

AKADEMIE MÚZICKÝCH UMĚNÍ V PRAZE  
FILMOVÁ A TELEVIZNÍ FAKULTA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

ČTVEREC ČASU RYCHLOSTI VYSOKÉ

KATEDRA KAMERY

MARCEL BENEŠ

PRAHA, 2019





AKADEMIE MÚZICKÝCH UMĚNÍ V PRAZE  
**FILMOVÁ A TELEVIZNÍ FAKULTA**

Filmové, televizní, fotografické umění a nová média

Katedra kamery

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Čtverec času rychlosti vysoké**

**BcA. Marcel Beneš**

Vedoucí práce: Mgr. Martin Šec

Oponent práce: Doc. Mgr. Antonín Weiser

Datum obhajoby: 26. 9. 2019

Přidělovaný akademický titul: MgA.

Praha, 2019

ACADEMY OF PERFORMING ARTS IN PRAGUE  
**FILM AND TV SCHOOL**

Film, television and photographic art and new media

Cinematography Department

**MASTER'S THESIS**

**Square of time in speed of high**

**BcA. Marcel Beneš**

Supervisor: Mgr. Martin Šec

Opponent: Doc. Mgr. Antonín Weiser

Date of defense: 26. 9. 2019

Assigned Academic Degree: MgA.

Prague, 2019

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma

**Čtverec času rychlosti vysoké**

vypracoval samostatně pod odborným vedením vedoucího práce a s použitím uvedené literatury a pramenů.

V Praze dne .....

Podpis diplomanta .....

# UPOZORNĚNÍ

Využití a společenské uplatnění výsledků diplomové práce nebo jakékoliv nakládání s nimi je možné pouze na základě licenční smlouvy, tj. souhlasu autora a AMU v Praze.



# ABSTRAKT

V této práci se zaměřuji na úzké profesní odvětví ve filmovém průmyslu, jehož počátky sahají do druhé poloviny 19. století. Tedy do doby, kdy fotografie procházela řadou důležitých technických vývojů a vylepšení. Jedním z těchto významných pokroků byl i vývoj vysokorychlostních kamer. Díky využití této techniky k vysvětlení diskutabilních faktorů, vyřešení nespočtu vědeckých záhad a studiím včetně jaderných testů nebo raketového programu se její evoluce stává součástí vizuální kultury ve filmovém a reklamním průmyslu. Tam působí jako výrazový prostředek k interpretaci emocí, stanovuje filmový čas či klade význam na efekt vnitřního fungování věcí.

# ABSTRACT

In this thesis I focus on the narrow professional branch of the film industry, whose origins date back to the second half of the 19th century. That is, when photography has gone through a number of important technical developments and improvements. One of these major advances was the development of high-speed cameras. Utilizing this technique to explain questionable facts, solve countless scientific mysteries and studies including nuclear tests or a rocket program, its evolution is becoming part of the visual culture of the film and advertising industries. Where it acts as a means of expression for the interpretation of emotions, setting the film time or meaning to the effect of functioning of the inner things.



# OBSAH

Úvod	8
Co je to vysokorychlostní kamera	12
Historie vysokorychlostní fotografie	16
Jak fungují vysokorychlostní kamery	22
Typy závěrek	32
Workflow digitálního highspeedu	38
Vysokorychlostní trikové natáčení	44
Světlo jako blikající zdroje	52
Seznámení s highspeedovou technologií	60
Testy LED světelných zdrojů highspeedovou technologií	76
Závěr	84
Seznam zdrojů	86
Poděkování	88



# ÚVOD

Zkusme se na chvíli přenést do naší představivosti, kde si definujeme čas jako nekončící přímku vedoucí z neznámého, tmavého prostředí v dále, protínající naše tělo a pokračující opět někam do tmavého prostředí, nám zatím neznámého. Takto bychom si jednoduše mohli určit minulost, přítomnost a budoucnost. Tuto představu ukotvíme v určitém prostředí. Vznikl nám pomyslný časoprostor v dimenzi našeho života k rozpínající se časové struktuře vesmíru. Čas je lineární kontinuum, kde se skutečné události stávají v nevratném pořadí, které nedokážeme ovlivnit.

