu se chromatická aberace zvyšuje se zvyšujícím se ohniskem a clonovým číslem. Nejvyšších hodnot dosahuje na ohnisku 25 mm a clonách f/4 a f/7,1. Nejnižších na ohnisku 17 mm, ovšem na nejkratším možném ohnisku 14 mm u tohoto objektivu je síla aberace také nízká. Střed snímku je nevíce postihnut aberací při použití ohniska 25 mm a clony f/4. Její síla je 1,5 px (obr. 4.3.2-6).



Obr. 4.3.2-6 Graf chromatická aberace objektiv Olympus 14-42 mm f/3,5-5,6.

Objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 17 mm f/1,8

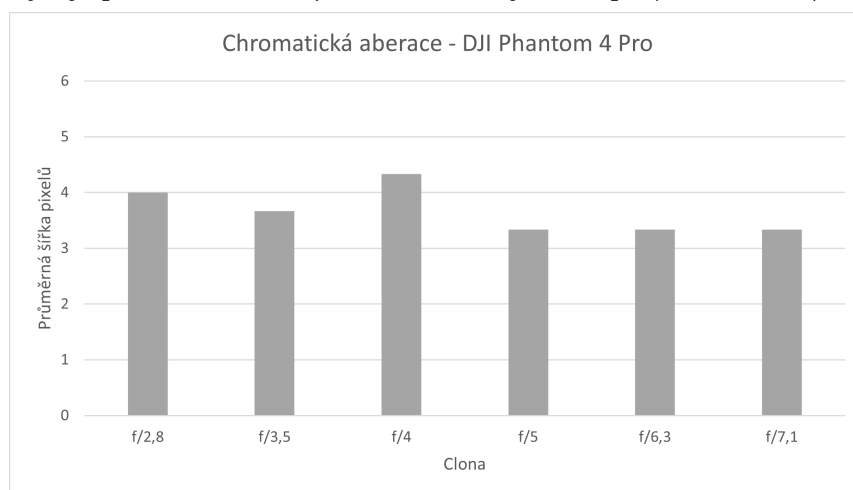
Aberace na tomto objektivu dosahuje maximální hodnoty 3,3 px, a to při nastavené cloně f/2,2. Při nastavení ostatních clonových čísel je dosahuje síla aberace nižších hodnot, v rozmezí od tří do dvou pixelů. Uprostřed snímku je aberace nejvyšší při cloně f/1,8 (obr. 4.3.2-7).



Obr. 4.3.2-7 Graf chromatická aberace objektiv Olympus 17 mm f/1,8.

Dron DJI Phantom 4 Pro

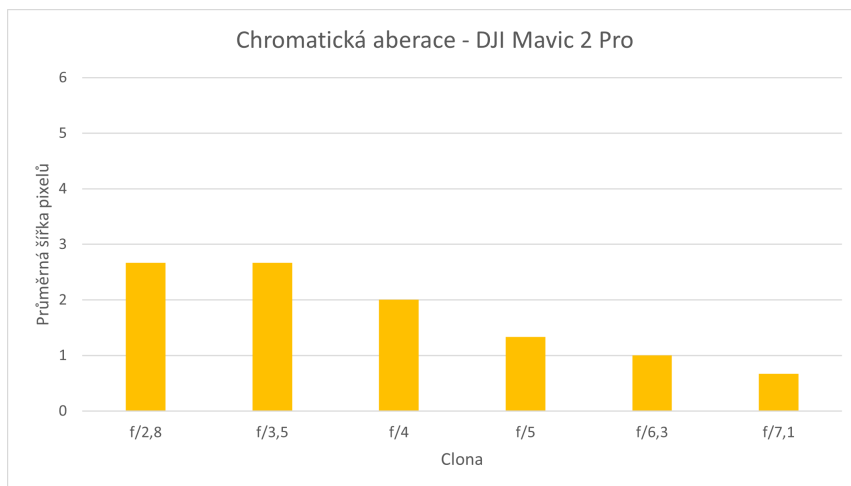
U tohoto dronu se chromatická aberace vyskytuje v nejvyšší míře při cloně f/4, dosahuje hodnoty 4,3 px, při nastavení jiných clonových čísel je podobně vysoká, nejnižší hodnota 3,3 px je u clonových čísel f/5, f/6,3 a f/7,1. Ve středu snímku se aberace vyskytuje pouze na cloně f/2,8 a to v síle jen 0,5 px (obr. 4.3.2-8).



Obr. 4.3.2-8 Graf chromatická aberace Dron DJI Phantom 4 Pro.

Dron DJI Mavic 2 Pro

Síla chromatické aberace u tohoto dronu se zvyšujícím se clonovým číslem klesá, nejvyšší hodnotu 2,6 px dosahuje při clonách f/2,8 a f/3,5. Nejnižší hodnotu 0,6 při nejvyšší testované cloně 7,1. Uprostřed snímku je aberace při nejnižší cloně podobně vysoká jako na jeho rozích, dosahuje hodnoty 2 px (obr. 4.3.2-9).



Obr. 4.3.2-9 Graf chromatická aberace Dron DJI Mavic 2 Pro.

Dron DJI Mavic Mini

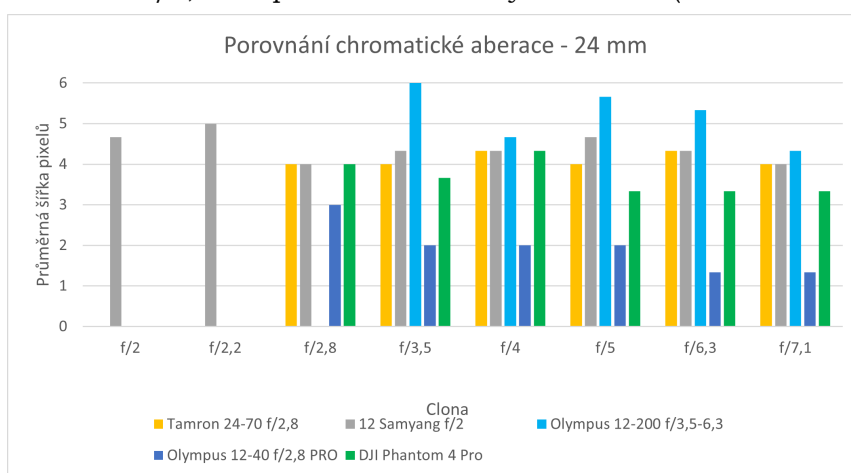
Chromatická aberace se na tomto zařízení nedala změřit zvolenou hodnotou z důvodu malého rozlišení snímku.

Mobilní telefon Xiaomi Redmi Note 9 Pro

U tohoto zařízení byl stejný problém, jak u předchozího dronu, z důvodu malého rozlišení nešla změřit a vyhodnotit tato vada.

Porovnání ohnisko 24 mm

Na tomto testovaném ohnisku je jednoznačně aberace nejsilnější u objektivu Olympus M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3 a to na všech testovaných clonových číslech, které se dají pro tento objektiv nastavit. Clonu f/2 a f/2,2 lze nastavit pouze na objektivu Samyang 12 mm f/2,0 NCS CS MFT, při tomto nastavení dosahuje síla aberace také vysokých hodnot. Nejnižších hodnot nabývá objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-40 mm f/2,8 Pro při všech testovaných clonách (obr. 4.3.2-10).

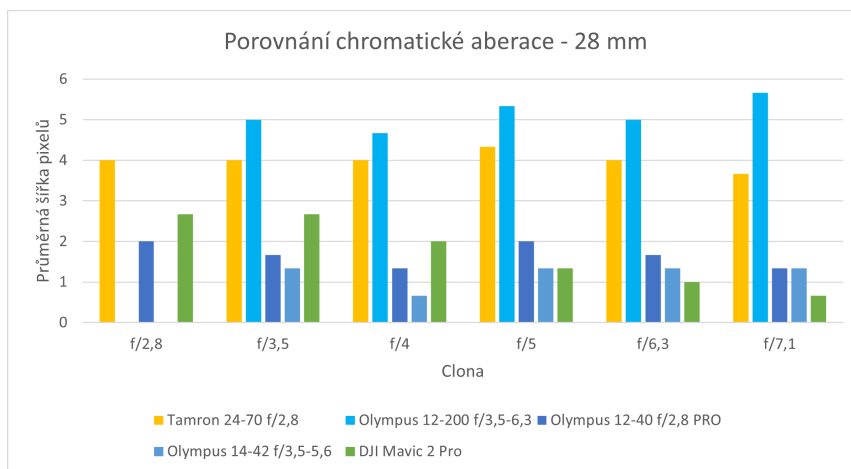


Obr. 4.3.2-10 Graf porovnání chromatické aberace 24 mm.

Porovnání ohnisko 28 mm

Na ohnisku 28 mm převyšují svými hodnotami ostatní zařízení dva objektivy, M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3 a Tamron AF 24-70 mm f/2.8 SP Di USD VC.

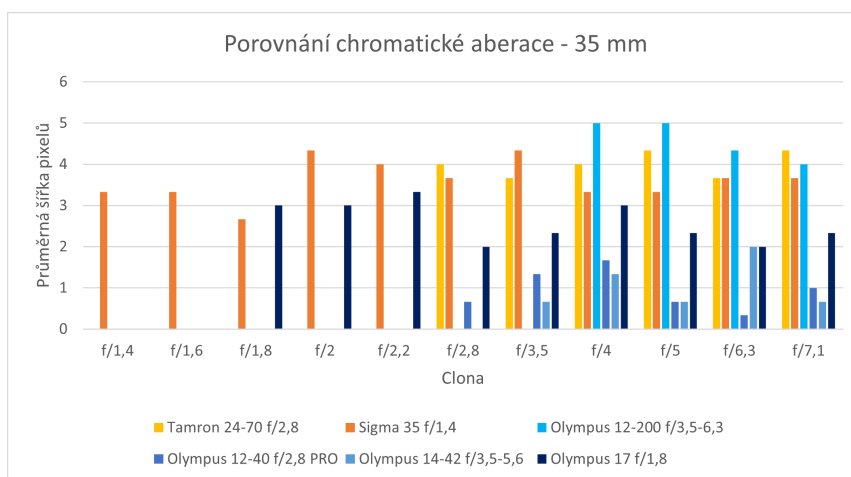
Nejnižších hodnot dosahuje objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-40 mm f/2,8 Pro a při zaclonění na f/6,3 a f/7,1 pak dron DJI Mavic 2 Pro (obr. 4.3.2-11).



Obr. 4.3.2-11 Graf porovnání chromatické aberace 28 mm.

Porovnání ohnisko 35 mm

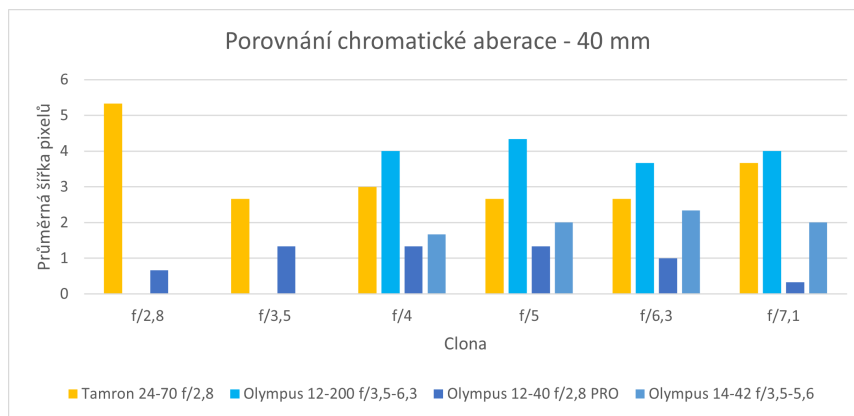
Při použití této ohniskové vzdálenosti dosahuje opět nejhorších výsledků objektiv M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3. Objektivy na fotoaparát Nikon jsou náchylné k chromatické aberaci o něco méně, avšak i tak dosahují vysokých hodnot. Při použití nízkých clonových čísel je k aberaci velmi náchylný i pevný objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 17 mm f/1,8. Zbylé dva Olympus objektivy dosahují nejnižších hodnot při všech clonových číslech (obr. 4.3.2-12).



Obr. 4.3.2-12 Graf porovnání chromatické aberace 35 mm.

Porovnání ohnisko 40 mm

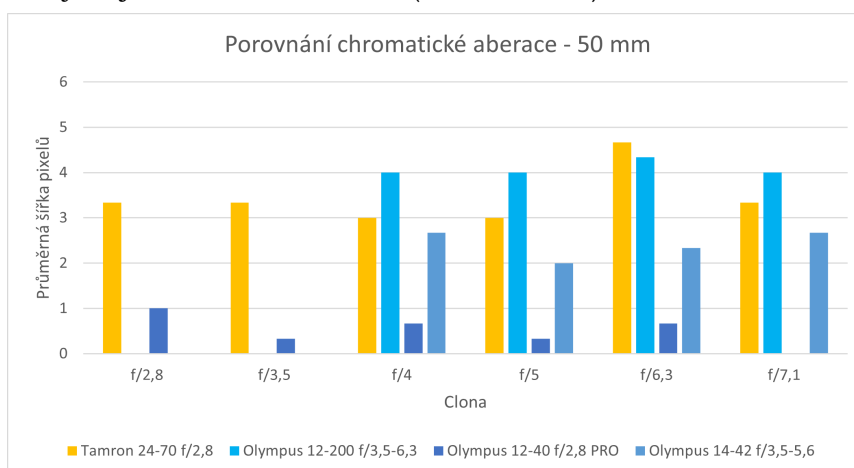
Na ohnisku 40 mm má nejsilnější aberaci objektiv Tamron AF 24-70 mm f/2.8 SP Di USD VC při cloně f/2,8. Při použití clony od f/4 po f/7,1 nejvíce aberuje objektiv M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3. Nejnižších hodnot opět dosahuje objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-40 mm f/2,8 Pro, a to na všech testovaných clonách (obr. 4.3.2-13).



Obr. 4.3.2-13 Graf porovnání chromatické aberace 40 mm.

Porovnání ohnisko 50 mm

Při použití clony 6,3 na ohnisku 50 mm dosahují chromatické aberace nad čtyři pixely dva objektivy, opět jsou to M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3 a Tamron AF 24-70 mm f/2.8 SP Di USD VC. Nejlepší výsledky, tedy nejnižší hodnoty aberace byly naměřeny u objektivu Olympus M.Zuiko Digital ED 12-40 mm f/2,8 Pro. Při hodnotě clony f/7,1 nebyla zjištěna žádná aberace (obr. 4.3.2-14).



Obr. 4.3.2-14 Graf porovnání chromatické aberace ohnisko 50 mm.

Celkové vyhodnocení

Z výsledků testování chromatické aberace je patrné, že je tato vada velmi proměnlivá při různém nastavení clony i ohniskové vzdálenosti. Některá zařízení mají lepší výsledky při vyšších clonových číslech, například dron DJI Mavic 2 Pro, u ostatních zařízení většinou síla aberace se zvyšující se clonou klesá. Nejnáchylnější objektivy na tuto vadu jsou M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3, Tamron AF 24-70 mm f/2.8 SP Di USD VC a Sigma Art 35 mm f/1,4. Nejlepší výsledky byly ve většině případů naměřeny u objektivu Olympus M.Zuiko Digital ED 12-40 mm f/2,8 Pro.

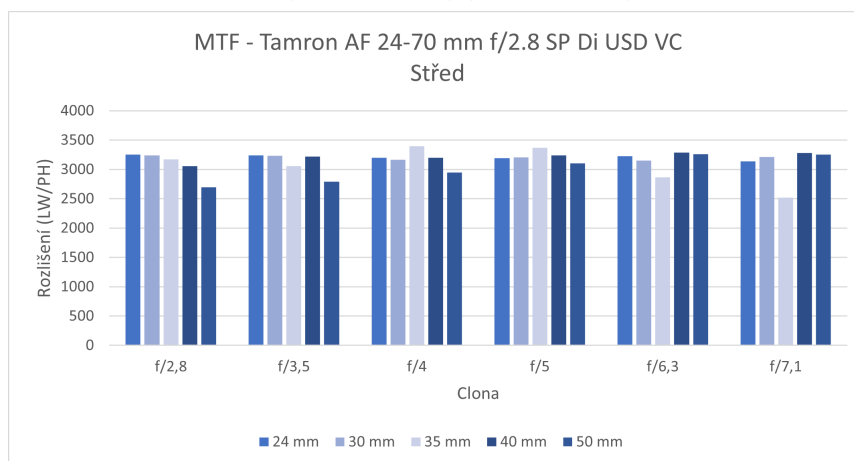
4.3.3 Vyhodnocení Modular Transfer Function (MTF)

Porovnávání ostrosti objektivu probíhalo zvláště na středu a v rozích snímku. Opět se u zoomových objektivů měnilo ohnisko a u zařízení, které to umožňují, se měnilo clonové číslo. Hodnota MTF50 se udává v jednotkách LW/PH, které vyjadřují počet čar na výšku snímku. Čím vyšší je hodnota, tím rychlejší je změna kontrastu, tedy tím

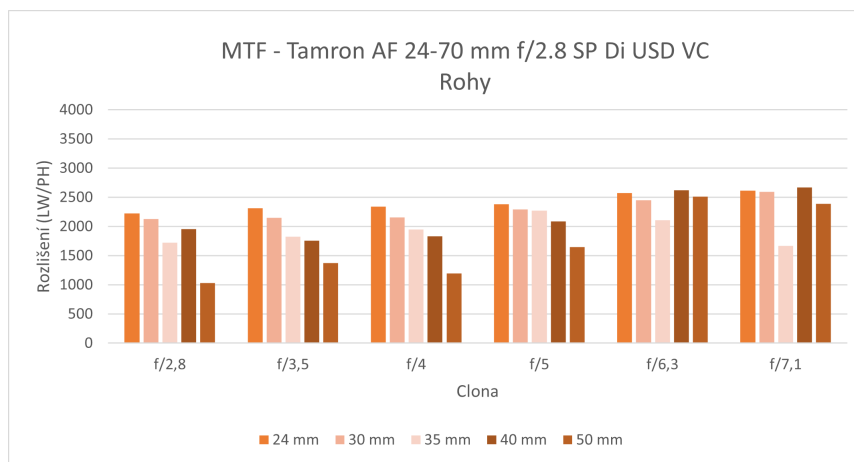
ostřejší je objektiv. Tuto hodnotu nelze přímo porovnávat mezi zařízeními s různou velikostí snímáče, ale z důvodu testování všech zařízení na stejném testovacím diagramu a při stejných podmínkách, kdy terč vyplňoval celou plochu snímku, tedy snímáče byly testované přístroje porovnávány mezi sebou.

Objektiv Tamron AF 24-70 mm f/2.8 SP Di USD VC

Ostrost tohoto objektivu dosahuje velmi vysokých hodnot na středu snímku při všech ohniscích i clonových číslech. Při použití nižší clony je ostrost nejmenší na ohnisku 50 mm, u vyšších clonových čísel klesá na ohnisku 35 mm. V rozích snímku je objektiv znatelně méně ostrý a více se projevuje změna clony. Se zvyšující se clonou roste i ostrost. Nejnižší hodnoty jsou po clonu f/5 na ohnisku 50 mm, na vyšších clonách pak na ohnisku 35 mm (obr. 4.3.3-1) (obr. 4.3.3-2).



