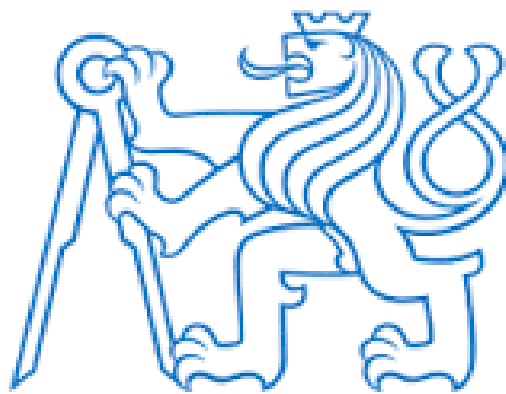


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta Elektrotechnická

Katedra radioelektroniky

Technická 2, Praha 6



Digitalizace kinematografických filmů

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Martin Bernas, CSc.

Autor: Jan Aubrecht

Praha 2017

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Aubrecht** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **392925**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra radioelektroniky**
Studijní program: **Komunikace, multimédia a elektronika**
Studijní obor: **Multimediální technika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Digitalizace kinematografických filmů

Název bakalářské práce anglicky:

Digitizing of Motion Picture Films

Pokyny pro vypracování:

Změřte dosaženou rozlišovací schopnost dvou profesionálních filmových skenerů při digitalizaci archivních filmů. K dispozici máte 5 vzorků resolučních a tři vzorky uměleckých černobílých a barevných 35 mm a 16 mm archivních filmů. Vybrané vzorky filmů digitalizujte na obou skenerech a vyhodnoťte dosaženou reálnou rozlišovací schopnost. Výsledky porovnejte s technickými parametry obou skenerů.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Stump, D.: Digital Cinematography. Fundamentals, Tools, Techniques, and Workflow. Focal Press, 2014, ISBN 978-0240-81791-0
[2] Jícha, M.; Šofr, J. a kol.: Živý film. Digitalizace filmu metodou DRA. Lepton Studio, 2016, ISBN 978-80-904503-4-9

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Martin Bernas CSc., katedra radioelektroniky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **23.03.2017** Termín odevzdání bakalářské práce: **26.05.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: **20.02.2018**

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně. Veškerou literaturu a další zdroje, z nichž jsem čerpal, v práci řádně cituji a jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze, dne 27.3.2017

Jan Aubrecht

PODĚKOVÁNÍ

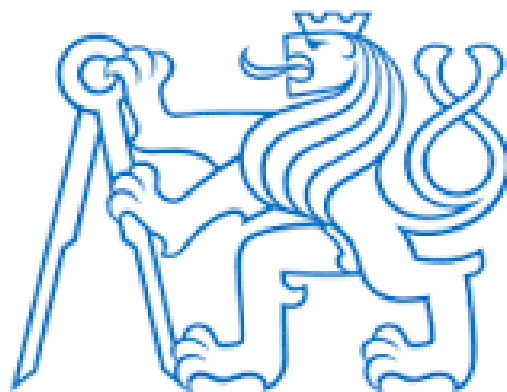
Děkuji panu Ing. Martinovi Bernasovi, CSc. za hodnotné rady, odborné vedení při zpracování této práce a pomoc při provádění experimentu. Rád bych také poděkoval panu Folvarečnému za zapůjčení filmových vzorků, které byly digitalizovány. Poděkování patří i panu Hubičkovi za zapůjčení techniky, která byla pro tuto práci použita.

Czech technical university in Prague

Faculty of Electrical Engineering

Department of Radioelectronics

Technická 2, Praha 6



Digitizing of Motion Picture Films

BACHELOR THESIS

Thesis Supervisor: Ing. Martin Bernas, CSc.

Author: Jan Aubrecht

Prague 2017

ANOTACE

Tato bakalářská práce se věnuje problematice digitalizace starých filmů. Pojednává obecně o způsobu zpracování, archivaci, výhodách i nevýhodách jak starých filmových formátů, tak i o dnešní digitální podobě filmů. Popisují zde nejen historii kinematografie, ale také vývoj digitální kinematografie. Praktická část se věnuje experimentu, ve kterém pomocí naskenovaných vzorků porovnávám rozlišovací schopnost dvou profesionálních skenerů.

Klíčová slova

Kinematografie, digitalizace, vzorkování, archivace, filmový pás, filmová surovina, celuloid, kinofilm, film, kinematograf, podložka, emulze, obrazová frekvence, negativ, skener.

ANNOTATION

This bachelor thesis contains basic information about digitizing old movies. It deals in general with processing, archiving, advantages and disadvantages of both old film formats and today's digital form of films. I describe here not only the history of cinematography, but also the development of digital cinematography. The practical part is devoted to an experiment in which, by means of scanned samples, I compare the resolution of two professional scanners.

Key words

Cinematography, digitization, sampling, archiving, film strip, film raw material, celluloid, cine-film, motion picture, cinematograph, base, emulsion, image frequency, negative, scanner.

Obsah

1. Úvod	17
2. Historie kinematografie	19
2.1. Filmová historie	19
2.2. Objev kinematografu	20
3. Filmový pás	22
3.1. Materiál filmového pásu	23
3.2. Rozměry filmového pásu	23
3.2.1. 35 mm	24
3.2.2. 16 mm	26
3.2.3. 70 mm	26
3.2.4. Kinofilm	27
4. Digitální kinematografie	27
5. Digitalizace	29
5.1. Vzorkování, kvantování	32
5.2. Experiment	34
6. Závěr	44
7. Literatura, použité zdroje	46
8. Seznam obrázků, tabulek, vzorců	48

1. Úvod

Digitalizace filmových archivů je prostředkem zachování tohoto druhu uměleckých děl, využívaným při péči o kulturní dědictví, určeného dalším generacím. Uchování digitalizovaných forem filmu, fotografií či zvukových záznamů je totiž daleko jednodušší než jejich analogových originálů, které mají vysoké nároky na hodnoty teploty, vlhkosti a dalších parametrů.

Digitalizací však nevznikne kopie originálu, jakoby v poměru jedna ku jedné, ale vzniká „nový“ dokument. Funkci digitalizačních pracovišť bychom s nadsázkou mohli přirovnat k činnosti středověkých písařů opisujících originály knih. Za vznikem těchto od originálu se lišících opisů stála jakási společenská objednávka, jejímž cílem mělo být zprostředkovat obsah daného originálu a opakovaně šířit původní sdělení. Ze stejného důvodu tak vznikají dnešní digitalizované dokumenty.

Cílem této práce je přiblížit obecný postup digitalizace starých filmových děl. V úvodní části práce se zabývám historií kinematografie od jejího počátku. Nezapomínám zde ani na vynálezce prvního promítacího přístroje, bratry Lumiéry a jejich první promítání v Paříži roku 1895.

Další část se zaměřuje na surovinu filmového pásu, její výrobu, formáty a nejčastější použití ve filmovém průmyslu. Nejvyužívanějším formátem byl filmový pás o šířce 35 mm vynalezený Thomasem Alvou Edisonem. Tomu někteří filmaři dodnes dávají přednost před digitálním záznamem.

V neposlední řadě se také podíváme na digitální kinematografii, která postupně převzala pomyslnou nadvládu ve filmařském průmyslu. Některá z velkých filmových studií již dokonce zcela přešla k digitální distribuci. Můžeme pouze spekulovat nad důvodem. Nejčastěji však zaznívá argument finanční náročnosti výroby snímků na filmovou surovinu.

V této práci je popsána samotná digitalizace, její postup a různé technologie. Vše k dosažení co nejvěrnějšího vjemu originálu v digitální kvalitě.

Je zdepopsán i experiment, jehož pomocí srovnáváme rozlišovací schopnost dvou profesionálních fotografických skenerů firmy Epson a EverSmart.

Na závěr je vše shrnuto možná překvapivým zjištěním, že ne všechny moderní technologie se vyrovnají těm původním, a že, i když se můžeme snažit ze všech sil, působení na diváka, které nabízí analogový originál, se dnešní technikou můžeme jen přiblížit.

2. Historie kinematografie

Slovo kinematografie pochází z řeckého *kinéma* – pohyb a *grafein* – psát. Je to souhrnné označení pro veškerou činnost spojenou s filmem, od jeho výroby, tvorby filmového díla, technického vybavení a zázemí až po distribuci a prodej. Film je druh umění a jako tvůrčí dílo podává pomocí audiovizuálních prostředků jakýsi obraz světa. Film přitom využívá biologické nedokonalosti lidského organismu, která způsobuje, že rychlé střídání promítaných obrázků za sebou ve velmi krátkém časovém úseku se našemu očnímu nervu, a následně i mozku, jeví jako nepřerušovaný, spojitý pohyb.

2.1. Filmová historie

Všechny druhy umění mají svou bohatou historii a není tomu jinak i v případě filmu. Zahrnuje vývoj filmové techniky a celého odvětví průmyslu, samotného filmového umění a jeho jazyka. První náznaky filmu jsme již mohli spatřit v jeskyních pravěkých lovců, kde se našly kresby rozfázovaných pohybů mamutů, sobů a divokých koní. Aby diváci mohli spatřit první film, muselonejprve dojít k technickému pokroku, vynalézt filmovou surovinu a kameru, ale také promítací přístroj.