Pokud budeme hovořit o oblasti filmového průmyslu, ve kterém jeho tvůrci produkují takzvané filmové dílo, je zde čas využíván jako dramaturgický výrazový prostředek, s jehož pomocí určujeme prostorovou dimenzi a časovou osu v příběhu filmu. Tento čas se liší od reálného času, ve kterém žijeme, rytmus neodpovídá nutně rytmu reálného světa, avšak tyto aspekty dokážeme vědomě ovlivnit, a dokonce s nimi účelově pracovat. Odborně jej můžeme nazvat „filmovým časem“, který je relativní, námi upravený a svébytný, sloužící k vyprávění příběhu.

Reálný děj, trvající ve skutečnosti zlomek sekundy, může být prodloužen, a naopak využitím tzv. časové zkratky může scénárista dobu děje, který ve skutečnosti trvá několik hodin nebo dokonce dní či let, scénárista zkrátit například do jedné minuty filmového času. Doba určuje časovou vzdálenost mezi dvěma událostmi, rozdíl mezi časy dvou událostí. Tato doba, která v reálném prostředí musí trvat potřebný, nepřeskočitelný čas, se dá zkrátit stříhem a posunem v čase. Lze se dokonce stříhem přenést zpět v čase, tedy přeskočit posloupnost pořadí po sobě jdoucích událostí v přítomnosti do minulosti.

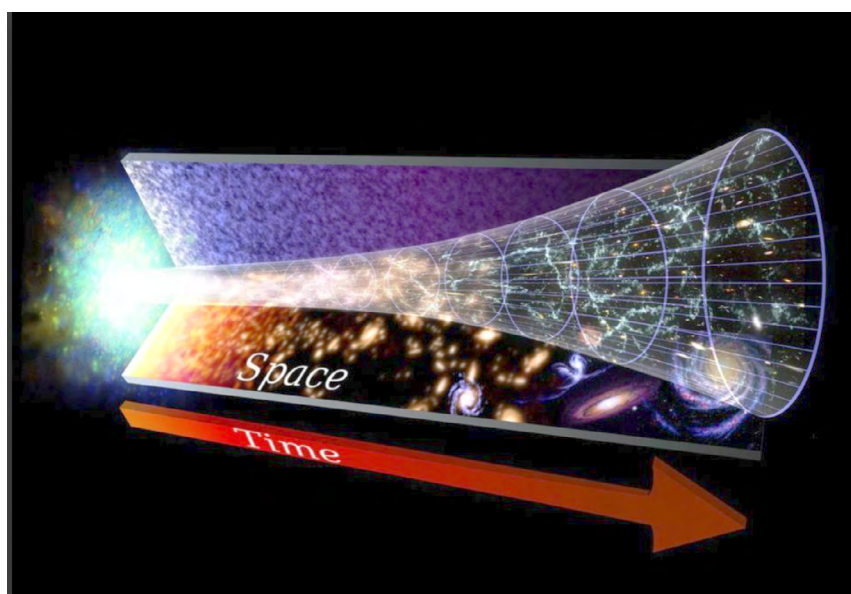
Další pomůckou ve fiktivním světě je paralelní vyprávění příběhů, kdy souběžně probíhají dva a více dějů zároveň, které se mohou, ale nemusí, nakonec prolnout mezi sebou. Tento naprosto výjimečný nástroj, který se ve filmové tvorbě používá, musí být vždy opodstatněný a scénárista či režisér musí přesně vědět, jak s ním pracovat. Slouží totiž divákovi jako základní logická orientace a měřítko v jednotlivých časových rovinách v daném příběhu.

Díky zpomalení jediné vteřiny skutečného pohybu, která je protažená, rozložená a analyzovaná třeba v šedesáti vteřinách promítání, může divák pojmenovat a vyčíslit detailní obsah fenoménu, který by mu jinak zůstal skrytý. Pro jednoduché pochopení tématu magisterské práce si uvedeme zcela běžný příklad. Jistě si všichni vzpomeneme na jakékoliv fotbalové utkání vysílané televizním kanálem. Ve sportovním zpravodajství se totiž používání této technologie v posledních letech stalo doslova hitem. Řekněme mainstreamovou aplikací.