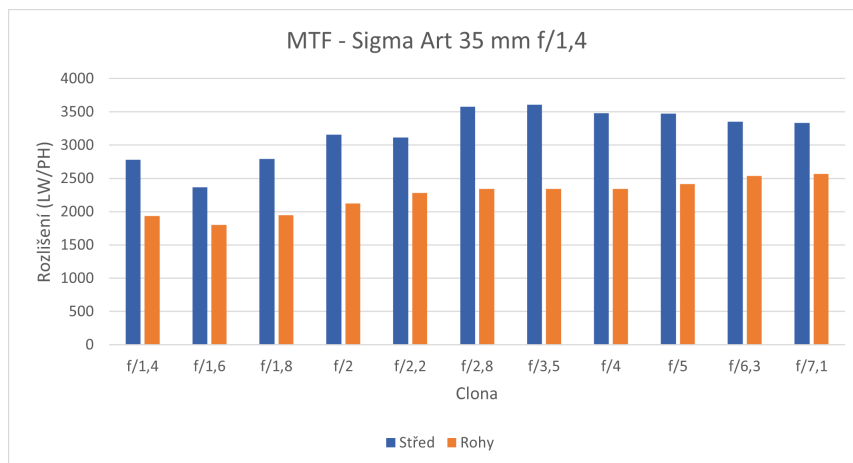
Obr. 4.3.3-1 Graf MTF objektiv Tamron 24-70 mm f/2.8.



Obr. 4.3.3-2 Graf MTF objektiv Tamron 24-70 mm f/2.8.

Objektiv Sigma Art 35 mm f/1,4

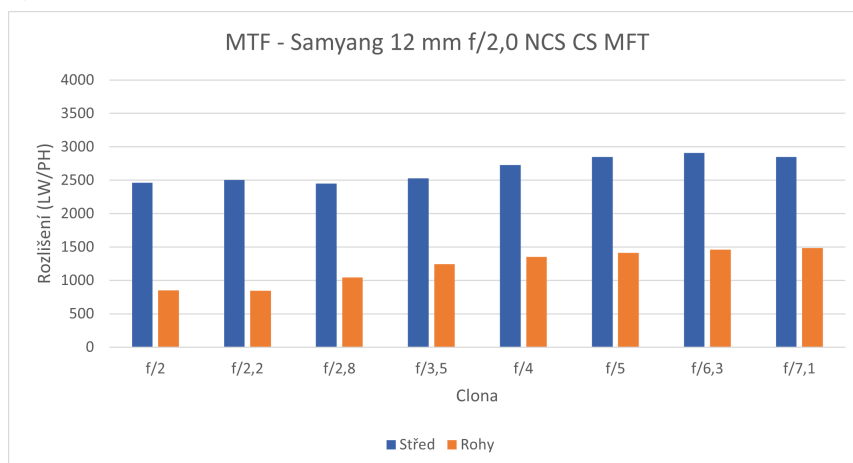
Charakteristika ostrosti u tohoto objektivu je proměnlivá. Na nastavené cloně f/1,4 je ostrost středu snímku vyšší, než při použití f/1,6. Na této hodnotě je objektiv nejméně ostrý. Nejvyšší ostrosti dosahuje objektiv při cloně f/3,5 a to hodnoty 3605 LW/PH. Od této hodnoty clony dál, až po testovanou f/7,1 ostrost lehce klesá. Na rozích je charakteristika podobná, nejvyšší ostrost byla naměřena při cloně f/7,1 (obr. 4.3.3-3).



Obr. 4.3.3-3 Graf MTF objektiv Sigma Art 35 mm f/1,4.

Objektiv Samyang 12 mm f/2,0 NCS CS MFT

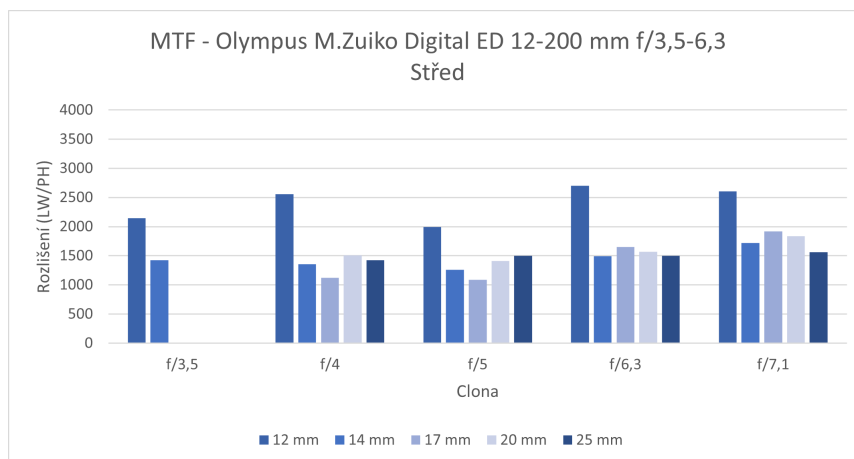
Objektiv dosahuje nejvyšší ostrosti uprostřed snímku při cloně f/6,3, při ostatních clonových číslech je ostrost jen o něco málo nižší. Na rozích snímku je objektiv nejostřejší až při zaclonění na f/7,1. Nejnižší hodnoty byly naměřeny na cloně f/2 (obr. 4.3.3-4).



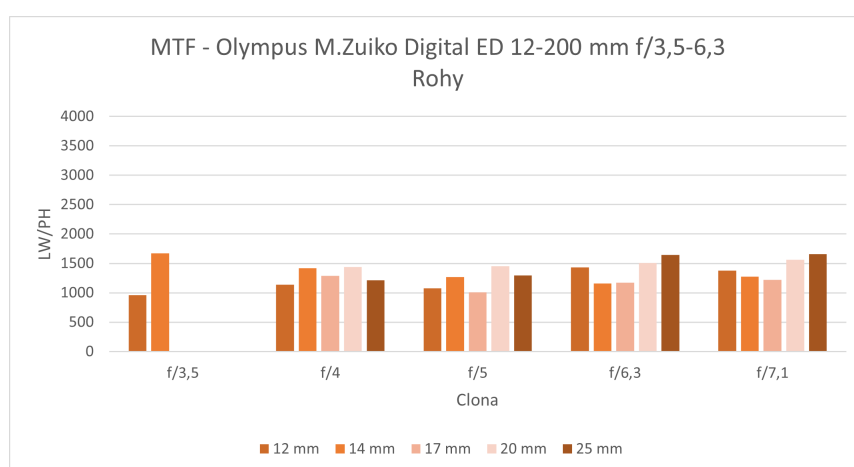
Obr. 4.3.3-4 Graf MTF objektiv Samyang 12 mm f/2,0.

Objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3

U tohoto objektivu lze jednoznačně říct, že je nejostřejší při použití nejkratšího ohniska 12 mm. Avšak ani tak nedosahuje příliš vysokých hodnot. Nejvyšší naměřená hodnota je při cloně f/6,3 na ohnisku 12 mm – 2698 LW/PH. Při vyhodnocení rohů snímků je zajímavé, že v některých případech je roh ostřejší než střed. Přitom při testování bylo vždy ostřeno na střed do stejného místa a rozmístění světél také zůstalo nezměněno. Největší rozdíl je u clony f/3,5 na ohnisku 14 mm. Ve středu bylo naměřeno 1422 LW/PH a v rohu 1671 LW/PH (obr. 4.3.3-5) (obr. 4.3.3-6).



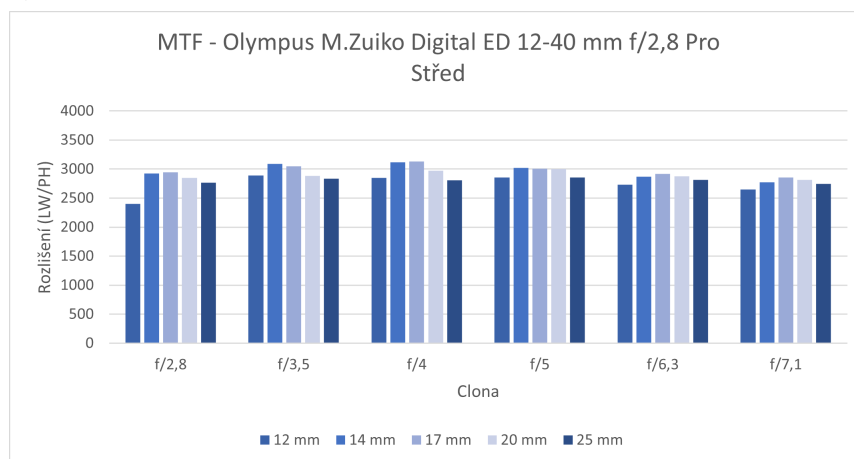
Obr. 4.3.3-5 Graf MTF Objektiv Olympus 12-200 mm f/3,5-6,3.



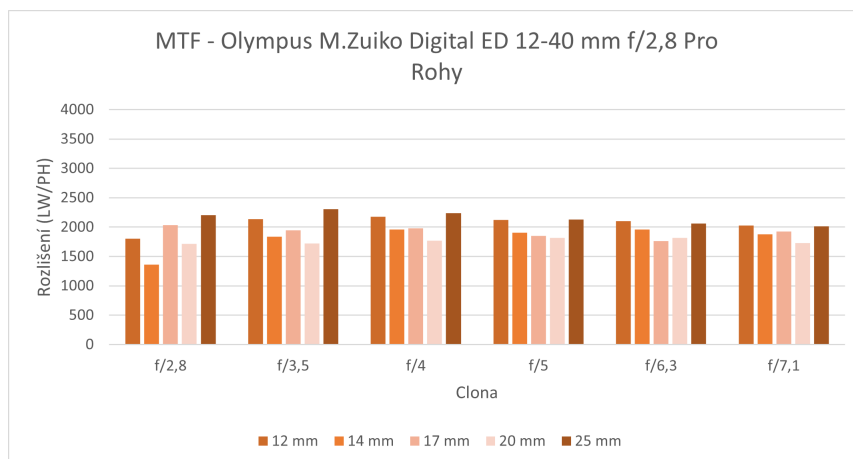
Obr. 4.3.3-6 Graf MTF Objektiv Olympus 12-200 mm f/3,5-6,3.

Objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-40 mm f/2,8 Pro

Tento objektiv dosahuje v celé délce testovaného ohniska vysokých hodnot. Nejvyšší hodnoty na středě i v rozích snímku byly naměřeny při cloně f/4. Nejnížší při použití ohniska 12 mm a clony f/2,8. Na rozích je ostrost ve většině případů nejnižší při cloně f/2,8. Nejméně ostrý v rozích je objektiv na ohnisku 14 mm a cloně f/2,8 (obr. 4.3.3-7) (obr. 4.3.3-8).



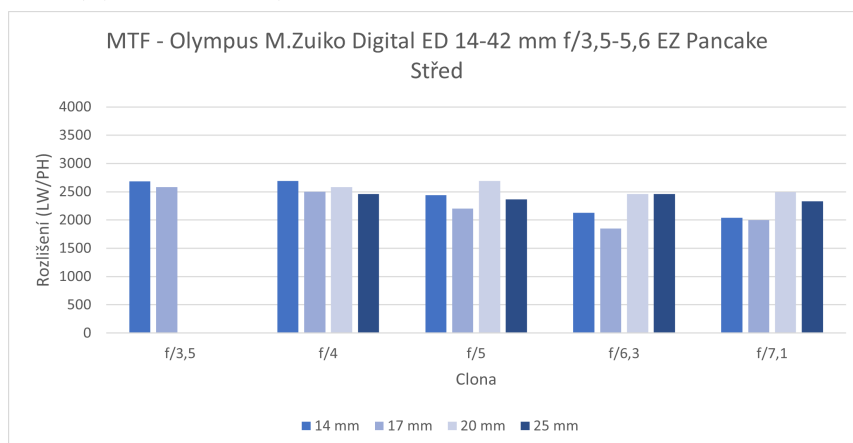
Obr. 4.3.3-7 Graf MTF objektiv Olympus 12-40 mm f/2,8 Pro.



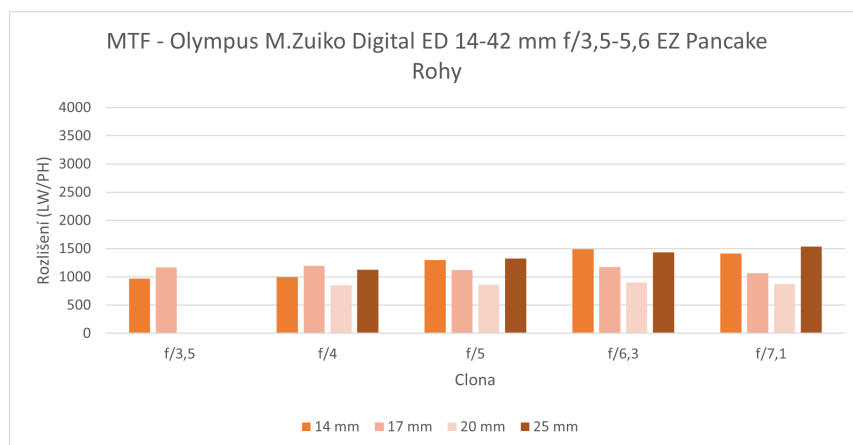
Obr. 4.3.3-8 Graf MTF objektiv Olympus 12-40 mm f/2,8 Pro.

Objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 14-42 mm f/3,5-5,6 EZ Pancake

Ostrost u tohoto objektivu je nejvyšší při dvou různých nastavení. Na ohnisku 14 mm a cloně f/4 a na ohnisku 20 mm a cloně f/5 byla naměřena stejná hodnota ve středu snímku 2693 LW/PH. Nejnižších hodnot dosahuje objektiv na středu při ohnisku 17 mm. Na rozích je ostrost výrazně nižší, hodnota 1634 LW/PH byla naměřena na ohnisku 25 mm a cloně f/7,1. Nejméně ostrý je objektiv na ohnisku 20 mm (obr. 4.3.3-9) (obr. 4.3.3-10).



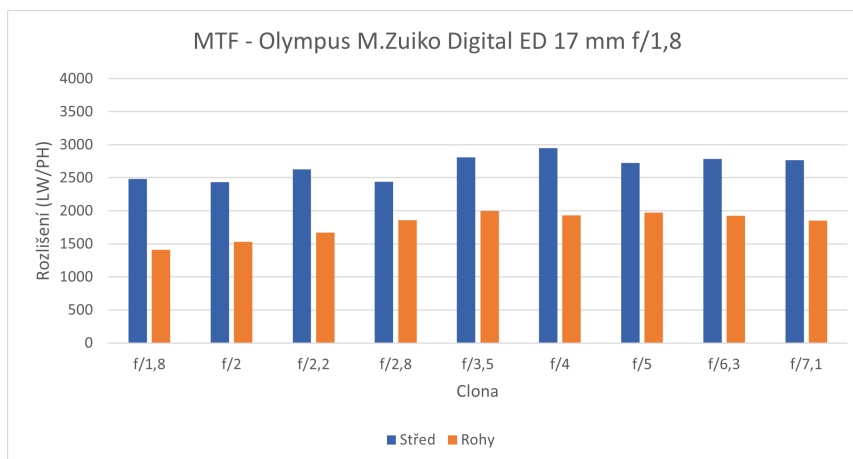
Obr. 4.3.3-9 Graf MTF objektiv Olympus 14-42 mm f/3,5-5,6.



Obr. 4.3.3-10 Graf MTF objektiv Olympus 14-42 mm f/3,5-5,6.

Objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 17 mm f/1,8

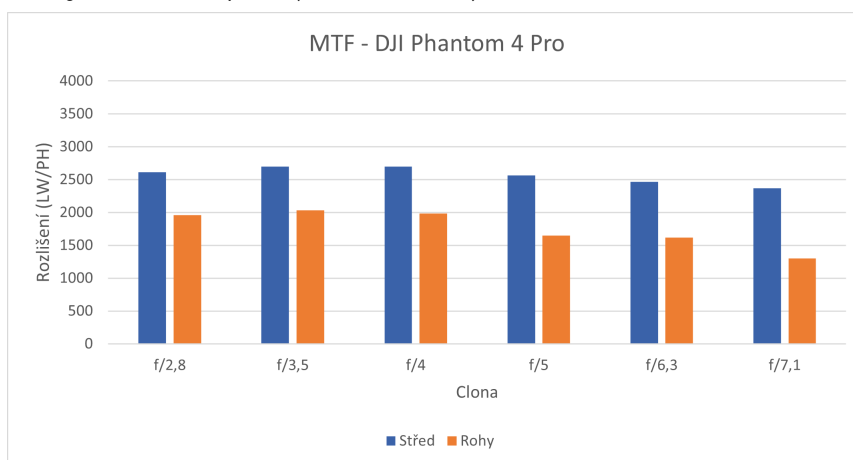
U tohoto objektivu s pevnou ohniskovou vzdáleností je ostrost na středu snímku nejvyšší při použití clony f/4. Byla naměřena hodnota 2946 LW/PH. Při použití jiných clonových čísel je ostrost o něco nižší. Na rozích dosahuje nejvyšší hodnoty při použití clony f/3,5. Nejméně je tento objektiv ostrý na cloně f/1,8 až f/2 (obr. 4.3.3-11).



Obr. 4.3.3-11 Graf MTF objektiv Olympus 17 mm f/1,8.

Dron DJI Phantom 4 Pro

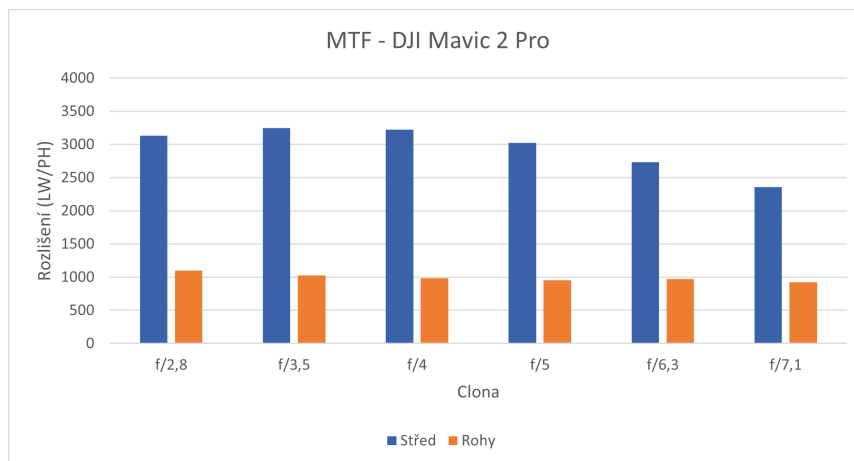
Se zvyšující se clonou ostrost na tomto dronu klesá. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny po clonové číslo f/4. Všechny dosahují přes hodnotu 2600 LW/PH. Nejmenší ostrost v rozích je na cloně f/7,1 (obr. 4.3.3-12).



Obr. 4.3.3-12 Graf MTF dron DJI Phantom 4 Pro.