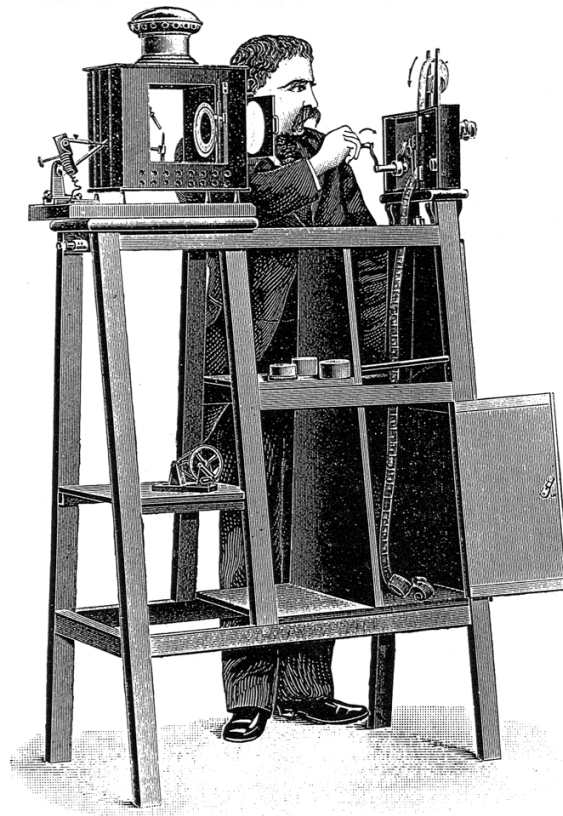
Vzhledem k tomu, že první filmy byly němé, byly na plátně doprovázeny titulky a hudebním doprovodem v podobě klavíru či celého orchestru. První zvukový film byl poprvé natočen v roce 1927 a do komerce vstoupil na počátku 30. let 20. století. S tím je spojen vznik nového a zcela specifického hudebního žánru filmové hudby a důležitou složkou filmu se staly také zvuky, tj. různé ruchy a šumy. K dalšímu rozvoji došlo zdokonalením techniky záznamu zvuku a současně vynálezem barevného filmu. Ve 30. letech se rovněž poprvé experimentovalo s filmem plastickým.

2.2. Objev kinematografu

Za první průkopníky filmu jsou považováni francouzští průmyslníci, bratři Louis a Auguste Lumiérové. Byli to právě bratři Lumiérové, kteří sestavili první kinematografický přístroj zdokonalením dosud známého systému záznamu a promítání obrazů v jejich továrně na fotografické potřeby.

Schopnost lidského mozku vnímat jednotlivé obrázky jako spojitý plynulý pohyb vysledoval jako první belgický fyzik Joseph Plateau. Určil tuto rychlost na cca 10 obrázků za vteřinu. Tento princip trvání zrakového vjemu na sítnici oka byl objeven v roce 1829. Lumiérové počet obrázků zvýšili na 16 natočených a promítaných a dosáhli tím věrného dojmu pohybu. Počátkem roku 1895 si bratři Lumiérové nechali patentovat svůj kinematografický přístroj, který byl kamerou a zároveň projektorem.

Na pařížském bulváru des Capucines v Grand Cafe se v prosinci roku 1895 konalo první veřejné promítání. Tento den se považuje za začátek filmové historie. Promítání Lumiérových filmů bylo neobvyklým zážitkem pro diváky, do té doby jimi neobjeveným. Mezi nejoblíbenější patřily záběry z vyšší společnosti (císařských veličenstev, králů a ministrů), protože diváci měli možnost nahlédnout a zblízka spatřit velký svět. Mezi nejsilnější zážitky patřil např. vlak blížící se do stanice, kdy lokomotiva na plátně se stále zvětšovala a řítila se na diváky, kteří v panice vstávali ze sedadel a prchali ze sálu.



Le cinématographe Lumière: projection.

obr.č.1 - Lumière s kinematografem při projekci

Pro další desetiletí byl kinematograf nejpřitažlivější podívanou pro stále širší publikum. Kinematograf však měl být především pomůckou pro badatelskou práci. Záběrů zachycujících vývoj života se zachovalo přes tisíc, naopak o hraný film a o herce nebyl zpočátku velký zájem.

Pokusem o velkou projekci na světové výstavě v Paříži roku 1900 skončila jedna éra kinematografu bratří Lumiérů. Ve slavnostním sále bylo umístěno plátno o rozměrech 15x21 metrů. Velikosti plátna se musela přizpůsobit i šířka filmového pásu, z původních 35 mm na 73mm.

Kinematograf jako budoucí prostředek filmového umění nebyl v době Lumiérů zcela doceněn. Bratři Lumiérové byli naprosto uspokojeni technickou prezentací vynálezu. Jejich krátké filmy jsou s odstupem času považovány za dokumenty doby. Bratři Lumiérové se v následujících letech zaměřili více na výrobu kinematografických přístrojů a filmové suroviny.

3. Filmový pás

V roce 1826 byla pro zachycení reálného obrazu použita cínová deska pokrytá petrolejovým roztokem asfaltu. Postupně bylo experimentováno se sloučeninami stříbra a jako podklad byla použita měděná destička. Dalším použitým materiálem pro zachycení reálného obrazu bylo sklo. Filmový pás je však nositelem mechanických vlastností a použití skla jako „jakéhosi“ nositele těchto vlastností nebylo možné, a to už vzhledem k jeho křehkosti.

Bylo zapotřebí najít vhodnější a pružnější materiál. Touto problematikou se zabýval Wiliam Friese – Greene, který chtěl jako další krok ve vývoji obrazového záznamu použít papírovou podložku. Tu se snažil napustit olejem a tím ji přeměnit na trvanlivější, měkčí a průsvitnější. Tyto vlastnosti byly předpokladem pro použití k fotografickým a filmovým účelům. Ačkoliv tato metoda byla pokroková, tak stále nebyla dokonalá. Bylo zapotřebí pevnější materiál.

V roce 1887 přišel s novinkou v podobě celuloidu Hannibal Goodwin. Posléze byla vyvinuta ještě vylepšená varianta v podobě celuloidového filmu. Tato revoluční novinka byla používána jako standartní materiál pro výrobu podložky až do první poloviny padesátých let, která se vyráběla působením kyseliny dusičné na celulózu. Tento materiál měl oproti sklu a papírové podložce velké výhody, ale také nevýhody. Výhodou byla odolnost, pružnost a skoro dokonalá průhlednost. Naopak velkou nevýhodou byla smrštivost neboli rozměrová nestálost. Za největší nevýhodu však platí prudká hořlavost tohoto materiálu, která stála za tragédiemi úplného zničení celých filmových archivů v důsledku požáru. Celuloid totiž dokáže hořet i bez přístupu kyslíku a tím pádem ho nelze hasit konvenčními hasícími prostředky. Celuloid jako materiál byl dokonce na našem území zcela zakázán v šedesátých letech dvacátého století. V padesátých letech byl celuloid nahrazen triacetátovou podložkou. V současné době se používá podložka polyesterová.

3.1. Materiál filmového pásu

Na začátku je filmový pás v podstatě fotografickým materiálem, který se skládá z několika vrstev. Natáčí se většinou na tzv. negativ a pro distribuční filmové kopie se používá zpravidla pozitivní filmový materiál.

Filmový pás se skládá z pružné pevné podložky, která tvoří podklad filmového pásu. Dále je zde podvrstva, tj. mezivrstva, která tvoří pojítko mezi podkladovým materiálem a želatinovou emulzní vrstvou. Želatinová emulzní vrstva je citlivá na světlo, jsou zde rozptýleny krystalky haloidů stříbra (sloučenin halových prvků: jodu, chloru, bromu apod.). Moderní materiály mají mimo tří základních vrstev také ještě jednu řadu pomocných vrstev pro zdokonalení vlastností filmu, jako jsou například barevné podání, citlivost a šum. Poslední složku tvoří tzv. antifrikční vrstva, což je vrstva tvořící ochranu proti tření a oděru.

Podklad filmového pásu se rozpustí ve vhodných rozpouštědlech a vzniklý roztok se nanese na kovový pás či buben. Po dosušení se fólie navíjí do svitků. Na polévacích strojích se nanese želatinová emulze a rozřezávacím strojem se fólie řeže na požadovanou šířku. Na jednotlivých filmových pásech se v děrovacím stroji vysekávají otvory a pás je označen potřebnými značkami (výrobce, typ materiálu, bezpečnost apod.). Následně se filmový pás zabalí do obalu, který neumožňuje jeho osvětlení.

3.2. Rozměry filmového pásu

Nejvíce používané jsou filmové pásy o rozměru 35 mm (většina kin má promítačky pro tento formát). Používaly se také filmové pásy o rozměru 16 mm a 70 mm. V minulosti byly používány také filmové pásy o rozměru 9,5 mm a 8 mm, které však již zanikly.

3.2.1. 35 mm

Na filmovém pásu širokém 35 mm nalezneme děrování po obou stranách obrazového pole, které je umístěno uprostřed. U každého obrazového pole se nacházejí 4 otvory děrování. Místo pro optický záznam zvuku je mezi obrazovými poli příslušným děrováním.

Obrazová frekvence představuje počet obrazových polí promítnutých za jednu vteřinu. Celosvětová norma je stanovena na 24 snímků za vteřinu, avšak československé, resp. české a slovenské filmy se vyrábějí pro frekvenci 25 snímků za vteřinu. To z toho důvodu, že elektromotory promítacích strojů jsou synchronizovány na kmitočet sítě 50 Hz, což má vliv na rychlost posunu snímků filmu. Při promítání filmů natočených před rokem 1930 na dnešních filmových promítačkách se zdají být tyto zrychlené, protože vyžadovaly promítací frekvenci 16 snímků za vteřinu.