Představme si fotbalistu, jak vykopává míč z rohu hřiště. Můžeme tento okamžik sdělit buď v jedné reálné sekundě, nebo v deseti, dvaceti, třiceti fiktivních sekundách. Vlastně jak dlouho chceme. Abychom dosáhli delší doby toku informací, přichází na řadu rychloběžné natáčení, což je ve skutečnosti zpomalování času. Jev tedy probíhá za delší dobu než v realitě. Jsme tak schopni číst ony detaily a mimiku hráče, když se špičkou kopačky dotkne míče. V tu chvíli jsme svědky kinetické energie, deformace tvaru, kapičky rosy odlétávající pryč z povrchu balonu v důsledku odstředivé síly. Všechny tyto informace by nám jinak zůstaly utajeny, kdybychom sekvenci nenatočili vysokorychlostní technologií.

Film používá řadu dalších vyjadřovacích prostředků z jiných umění (slovo a dramatickou stavbu prózy, poezie a dramatu, herectví divadla, obrazovou kompozici sochařství, malířství a fotografie, hudbu apod.), ale přetváří je podle svých potřeb. Jeho osobitost spočívá v kombinování těchto vyjadřovacích prostředků v dynamický, obrazově-zvukový materiál.

V této diplomové práci se zaměříme na jednu oblast vizuálního způsobu vyjádření nepostradatelnou pro uměleckou poezii, účelový výzkum či genezi efektu. Nejprve se budeme věnovat základním principům a technologickým postupům vysokorychlostního natáčení. Následovat bude historický souhrn a vývoj do dnešní doby. Na závěr uvedu své osobní zkušenosti s tímto typem natáčení, vytvořím rozbor scén a zformuluji stěžejní pravidla, která musíme bezpodmínečně ctít pro dosažení požadovaného výsledku.



Obr. 1: Časoprostor a rozpínání vesmíru



# CO JE TO VYSOKORYCHLOSTNÍ KAMERA

Nejprve si řekněme, jaký je rozdíl mezi vysokorychlostním (highspeed) a zpomaleným (slow motion) pohybem, historie vysokorychlostní technologie a rozdíly oproti standardním kamerám. Dnešní rozmanitý trh s filmovou technikou je zaplaven různými termíny popisujícími tuto schopnost kamer; od velkých firem, které vyrábějí jen mobilní telefony až po staré harcovníky z filmové branže, inženýry a výzkumníky, kteří to všechno začali. Díky přílivu nových výrobců a nepřebornému množství modelů jsou hranice mezi vysokorychlostními, rychlozávěrkovými/expozičními a kamerami se zpomaleným pohybem proluty. Co je to vysokorychlostní zpomalená kamera a jak ji odlišit od ostatních kamer?

## Hlavní rozdíly ve srovnání se standardními kamerami

Standardní kamera natáčí při 25 snímcích za sekundu (fps - frames per second) nebo 50 snímcích prokládaných (interlaced). Cokoliv vyššího, než jsou tyto hodnoty, bychom mohli technicky považovat za zvýšenou snímkovou frekvenci, tedy vysokorychlostní kameru. Nicméně v době v stále se zdokonalující filmové techniky, která musí splňovat čím dál náročnější požadavky tvůrců, a navíc v éře marketingového a konkurenčního boje firem, byla teoretická hodnota základní snímkové frekvence pro tzv. vysokorychlostní kamery stanovena na 500 snímků za sekundu.

Ale i tento popis může být zavádějící, protože mnoho kamer může znamenávat tyto rychlé snímkové frekvence se sníženým rozlišením pixelů, často až do bodu, kdy je kvalita obrazu nepoužitelná. V této diskusi budeme hovořit o vysokorychlostních kamerách splňujících podmínky pro komerční účely, které nabízejí použitelné rozlišení alespoň 1920 x 1080 pixelů, ve

snímkové frekvenci 300 fps a vyšší. Highspeedové natáčení znamená natáčení vyšší než standardní snímkovou frekvencí, která pro dnešní filmovou či televizní tvorbu činí 23.98 fps, 24 fps, 25 fps, 29.97 fps, 30 fps, 48 fps, 50 fps, 59.94 fps, 60 fps.