Dron DJI Mavic 2 Pro

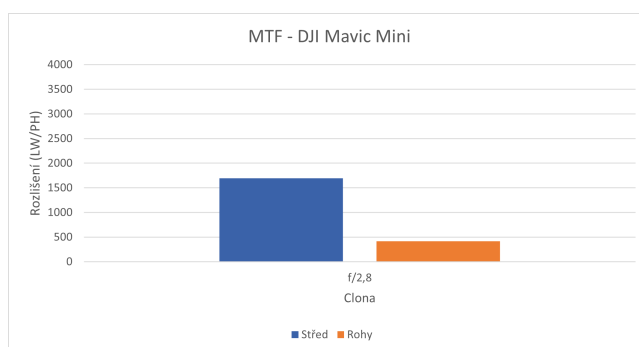
Rozdíl ostrosti mezi středem snímku a jeho rohy na tomto dronu je znatelný. Velmi vysokých hodnot dosahuje dron ve středu snímku, nejvyšší naměřená hodnota 3242 LW/PH byla naměřena na cloně f/3,5. Se zvyšující se clonou ostrost klesá. Na rozích je ostrost výrazně nižší. Nejvyšší hodnota 1097 LW/PH je při cloně f/2,8 a se zvyšující se clonou ostrost opět klesá (obr. 4.3.3-13).



Obr. 4.3.3-13 Graf MTF dron DJI Mavic 2 Pro.

Dron DJI Mavic Mini

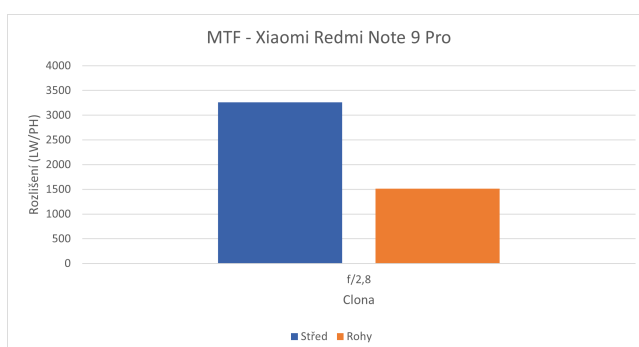
Na tomto dronu je ostrost velmi nízká. A to jak na jeho střed, tak samozřejmě i v rozích. Na střed bylo naměřeno 1693 LW/PH a v rohu pouhých 418 LW/PH (obr. 4.3.3-14).



Obr. 4.3.3-14 Graf MTF dron DJI Mavic Mini.

Mobilní telefon Xiaomi Redmi Note 9 Pro

Mobilní telefon dosahuje vysokých hodnot ve středě snímku a poměrně vysokých i na jeho okraji. Ve středě byla zjištěna hodnota 3261 LW/PH a na okraji 1515 LW/PH (obr. 4.3.3-15).

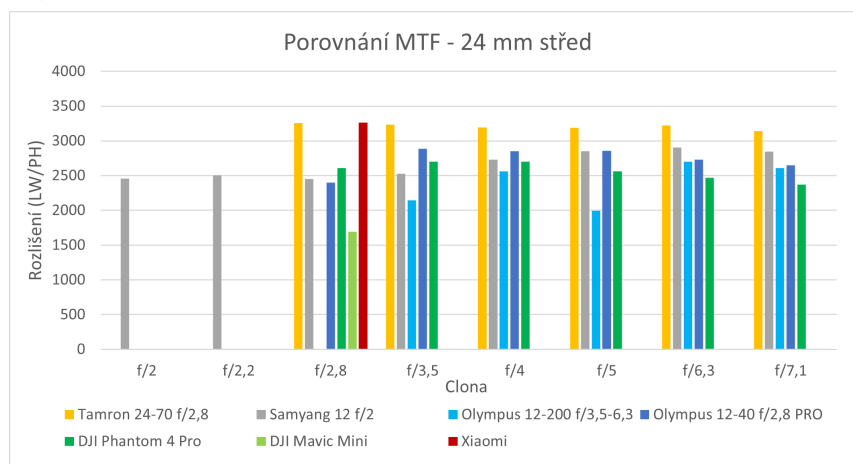


Obr. 4.3.3-15 Graf MTF mobilní telefon Xiaomi Redmi Note 9 Pro.

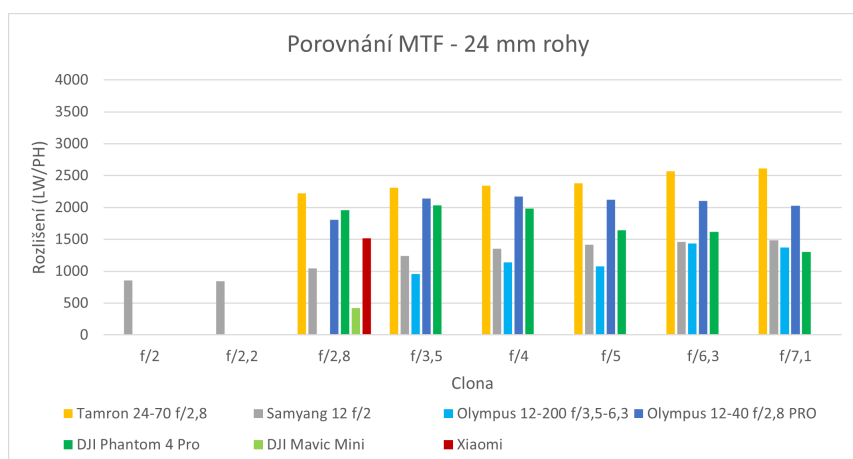
Porovnání ohnisko 24 mm

Na ohnisku 24 mm dosahuje většina objektivů nejvyšších hodnot na středě snímku při použití clony f/4. Objektiv Tamron AF 24-70 mm f/2.8 SP Di USD VC je při všech

clonových číslech nejostřejší oproti ostatním testovaným zařízením. Mobilní telefon Xiaomi dosahuje také velmi vysokých hodnot. Nejméně ostrý je ve středu snímku dron DJI Mavic Mini a na cloně f/5 Olympus M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3. Na rozích snímku jsou hodnoty všech zařízení znatelně nižší. Nejvyšších hodnot opět dosahuje objektiv Tamron AF 24-70 mm f/2.8 SP Di USD VC, hned za ním je nejostřejší na rozích objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-40 mm f/2,8 Pro. Ostrost na rozích roste se zvyšující se clonou u Tamronu, u ostatních zařízení klesá (obr. 4.3.3-16) (obr. 4.3.3-17).



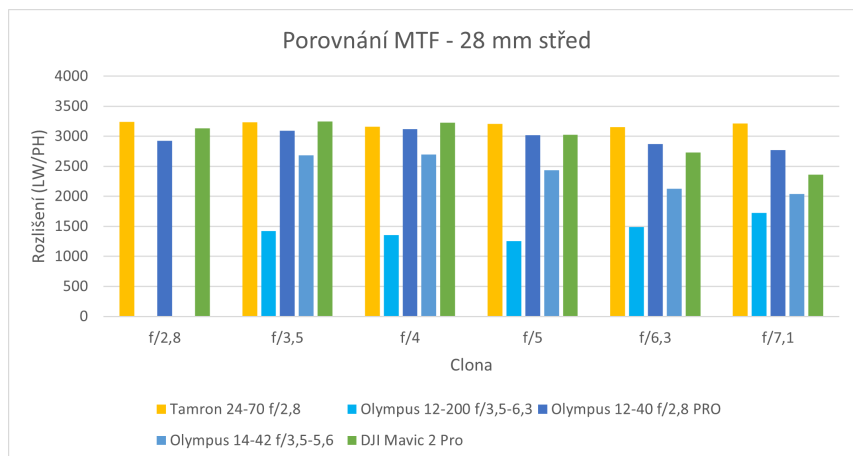
Obr. 4.3.3-16 Graf porovnání MTF 24 mm střed.



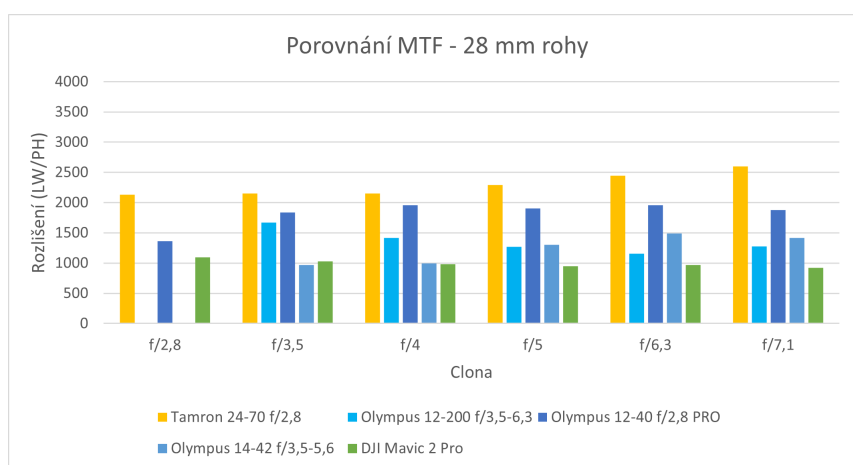
Obr. 4.3.3-17 Graf porovnání MTF 24 mm rohy.

Porovnání ohnisko 28 mm

Při použití ohniska 28 mm dosahují objektivy ve většině případů vyšších hodnot. Na středu snímku se při použití nízkých clonových čísel vyrovnají objektiv Tamron AF 24-70 mm f/2.8 SP Di USD VC a dron DJI Mavic 2 Pro. Hned třetí je objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-40 mm f/2,8 Pro, který je od clony f/6,3 ostřejší než zmíněný dron. Nejméně ostrý je objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3 a to při všech testovaných clonách. Na rozích jsou hodnoty znatelně nižší. Největší rozdíl mezi objektivy je při cloně f/7,1 kde je Tamron nejostřejší. Dron Mavic 2 Pro dosahuje na rozích nejnižších hodnot (obr. 4.3.3-18) (obr. 4.3.3-19).



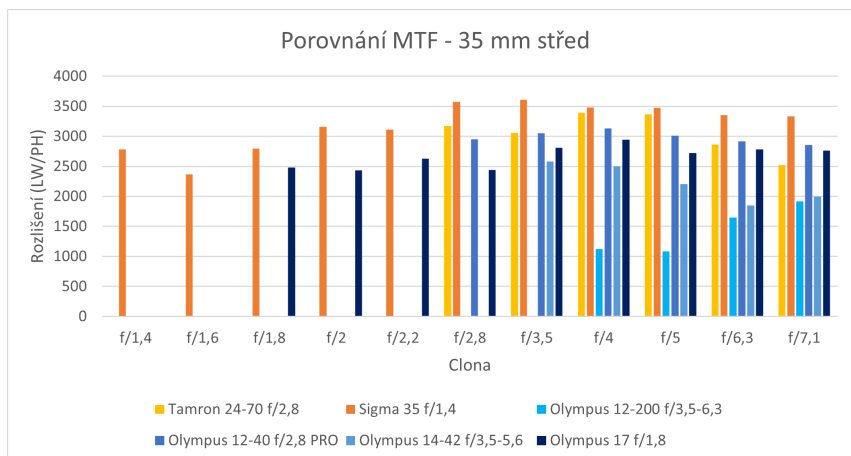
Obr. 4.3.3-18 Graf porovnání MTF 28 mm střed.



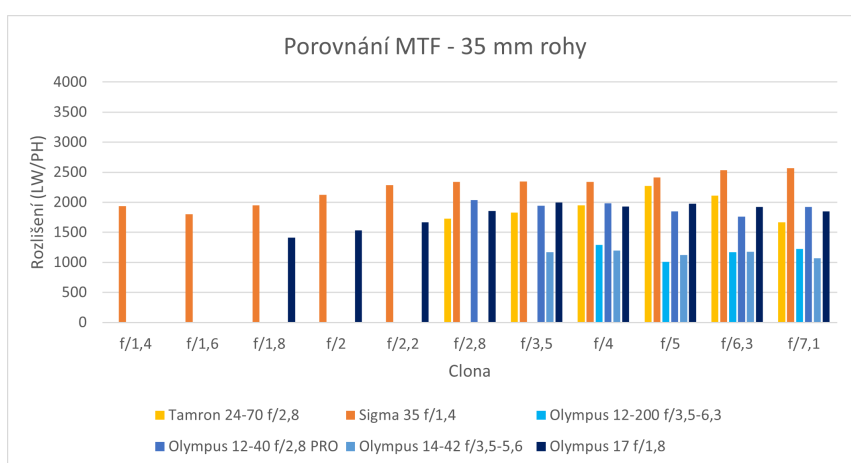
Obr. 4.3.3-19 Graf porovnání MTF 28 mm rohy.

Porovnání ohnisko 35 mm

Na středu snímku na ohnisku 35 mm je při všech testovaných clonách nejostřejší objektiv Sigma Art 35 mm f/1,4, který dosahuje nejvyšších hodnot při cloně f/3,5. Při tomto nastavení je oproti ostatním objektivům lepší o 500 LW/PH. Na clonách f/4 a f/5 se mu vyrovná Tamron AF 24-70 mm f/2.8 SP Di USD VC. Nejnižší hodnoty byly naměřeny u objektivu Olympus M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3. Na rozích snímku je Sigma nejostřejší při zaclonění na f/7,1. Nejméně ostré jsou objektivy Olympus M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3 a Olympus M.Zuiko Digital ED 14-42 mm f/3,5-5,6 EZ Pancake (obr. 4.3.3-20) (obr. 4.3.3-21).



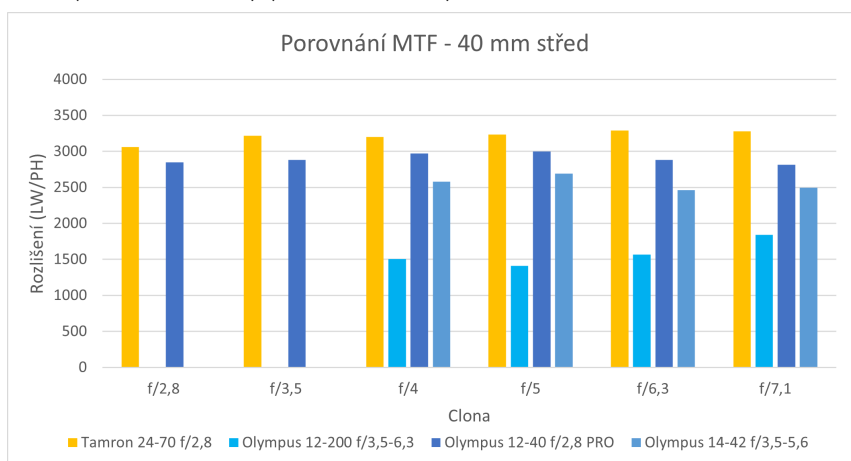
Obr. 4.3.3-20 Graf porovnání MTF 35 mm střed.



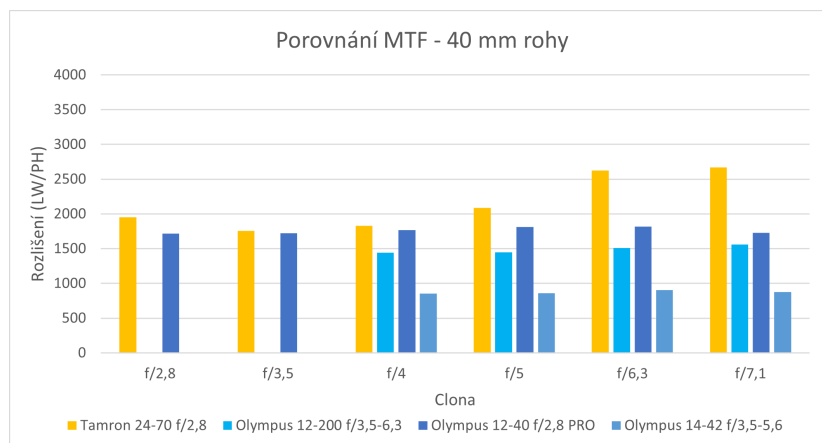
Obr. 4.3.3-21 Graf porovnání MTF 35 mm rohy.

Porovnání ohnisko 40 mm

Na tomto ohnisku je nejméně ostrý objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3, ostatní objektivy dosahují podobně vysokých hodnot, se zvyšující se clonou rozdíl roste. Na rozích je ztelně nejostřejší objektiv Tamron, a to při clonách f/6,3 a f/7,1. Nejméně ostrý je v rozích Olympus M.Zuiko Digital ED 14-42 mm f/3,5-5,6 EZ Pancake (obr. 4.3.3-22) (obr. 4.3.3-23).



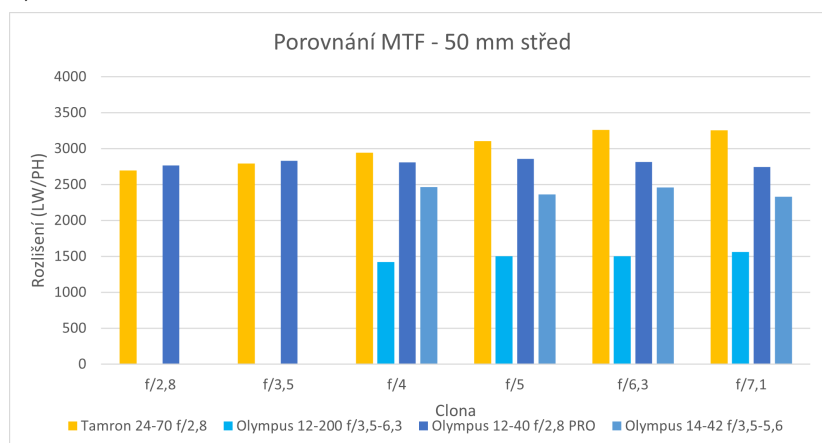
Obr. 4.3.3-22 Graf porovnání MTF 40 mm střed.



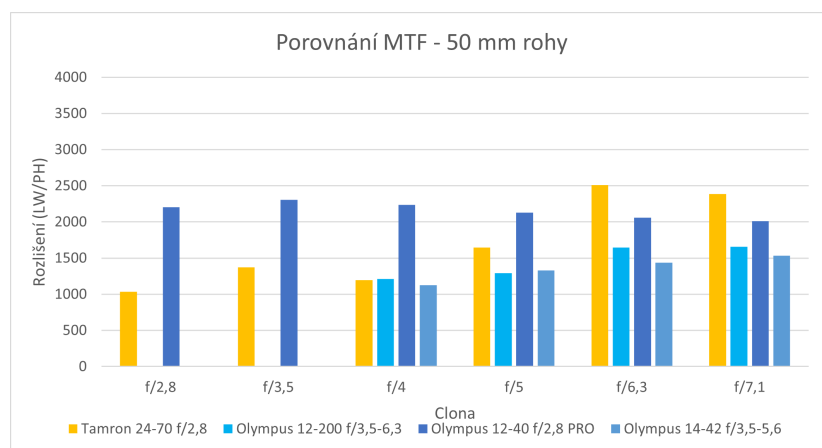
Obr. 4.3.3-23 Graf porovnání MTF 40 mm rohy.

Porovnání ohnisko 50 mm

Ohnisko 50 mm je svou charakteristikou na středu velmi podobné ohnisku 40 mm. Při velmi nízkých clonových číslech je Olympus M.Zuiko Digital ED 12-40 mm f/2,8 Pro o něco ostřejší, než Tamron AF 24-70 mm f/2.8 SP Di USD VC. Na vyšších clonových číslech je Tamron ostřejší než tento Olympus. Na rozích snímku je ovšem na nejnižších clonových číslech velmi ostrý objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-40 mm f/2,8 Pro. Tamron dosahuje nejvyšších hodnot na clonových číslech f/6,3 a f/7,1 (obr. 4.3.3-24) (obr. 4.3.3-25).