Vynálezce Thomas Alva Edison stojí za stanovením následujících rozměrů, které platí od roku 1889:

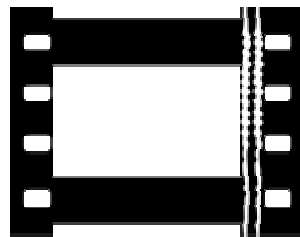
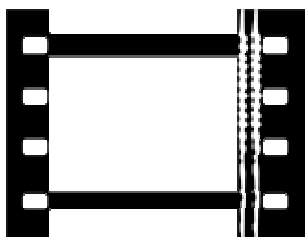
- jmenovitá rozteč – $4,75 \pm 0,01$ mm
- obrazová rozteč (vzdálenost dvou obrazových polí) – $4 \times 4,75 = 19$ mm (vzhledem k tomu, že jednomu obrazovému poli přísluší 4 otvory děrování)
- rozměry perforačního otvoru – $2,80 \pm 0,01 \times 1,98 \pm 0,01$ s vnitřními rádiusy $r = 0,5$ mm

U vícevrstvého barevného filmu se zvětšila jeho tloušťka. Filmový pás o rozměru 35 mm existuje ve 4 formátech:

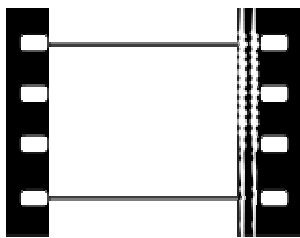
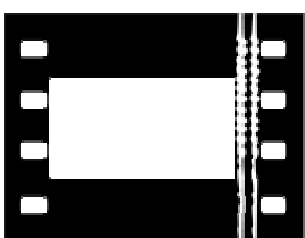
- 1) klasický formát obrazu 1:1,37, který stanovil Thomas Alva Edison;
- 2) formát se sníženým obrazovým polem 1:1,66. Menší plocha obrazového pole a větší šířka promítaného obrazu je na úkor kvality. Vzhledem k tomu, musí mít promítací objektiv kratší ohniskovou vzdálenost;

3) formát 1:1,58, je shodný s formátem 1:1,66, má však více ořezané obrazové pole;

4) širokoúhlý formát 1:2,35, tzv. cinemascope, využívá anamorfotickou předsádku, optickomechanický doplněk, který širokoúhlý snímek horizontálně smrští na polovinu a tím pádem jím vyplní celou plochu plátna.

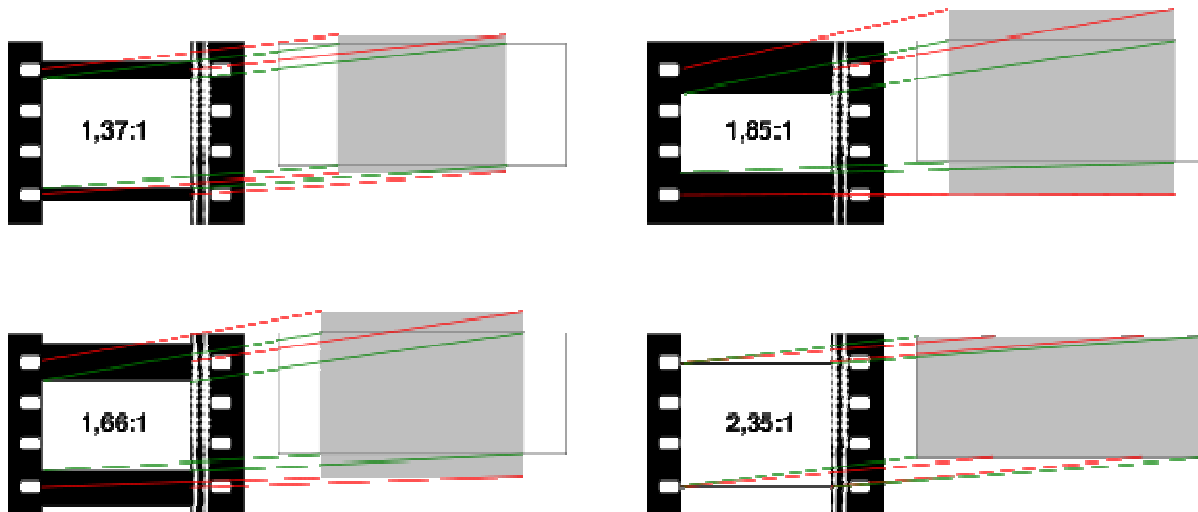


obr.č.2– Formát 1:1,37 obr.č.3– Formát 1:1,66



obr.č.4– Formát 1:1,85

obr.č.5 – Formát 1:2,35



obr.č.6 - Ukázka využití formátu obrazového pole

3.2.2. 16 mm

Filmový pás o šířce 16 mm byl považován za poloprofesionální formát. Používali ho především amatérští tvůrci, využívaly ho ale také televizní štáby, které na něj natáčely zpravodajské materiály v terénu. Byl používán i v menších vesnických kinech.

V dobách němého filmu byl i 16 mm filmový pás perforován po obou stranách. Když nastoupil zvuk a bylo zapotřebí zachovat rozměry obrazového pole a zároveň na pás umístit optickou zvukovou stopu, byla perforace z jedné strany pásu odstraněna.

3.2.3. 70 mm

Filmový pás o šířce 70 mm se v současnosti vyskytuje jen výjimečně. Měl téměř 4x větší plochu filmového políčka. S velikostí filmového políčka se zvýšila i schopnost promítat mnohem vyšší rozlišení. Doprovázený byl zpravidla magnetickou zvukovou stopou vysílanou prostřednictvím šesti kanálů. Nevýhodou je však vyšší "spotřeba filmového materiálu" a vysoké nároky na snímání, laboratorní i projekční techniku. Na rychlém ústupu od této technologie se podílela také ropná krize v 70. letech. Poté se začalo s progresivním rozvojem 35 mm technologie. Stejně obrazové kvality však nikdy dosaženo nebylo a původní zvukové kvality se až koncem 90. let začala přibližovat technologie Dolby SR. Nevýhody tohoto formátu však přetrvávají. Jedná se především o drahou výrobu filmů i distribučních kopií a snižující se počet kin, disponujících touto technikou.

V 90. letech kina, která mohla promítat filmy o šířce 70 mm, v České republice z větší části zanikla. Některá z nich přešla na jinou technologii, některá byla zrušena úplně. I dnes je možné tyto filmy shlédnout, ale již není možné je promítat v celku, neboť jsou zapotřebí dva stroje pro tandemové promítání. Promítač potřebuje dvěpromítačky, protože filmový pásmůže být natočen i na několika cívkách. Na konci každé cívkofilmu se nacházejí dvě

značky, po jejichž promítnutí je nezbytné spustit druhé zařízení s navazujícími filmovými záběry.

System IMAX využívající formát 70 mm používá pro snímání a promítání vodorovný posuv pomocí odvalované smyčky namísto svislého posuvu drapákem či strhovačem. Má téměř 6x větší rozlišovací prostor než běžný kinofilm.

3.2.4. Kinofilm

Tento film není klasický kinematografický filmový pás, nýbrž je to fotografický filmový pás. Využívá 35 mm širokého pásu, jehož vynálezcem je Thomas Alva Edison. Kinofilm je navinut v kazetě, nepropouštějící světlo. Obrazová pole mají rozměr 24×36 mm, jsou umístěna na kinofilm podélně a následující snímek začíná o 8 perforačních otvorů dále než předchozí snímek. Na běžný kinofilm 135 (135 je celosvětově normalizovaný název tohoto fotografického filmu) se vejde 36 obrázků (nebo také alternativně balení pro 24 či pouze 12 obrázků). Na okrajích filmu nalezneme čísla políček a údaje o typu filmu, což usnadňuje orientaci pro spotřebitele.

4. **Digitální kinematografie**

Digitální kinematografie je proces zaznamenávání filmu pomocí digitálních zařízení. Nepoužívá se zde filmový pás jako záznamový prostředek, ale snímáný obraz se přenáší do soustavy jedniček a nul. V posledních letech se digitální technologie neustále vyvíjí a používá ji čím dál více filmařů. Na trhu se již objevují digitální filmové kamery, které se dokážou rovnat záznamu na 35 mm široký filmový pás, a to v rozlišení a kapacitě dynamického rozsahu. Nicméně analogový záznam má stále odlišný přístup než jeho digitální kolega, a proto není divu, že někteří filmaři stále upřednostňují analogový záznam pro dosažení požadovaných výsledků.

Historie digitální kinematografie se začala psát v roce 1980, kdy firma Sony uvedla na trh koncept elektronické kinematografie. Tento koncept využíval analogovou profesionální videokameru Sony HDVS. Snaha o průlom v tomto odvětví ale nenašla dostatečnou podporu, i přesto došlo v roce 1987 k natočení jednoho z prvních digitálních filmů s názvem Julia a Julia.

Zcela digitálním procesem byl jako první natočen film s názvem Rainbow z roku 1996. Veškeré záběry tohoto snímku byly natočeny společností Sony za pomoci prvních kamer Solid State Electronic Cinematography. Tento snímek byl 35 minut dlouhý a zpracování obrazu, vizuální a zvukové efekty i editace byly dokončeny digitálně. Film pak byl přenesen na 35 mm široký filmový pás pomocí rekordéru technologie elektronového paprsku, který byl původně vyroben pro použití v divadle.

Myšlenka digitální kinematografie se začala na trhu uplatňovat spolu se zavedením rekordérů HDCAM a digitálních profesionálních videokamer. Tyto kamery disponovaly rozlišením 1920x1080 pixelů, dnes jsou známé pod označením FullHD rozlišení, a snímačem technologie CCD. V roce 1998 vznikl film The Last Broadcast, který někteří považují za první zcela digitálně zpracovaný celovečerní snímek určený pro běžné návštěvníky kin.

Dalším milníkem ve vývoji digitální kinematografie se stal rok 1999, kdy George Lucas ve svém filmu Star Wars: Epizoda I – Skrytá hrozba (Star Wars: Episode I – The Phantom Menace) použil natočené digitální záběry o vysokém rozlišení. Tyto záběry splynuly s filmem natočeným na filmový pás tak dokonale, že skoro nebyl vidět rozdíl. Poté George Lucas oznámil, že má v plánu ještě v průběhu tohoto roku natočit film a to výhradně nadigitální videokamerou high-definition rozlišením. Jeho snímek a pokračování Star Wars: Epizoda II – Klony útočí (Star Wars: Episode II – Attack of the Clones) z roku 2002 byl natočen kompletně na digitální HD řetězec, čímž světu ukázal, že i tak velký projekt jakým jsou Hvězdné války lze natočit bez pomoci filmového pásu.