Výběr správného snímkového kmitočtu při natáčení je zásadní, jelikož jím můžeme měnit způsob vyprávění a celkový dojem. Ovšem nezáleží pouze na námi vybrané absolutní frekvenci natáčení, nýbrž i na rozdílu mezi snímací frekvencí a projekční rychlostí záznamu. Nemůžeme tedy jednoznačně tvrdit jestli je 300 fps desetkrát rychlejší vůči standardní frekvenci. Záleží na tom, jestli záznam promítáme v evropské nebo americké televizi či kině frekvencí 25 fps nebo 48 fps. Zpomalení je tak relativní vůči projekčnímu nastavení.

Dnes již existuje mnoho typů standardně využívaných kamer různé cenové kategorie, které jsou schopny pojmout určitý počet vyšší frekvence, přibližně okolo 300 fps, v přijatelné kvalitě Full HD, bez nutnosti další speciální techniky či vyškoleného kamerového technika/supervisora. To otevírá možnost využití této funkce širšímu poli tvůrců.

#### Standardní digitální kamery s vyšší snímkovou frekvencí (Higher frame rate)

##### **Arri Alexa Mini 3.4K**

2.8K Arri Raw - 48 fps  
2K ProRes 2:39:1 - 120 fps  
1080p ProRes - 200 fps

##### **Red Monstro 8K**

8K Redcode Raw - 60 fps  
1080p Redcode Raw - 240 fps  
1080p ProRes - 120 fps

##### **Black Magic Ursa Mini Pro 4.6K**

4K Raw 12bit - 120 fps  
1080p Raw 12bit - 300 fps

##### **Sony PXW-FS7**

4K XAVC-I 10bit - 59.94 fps  
1080p XAVC-I - 180 fps  
1080p XAVC-L - 120 fps

##### **Sony PMW-F55**

4K XAVC - 59.94 fps  
2K/HD XAVC - 180 fps

##### **Panasonic Lumix DC-GH5**

4K 10bit - 60 fps  
1080p - 180 fps



Kamery schopné výkonu přibližně v rozmezí 1000 - 10 000 fps řadíme do kategorie speciálních vysokorychlostních jednotek s nutnou obsluhou technika a kvalitním rozlišením použitelným pro filmovou či reklamní produkci. Vše nad 10 000 fps můžeme považovat za ultra vysokorychlostní kamery pro vědecké účely.

### Vysokorychlostní digitální kamery (Highspeed frame rate)

#### **Phantom Flex 2K**

2.5K Phantom Cine Raw - 1617 fps  
1080p Phantom Cine Raw - 2564 fps

#### **Phantom v2640 ONYX**

2K Phantom Cine Raw - 6600 fps  
1080p Phantom Cine Raw - 12500 fps

#### **Phantom Flex 4K**

4K Phantom Cine Raw - 1000 fps  
1080p Phantom Cine Raw - 1975 fps

#### **Phantom VEO 4K**

4K Phantom Cine Raw - 938 fps  
1080p Phantom Cine Raw - 1977 fps

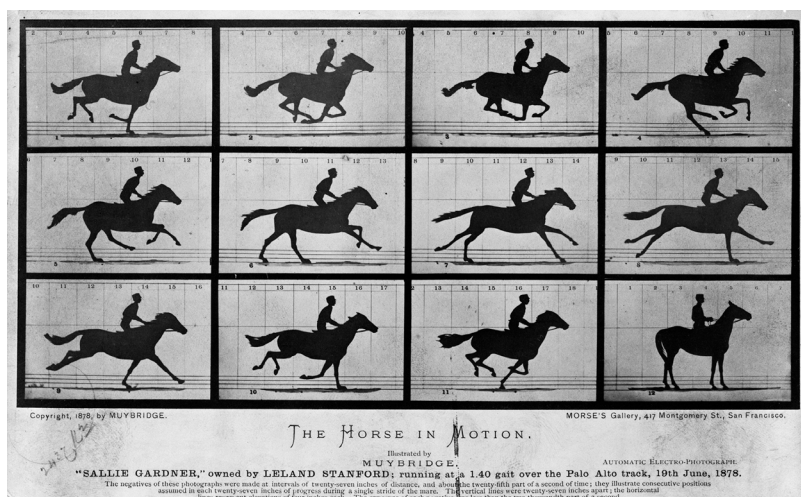
### Vysokorychlostní versus zpomalená kamera