Obr. 4.3.3-24 Graf porovnání MTF 50 mm střed.



Obr. 4.3.3-25 Graf porovnání MTF 50 mm rohy.

Celkové vyhodnocení

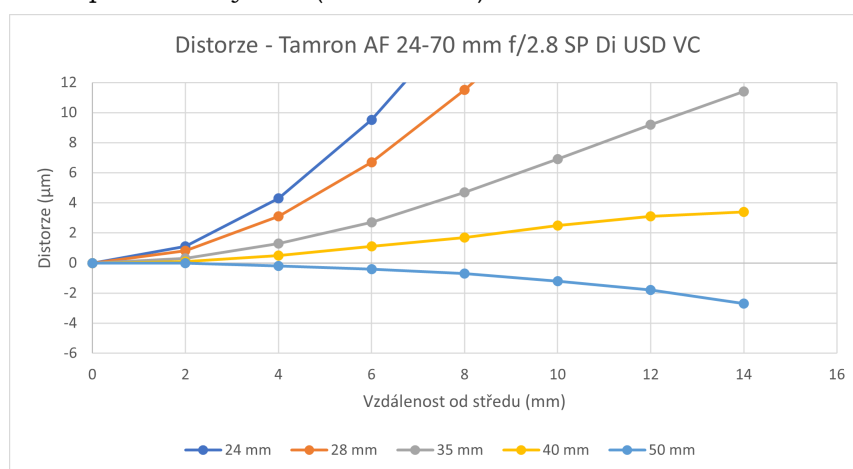
Ostrost je jedním z nejdůležitějších faktorů, při výběru objektivu. Po vyhodnocení dat z testování této vady bylo zjištěno, že nejlepšími výsledky dosahuje objektiv Sigma Art 35 mm f/1,4 na fotoaparátu Nikon. Ve většině případů také objektiv Tamron AF 24-70 mm f/2.8 SP Di USD VC dosahuje velmi vysokých hodnot. Z objektivů Olympus je nejostřejší Olympus M.Zuiko Digital ED 12-40 mm f/2,8 Pro. A mezi drony je nejlepší DJI Mavic 2 Pro. Nejhorší výsledky byly naměřeny kromě dronu DJI Mavic Mini u objektivu Olympus M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3, který má charakteristiku ostroty velmi neobvyklou tím, že v několika případech byly hodnoty na rozích vyšší, než ve středu snímku.

4.3.4 Vyhodnocení distorze objektivu

Výsledky distorze objektivu jsou znázorněny křivkou, která ukazuje vývoj posunu pixelů, od ideální roviny v závislosti na vzdálenosti od středu. V případě, že jsou hodnoty kladné má objektiv soudkovitou distorzi. V případě záporných hodnot je distorze poduškovitá. V některých případech je odchylka tak velká, že z důvodu zachování stejných hodnot na ose y, nelze křivku zobrazit.

Objektiv Tamron AF 24-70 mm f/2.8 SP Di USD VC

Právě tento objektiv má charakteristiku distorze nejvíce odchýlenou v závislosti na ohnisku. Podle křivek je patrné, že při použití ohniska 24 mm má distorze extrémně soudkovitý tvar, maximální hodnota je 44 mikrometrů. Podobně tomu je i na ohnisku 28 mm. Nejlepší výsledky, tedy nejrovnější tvar, vykazuje objektiv na ohnisku 50 mm, distorze má však poduškovitý tvar (obr. 4.3.4-1).



Obr. 4.3.4-1 Graf distorze objektivu Tamron 24-70 mm f/2.8.

Objektiv Sigma Art 35 mm f/1,4

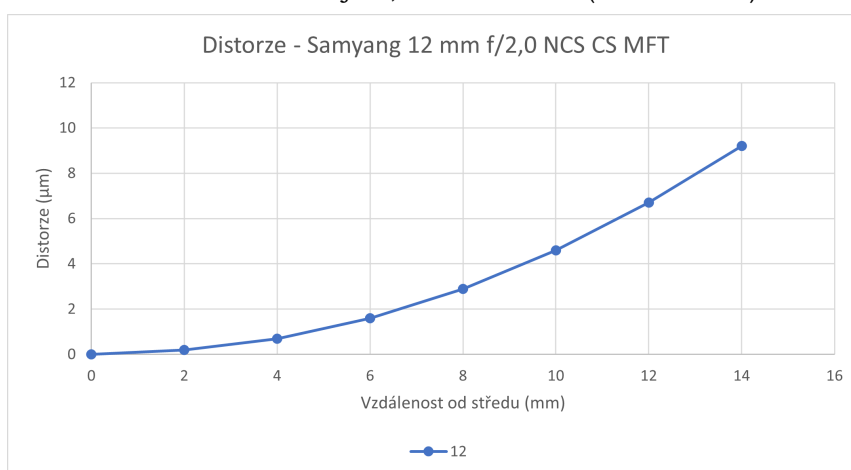
Tento objektiv má soudkovitý tvar distorze. Křivka vývoje značně stoupá již ve vzdálenosti 6 mm od nuly. V poslední měřené vzdálenosti dosahuje hodnoty 9,4 mikrometrů (obr. 4.3.4-2).



Obr. 4.3.4-2 Graf distorze objektiv Sigma Art 35 mm f/1,4.

Objektiv Samyang 12 mm f/2,0 NCS CS MFT

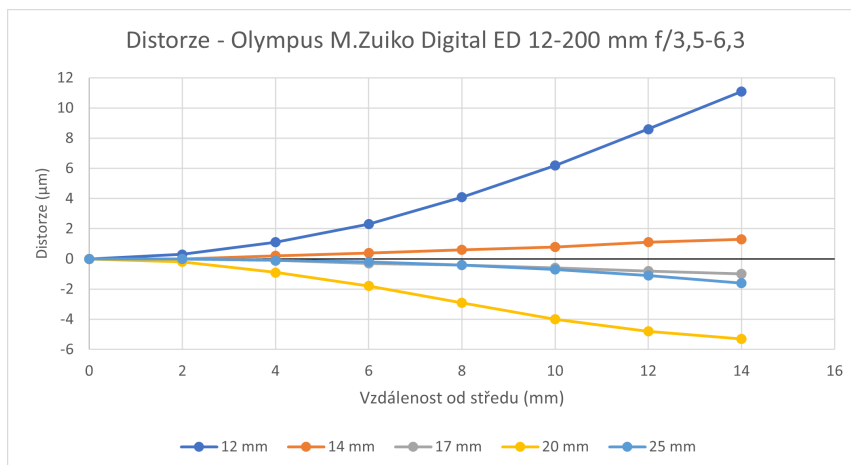
U tohoto širokouhlého objektivu s pevnou ohniskovou vzdáleností je křivka velmi podobná jako u předchozí Sigmy. Objektiv má distorzi soudkovitého tvaru. Nejvyšší hodnota ve vzdálenosti 14 milimetrů je 9,2 mikrometrů (obr. 4.3.4-3).



Obr. 4.3.4-3 Graf distorze objektiv Samyang 12 mm f/2,0.

Objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3

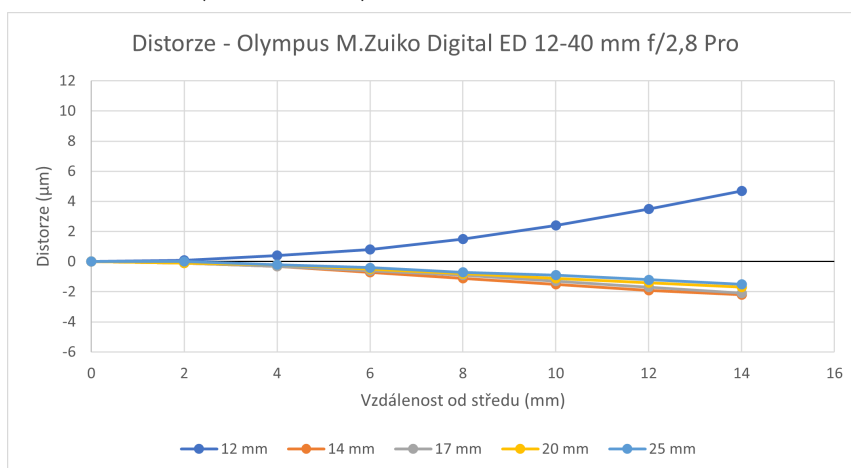
Rozptyl křivek u tohoto objektivu je na první pohled značný, avšak při bližším prozkoumání je zjevné, že největší distorze se vyskytuje na nejkratším ohnisku 12 mm. Na ohnisku 20 mm je křivka ve vyšších záporných hodnotách, avšak vzhledem k tomu, že ohniska 17 a 25 mm mají podobný tvar křivky, je možné, že se na ohnisku 20 mm vyskytla chyba při výpočtu v programu Agisoft (obr. 4.3.4-4).



Obr. 4.3.4-4 Graf distorze objektiv Olympus 12-200 mm f/3,5-6,3.

Objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-40 mm f/2,8 Pro

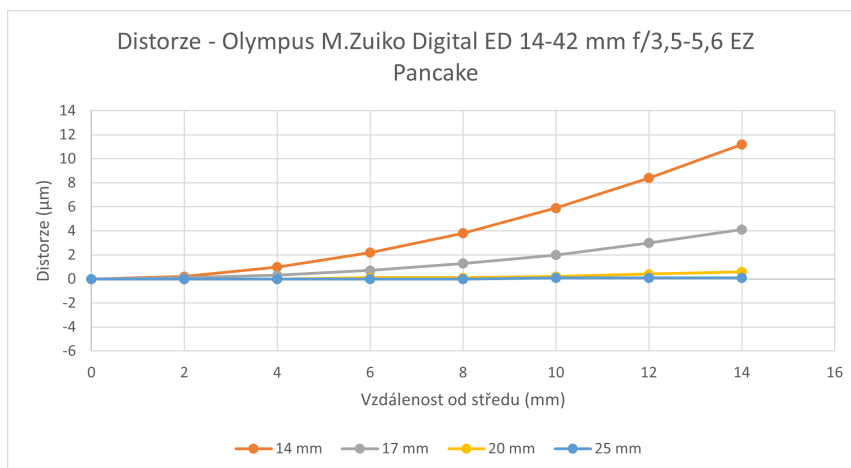
U tohoto objektivu je soudkovitá distorze pouze na ohnisku 12 mm. Ostatní ohniska mají podobný vývoj, v některých částech se dokonce překrývají. Jejich tvar jde do záporných hodnot, což vypovídá o poduškovitém tvaru distorze. Nejlepších výsledků dosahuje ohnisko 25 mm (obr. 4.3.4-5).



Obr. 4.3.4-5 Graf distorze objektiv Olympus 12-40 mm f/2,8 Pro.

Objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 14-42 mm f/3,5-5,6 EZ Pancake

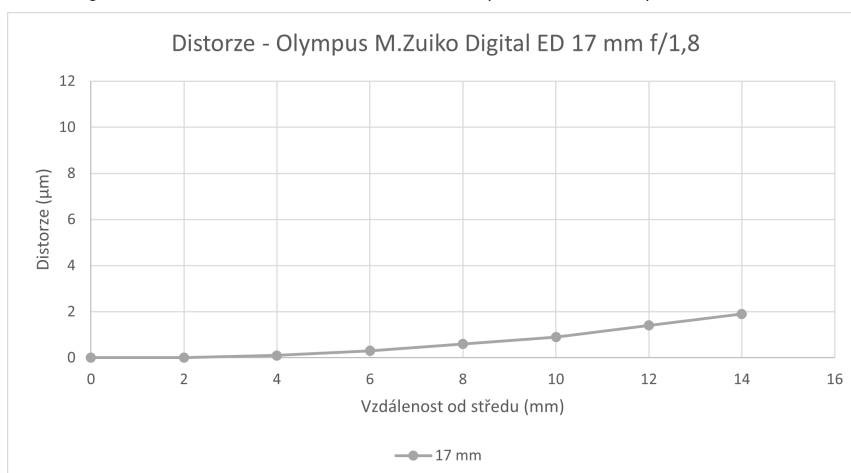
Hodnoty distorze tohoto objektivu jsou vždy v kladných hodnotách, tvar distorze je tedy vždy soudkovitý. Se zvyšujícím se ohniskem se křivka narovná, na nejdelším testovaném ohnisku je objektiv téměř rovný (obr. 4.3.4-6).



Obr. 4.3.4-6 Graf distorze objektiv Olympus 14-42 mm f/3,5-5,6.

Objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 17 mm f/1,8

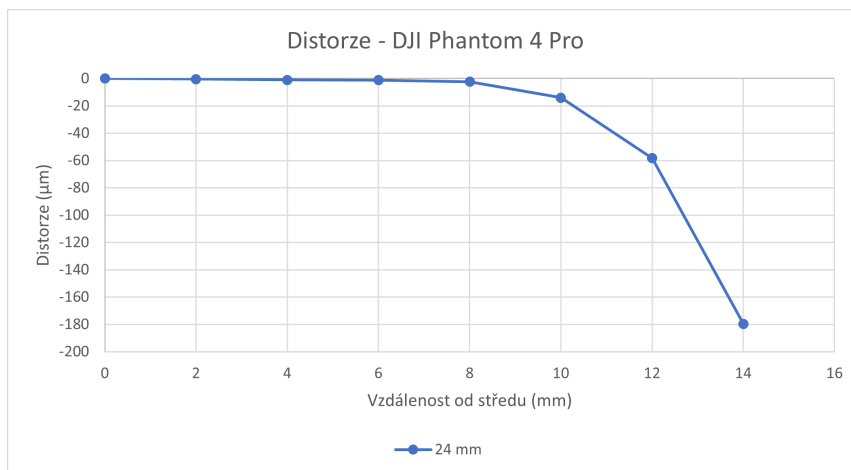
Křivka objektivu Olympus 17 mm je v kladných hodnotách. Distorze je tedy soudkovitá. Vzhledem k tomu, že se hodnoty pohybují jen do dvou mikrometrů, je distorze tohoto objektivu na velmi dobré úrovni (obr. 4.3.4-7).



Obr. 4.3.4-7 Graf distorze objektiv Olympus 17 mm f/1,8.

Dron DJI Phantom 4 Pro

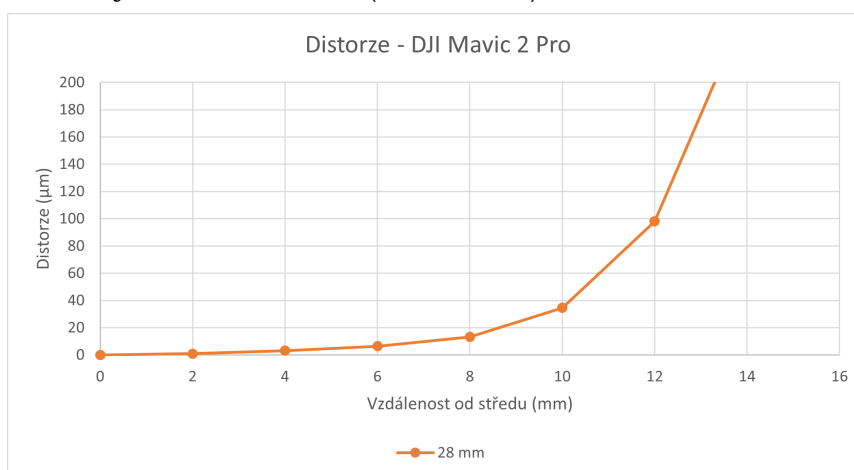
Tento dron má velkou tendenci k poduškovité distorzi. V tomto případě byla upravena osa y, protože objektiv na tomto dronu dosahuje ve vzdálenosti 14 mm hodnot -179 mikrometrů. Je však nutno podotknout, že ve vzdálenosti 10 mm je odchylka -14 mikrometrů a ve vzdálenosti osm mm je pouze -2,4 mikrometru (obr. 4.3.4-8).



Obr. 4.3.4-8 Graf distorze dron DJI Phantom 4 Pro.

Dron DJI Mavic 2 Pro

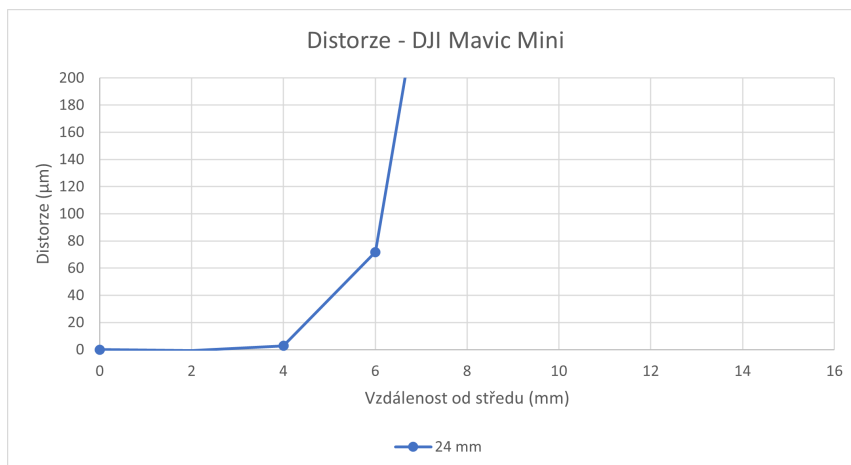
I v tomto případě musela být změněna stupnice hodnot na ose y. Všechny hodnoty jsou kladné, objektiv tedy vykazuje soudkovitou distorzi. Maximální hodnota ve vzdálenosti 14 mm je 255 mikrometrů (obr. 4.3.4-9).



Obr. 4.3.4-9 Graf distorze dron DJI Mavic 2 Pro.

Dron DJI Mavic Mini

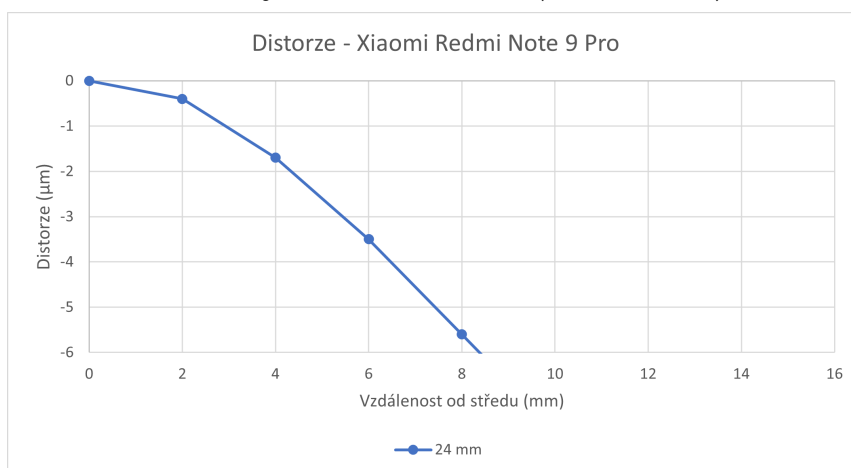
Křivka tohoto dronu dosahuje extrémních hodnot, proto nelze test této kamery brát relevantně, bylo by vhodné pokus zopakovat. Maximální hodnota, která se na křivce vyskytuje je 14922 mikrometrů ve vzdálenosti 14 mm. Ve vzdálenosti dvou mm je hodnota -0,5 mikrometrů. Bohužel ani při opakování testu tohoto zařízení na jiném monitoru nebylo dosaženo lepších výsledků (obr. 4.3.4-10).