V roce 2009 dostal film Milionář z chatrče (Slumdog Millionaire) cenu Americké akademie filmového umění a věd (Oscar) jako nejlepší film již převážně zpracovaný digitální produkcí. Naopak snímek Avatar, také z roku

2009, získal ocenění za nejlepší digitální projekci. Jedná se o komerčně nejúspěšnější film všech dob.

Prvním filmovým studiem, které přestalo využívat film o šířce 35 mm, se stalo studio Paramount Pictures koncem roku 2013. Poslední snímek, produkováný tímto studiem s využitím filmového pásu, byl Zprávař 2 – Legenda pokračuje (Anchorman 2). Naopak Vlk z Wall Street (The Wolf of Wall Street) byl první zcela digitální distribucí.

Výhod digitální kinematografie je oproti analogovému promítání hned několik. Obraz digitální projekce je zcela bez prachu a škrábanců, nezávisle na tom, zda se jedná o projekci první anebo dvoustou v pořadí. Dále je třeba vzít v potaz, že digitální projekce zajišťují žádné pohyblivé části, a proto je dosahována plná stabilita obrazu. Stálý je i jas obrazu a obraz je rozlišením a kontrastem na srovnatelné úrovni jako film o šířce 35 mm.

5. Digitalizace

Pojem digitalizace popisuje převod analogového signálu do jeho digitální podoby. Tento převod se označuje jako „skenování“ či „přepis“. Existují různé úrovně digitalizace, které se liší kvalitou výstupu, rychlostí převodu a finanční náročností procesu. Podstatnou podmínkou digitalizace je existence filmových materiálů. Digitální dokument zcela určitě není náhradou originálu, ale je nutno na něj nahlížet jako na „nový“ dokument, ne však ve smyslu zcela nového, ale odlišného od původního právě použitím digitalizace. Při digitalizaci filmového materiálu dochází k určitým formálním proměnám, nikoliv však ke vzniku nové verze. Divák shlížející digitalizovaný filmový materiál by si měl být vědom, že nesleduje originální dílo v jeho původním prostředí, ale jeho simulaci v prostředí novém.

Před samotnou digitalizací je třeba provést podrobné posouzení stavu všech dochovaných filmových materiálů. Kontrolují se veškerá případná poškození. Pro další postup je důležité přihlédnout k historii vzniku a života

filmových materiálů a kvality obrazového či zvukového záznamu na těchto materiálech. Výběr vhodných filmových materiálů záleží nejen na jejich stavu, ale také na technických možnostech zařízení pro digitalizaci obrazu a zvuku. Požadovaný výsledek má být dosažen zvolením co nejefektivnějších nástrojů a pracovních postupů a tak, aby zdrojové materiály nebyly manipulací ohroženy.

K digitalizaci filmu můžeme použít dva základní systémy.

Prvním systémem je systém Telecine. Jedná se o jeden z neznámějších způsobů, jak digitalizovat film o šířce 35 mm. Je to komplexní zařízení, schopné snímat filmový pás v reálném čase. Film pohybující se ve filmové stopě je snímán elektronickým systémem citlivým na světlo. Výsledkem může být analogový signál nebo jeho digitální forma určená pro obrazovou postprodukcí. První zástupci tohoto systému byli používáni na přepis filmů do standardního rozlišení PAL nebo NTSC. Dále se také používali k výrobě reklam pro televizní vysílání, kde základem byl originální filmový pás 35 mm, který bylo zapotřebí převést do digitální podoby.

Druhým systémem, který lze použít, jsou filmové skenery. Jedná se o alternativní zařízení pro převod filmu do digitální formy. Pracuje na podobném principu jako stolní skener, kdy jsou snímána jednotlivá políčka filmu. Touto metodou lze dosáhnout kvalitnějších výsledků. Na druhou stranu tato technologie je náročnější na dobu převodu. Profesionální filmové skenery dokážou snímat film ve vysokých rozlišeních a barevných hloubkách. Právě proto se hodí pro digitalizaci snímků, kde první a hlavní prioritou je kvalita výsledného obrazu.

Důležité je zvolit postupy, umožňující vznik dat, co možná nejméněji odrážejících původní materiály. Speciální počítačové programy získaná data dále zpracovávají. Mechanická poškození obrazu (např. rýhy, škrábance, přetržení pásu apod.) jsou odstraňovány jak automaticky, tak také manuálně, provádějí se barevné a jasové korekce. Obdobně se postupuje v případě zvukové stopy (odstraňování šumu, lupání). Je nutné však dbát na to, aby stopy použitých techniky, které jsou nedílnou součástí díla, nebyly při takových „opravách“ odstraněny.



obr.č.7–Digitální odstranění poškození



obr.č.8–Digitální jasová korektura



obr.č.9 - Kontrolní stůl studia na Barrandově

5.1. Vzorkování, kvantování

Digitální obraz je získán pomocí vzorkování obrazu a kvantováním. Vzorkování vybere ze spojité obrazové funkce vzorky. Výsledkem jsou vzorky v diskrétním rastru (je jich konečný počet). Hodnota vzorku zůstává “spojitá”, tj. reálné číslo.

Vzorkování, čili diskretizace signálu v čase, nahrazuje spojitý signál jeho okamžitými hodnotami. Obecně se řídí známou Shannonovou větou, ze které plyne, že frekvence vzorkovacího signálu musí být minimálně dvojnásobkem nejvyšší dosažené frekvence originálního signálu. Při zpracovávání obrazu se však jedná o vzorkovací interval a nejmenší detail v obraze. Interval vzorkování je vzdálenost mezi nejbližšími vzorkovacími body v obraze.

$$f_{vz} = \frac{1}{T_{vz}} \geq 2f_{max} \quad (1)$$

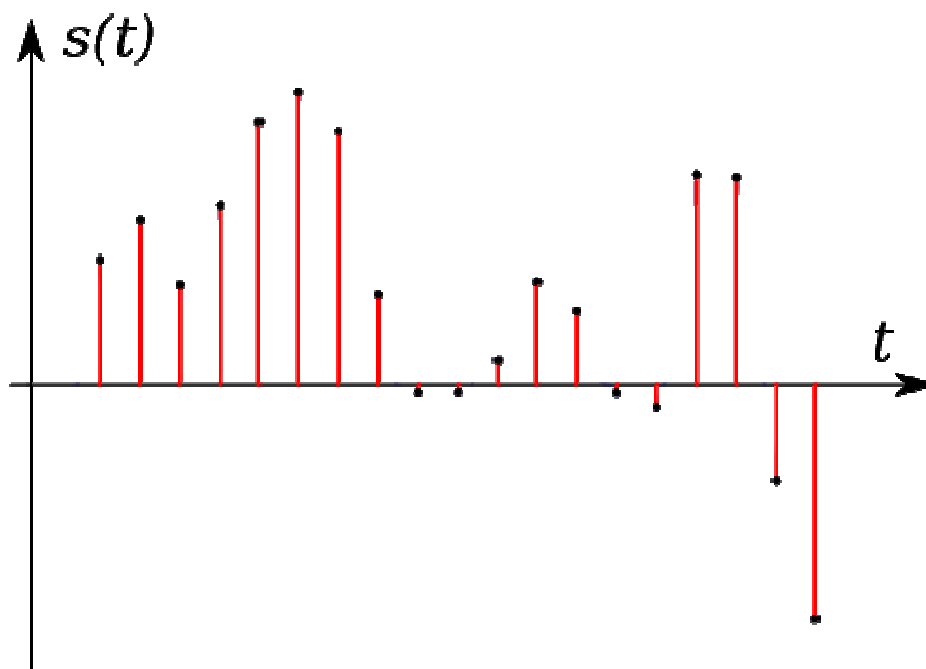
kde:

f_{vz} vzorkovací frekvence

T_{vz} perioda vzorkovaného signálu

f_{max} maximální frekvence původního signálu

Vhodné rozlišení obrazu patří k zásadním krokům digitalizace – nízké rozlišení ztrácí informaci o detailech v obraze; - vysoké rozlišení zvyšuje výpočetní náročnost pro další zpracovávání obrazu. Rozlišení obrazu je uváděno v jednotkách body/palec – dpi (dots per inch). Velikost obrazu v daném rozlišení se většinou udává v obrazových bodech – pixelech (picture element).

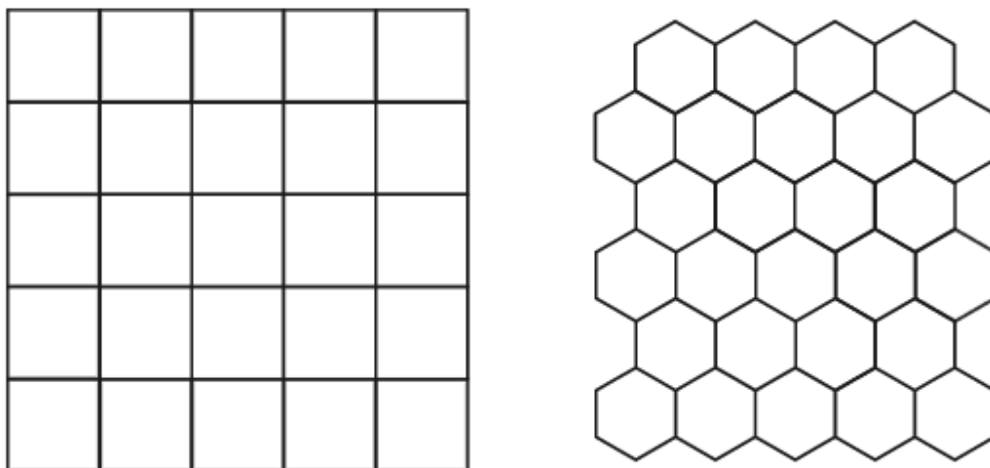


obr.č. 10 - Analogový signál (světle modrá), vzorkovaný signál (červená) s pevnou vzorkovací periodou

Kvantování rozdělí reálnou hodnotu vzorku na konečný počet hodnot (též přihrádek). U šedotónového obrazu např. na 256 hodnot. Počet úrovní jasu je dán počtem bitů b použitých pro reprezentaci informace daného pixelu, tj. $k = 2^b$. Obvyklý počet bitů u videa je 8 na obrazový element. U profesionálního videa se setkáme s 10 bity na pixel a u digitalizace se používá 12 někdy i 16 bitů. Dále existují tzv. binární obrazy, které reprezentují informaci o obrazovém elementu pouze jedním bitem. Jedničky pak v tomto obraze označují objekty a nuly pozadí, které nás nezajímá. U kvantování úrovní jasu je zapotřebí volit jejich počet tak, aby nedocházelo k falešným obrysům. Ty začínají být pro člověka viditelné, pokud počet úrovní klesne pod 50. Čím jemněji provádíme vzorkování a kvantování, tím lepší kvalitu obrazu získáme.