První věc, o které bychom mohli diskutovat, je terminologie. Mluvíme o „vysokorychlostní kameře“, tedy Highspeed Camera, nebo o kameře se „zpomaleným pohybem“, tedy Slow Motion Camera? A co pojmy „vysokofrekvenční“ nebo „přetáčení“? Ve skutečnosti neexistuje mezi těmito termíny žádný rozdíl. Ti, kteří jsou ve filmovém průmyslu již dlouho, přiklánějí se spíše k terminologii „vysokorychlostní“, ale mnozí se сомnívají, že jasnější a popisnější termín může být „zpomalený“. Já osobně volím terminologii takto: Pokud mluvím o tom, jakou kameru, techniku nebo technologii budu při natáčení používat, mluvím o highspeed. Pokud diskutujeme společně se štábem nad záznamem pořízeným highspeed kamerou, mluvíme o záběru ve slow motion. Pokusím se toto tvrzení logicky vysvětlit. Pokud zaznamenávám pohyblivý objekt vysokorychlostní kamerou, je zapotřebí zachytit tento pohyb vysokým množstvím oken za sekundu - fps (frames per second). Když se na tento záznam pohybu díváme posléze, pozorujeme tento jev, okem běžně nepostřehnutelným, již ve zpomalené rychlosti při normální projekční rychlosti, tedy slow motion.



# HISTORIE VYSOKORYCHLOSTNÍ FOTOGRAFIE

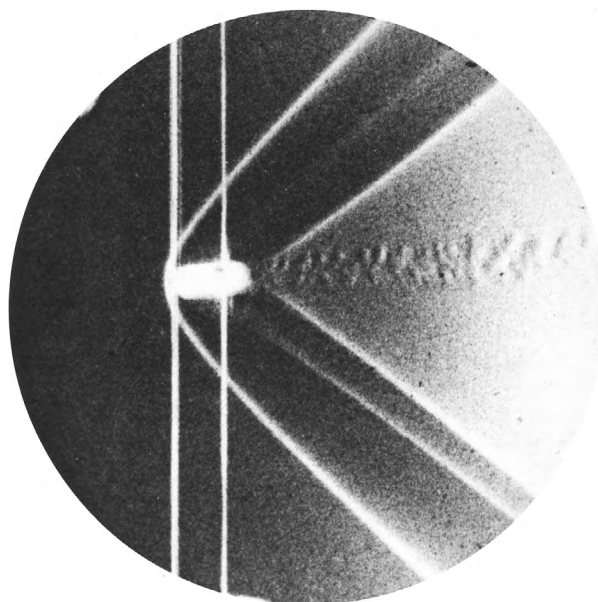
Od svého vzniku v 30. letech 19. století prošla fotografie řadou důležitých vývoju a vylepšení. Jedním z těchto významných pokroků byl i vývoj vysokorychlostních kamer. Tyto kamery umožnily fotografům zachytit a vytvořit políčko po políčku jakýsi rozpis událostí, které jsou příliš rychlé na to, aby je lidské oko rozeznalo.



Obr. 2: Horse in Motion

První velký průlom s vysokorychlostními fotoaparáty přišel v roce 1878, kdy Eadweard Muybridge, britský expat a fotograf žijící v Kalifornii, byl pověřen, aby využil fotografii jako prostředek pro zodpovězení otázky, zda kůň v jedné chvíli při trysku zvedne všechna čtyři kopyta ze země. (Obr. 2) Pomocí dvaceti čtyř kamer připojených k systému spouště, nacházejících se podél trasy běžícího koně, zachytil vysokorychlostní sekvenci pohybu, která dokazuje, že koně při trysku opravdu mají v jednu chvíli všechna čtyři kopyta ve vzduchu.