Obr. 4.3.4-10 Graf distorze dron DJI Mavic Mini.

Mobilní telefon Xiaomi Redmi Note 9 Pro

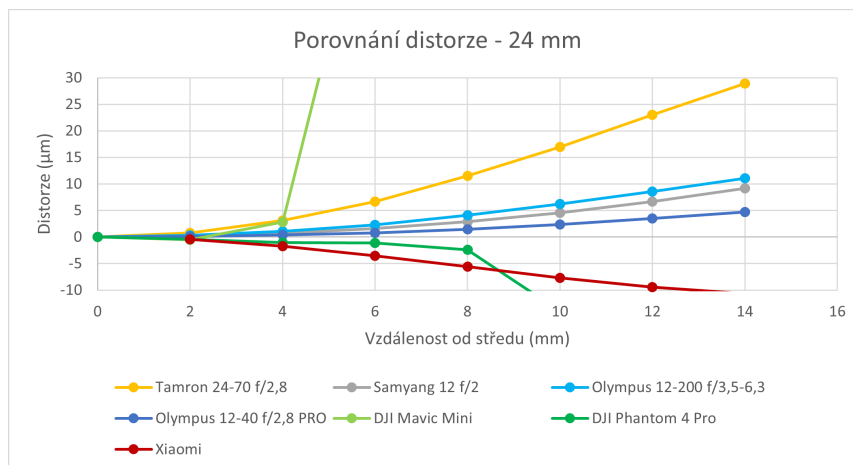
U mobilního telefonu nebyly hodnoty na ose y posunuty, proto zde není zobrazena celá křivka. Křivka je v záporných hodnotách, proto je distorze poduškovitá. Nejnižší hodnota ve vzdálenosti 14 mm je -10,6 mikrometrů (obr. 4.3.4-11).



Obr. 4.3.4-11 Graf distorze mobilní telefon Xiaomi Redmi Note 9 Pro.

Porovnání ohnisko 24 mm

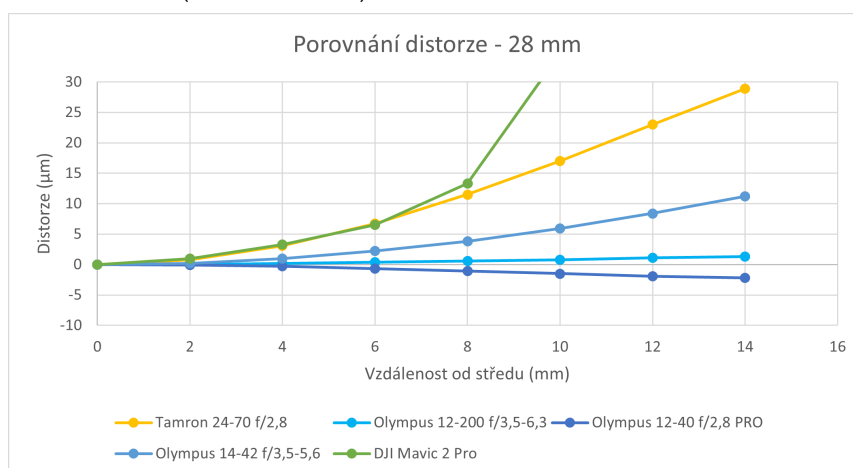
Na tomto testovaném ohnisku mají křivky neodlišnější charakteristiky. Kromě dronů, které z důvodu velkých odchylek nemohou být zobrazeny v grafu celé, je i objektiv Tamron AF 24-70 mm f/2.8 SP Di USD VC a telefon Xiaomi mimo stupnici. Nejlepší výsledky na ohnisku 12 mm byly naměřeny u objektivu Olympus M.Zuiko Digital ED 12-40 mm f/2,8 Pro (obr. 4.3.4-12).



Obr. 4.3.4-12 Graf porovnání distorze 24 mm.

Porovnání ohnisko 28 mm

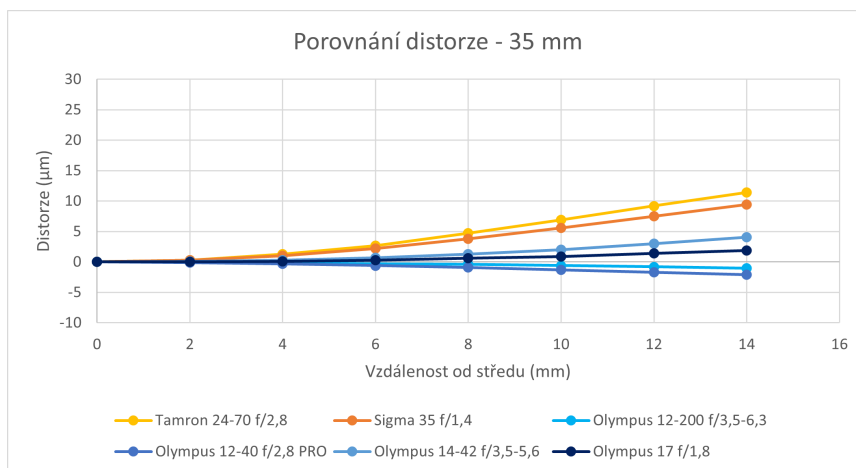
Při použití ohniskové vzdálenosti 28 mm je z testovaných zařízení nejhorší dron DJI Mavic 2 Pro, který nemá křivku vývoje v grafu zobrazenou celou. Mezi nejlepší objektivy patří dva objektivy s podobnou odchylkou od nulové osy. Olympus M.Zuiko Digital ED 12-40 mm f/2,8 Pro má záporné hodnoty a je v nevdálenějším bodě o něco dál než Olympus M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3, který má kladné hodnoty, a tedy soudkovitý tvar distorze (obr. 4.3.4-13).



Obr. 4.3.4-13 Graf porovnání distorze 28 mm.

Porovnání ohnisko 35 mm

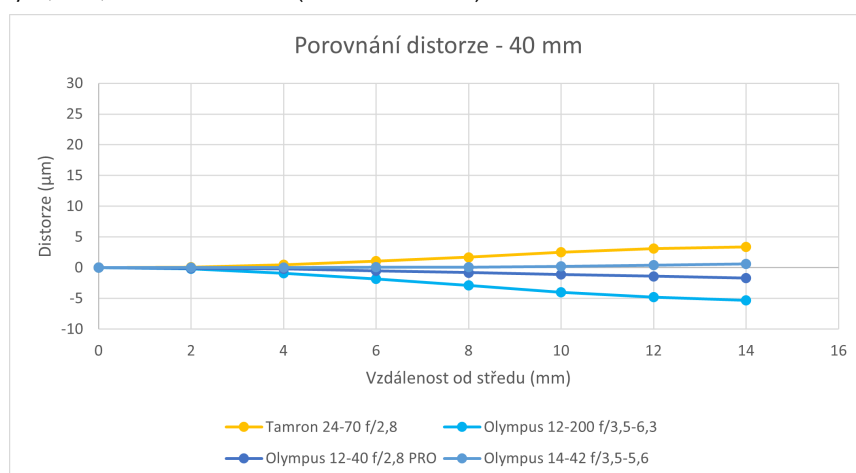
Na ohnisku 35 mm dosahují nejvyšších odchylek objektivy na fotoaparát Nikon, tedy Tamron AF 24-70 mm f/2.8 SP Di USD VC a Sigma Art 35 mm f/1,4, oba objektivy mají soudkovitou distorzi. Další objektivy s kladnými hodnotami jsou Olympus M.Zuiko Digital ED 17 mm f/1,8 a Olympus M.Zuiko Digital ED 14-42 mm f/3,5-5,6 EZ Pancake. Nejbliž k nulové ose je objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-40 mm f/2,8 Pro, který má záporné hodnoty (obr. 4.3.4-14).



Obr. 4.3.4-14 Graf porovnání distorze 35 mm.

Porovnání ohnisko 40 mm

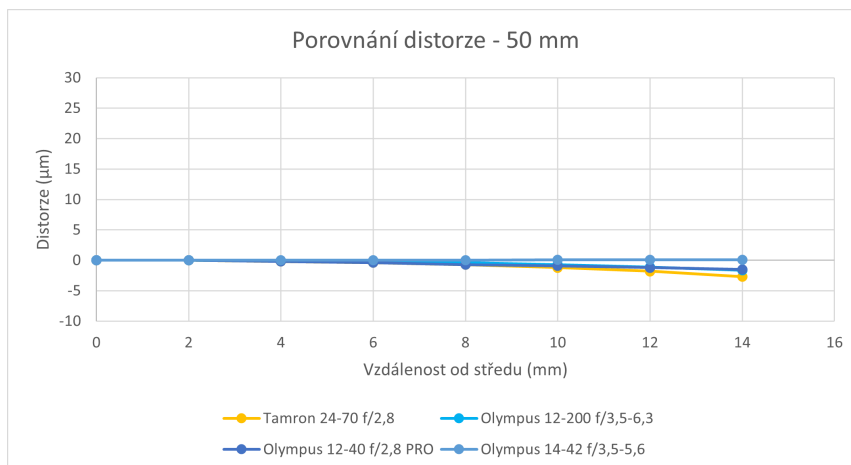
U tohoto ohniska je nejhorší objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3, který má nejnižší záporné hodnoty. Ostatní objektivy jsou v rozmezí od -5 do 5 mikrometrů okolo nulové osy. Nejbliž k ose je objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 14-42 mm f/3,5-5,6 EZ Pancake (obr. 4.3.4-15).



Obr. 4.3.4-15 Graf porovnání distorze 40 mm.

Porovnání ohnisko 50 mm

Na ohnisku 50 mm, které bylo zvoleno jako nejdelší testované, jsou všechny objektivy skoro stejné a křivky se překrývají. Největší odchylka byla naměřena u objektivu Tamron AF 24-70 mm f/2.8 SP Di USD VC a nejbliž k ose je Olympus M.Zuiko Digital ED 14-42 mm f/3,5-5,6 EZ Pancake (obr. 4.3.4-16).



Obr. 4.3.4-16 Graf porovnání distorze 50 mm.

Celkové vyhodnocení

Z výsledků testování této vady se dá vyvodit závěr, že se zvyšující se ohniskovou vzdáleností odchylka distorze klesá a ze soudkovitého tvaru přechází do tvaru poduškovitého. Drony dosahovaly v tomto testu jednoznačně nejhorších výsledků, stejně tak i při použití širokoúhlých ohnisek objektiv Tamron AF 24-70 mm f/2.8 SP Di USD VC. Všechny objektivy Olympus dosahovaly podobně dobrých výsledků.

4.3.5 Vyhodnocení úrovně šumu v obraze

Šum v obraze byl zkoumán na základě nastavené ISO hodnoty na fotoaparátu. Výsledky jsou znázorněny křivkou, kde hodnoty na ose x jsou pro jednotlivé čtverce na testovacím terči Colorchecker. Šum byl testován pouze na bílém čtverci, černém čtverci a čtvercích v odstínech šedé. Hodnota 0,05 je tedy pro bílou barvu a 0,23 až 1,05 pro odstíny šedé a číslo 1,5 je pro černý čtverec (obr. 4.3.5-1). Lomové body křivky tedy udávají, jak moc je šum v daném odstínu viditelný. Nízké hodnoty znamenají, že úroveň šumu je nízká. U některých zařízení nelze nastavit všechny testované hodnoty ISO, proto nemohly být tyto hodnoty zaznačeny a nejsou v grafech zobrazeny. Fotoaparáty Olympus mají nativní ISO hodnotu 200. Nejvyšší hodnota ISO v grafech je 3200, i když u některých zařízení lze nastavit hodnotu až 25 600. Takto vysoké hodnoty nebyly testovány z důvodu nepoužívání v praxi.

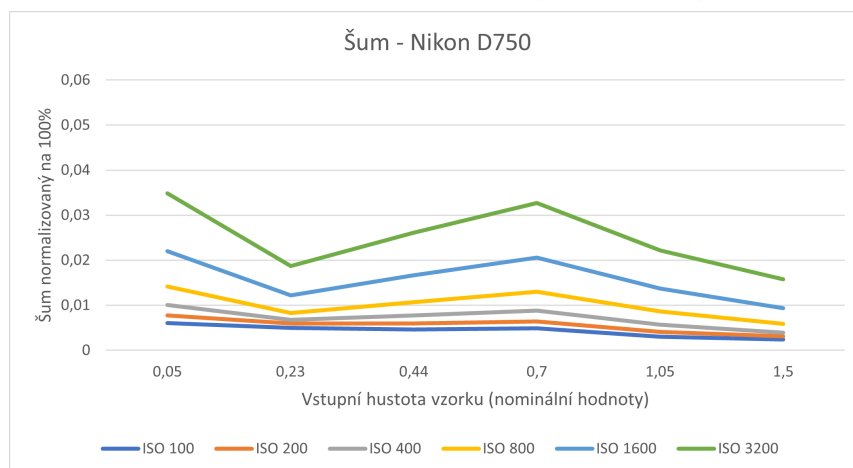
Vzhledem k tomu, že drony mají pevnou zaostřovací vzdálenost nastavenou od jednoho metru po nekonečno, tak při testování této vady musel být testovací diagram v bližší vzdálenosti a testované snímky tedy nejsou ostré. To může mírně ovlivnit výsledky analýzy. Stejně tak při testování fotoaparátu Nikon D750 musel být testovací terč ve větší vzdálenosti, protože nasazený objektiv nedovoloval zaostřit blíže.



Obr. 4.3.5-1 Colorcheck (Koren 2004g).

Fotoaparát Nikon D750

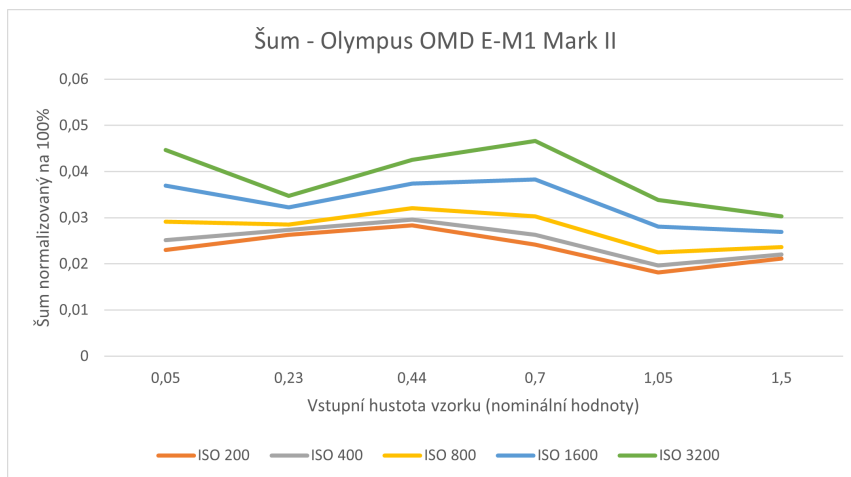
Fotoaparát s největším snímačem dosahuje velmi nízkých hodnot šumu. ISO 100, 200 a 400 se téměř překrývají a mají mírný průběh. Se zvyšujícím se ISO roste odchylka. Výrazný skok mezi křivkami nastává mezi hodnotami ISO 1600 a 3200. Nejvíce šumu se vyskytuje v bílém čtverci, nejméně v černém. Do hodnoty ISO 1600 bylo v obraze naměřeno velmi malé množství šumu (obr. 4.3.5-2).



Obr. 4.3.5-2 Graf úrovně šumu fotoaparát Nikon D750.

Fotoaparát Olympus OMD E-M1 Mark II

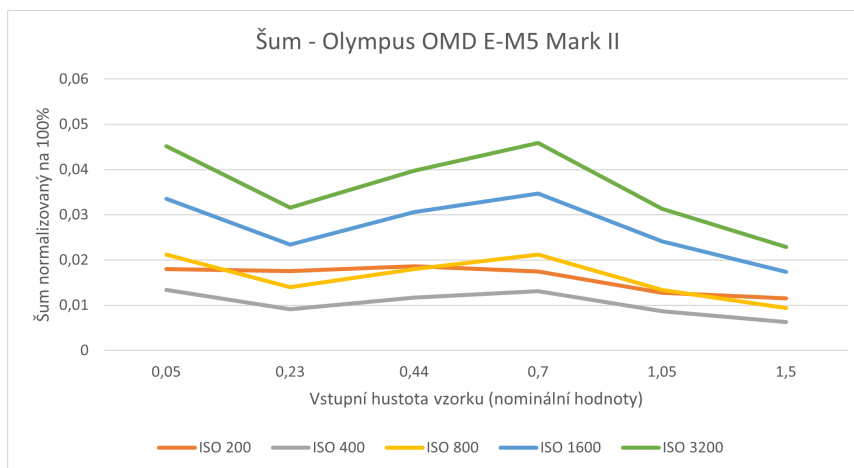
Křivky vývoje šumu u největšího Olympus fotoaparátu jsou celkově posunuty do horní části grafu. Šum je podle analýzy nejpatrnější ve čtverci s tmavě šedou barvou. Nejmenší rozdíly mezi hodnotami jsou ve světle šedém čtverci (hodnota 0,23 na ose x). Průběh křivek pro hodnoty ISO 200, 400 a 800 jsou velmi blízko sebe a mají podobný průběh (obr. 4.3.5-3).



Obr. 4.3.5-3 Graf úrovně šumu fotoaparát Olympus OMD E-M1 Mark II.

Fotoaparát Olympus OMD E-M5 Mark II

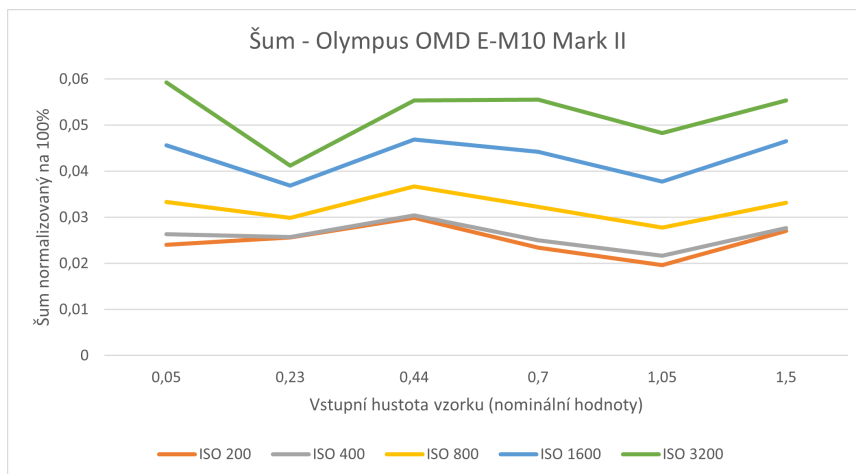
Vývoj křivek u tohoto fotoaparátu má nezvyklý charakter. Ukazuje, že se méně šumu vyskytuje při hodnotě ISO 400, než při ISO 200. Tento nezvyklý úkaz může být způsoben nepřesným zaostřením na testovací diagram. Se zvyšujícím se ISO se zvyšuje i rozdíl mezi odchylkami křivek (obr. 4.3.5-4).