Důležitou součástí digitalizace je volba vzorkovací mřížky. Vzorkovací mřížka je plošné uspořádání bodů při vzorkování. Mřížky čtvercové a hexagonální jsou používané nejčastěji. Jejich struktura je zobrazena na obr.č. 11. Čtvercová mřížka je realizovatelná snadněji než hexagonální, vychází z konstrukce většiny snímacích prvků, odpovídá obrazu pomocí pravoúhlé

matice. Nevýhoda čtvercové mřížky se týká měření vzdálenosti a spojitosti objektů. Hexagonální mřížka nabízí výhodu pravidelnosti, a to vzhledem k šesti okolním bodům každého objektu a jejich stejné vzdálenosti.



obr.č. 11 - Čtvercová a hexagonální vzorkovací mřížka

5.2. Experiment

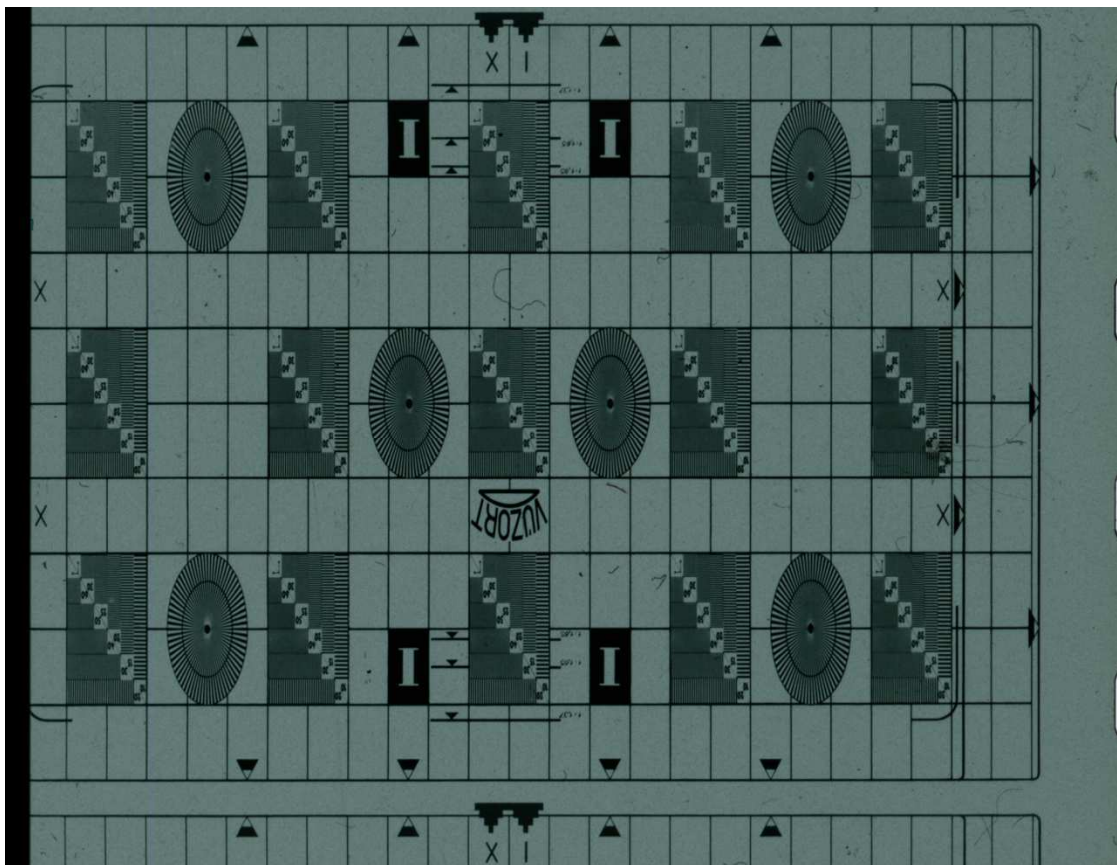
Pro tuto bakalářskou práci jsem provedl pokus a digitalizaci několika vzorků filmového pásu o šířce 35 mm jsem realizoval v praxi. K digitalizaci byly použity dva profesionální fotografické skenery. Prvním byl fotografický skener EverSmart Select a druhým Epson Perfection V850 Pro. Úkolem bylo tyto vzorky zdigitalizovat a dále pak změřit a porovnat rozlišovací schopnost obou těchto skenerů mezi sebou.



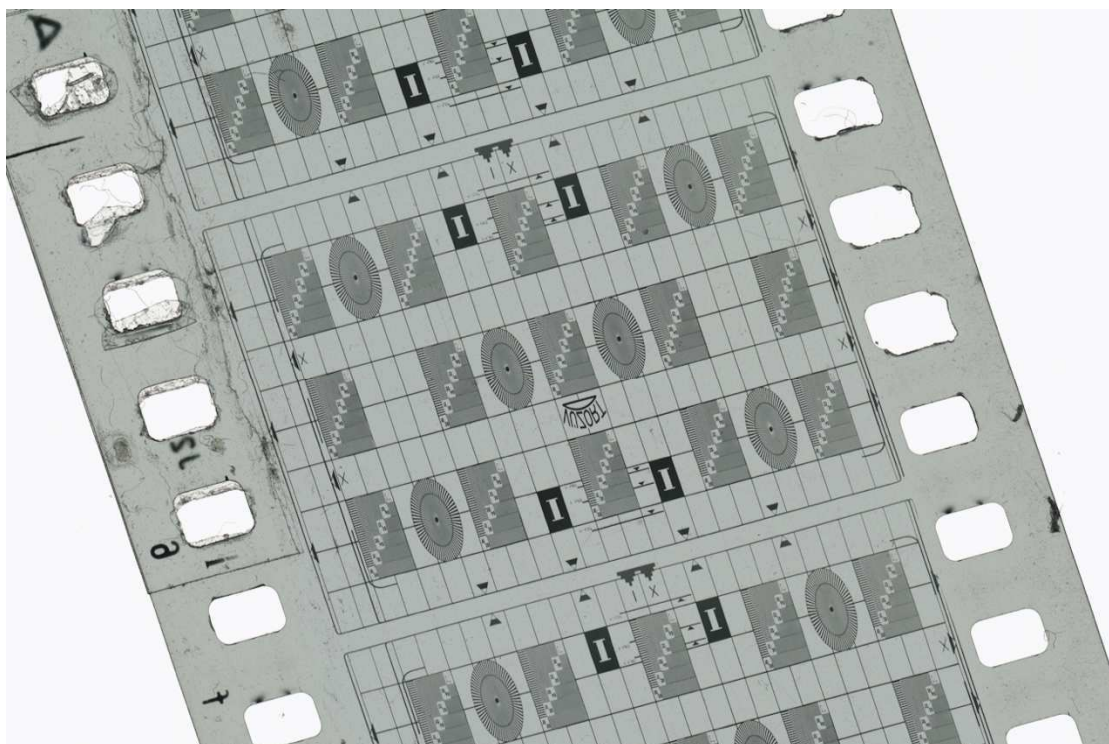
obr.č.12 - Skener EverSmart Select



obr.č. 13–Skener Epson Perfection V850 Pro



obr.č. 14 - Vzorek naskenovaný na Epson Perfection V850 Pro



obr.č.15 - Vzorek naskenovaný na EverSmart Select

Po naskenování jednotlivých vzorků byly použity dva programy. Prvním programem byl MATLAB a druhým Quick MTF. V programu MATLAB jsem zobrazil hodnoty naskenovaných vzorků v grafu a z těchto hodnot vypočítal MTF (modulation transfer function), popisující kvalitu optické soustavy. Vzorec pro výpočet MTF je následující:

$$MTF = \frac{C_{out}}{C_{in}} = \frac{\frac{A_1 - A_2}{A_1 + A_2}}{\frac{A_{White} - A_{Black}}{A_{White} + A_{Black}}} \quad (2)$$

kde:

C_{out} výstupní kontrast

C_{in} vstupní kontrast

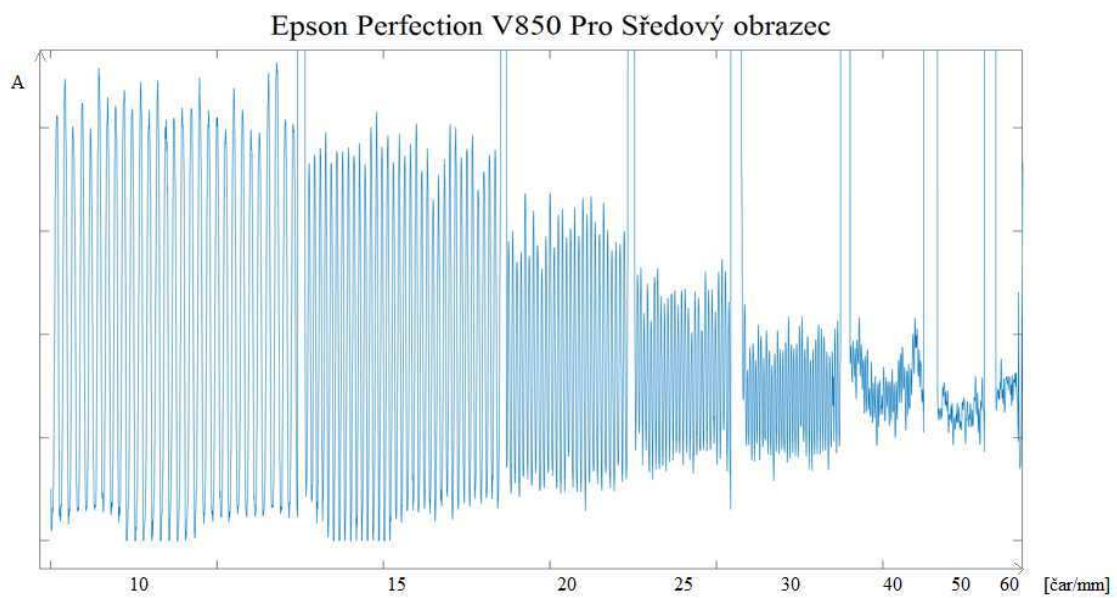
A_1 maximální hodnota signálu v testu

A_2 minimální hodnota signálu v testu

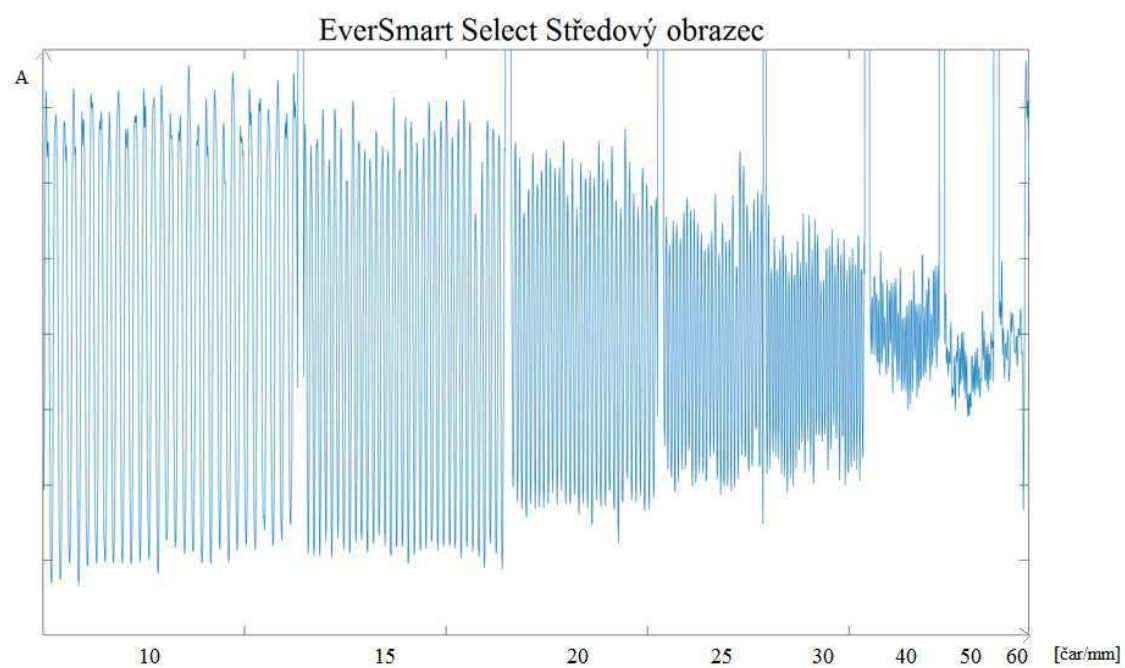
A_{White} hodnota signálu v bílé

A_{Black} hodnota signálu v černé

Pomocí tohoto vzorce jsem získal hodnoty MTF pro skener EverSmart Select a Epson Perfection V850 Pro. Abych si byl jistý, že je naskenovaný vzorek konstantní, vypočítal jsem MTF pro obrazce ve všech čtyřech rozích a pro jeden obrazec ve středu snímku. Na následujících obrázcích vidíme grafické znázornění jednotlivých frekvenčních proužků v obrazci. Tyto frekvence jsou v pořadí 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 a 60 čar na milimetr. Na první pohled je vidět, že skenery Epson Perfection V850 Pro a EverSmart Select nejsou schopny pro frekvence 40, 50 a 60 čar na milimetr vykreslit jednoznačné střídání bílé a černé barvy.



obr.č. 16 - Frekvenční čtení snímku Epson Perfection V850 Pro



obr.č. 17 - Frekvenční čtení snímku EverSmart Select

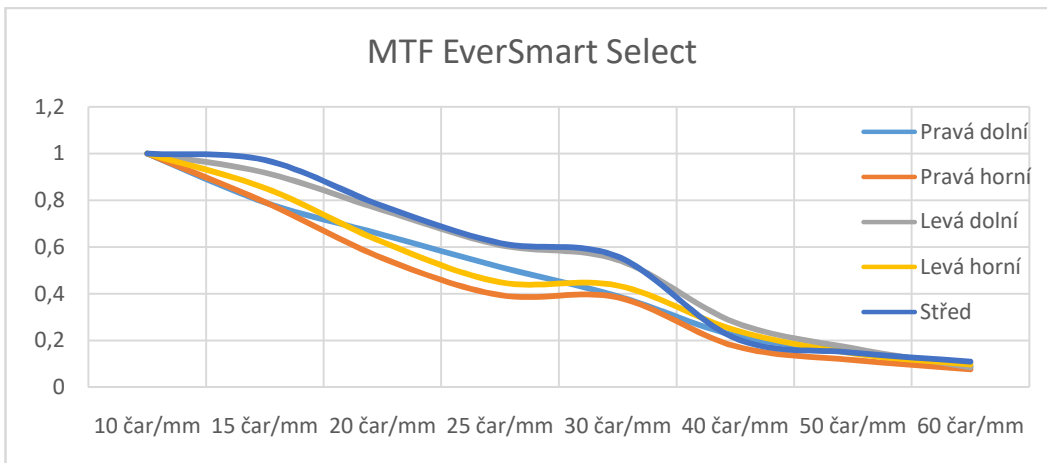
	10 čar/mm	15 čar/mm	20 čar/mm	25 čar/mm	30 čar/mm	40 čar/mm	50 čar/mm	60 čar/mm
Pravá dolní	1	0,95697	0,65535	0,34393	0,23885	0,09850	0,10396	0,15138
Pravá horní	1	0,99039	0,78898	0,51539	0,29072	0,15690	0,12168	0,10799
Levá dolní	1	0,96585	0,66133	0,36847	0,30625	0,15268	0,14001	0,07373
Levá horní	1	0,95145	0,71297	0,53578	0,35801	0,18802	0,17341	0,12723
Střed	1	0,97259	0,75152	0,54935	0,41938	0,24042	0,14482	0,10321

tab.č. 1 – Hodnoty MTF pro Epson Perfection V850 Pro

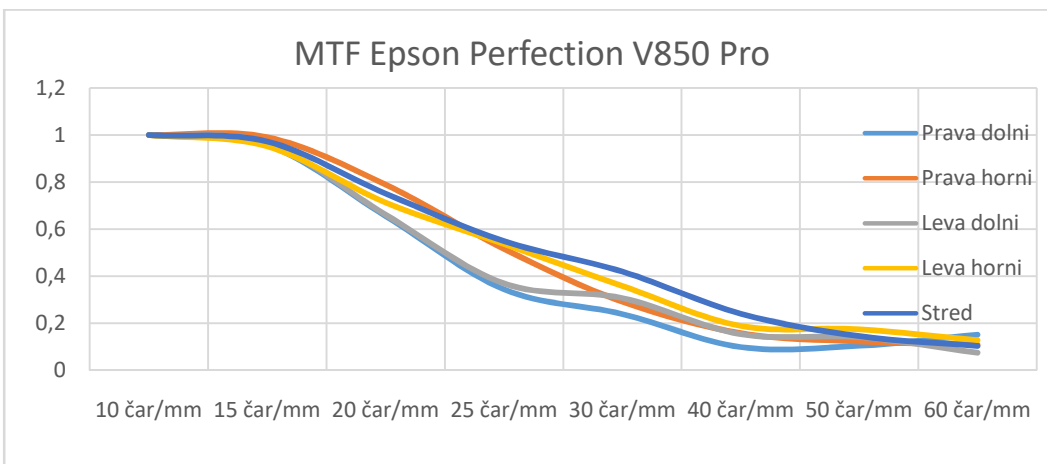
	10 čar/mm	15 čar/mm	20 čar/mm	25 čar/mm	30 čar/mm	40 čar/mm	50 čar/mm	60 čar/mm
Pravá dolní	1	0,79115	0,65302	0,51479	0,38955	0,22097	0,15402	0,08905
Pravá horní	1	0,79235	0,55248	0,39368	0,38394	0,17498	0,11599	0,07605
Levá dolní	1	0,91818	0,75815	0,60825	0,54487	0,27596	0,16587	0,08411
Levá horní	1	0,85238	0,62139	0,44904	0,43457	0,24364	0,14393	0,09653
Střed	1	0,97233	0,77605	0,61695	0,55901	0,20887	0,14765	0,10891

tab.č. 2 - Hodnoty MTF pro EverSmart Select

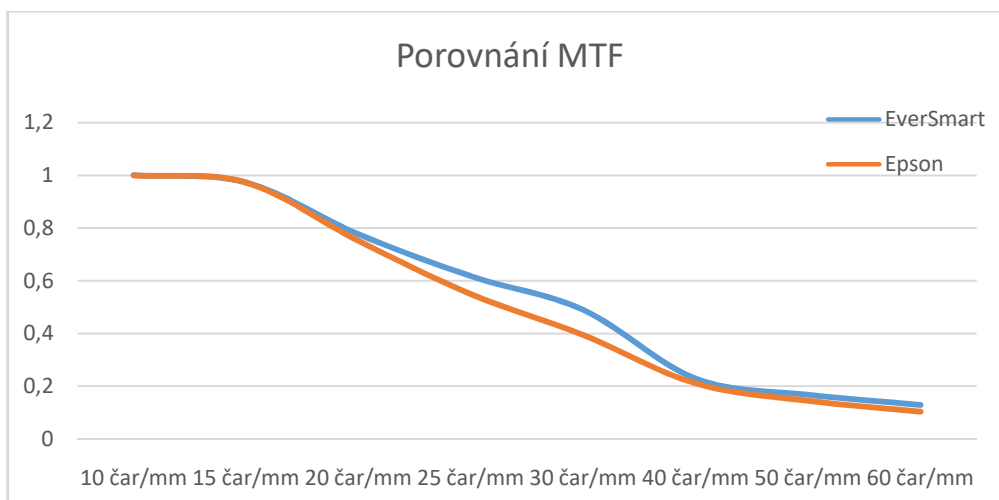
V tabulkách jsou vyčísleny hodnoty funkce MTF pro jednotlivé obrazce z celého snímku pro Epson Perfection V850 Pro a EverSmart Select. Z těchto hodnot jsem vytvořil grafy pro oba skenery a jeden graf pro porovnání funkcí MTF.