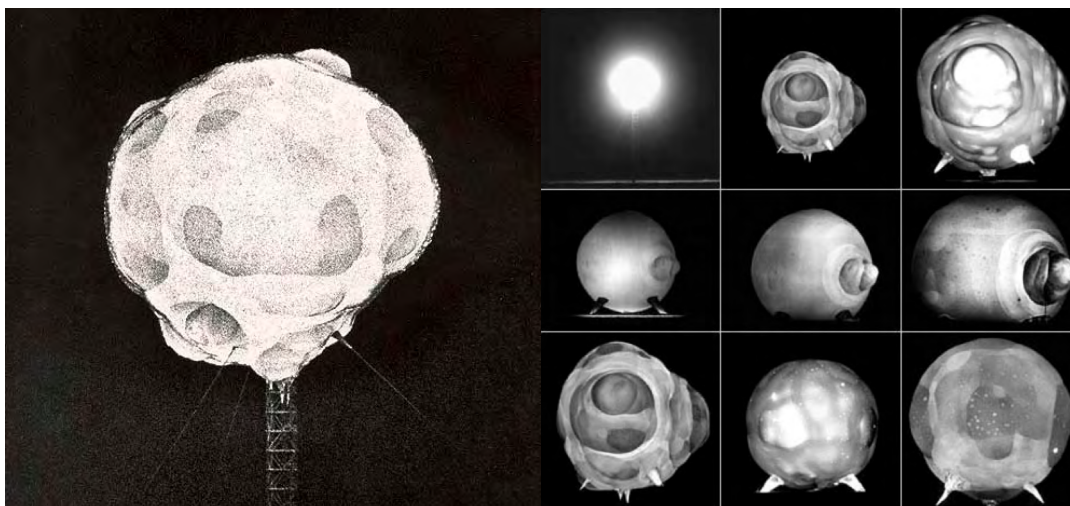
O osm let později v roce 1886 zachytil rakouský fyzik Peter Salcher první obraz nadzvukové střely. Rakouský profesor fyziky a filozof Ernest Mach použil ve svých studiích nadzvukových pohybů Salcherovu fotografii nadzvukové střely „Bullet in Flight“. Machova instrumentální práce o nadzvukovém pohybu je důvodem, proč jednotka rychlosti zvuku nese jeho příjmení.



Obr. 3: Tlaková vlna vznikající nadzvukovou rychlostí objektu

Ve třicátých letech minulého století Bellovy telefonní laboratoře koupily vysokorychlostní kamery od Eastman Kodak za účelem studia účinků odrazu relé. Kamery měly 16 milimetrový film a byly schopné zachytit 1000 snímků za sekundu s kapacitou filmového materiálu v magazínu na 30 metrů. S touhou po ještě rychlejších kamerách vyvinuly Bell Telephone Laboratories vlastní vysokorychlostní kameru. Tento fotoaparát pojmenovaný Fastax mohl produkovat až 5000 snímků za sekundu. Později laboratoř prodala svůj design firmě Wollensak Optical Company, která vylepšila kameru pro zpracování až na 10 000 snímků za sekundu. V roce 1940 Cearcy D. Miller podal patent na rotující zrcadlovou kameru, která byla teoreticky schopná až jednoho milionu snímků za sekundu. Tyto ultravysokofrekvenční kamery se obvykle používaly pouze pro laboratorní výzkum.<sup>1</sup>

Vysokorychlostní kamery byly během studené války používány také k zachycení jaderných testů. Harold Edgerton, otec moderní vysokorychlostní fotografie, změnil způsob, jakým byly tyto exploze zaznamenány, svým vynálezem stroboskopu a Rapatroniku.