Obr. 4.3.5-4 Graf úrovně šumu fotoaparát Olympus OMD E-M5 Mark II.

Fotoaparát Olympus OMD E-M10 Mark II

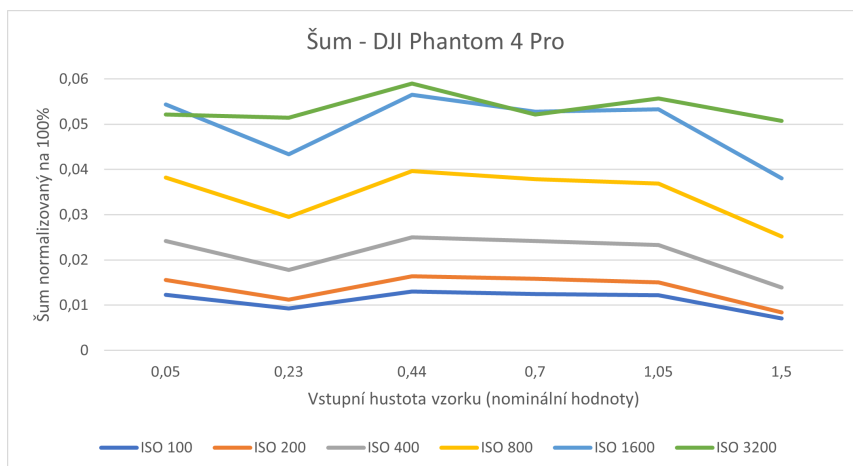
Hodnoty šumu u tohoto fotoaparátu dosahují při ISO 3200 nejvyšších hodnot. Mezi ISO 200 a 400 je opět minimální rozdíl. Od ISO 1600 je množství šumu v obraze značné. Nejnížší hodnoty byly naměřeny na tmavě šedém čtverci s označením 1,05 (obr. 4.3.5-5).



Obr. 4.3.5-5 Graf úroveň šumu fotoaparát Olympus OMD E-M10 Mark II.

Dron DJI Phantom 4 Pro

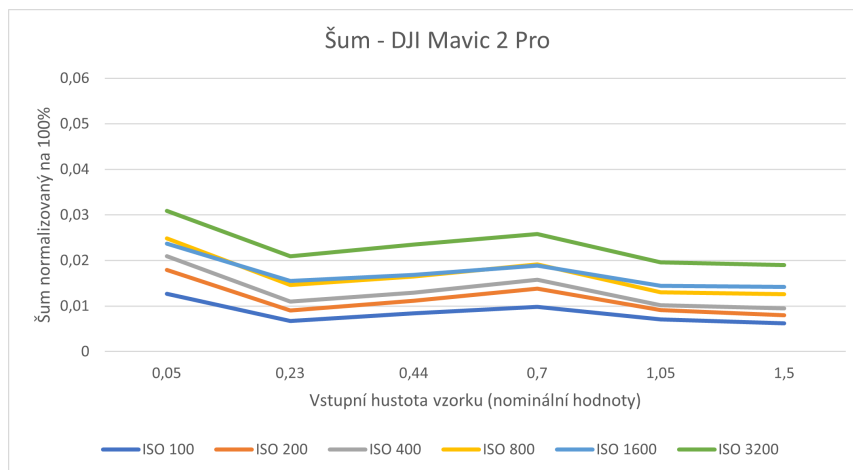
Při pohledu na charakteristiku šumu u tohoto dronu rozhodně zaujme na první pohled prolínání křivek ISO 1600 a 3200. Ve dvou případech dosahuje vyšší hodnota ISO lepších výsledků, tedy menšího množství šumu. Při tomto nastavení se dosahuje celkově velmi vysokých hodnot a velkého množství šumu. Do hodnoty ISO 400 je viditelné malé množství šumu (obr. 4.3.5-6).



Obr. 4.3.5-6 Graf úroveň šumu dron DJI Phantom 4 Pro.

Dron DJI Mavic 2 Pro

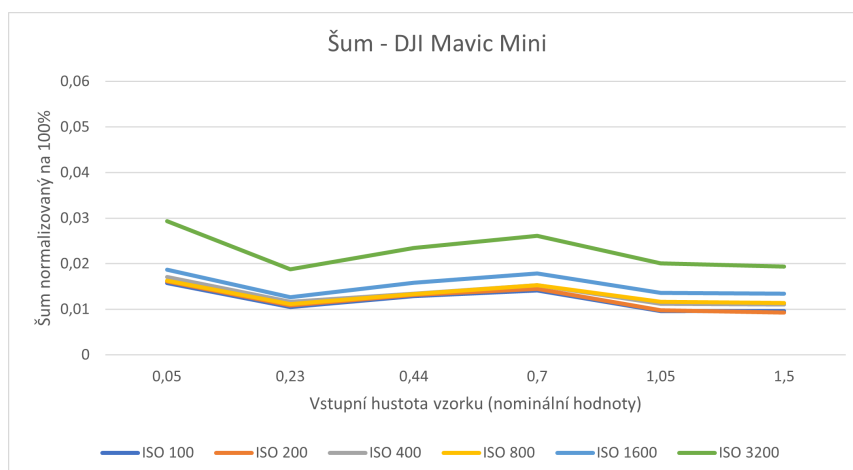
Křivky vývoje šumu jsou u tohoto dronu ve spodní části stupnice grafu. Pravděpodobně je to způsobeno chybným měřením, protože testované snímky byly uloženy ve formátu JPEG, nikoli v RAW. I při použití nastavení ISO 3200 dosahuje šum na bílém čtverci hodnoty pouze 0,0308. Křivka však je od ostatních značně odchýlena. Nejvíce šumu se vyskytuje v bílém čtverci, tedy na hodnotě 0,05. Nejméně šumu bylo zjištěno v černém čtverci 1,5 (obr. 4.3.5-7).



Obr. 4.3.5-7 Graf úroveň šumu dron DJI Mavic 2 Pro.

Dron DJI Mavic Mini

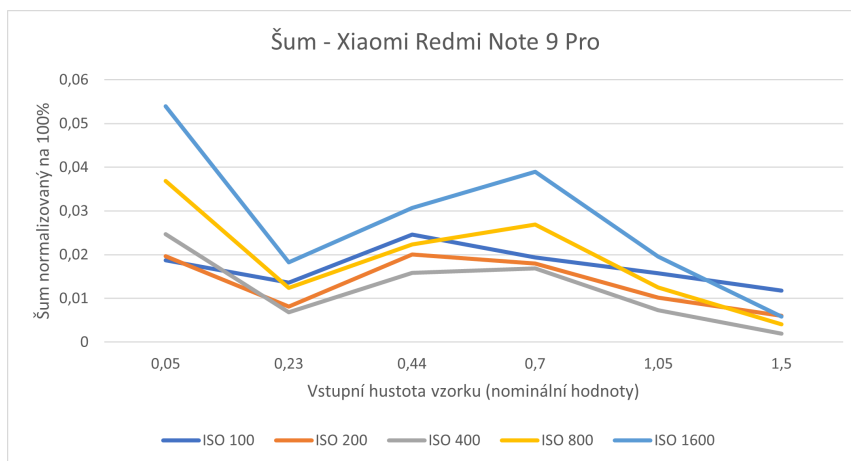
U tohoto dronu nelze pořizovat snímky v RAW formátu, proto na testovaných fotografiích již byly použity korekce a výsledky mohou být zkresleny. Od hodnoty ISO 100 až po ISO 800 se křivky překrývají, téměř splývají do jedné. První viditelný odskok je při ISO 1600. Při použití ISO 3200 je odskok ještě větší, ale úroveň šumu v obraze dosahuje stále velmi nízkých hodnot (obr. 4.3.5-8).



Obr. 4.3.5-8 Graf úroveň šumu dron DJI Mavic Mini.

Mobilní telefon Xiaomi Redmi Note 9 Pro

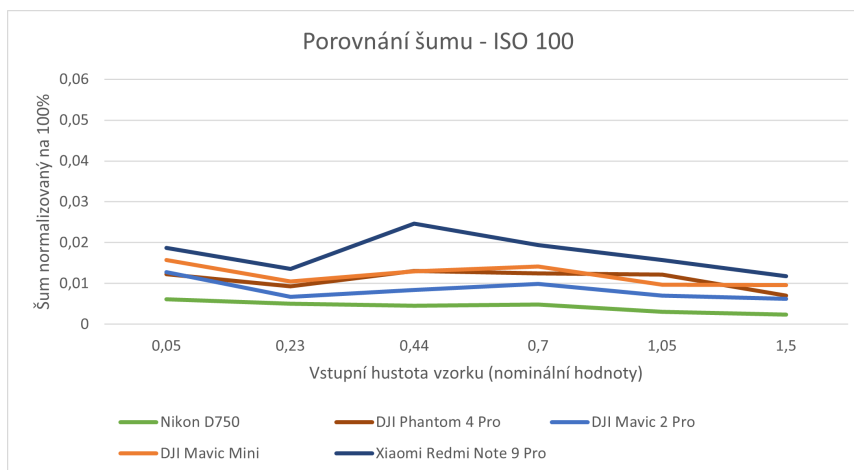
Mobilní telefony nejsou primárně určeny na fotografování do RAW formátu, avšak testovaný telefon v režimu PRO umožňuje focení do formátu DNG. Pravděpodobně z tohoto důvodu jsou odchylky mezi jednotlivými nastaveními tak velké. Ve většině případů jsou nejnižší hodnoty při ISO 400. Křivka hodnot při nastavení ISO 100 protíná všechny ostatní linie. Na bílém čtverci dosahuje nejnižších hodnot, ale na černém čtverci má hodnotu maximální (obr. 4.3.5-9).



Obr. 4.3.5-9 Graf úrovně šumu mobilní telefon Xiaomi Redmi Note 9 Pro.

Porovnání ISO 100

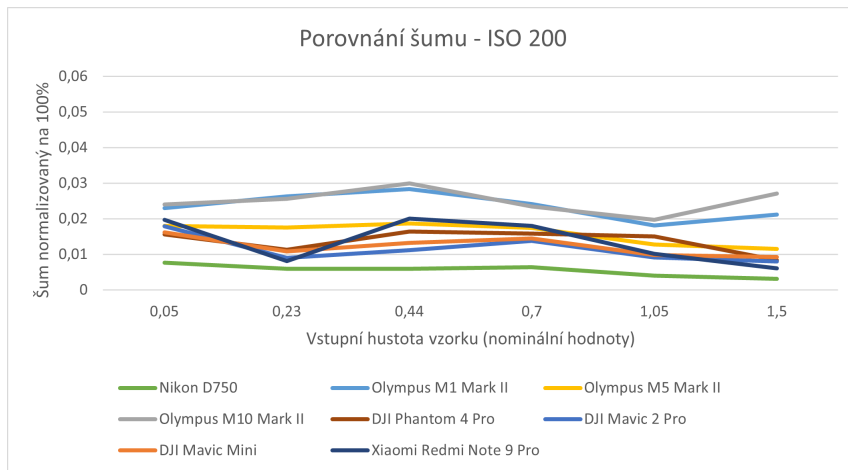
Při porovnání nastavení ISO 100 vykazuje nejhorší hodnoty mobilní telefon Xiaomi. Na fotoaparátu Nikon D750 byly naměřeny nejnižší hodnoty ze všech testovaných zařízení. Linie průběhu se u dronů Phantom 4 Pro a Mavic Mini navzájem prolínají (obr. 4.3.5-10).



Obr. 4.3.5-10 Graf porovnání úrovně šumu ISO 100.

Porovnání ISO 200

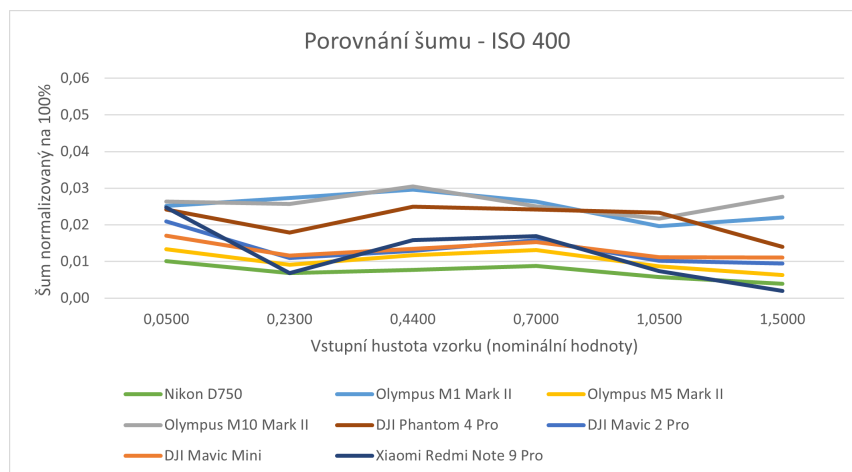
Na tomto nastavení dosahují nejvyšších hodnot fotoaparáty Olympus M1 Mark II a M10 Mark II. Jejich křivky se vzájemně překrývají, na hodnotě 1,5 je jejich rozdíl největší. Nikon D750 má opět nejlepší výsledky v celém spektru. Mobilní telefon svou křivkou protíná téměř všechny ostatní (obr. 4.3.5-11).



Obr. 4.3.5-11 Graf porovnání úrovně šumu ISO 200.

Porovnání ISO 400

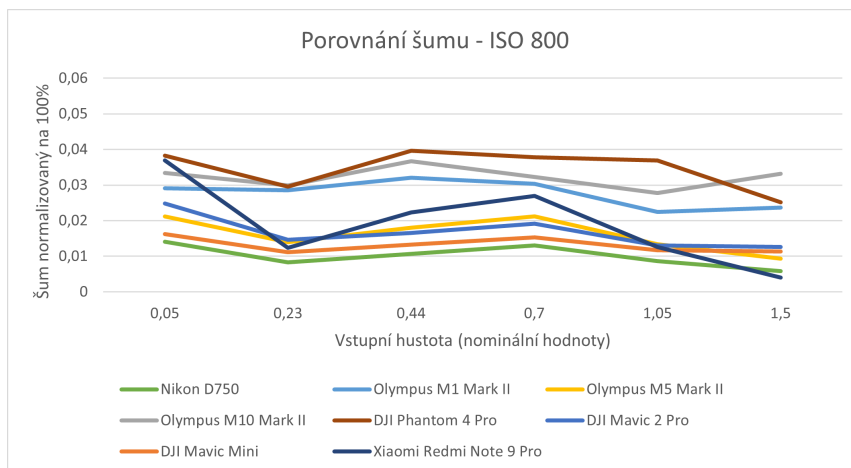
Při použití této citlivosti opět dva Olympus fotoaparáty M1II a M10II vykazují oproti ostatním vysoké hodnoty. V některých částech grafu dosahuje vysokých hodnot i dron DJI Phantom 4 Pro. Nejlepší výsledky jsou opět u Nikon D750. Mobilní telefon má opět nahodilou charakteristiku (obr. 4.3.5-12).



Obr. 4.3.5-12 Graf porovnání úrovně šumu ISO 400.

Porovnání ISO 800

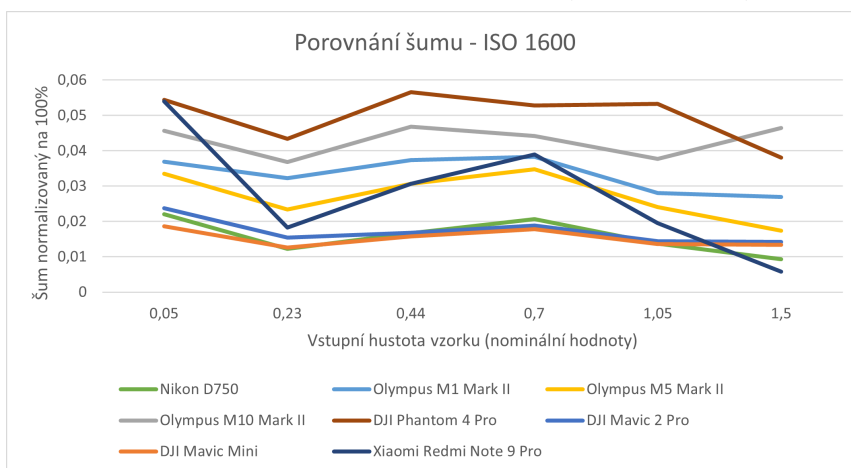
Nejhorší výsledky byly při této citlivosti naměřeny u dronu DJI Phantom 4 Pro. Opět je vidět mezi dronem Phantom a fotoaparáty Olympus M1 Mark II a M10 Mark II znatelný skok. Mobilní telefon Xiaomi svou charakteristikou protíná většinu ostatních linií. Nejlepších výsledků dosahuje fotoaparát Nikon D750 (obr. 4.3.5-13).



Obr. 4.3.5-13 Graf porovnání úrovně šumu ISO 800.

Porovnání ISO 1600

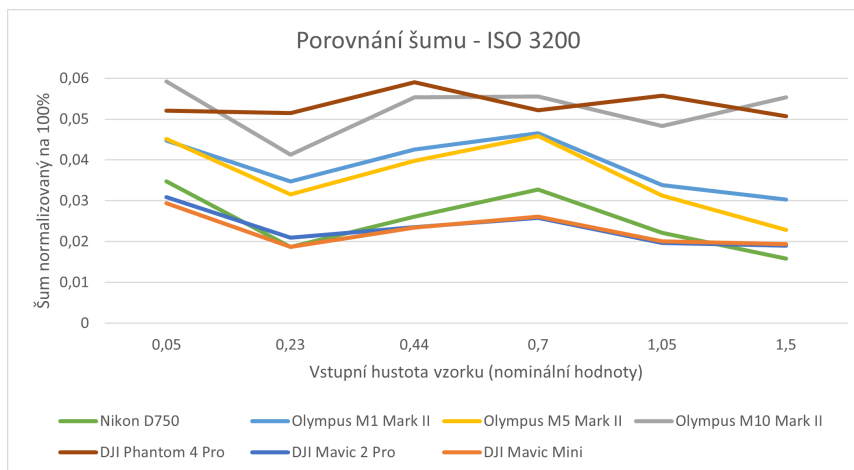
Při tomto nastavení se rozdíly naměřených hodnot mezi zařízeními značně zvětšují. Nejhorších výsledků dosahuje dron DJI Phantom 4 Pro. Velikost odchylky se zvětšuje mezi fotoaparáty Olympus M1 Mark II a M10 Mark II. Nikon D750 má velmi podobnou charakteristiku s drony DJI Mavic 2 Pro a Mavic Mini (obr. 4.3.5-14).



Obr. 4.3.5-14 Graf porovnání úrovně šumu ISO 1600.

Porovnání ISO 3200

Při takto vysoké citlivost ISO je již značné množství šumu v obraze. Dron DJI Phantom 4 Pro a Olympus M10 Mark II dosahují podobně vysokých hodnot. Fotoaparáty Olympus M1 Mark II a M5 Mark II mají velmi podobnou charakteristiku, avšak druhý zmíněný fotoaparát dosahuje stále o něco lepších výsledků. Odchylka Nikon D750 se v některých místech zvyšuje oproti dronům DJI Mavic 2 Pro a Mavic Mini (obr. 4.3.5-15).