obr.č. 18 - Graf MTF pro EverSmart Select



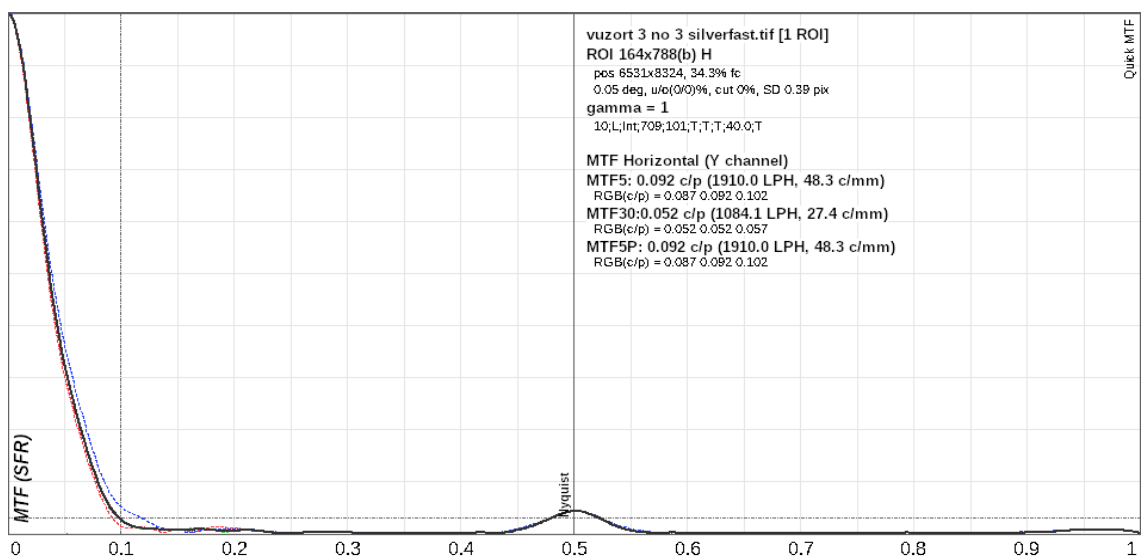
obr.č. 19 - Graf MTF pro Epson Perfection V850 Pro



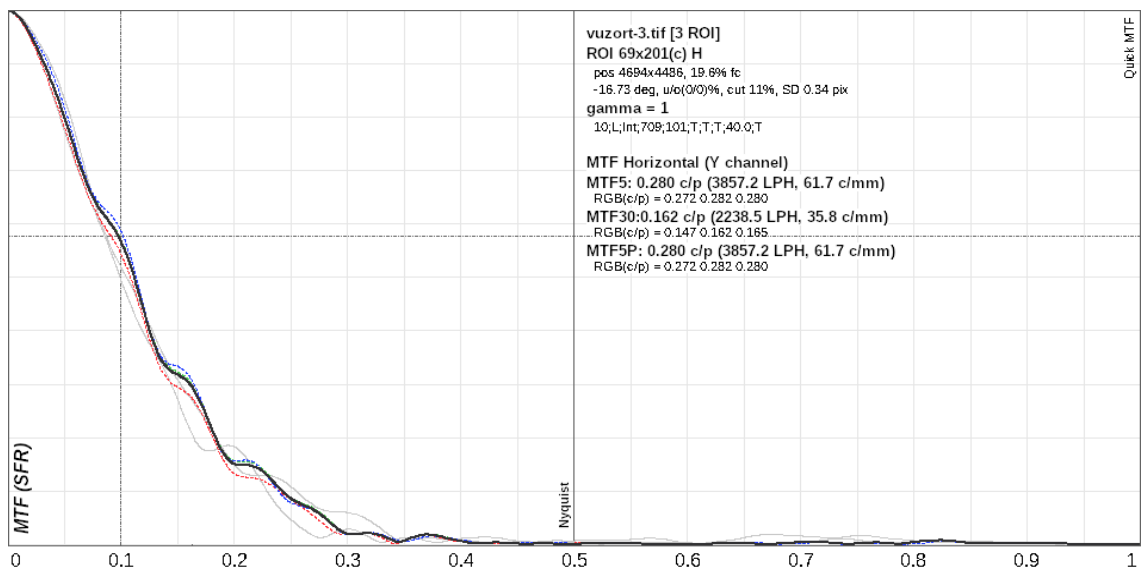
obr.č. 20 - Porovnání MTF

Z grafů lze vyčíst, že pokles křivky na 30 % se nachází mezi hodnotami 30-tia40-ti čar na milimetr. Za hranicí 30 % již nemůžeme považovat údaje za přesné.

Druhý použitý program je Quick MTF. Zde jsem měřil funkci MTF pomocí odezvy na hranu. Pro stejný vzorek změřil druhý program podobnou rozlišovací schopnost u obou skenerů. Epson Perfection V850 Pro efektivně rozlišil 27 čar na milimetr a jeho konkurent EverSmart Select rozlišil 35 čar na milimetr.

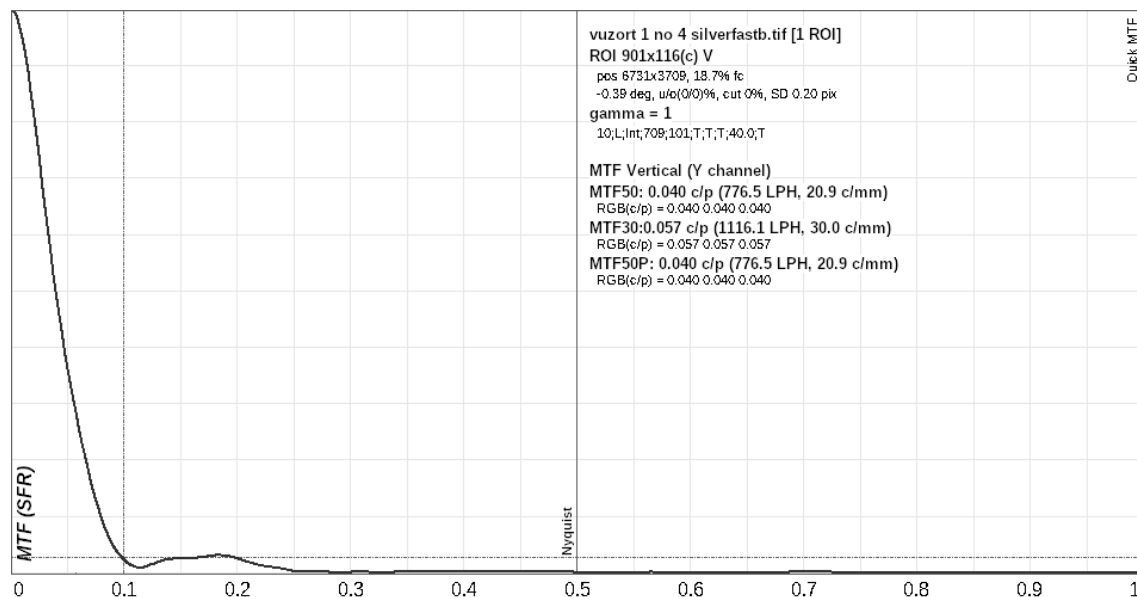


obr.č. 21 – Graf MTF pro Epson Perfection V850 Pro

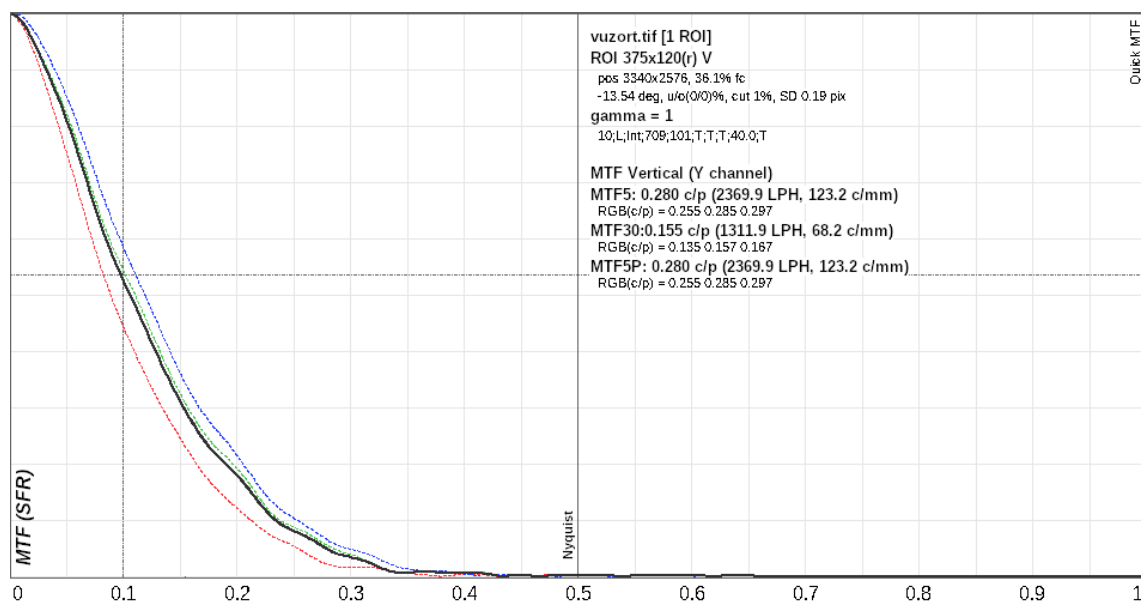


obr.č. 22 – Graf MTF pro EverSmart Select

Celý proces jsem zopakoval oběma skenery i pro dalšínaskenovaný vzorek. Zjistil jsem, že při odezvě na hranu u jiného vzorku má skener EverSmart Select dvojnásobnou rozlišovací schopnost. Byl schopen rozlišit skoro 70 čar na milimetr. Stále však zaostává za hodnotami od výrobce, který udává rozlišovací schopnost na 220 čar na milimetr. Skener Epson Perfection V850 Pro však zůstal na své úrovni 30 čar na milimetr.