Obr. 4.3.5-15 Graf porovnání úrovně šumu ISO 3200.

Celkové vyhodnocení

Úroveň šumu dosahuje u některých zařízení velmi vysokých hodnot, ve většině případů to je dron DJI Phantom 4 Pro a fotoaparáty Olympus OMD E-M1 Mark II a OMD E-M10 Mark II. U fotoaparátu Nikon D750 byly naměřeny při všech citlivostech nejnižší hodnoty. Podobně jako u dronu DJI Mavic 2 Pro a Mavic Mini, u kterých však byly testované snímky pořízeny do formátu JPEG.

5 VÝSLEDKY

Při testování jednotlivých vad byla zařízení porovnávána mezi sebou, s cílem vybrat zařízení s nejlepšími vlastnostmi. Avšak z důvodu velké kombinace nastavení a nemožností porovnat všechna testovaná zařízení mezi sebou, například drony s pevnou ohniskovou vzdáleností a objektivy typu zoom s proměnlivým ohniskem, nelze jednoznačně říct, které zařízení je nejlepší. Proto vznikla tabulka (tab. 5.1) s vyhodnocením vad napříč ohnisky, kde se nebere v potaz, že objektivy mají různé možnosti nastavení clony. Jejich hodnoty se při vyhodnocování do této tabulky zprůměrovaly a v tabulce jsou u každé vady a každého ohniska uvedeny tři nejlepší zařízení.

	12 mm (ekv. 24 mm)	14 mm (ekv. 28 mm)	17 mm (ekv. 35 mm)	20 mm (ekv. 40 mm)	25 mm (ekv. 50 mm)
Vinětace	1. Olympus 12-200 f/3,5-6,3 2. Olympus 12-40 f/2,8 Pro 3. Samyang 12 f/2,0	Olympus 12-200 f/3,5-6,3 Olympus 12-40 f/2,8 Pro Olympus 14-42 f/3,5-5,6 EZ	Olympus 12-200 f/3,5-6,3 Olympus 12-40 f/2,8 Pro Olympus 14-42 f/3,5-5,6 EZ	Olympus 12-200 f/3,5-6,3 Olympus 12-40 f/2,8 Pro Olympus 14-42 f/3,5-5,6 EZ	Olympus 12-200 f/3,5-6,3 Olympus 12-40 f/2,8 Pro Olympus 14-42 f/3,5-5,6 EZ
Chromatická aberace	1. Olympus 12-40 f/2,8 Pro 2. DJI Phantom 4 Pro 3. Tamron AF 24-70 f/2,8	DJI Mavic 2 Pro Olympus 14-42 f/3,5-5,6 EZ Olympus 12-40 f/2,8 Pro	Olympus 14-42 f/3,5-5,6 EZ Olympus 12-40 f/2,8 Pro Olympus 17 f/1,8	Olympus 12-40 f/2,8 Pro Olympus 14-42 f/3,5-5,6 EZ Tamron AF 24-70 f/2,8	Olympus 12-40 f/2,8 Pro Olympus 14-42 f/3,5-5,6 EZ Tamron AF 24-70 f/2,8
MTF	1. Tamron AF 24-70 f/2,8 2. Olympus 12-40 f/2,8 Pro 3. DJI Phantom 4 Pro	Tamron AF 24-70 f/2,8 Olympus 12-40 f/2,8 Pro DJI Mavic 2 Pro	Sigma Art 35 f/1,4 Tamron AF 24-70 f/2,8 Olympus 12-40 f/2,8 Pro	Tamron AF 24-70 f/2,8 Olympus 12-40 f/2,8 Pro Olympus 14-42 f/3,5-5,6 EZ	Tamron AF 24-70 f/2,8 Olympus 12-40 f/2,8 Pro Olympus 14-42 f/3,5-5,6 EZ
Distorze	1. Olympus 12-40 f/2,8 Pro 2. Samyang 12 f/2,0 3. Olympus 12-200 f/3,5-6,3	Olympus 12-200 f/3,5-6,3 Olympus 12-40 f/2,8 Pro Olympus 14-42 f/3,5-5,6 EZ	Olympus 12-200 f/3,5-6,3 Olympus 12-40 f/2,8 Pro Olympus 17 f/1,8	Olympus 14-42 f/3,5-5,6 EZ Olympus 12-40 f/2,8 Pro Tamron AF 24-70 f/2,8	Olympus 14-42 f/3,5-5,6 EZ Olympus 12-40 f/2,8 Pro Olympus 12-200 f/3,5-6,3

Tab. 5.1 Tabulka vyhodnocení.

V testu vinětace je nejlepší napříč ohnisky objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3, u kterého byly naměřeny nejnižší hodnoty při téměř všech clonových číslech i při změně ohniskové vzdálenosti. Úplně nejnižší hodnota byla naměřena při použití clony f/7,1 na ohnisku 25 mm. Objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-40 mm f/2,8 Pro se umístil na druhém pořadí také napříč všemi testovanými ohnisky. Nejnižší hodnoty dosahuje při použití clony f/7,1 a ohniskové vzdálenosti 17 mm. Z testovaných dronů všechny vykazují silnou vinětaci při všech clonových číslech. Podobně tomu je i u objektivů testovaných na fotoaparátu Nikon. Z testu vinětace dále vyplývá, že síla vinětace u objektivu klesá se zvyšováním clonového čísla. U dronů je efekt opačný, s vyšší clonou síla vinětace roste.

Z analýzy chromatické aberace již nelze určit jednoznačného vítěze. Ve většině případů je to objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-40 mm f/2,8 Pro, avšak na ohnisku 28 mm byly lepší výsledky naměřeny u dronu DJI Mavic 2 Pro. Při změně clonového čísla se nedá říct, že bude vždy chromatická aberace. Každé testované zařízení má jinou charakteristiku, která je více popsána v kapitole 5.2. Žádná chromatická aberace v rohu snímku nebyla zjištěna u objektivu Olympus M.Zuiko Digital ED 12-40 mm f/2,8 Pro při použití ohniska 25 mm a clony f/7,1. Nejhorší výsledky byly naměřeny u objektivu Olympus M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3, v mnoha případech dosahovala aberace přes pět pixelů.

Po vyhodnocení dat Modular Transfer Function, pomocí které se hodnotila ostrost optických členů jednak ve středu snímku, ale také v jeho rozích, bylo zjištěno, že objektiv s pevnou ohniskovou vzdáleností Sigma Art 35 mm f/1,4 je nejostřejší ze všech testovaných zařízení. A to jak ve středu snímku, tak i v jeho rozích. Nejvyšší hodnoty byly u něj naměřeny při cloně f/3,5, ale v rohu snímku při f/7,1. Pořadí dalších objektivů je celkem jednotné. Na ostatních ohniscích je nejostřejší Tamron AF 24-70 mm f/2,8 SP Di USD VC a hned po něm Olympus M.Zuiko Digital ED 12-40 mm f/2,8

Pro. Nejnižší hodnoty byly naměřeny u dronu DJI Mavic Mini a objektivu Olympus M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3, který je svou charakteristikou nevypočitatelný, protože v nejednom případě je ostřejší více na rozích než ve středu snímku.

Distorze objektivu byla vyhodnocována podle toho, jaký průběh měla výsledná křivka distorze. Jako nejlepší zařízení byla vybrána ta zařízení, která se svou křivkou nejvíce blíží k nulové ose. Na ohnisku 24 mm je to objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-40 mm f/2,8, který má soudkovitou distorzi. Nejhorší na tomto ohnisku je dron DJI Mavic Mini, jeho křivku vývoje distorze nelze zobrazit v grafu celou, protože odchylka, která byla u něj naměřena, je příliš velká. Na ohnisku 28 mm je nejrovnější objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3, který má soudkovitou distorzi. Podobně blízko nulové osy je objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-40 mm f/2,8, jehož hodnoty jsou záporné, jeho distorze je tedy poduškovitá. Největší odchylka byla opět naměřena u dronu. DJI Mavic 2 Pro má také velmi velkou odchylku. Při použití ohniskové vzdálenosti 35 mm byly nejlepší výsledky zjištěny u objektivu Olympus M.Zuiko Digital ED 12-200 mm f/3,5-6,3. Vzhledem k tomu, že byly naměřeny záporné hodnoty, je distorze poduškovitá. Velmi podobnou charakteristikou se k němu blíží i objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-40 mm f/2,8. Nejhorší testované objektivy na tomto ohnisku jsou objektivy na fotoaparát Nikon. I Tamron nebo Sigma mají oproti ostatním objektivům silnou soudkovitou distorzi. Na ohnisku 40 mm je nejrovnější objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 14-42 mm f/3,5-5,6 EZ Pancake. Stejně tak tomu je i na ohnisku 50 mm. Zde jsou však odchylky mezi zařízeními téměř zanedbatelné. Všechny objektivy mají odchylku do pěti mikronů ve vzdálenosti 14 mm od středu. Síla distorze podle výsledků měření klesá se zvyšující se ohniskovou vzdáleností. Na nejkratším ohnisku je téměř vždy soudkovitá, se zvyšujícím se ohniskem se mění na poduškovitou. Nejlepší výsledky byly naměřeny na ohnisku 50 mm.

Úroveň šumu je velmi specifická vada, vzhledem k tomu, že umožňuje zkracovat čas závěrky, je u fotogrammetrie velmi důležitá a záleží na uživateli, co vyhodnotí jako velké množství šumu. Z výsledků však lze říci, že všechna testovaná zařízení vykazují do hodnoty ISO 400 velmi malé množství šumu – naměřené hodnoty nepřesahují hranici 0,03. Se zvyšujícím se ISO se odchylky mezi zařízeními zvyšují. Nejhorší výsledky byly naměřeny u fotoaparátů Olympus a dronu DJI Phantom 4 Pro. Obraz fotoaparátu Nikon D750 je i při hodnotě ISO 3200 stále velmi čistý.

Ve většině případů byly naměřené hodnoty nejlepší u objektivů značky Olympus. Je však potřeba zmínit, že fotoaparáty Olympus aplikují automaticky korekce na své snímky, a to i při vyvolání fotografií z formátu RAW. Jsou to především korekce vinětace a distorze.

6 DISKUZE

V rámci práce bylo testováno 15 různých zařízení. Zařízení byla vybrána ta, která byla autorovi k dispozici. Proto chybí například fotoaparáty s APS-H nebo APS-C snímačem, případně fotoaparáty jiných značek.

Výsledky experimentu mohou být částečně zkresleny z důvodu nedokonalých laboratorních podmínek. Například nedostatečným výkonem trvalých světel při testování dronů a mobilního telefonu mohou být výsledky u těchto zařízení ovlivněny.

Při testování byl použit standartní hliníkový stativ. Při profesionální použití se však běžně používá speciálních konstrukcí, které umožní jednoduše a přesně zarovnat testované zařízení s testovacím diagramem.

Vada vinětace byla snímkována dvakrát, a to z důvodu vzniku přeexponovaných míst u některých fotografií. Tyto fotografie by nemohly být v testu použity z důvodu absence detailů a hodnot pixelů. Podobný problém nastal i při testování a vyhodnocování distorze objektivu. Nejprve byla vytvořena a vytisknuta pravidelná mřížka, která byla následně nafocena všemi zařízeními. Původní plánovaný postup však nemohl být aplikován, z důvodu malé přesnosti a velké časové náročnosti vyhodnocování. Proto byl zvolen alternativní postup pomocí programu Agisoft. Při testování pomocí tohoto programu se původně nafotilo devět snímků na každém testovaném zařízení a ohnisku, pět ze stran a čtyři z rohů. Tyto snímky se následně vložily do programu. U vyhodnocování však vznikala velmi velká chybná odchylka, protože program hledal nesprávné podobné body a nedokázal snímek správně zarovnat. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto, že rohové snímky nebudou použity.

Při vyhodnocování vady MTF byl zvolen postup využívající tři testovacích diagramů rozmístěných v rozích a středu snímku. Tento postup byl nastudován ze stránky bobatkings.com. Diagramy byly nafoceny, ale nemohly být číselně vyhodnoceny. Jediné porovnání mohlo být pouze vizuální. Proto nebyly tyto snímky vyhodnoceny a použity v bakalářské práci a byl zvolen postup pomocí programu Imatest Master.

Testování šumu bylo také během práce změněno. Původní postup, který byl nastudován ze stránek Photo.stackexchange.com, nemohl být v práci využit. Tento postup využívá při vyhodnocování histogramu a vzorců, které přepočítávají množství šumu k nejnižší nativní ISO hodnotě. Proto vypočtené hodnoty nemohly být porovnávány mezi zařízeními.

7 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo analyzovat optické vlastnosti a charakteristiky vybraných kamer pro účely fotogrammetrie. Bylo provedeno testování techniky formou experimentu v podmínkách stejných pro všechna zařízení. Vybrané přístroje byly testovány na základní vady, a to vinětaci, chromatickou aberaci, Modular Transfer Function, distorzi objektivu a úroveň šumu v obraze. Testování probíhalo pro různá clonová čísla, ohniskové vzdálenosti a citlivosti snímačů. Vytvořené snímky byly analyzovány a vyhodnocovány podle typu vady.

Každý přístroj (objektiv, dron, mobilní telefon) byl testován na maximální kombinaci nastavení, které umožňoval. Testovaná ohniska byla 24 mm; 28 mm; 35 mm; 40 mm a 50 mm. Testovaná clonová čísla byla v rozsahu od $f/1,4$ až po $f/7,1$. U zoomových objektivů se měnila ohnisková vzdálenost i clonové číslo, u ostatních zařízení jen clonová čísla, a to vždy všechna testovaná, která lze u daného zařízení nastavit.

Testování vinětace probíhalo vyfotografováním rovnoměrně nasvícené bíle plochy, která se následně analyzovala v programu ArcGIS Pro odečtem maximální a minimální hodnoty jasů pixelů. Pro testování chromatické aberace byl vytvořen testovací diagram vycházející ze standardu eSFR ISO 12233, který byl nasnímčován všemi testovanými přístroji. Na takto vytvořených snímcích byla vada zkoumána a vyhodnocena především v rozích snímku. Měření proběhlo v programu Adobe Photoshop. Pro vyhodnocení vady MTF byly použity snímky vytvořené pro chromatickou aberaci. MTF bylo měřeno a vyhodnocováno zvlášť v rozích a zvlášť ve středu snímku. Měření probíhalo v programu Imatest Master. Distorze objektivu byla měřena na pravidelné mřížce, která byla promítnuta v programu Agisoft Metashape. Tato mřížka byla nasnímána z pěti úhlů a analyzována ve stejném programu. Úroveň šumu v obraze byla testována na standardizovaném testovacím terči ColorChecker, který byl vyfotografován testovanými zařízeními pro hodnoty ISO 100; 200; 400; 800; 1600 a 3200. Následně byly snímky analyzovány v programu Imatest Master. Šum byl zkoumán v kanálu Y-Luminance.

Jako hlavní výstup je série grafů napříč všemi testovanými vadami pro všechna zařízení a jednotlivé ohniskové vzdálenosti. Dalším výstupem je web, který je pro přehlednost rozdělen podle přístrojů. Z důvodu velké kombinace nastavení a různorodosti techniky nelze stanovit, že by jedno zařízení ve všech vadách převyšovalo ostatní, proto vznikla tabulka (viz kapitola 5), kde jsou zařízení rozdělena podle ohniskové vzdálenosti a seřazena od nejlepšího. Avšak podle výsledků lze vyhodnotit, že objektiv s nejmenší silou vinětace je Olympus M.Zuiko Digital ED 12-200 mm $f/3,5-6,3$. Na chromatickou aberaci ve většině případů nejméně trpí objektiv Olympus M.Zuiko Digital ED 12-40 mm $f/2,8$ Pro. Nejostřejší objektiv z testovaných zařízení je Sigma Art 35 mm $f/1,4$, a to jak ve středu snímku, tak i v jeho rozích. Nejmenší síla distorze objektivu byla naměřena při použití ohniskové vzdálenosti 25 mm (ekv. 50 mm), při použití kratší ohniskové vzdálenosti se každé zařízení chová zcela odlišně. Úroveň šumu byla u všech zařízení vyhodnocena jako nejnižší při nastavení citlivosti ISO do hodnoty ISO 400. Ve všech případech je šum nejnižší na fotoaparátu Nikon D750.

Pro fotogrammetrické účely je zcela zásadní vědět, jak se dané zařízení chová a jaké se u něj vyskytují vady. Tyto informace se následně berou v potaz při plánování letu, například při výpočtu překryvů snímků nebo výšky letu. Vady jako například vinětace nebo distorze objektivu se dají následně korigovat v programech, proto nemusí být při výběru přístroje tak důležité, jako třeba ostrost v rozích snímku.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

AGISOFT, 2022. *Agisoft* [online]. [cit. 2022-05-01].

Dostupné z: <https://www.agisoft.com/>

AGISOFT, LLC, 2019. *Agisoft Metashape User Manual* [online]. [cit. 2022-05-01].

Dostupné z: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_en.pdf

ALLEN, Elizabeth a Sophie TRIANTAPHILLIDOU, 2011. *The Manual of Photography*. ISBN 978-0-240-52037-7.

ATKINS, Bob, 2017a. *Camera Lens Testing* [online]. [cit. 2022-05-01].

Dostupné z: https://bobatkins.com/photography/technical/lens_sharpness.html

ATKINS, Bob, 2017b. *Camera Lenses Testing - Vignetting* [online]. [cit. 2022-05-01].

Dostupné z: https://bobatkins.com/photography/technical/lens_vignetting.html

BILISSI, Efthimia, Sophie TRIANTAPHILLIDOU a Elizabeth ALLEN, 2011. Exposure and image control. In: *The Manual of Photography* [online]. [cit. 2022-05-01]. B.m.: Elsevier, s. 227–243. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-240-52037-7.10012-2

GOH, Kee Siang, Kim Ho YEAP a Peh Chiong TEH, 2021. Lateral chromatic aberration correction method and lens design feedback for dynamic optical tilt. *Results in Optics* [online]. [cit. 2022-05-01]. 4, 100103. ISSN 26669501.

Dostupné z: doi:10.1016/j.rio.2021.100103

HOFMANOVÁ, Alžběta, 2016. *Stabilita prvků vnitřní orientace digitálního fotoaparátu* [online]. [cit. 2022-05-01]. B.m. Západočeská univerzita v Plzni.

Dostupné z: https://dSPACE5.zcu.cz/bitstream/11025/23621/1/DP_Hofmanova.pdf

ISO, 2002. *ISO - ISO 15795:2002 - Optics and optical instruments — Quality evaluation of optical systems — Assessing the image quality degradation due to chromatic aberrations* [online]. [cit. 2022-05-01].

Dostupné z: <https://www.iso.org/standard/28654.html>

ISO, 2008. *ISO 9039:2008 Optics and photonics — Quality evaluation of optical systems — Determination of distortion* [online]. [cit. 2022-05-01].

Dostupné z: <https://www.iso.org/standard/50090.html>

ISO, 2010. *ISO 15529:2010 Optics and photonics — Optical transfer function — Principles of measurement of modulation transfer function (MTF) of sampled imaging systems*

[online]. [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://www.iso.org/standard/56069.html>

JENKIN, Robin, 2011. Noise, sharpness, resolution and information. In: *The Manual of Photography* [online]. [cit. 2022-05-01]. B.m.: Elsevier, s. 433–456.

Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-240-52037-7.10024-9

KALÁB, Vojtěch, 2009. *Softwarová korekce obrazů a obrazových sekvencí* [online]. [cit. 2022-05-01]. B.m. b.n. Dostupné z: <https://dSPACE.cvut.cz/handle/10467/71163>

KINGSLAKE, Rudolf a R. BARRY JOHNSON, 2010. Chromatic Aberration. In: *Lens Design Fundamentals* [online]. B.m.: Elsevier, s. 137–171. [cit. 2022-05-01].

Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-374301-5.00009-7

- KLEMSA, Tomáš, 2018. *Softwarové řešení odstranění zkreslení fotografických snímků* [online]. B.m. b.n. [cit. 2022-05-01].
Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/77435>
- KOREN, Norman, 2004a. *Chromatic Aberration AKA Color fringing* [online]. [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: https://www.imatest.com/docs/sfr_chromatic/
- KOREN, Norman, 2004b. *Distortion* [online]. [cit. 2022-05-01].
Dostupné z: <https://www.imatest.com/solutions/distortion/>
- KOREN, Norman, 2004c. *How to Test Lenses* [online]. [cit. 2022-05-01].
Dostupné z: https://www.imatest.com/docs/lens_testing/
- KOREN, Norman, 2004d. *Noise in photographic images* [online]. [cit. 2022-05-01].
Dostupné z: <https://www.imatest.com/docs/noise/>
- KOREN, Norman, 2004e. Sharpness: What is it and How it is Measured [online]. [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://www.imatest.com/docs/sharpness/>
- KOREN, Norman, 2004f. *Test Lab Setup* [online]. [cit. 2022-05-01].
Dostupné z: <https://www.imatest.com/solutions/test-lab-setup/>
- KOREN, Norman, 2004g. *Using Colorcheck* [online]. [cit. 2022-05-01].
Dostupné z: <https://www.imatest.com/docs/colorcheck/>
- KOREN, Norman, 2004h. *Using eSFR ISO Part 1* [online]. [cit. 2022-05-01].
Dostupné z: https://www.imatest.com/docs/esfriso_instructions/
- KOREN, Norman, 2022. *Imatest MTS Wide Field of View Module* [online]. [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://www.imatest.com/product/imatest-wfov-module/>
- LABNUT, 2011. *How to test noise?* [online]. [cit. 2022-05-01].
Dostupné z: <https://photo.stackexchange.com/questions/11281/how-to-test-noise>
- PAVELKA, Karel, 2003. *Fotogrammetrie 10*. B.m.: Praha: Vydavatelství ČVUT. ISBN 80-01-02649-3.
- RAY, Sidney, 2011. Camera lenses. In: *The Manual of Photography* [online]. B.m.: Elsevier, s. 175–197. [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-240-52037-7.10010-9
- RÝGLOVÁ, Hana, 2016. *Distorze objektivu – možnosti odstranění jejího vlivu ze snímků* [online]. B.m. České vysoké učení technické v Praze. Vypočetní a informační centrum. [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/78845>
- TANG, Zhongwei, Rafael GROMPONE VON GIOI, Pascal MONASSE a Jean-Michel MOREL, 2012. High-precision camera distortion measurements with a “calibration harp”. *Journal of the Optical Society of America A* [online]. 29(10), 2134. [cit. 2022-05-01]. ISSN 1084-7529. Dostupné z: doi:10.1364/JOSAA.29.002134

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

Vázané přílohy:

Příloha 1	Tabulka porovnání vinětace 24 mm
Příloha 2	Tabulka porovnání vinětace 28 mm
Příloha 3	Tabulka porovnání vinětace 35 mm
Příloha 4	Tabulka porovnání vinětace 40 mm
Příloha 3	Tabulka porovnání vinětace 50 mm
Příloha 4	Tabulka porovnání chromatické aberace 24 mm
Příloha 5	Tabulka porovnání chromatické aberace 28 mm
Příloha 6	Tabulka porovnání chromatické aberace 35 mm
Příloha 7	Tabulka porovnání chromatické aberace 40 mm
Příloha 8	Tabulka porovnání chromatické aberace 50 mm
Příloha 9	Tabulka porovnání MTF 24 mm střed
Příloha 9	Tabulka porovnání MTF 28 mm střed
Příloha 10	Tabulka porovnání MTF 35 mm střed
Příloha 11	Tabulka porovnání MTF 40 mm střed
Příloha 12	Tabulka porovnání MTF 50 mm střed
Příloha 13	Část tabulky porovnání distorze
Příloha 14	Část tabulky porovnání úrovně šumu

Volné přílohy

Příloha 15	Poster
Příloha 16	SD karta

Popis struktury SD karty

Adresáře:

Tabulky

Vytvorena_data

WEB

Poster

Text_prace

Příloha 1 Tabulka porovnání vinětace 24 mm

Vinětace 24 mm							
	Tamron 24-70 f/2,8	12 Samyang f/2	Olympus 12-200 f/3,5-6,3	Olympus 12-40 f/2,8 PRO	DJI Phantom 4	DJI Mini	Xiaomi
f/2	Nelze	97	Nelze	Nelze	Nelze	Nelze	Nelze
f/2,2	Nelze	82	Nelze	Nelze	Nelze	Nelze	Nelze
f/2,8	151	78	Nelze	91	115	156	122
f/3,5		86	83	88	121	Nelze	Nelze
f/4	133	81	81	88	100	Nelze	Nelze
f/5	109	80	76	88	130	Nelze	Nelze
f/6,3	91	89	76	88	133	Nelze	Nelze
f/7,1	80	89		88	148	Nelze	Nelze

Příloha 2 Tabulka porovnání vinětace 28 mm

Vinětace 28 mm					
	Tamron 24-70 f/2,8	Olympus 12-200 f/3,5-6,3	Olympus 12-40 f/2,8 PRO	Olympus 14-42 f/3,5-5,6	DJI Mavic 2 Pro
f/2,8	145	Nelze	84	Nelze	123
f/3,5	133	Nelze	78	116	114
f/4	123	63	71	100	115
f/5	96	63	68	81	114
f/6,3	81	61	65	72	134
f/7,1	73	54	63	64	135

Příloha 3 Tabulka porovnání vinětace 35 mm

Vinětace 35 mm							
	Tamron 24-70 f/2,8	Olympus 12-200 f/3,5-6,3	Olympus 12-40 f/2,8 PRO	Olympus 14-42 f/3,5-5,6	Olympus 17 f/1,8	Sigma 35 f/1,4	
f/1,4	Nelze	Nelze	Nelze	Nelze	Nelze	155	
f/1,6	Nelze	Nelze	Nelze	Nelze	Nelze	149	
f/1,8	Nelze	Nelze	Nelze	Nelze	114	139	
f/2	Nelze	Nelze	Nelze	Nelze	97	127	
f/2,2	Nelze	Nelze	Nelze	Nelze	91	114	
f/2,8	125	Nelze	82	Nelze	79	85	
f/3,5	102	Nelze	72	83	70	77	
f/4	93	58	69	81	70	73	
f/5	73	60	66	70	70	69	
f/6,3	63	61	67	63	70	74	
f/7,1	57	51	51	55	60	69	

Příloha 4 Tabulka porovnání vinětace 40 mm

Vinětace 40 mm				
	Tamron 24-70 f/2,8	Olympus 12-200 f/3,5-6,3	Olympus 12-40 f/2,8 PRO	Olympus 14-42 f/3,5-5,6
f/2,8	119	Nelze	85	Nelze
f/3,5	92	Nelze	79	Nelze
f/4	85	76	74	92
f/5	61	69	68	78
f/6,3	61	68	60	68
f/7,1	63	58	52	57

Příloha 3 Tabulka porovnání vinětace 50 mm

Vinětace 50 mm				
	Tamron 24-70 f/2,8	Olympus 12-200 f/3,5-6,3	Olympus 12-40 f/2,8 PRO	Olympus 14-42 f/3,5-5,6
f/2,8	110	Nelze	74	Nelze
f/3,5	110	Nelze	78	Nelze
f/4	94	62	75	91
f/5	74	57	69	86
f/6,3	66	56	61	73
f/7,1	59	47	52	66

Příloha 4 Tabulka porovnání chromatické aberace 24 mm

Chromatická aberace - 24 mm					
	Tamron 24-70 f/2,8	12 Samyang f/2	Olympus 12-200 f/3,5-6,3	Olympus 12-40 f/2,8 PRO	DJI Phantom 4 Pro
f/2	Nelze	4,7	Nelze	Nelze	Nelze
f/2,2	Nelze	5,0	Nelze	Nelze	Nelze
f/2,8	4,0	4,0	Nelze	3,0	4,0
f/3,5	4,0	4,3	6,0	2,0	3,7
f/4	4,3	4,3	4,7	2,0	4,3
f/5	4,0	4,7	5,7	2,0	3,3
f/6,3	4,3	4,3	5,3	1,3	3,3
f/7,1	4,0	4,0	4,3	1,3	3,3

Příloha 5 Tabulka porovnání chromatické aberace 28 mm

Chromatická aberace - 28 mm					
	Tamron 24-70 f/2,8	Olympus 12-200 f/3,5-6,3	Olympus 12-40 f/2,8 PRO	Olympus 14-42 f/3,5-5,6	DJI Mavic 2 Pro
f/2,8	4,0	Nelze	2,0		2,7
f/3,5	4,0	5,0	1,7	1,3	2,7
f/4	4,0	4,7	1,3	0,7	2,0
f/5	4,3	5,3	2,0	1,3	1,3
f/6,3	4,0	5,0	1,7	1,3	1,0
f/7,1	3,7	5,7	1,3	1,3	0,7

Příloha 6 Tabulka porovnání chromatické aberace 35 mm

Chromatická aberace - 35 mm						
	Tamron 24-70 f/2,8	Sigma 35 f/1,4	Olympus 12-200 f/3,5-6,3	Olympus 12-40 f/2,8 PRO	Olympus 14-42 f/3,5-5,6	Olympus 17 f/1,8
f/1,4	Nelze	3,3	Nelze	Nelze	Nelze	Nelze
f/1,6	Nelze	3,3	Nelze	Nelze	Nelze	Nelze
f/1,8	Nelze	2,7	Nelze	Nelze	Nelze	3,0
f/2	Nelze	4,3	Nelze	Nelze	Nelze	3,0
f/2,2	Nelze	4,0	Nelze	Nelze	Nelze	3,3
f/2,8	4,0	3,7	Nelze	0,7	Nelze	2,0
f/3,5	3,7	4,3	Nelze	1,3	0,7	2,3
f/4	4,0	3,3	5,0	1,7	1,3	3,0
f/5	4,3	3,3	5,0	0,7	0,7	2,3
f/6,3	3,7	3,7	4,3	0,3	2,0	2,0
f/7,1	4,3	3,7	4,0	1,0	0,7	2,3

Příloha 7 Tabulka porovnání chromatické aberace 40 mm

Chromatická aberace - 40 mm				
	Tamron 24-70 f/2,8	Olympus 12-200 f/3,5-6,3	Olympus 12-40 f/2,8 PRO	Olympus 14-42 f/3,5-5,6
f/2,8	5,3	Nelze	0,7	Nelze
f/3,5	2,7	Nelze	1,3	Nelze
f/4	3,0	4,0	1,3	1,7
f/5	2,7	4,3	1,3	2,0
f/6,3	2,7	3,7	1,0	2,3
f/7,1	3,7	4,0	0,3	2,0

Příloha 8 Tabulka porovnání chromatické aberace 50 mm

Chromatická aberace - 50 mm				
	Tamron 24-70 f/2,8	Olympus 12-200 f/3,5-6,3	Olympus 12-40 f/2,8 PRO	Olympus 14-42 f/3,5-5,6
f/2,8	3,3	Nelze	1,0	Nelze
f/3,5	3,3	Nelze	0,3	Nelze
f/4	3,0	4,0	0,7	2,7
f/5	3,0	4,0	0,3	2,0
f/6,3	4,7	4,3	0,7	2,3
f/7,1	3,3	4,0	0,0	2,7

Příloha 9 Tabulka porovnání MTF 24 mm střed

MTF - 24 mm střed							
	Tamron 24-70 f/2,8	Samyang 12 f/2	Olympus 12-200 f/3,5-6,3	Olympus 12-40 f/2,8 PRO	DJI Phantom 4 Pro	DJI Mavic Mini	Xiaomi
f/2		2459					
f/2,2		2505					
f/2,8	3254	2450		2401	2609	1693	3261
f/3,5	3236	2529	2147	2888	2698		
f/4	3195	2727	2559	2851	2700		
f/5	3189	2849	1992	2855	2564		
f/6,3	3224	2906	2698	2729	2468		
f/7,1	3139	2846	2608	2648	2368		

Příloha 9 Tabulka porovnání MTF 28 mm střed

MTF - 28 mm střed					
	Tamron 24-70 f/2,8	Olympus 12-200 f/3,5-6,3	Olympus 12-40 f/2,8 PRO	Olympus 14-42 f/3,5-5,6	DJI Mavic 2 Pro
f/2,8	3240		2926		3134
f/3,5	3234	1422	3090	2681	3247
f/4	3161	1353	3117	2693	3225
f/5	3206	1257	3021	2437	3025
f/6,3	3150	1492	2870	2124	2731
f/7,1	3211	1721	2773	2037	2360

Příloha 10 Tabulka porovnání MTF 35 mm střed

MTF - 35 mm střed							
	Tamron 24-70 f/2,8	Sigma 35 f/1,4	Olympus 12-200 f/3,5-6,3	Olympus 12-40 f/2,8 PRO	Olympus 14-42 f/3,5-5,6	Olympus 17 f/1,8	
f/1,4	Nelze	2783	Nelze	Nelze	Nelze	Nelze	
f/1,6	Nelze	2368	Nelze	Nelze	Nelze	Nelze	
f/1,8	Nelze	2795	Nelze	Nelze	Nelze	2483	
f/2	Nelze	3156	Nelze	Nelze	Nelze	2436	
f/2,2	Nelze	3114	Nelze	Nelze	Nelze	2629	
f/2,8	3172	3576	Nelze	2947	Nelze	2438	
f/3,5	3057	3605	Nelze	3049	2581	2811	
f/4	3395	3478	1123	3133	2497	2946	
f/5	3368	3475	1086	3009	2205	2722	
f/6,3	2863	3354	1648	2915	1846	2785	
f/7,1	2520	3331	1919	2853	1997	2764	

Příloha 11 Tabulka porovnání MTF 40 mm střed

MTF - 40 mm střed				
	Tamron 24-70 f/2,8	Olympus 12-200 f/3,5-6,3	Olympus 12-40 f/2,8 PRO	Olympus 14-42 f/3,5-5,6
f/2,8	3058	Nelze	2848	Nelze
f/3,5	3217	Nelze	2882	Nelze
f/4	3198	1504	2969	2579
f/5	3235	1408	2998	2693
f/6,3	3287	1567	2878	2459
f/7,1	3277	1838	2813	2494

Příloha 12 Tabulka porovnání MTF 50 mm střed

MTF - 50 mm střed				
	Tamron 24-70 f/2,8	Olympus 12-200 f/3,5-6,3	Olympus 12-40 f/2,8 PRO	Olympus 14-42 f/3,5-5,6
f/2,8	2694	Nelze	2764	Nelze
f/3,5	2792	Nelze	2832	Nelze
f/4	2944	1423	2807	2463
f/5	3102	1500	2858	2363
f/6,3	3259	1500	2814	2461
f/7,1	3255	1559	2743	2330

Příloha 13 Část tabulky porovnání distorze

Vzdálenost od středu	Ohnisková vzdálenost				
Olympus 12-40 f/2,8 PRO	12	14	17	20	25
0	0	0	0	0	0
2	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0
4	0,4	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2
6	0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4
8	1,5	-1,1	-0,9	-0,8	-0,7
10	2,4	-1,5	-1,3	-1,1	-0,9
12	3,5	-1,9	-1,7	-1,4	-1,2
14	4,7	-2,2	-2,1	-1,7	-1,5
Olympus 12-200 f/3,5-6,3	12	14	17	20	25
0	0	0	0	0	0
2	0,3	0	0	-0,2	0
4	1,1	0,2	-0,1	-0,9	-0,1
6	2,3	0,4	-0,3	-1,8	-0,2
8	4,1	0,6	-0,4	-2,9	-0,4
10	6,2	0,8	-0,6	-4	-0,7
12	8,6	1,1	-0,8	-4,8	-1,1
14	11,1	1,3	-1	-5,3	-1,6
Olympus 14-42 f/3,5-5,6		14	17	20	25
0		0	0	0	0
2		0,2	0,1	0	0
4		1	0,3	0	0
6		2,2	0,7	0,1	0
8		3,8	1,3	0,1	0
10		5,9	2	0,2	0,1
12		8,4	3	0,4	0,1
14		11,2	4,1	0,6	0,1

Příloha 14 Část tabulky porovnání úrovně šumu

	Vstupní hustota vzorku					
DJI Mavic Mini	0,0500	0,2300	0,4400	0,7000	1,0500	1,5000
ISO 100	0,0157	0,0105	0,0129	0,0141	0,0097	0,0096
ISO 200	0,0161	0,0109	0,0132	0,0145	0,0097	0,0093
ISO 400	0,0171	0,0116	0,0134	0,0153	0,0112	0,0111
ISO 800	0,0163	0,0112	0,0133	0,0153	0,0117	0,0114
ISO 1600	0,0187	0,0126	0,0158	0,0179	0,0136	0,0134
ISO 3200	0,0294	0,0188	0,0234	0,0261	0,0201	0,0193
DJI Mavic 2 Pro	0,0500	0,2300	0,4400	0,7000	1,0500	1,5000
ISO 100	0,0127	0,0067	0,0084	0,0099	0,0071	0,0062
ISO 200	0,0179	0,0090	0,0112	0,0138	0,0092	0,0080
ISO 400	0,0210	0,0110	0,0129	0,0158	0,0102	0,0095
ISO 800	0,0248	0,0146	0,0165	0,0191	0,0130	0,0126
ISO 1600	0,0237	0,0155	0,0168	0,0189	0,0144	0,0142
ISO 3200	0,0309	0,0209	0,0235	0,0258	0,0196	0,0190
ISO 6400	0,0403	0,0329	0,0366	0,0408	0,0297	0,0290
ISO 12800	0,0456	0,0417	0,0464	0,0507	0,0377	0,0382
DJI Phantom 4 Pro	0,0500	0,2300	0,4400	0,7000	1,0500	1,5000
ISO 100	0,0123	0,0092	0,0131	0,0125	0,0122	0,0070
ISO 200	0,0156	0,0112	0,0164	0,0159	0,0151	0,0084
ISO 400	0,0242	0,0178	0,0250	0,0242	0,0233	0,0140
ISO 800	0,0383	0,0296	0,0397	0,0379	0,0369	0,0252
ISO 1600	0,0544	0,0433	0,0566	0,0528	0,0533	0,0380
ISO 3200	0,0521	0,0515	0,0591	0,0522	0,0558	0,0508
ISO 6400	0,0382	0,0541	0,0511	0,0449	0,0586	0,0575
ISO 12800	0,0261	0,0488	0,0375	0,0347	0,0455	0,0581