obr.č. 23 - Graf MTF pro Epson Perfection V850 Pro



obr.č. 24 - Graf MTF pro EverSmart Select

U takového pokusu záleží nejen na nominální hodnotě rozlišovací schopnosti, ale hlavně na efektivní hodnotě. Při pokusu bylo zjištěno, že skener Epson Perfection V850 Pro, udávající nominální hodnotu 6400 dpi (dots per inch), má pouze méně než poloviční efektivní hodnotu. Tak byl schopen rozlišit pouze 30 čar na milimetr, což odpovídá pozorování, že rozlišení nad 2500-3000 dpi už kvalitě obrazu nepomáhají. Skener EverSmart Select na tom byl o poznání lépe. Zjistil jsem také, že záleží na originální předloze, která je skenována. Výsledky rozlišovací schopnosti jednotlivých skenerů mohou zkreslit jakékoliv nečistoty a bubliny na filmové surovině způsobené stářím nebo špatným zacházením.

6. Závěr

Film v dnešní době zřejmě dospěl téměř k dokonalosti ve využívání současných technických prostředků pro umělecké počiny a ocitl se na prahu nové etapy, otevřené elektromagnetickému záznamu a možná i využití holografie. Filmové umění se stalo schopným obrazově a zvukově vyjádřit i ty nejsložitější myšlenky a zachytit důležité události a jevy nejen na naší zeměkouli, ale i mimo ni, rozvíjet lidskou fantazii i poznání a probouzet lidské vědomí.

Dnes také již není v této oblasti samo, v televizi nalezlo jak uměleckého partnera, schopného s určitými odlišnostmi podobných činů, tak i distribuční kanál, umožňující desítkám miliónů diváků seznámit se s různými filmovými díly.

Experimentem jsem se pokusil zjistit a porovnat rozlišovací schopnosti dvou profesionálních fotografických skenerů. Bylo zjištěno, že existuje několik postupů a technologií, které dokážou bezpečněji uchovat kulturní dědictví. Některé postupy se však i tak stále nemohou vyrovnat těm starším. Příklad, mluvící za vše, je skener Epson Perfection V850 Pro.

Digitalizace je efektivní způsob, jak zálohovat kulturní dědictví, ať už se jedná o filmy, fotografie či zvukové a jiné záznamy. Pečlivě připravený a kontrolovaný proces uložení je základem ochrany cenných materiálů. Archivace analogových záznamů vyžaduje dodržování přísných podmínek, aby nedošlo k jejich poškození. Archiváři, pečující o klasický filmový materiál, zohledňují jejich historický význam, míru technického poškození a v neposlední řadě finanční náročnost případných rekonstrukčních prací. V důsledku přirozeného rozkladu filmového materiálu či hořlavosti podkladu jsou filmové materiály postupně připravovány ke kopírování na materiál s nehořlavou podložkou. Permanentní ochranná péče je zajištěna mimo jiné i tím, že jsou ukládány v depozitářích s regulovanou teplotou a vlhkostí vzduchu.

Naopak archivace digitalizovaných kopií je mnohem snadnější, avšak má také své nevýhody. Jednou z nevýhod je to, že vědci zatím neobjevili médium, které by dokázalo zakonzervovat digitální záznam navždy. Ani dnešní flash disky a pevné disky toto neumožňují. Pro archivaci digitalizovaného díla se používá především formát DCP (formát pro digitální kina), digitalizovaná data se dají uložit i ve stavu před provedením dalších zásahů, a to v případě, že původní materiál je natolik poškozený, že výsledek případné další digitalizace by byl velmi nejistý.

Pro zachování digitalizovaných filmů by však podle odborníků měly vznikat ještě i jejich záložní kopie na klasickém filmovém pásu nebo duplikátní negativ na filmovém materiálu. Prosazuje se i cesta uložení několika nezávislých kopií, odlišně rozdílných jak technologicky zpracovaných nebo geograficky umístěných. Nevýhodou digitalizované formy je také to, že ať se budeme snažit sebevíc a použijeme ty nejmodernější technologie, nikdy nebudeme schopni dosáhnout stejného požitku jako u analogového originálu. To třeba tvrdí i majitelé a posluchači vinylových desek, srovnávají-li zážitky z poslechu CD nebo jiných digitálních a elektronických nosičů audiozáznamů.

7. Literatura, použité zdroje

- [1] Stump D.: Digital Cinematography. Fundamentals, Tools, Techniques, and Workflow. FocalPress, 2014, ISBN 978-0240-81791-0
- [2] Jícha M., Šofr J. a kol.: Živý film. Digitalizace filmu metodou DRA. Lepton Studio, 2016, ISBN 978-80-904503-4-9
- [3] Hlaváč V., Šonka M.: Počítačové vidění, Grada, Praha, 1992, ISBN 80-85424-67-3.
- [4] Hlaváč V., Sedláček M.: Zpracování signálů a obrazů. Vydavatelství ČVUT, Praha, 2000, ISBN 80-01-02114-9.
- [5] Šonka M., Hlaváč V., Boyle R.: Image processing, Analysis, and Machine Vision, PWS Publishing, Pacific Grove, 1999, ISBN 0-534-95393-X.
- [6] Kotek Z., Mařík V., Hlaváč V., Pšutka J., Zdráhal Z.: Metody rozpoznávání a jejich aplikace, Academia, Praha, 1993, ISBN 80-200-0297-9.
- [7] Petrou M., Bosdogianni P.: Image Processing – The Fundamentals. John Wiley & Sons, New York, 1999, ISBN 0-471-99883-4.
- [8] Filmové technické minimum, Český filmový ústav, 1982. MK ČSR 59-288-81
- [9] Metodika digitalizace a audiovizuálních děl, NFA 2014
- [10] FKT. 5/2013,
- [11] FKT. 7/2013,
- [12] FKT. 1-2/2014,
- [13] FKT. 8-9/2014,
- [14] Fiřt Jaroslav, Radek Holota, 2002. Digitalizace a zpracování obrazu.
[online] Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~holota5/publ/DigZprO.pdf>

- [15] BORDWELL David – THOMPSONOVÁ Kristin. *Dějiny filmu: přehled světové kinematografie*. Praha: Akademie múzických umění a Nakladatelství Lidové noviny, 2007. 827 s. [ISBN 978-80-7331-091-2](#)
- [16] PSOHLAVEC Stanislav. Digitalizace – co tím myslíte?. *Ikaros* [online]. 1999. Dostupné z: <https://ikaros.cz/digitalizace---co-tim-myslite>
- [17] Základy metodiky digitalizace českých filmů, NFA 2013
- [18] cz.wikipedia.org
- [19] en.wikipedia.org
- [20] www.nfa.cz
- [21] www.filmovyprehled.cz

8. Seznam obrázků, tabulek, vzorců

obr.č. 1 – Lumiére s kinematografem při projekci	21
obr.č. 2 – Formát 1:1,37	25
obr.č. 3 – Formát 1:1,66	25
obr.č. 4 – Formát 1:1,85	25
obr.č. 5 – Formát 1:2,35	25
obr.č. 6 – Ukázka využití formátu obrazového pole.....	25
obr.č. 7 – Digitální odstranění poškození	31
obr.č. 8 – Digitální jasová korektura	31
obr.č. 9 – Kontrolní stůl studia na Barrandově	31
obr.č. 10 – Analogový signál (světle modrá), vzorkovaný signál(červená) s pevnou vzorkovací periodou	33
obr.č. 11 – Čtvercová a hexagonální vzorkovací mřížka	34
obr.č. 12 – Skener EverSmart Select	35
obr.č. 13 – Skener Epson Perfection V850 Pro	35
obr.č. 14 – Vzorek naskenovaný na Epson Perfection V850 Pro	36
obr.č. 15 – Vzorek naskenovaný na EverSmart Select	36
obr.č. 16 – Frekvenční čtení snímku Epson Perfection V850 Pro	38
obr.č. 17 – Frekvenční čtení snímku EverSmart Select	38
obr.č. 18 – Graf MTF pro EverSmart Select	40
obr.č. 19 – Graf MTF pro Epson Perfection V850 Pro	40
obr.č. 20 – Porovnání MTF.....	40
obr.č. 21 – Graf MTF pro Epson Perfection V850 Pro	41

obr.č. 22 – Graf MTF pro EverSmart Select	41
obr.č. 23 – Graf MTF pro Epson Perfection V850 Pro	42
obr.č. 24 –Graf MTF pro EverSmart Select	42
tab.č. 1 – Hodnoty MTF pro Epson Perfection V850 Pro	39
tab.č. 2 – Hodnoty MTF pro EverSmart Select	39
vzorec č. 1 – vzorec pro výpočet nyquistovy frekvence	32
vzorec č. 2 – vzorec pro výpočet funkce MTF.....	37