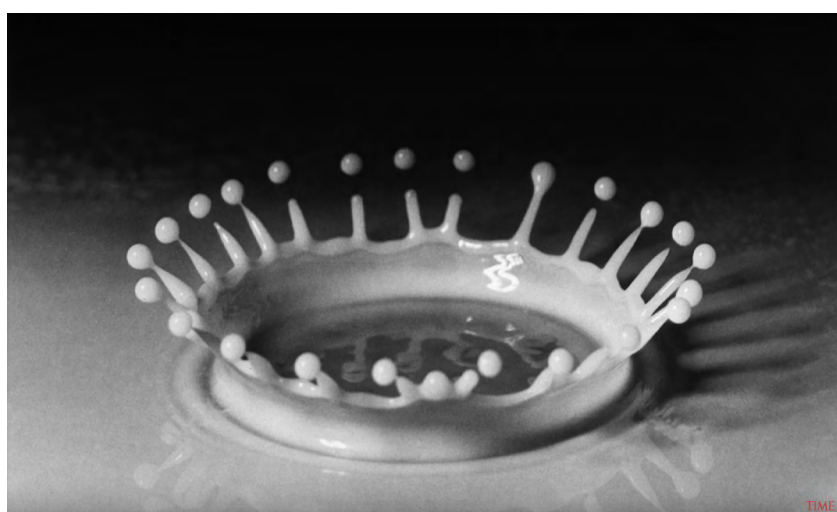


Obr. 4: Hřib atomové bomby milisekundy po výbuchu v roce 1952 s Rapatronikem

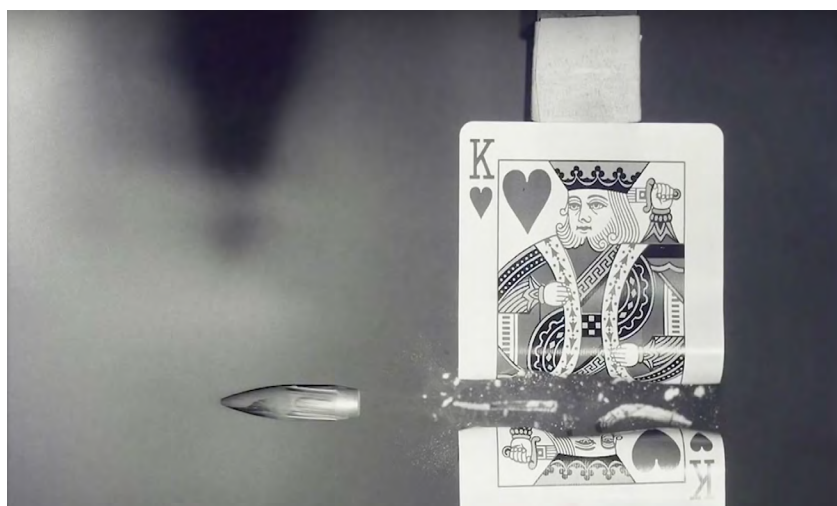
Stroboskop využívá krátké opakující se záblesky světla, aby umožnil lidem vidět jevy, které jsou příliš rychlé pro zaznamenání pouhým okem. Edgerton se proto rozhodl využít tento postup pro zachycení úkazů z každodenního života, jako je například kapání mléka. Fotografoval také celou řadu dříve neviditelných detailů sportovců, zvířat a neživých objektů. Metoda stroboskopu je schopna synchronizovat frekvenci elektrického blesku s rychlostí objektu v pohybu. Když Edgerton zkombinoval elektronický stroboskop s vysokorychlostní kamerou, dokázal s každým zábleskem přesně naexponovat každý jednotlivý snímek filmu. Díky této technologii mohl předvádět vysokorychlostní jevy v extrémně pomalém pohybu.

Závěrka Rapatronic (Rapid Action Electronic) Edgertonovi a jeho kolegům Kennethovi Germeshausenovi a Herbertovi Grierovi umožnila zachytit jaderné výbuchy pro Komisi pro atomovou energii (AEC). Spoušť se otevřela a zavřela se zapnutím a vypnutím magnetického pole. Manipulací s časem závěrky bylo možné dosáhnout expozice tak krátké, jakou jsou dvě mikrosekundy.

Snímky Rapatroniku umožnily AEC měřit průměr exploze bomby v různých časových intervalech a určovat tak účinnost výbuchu. Edgerton použil Rapatronik k fotografování vodíkových bomb na atolu Eniwetok v roce 1952. Inovace vysokorychlostních kamer při testech v Los Alamos (Trinity test) a během studené války tuto oblast fotografie výrazně ovlivnily. Vývoj nových technologií, jako jsou fotoaparáty se zvýšeným výkonem snímkové frekvence, elektrické záblesky a magneticky řízené časy závěrky, rozšířily fotografování do světa vědy i mimo ní.

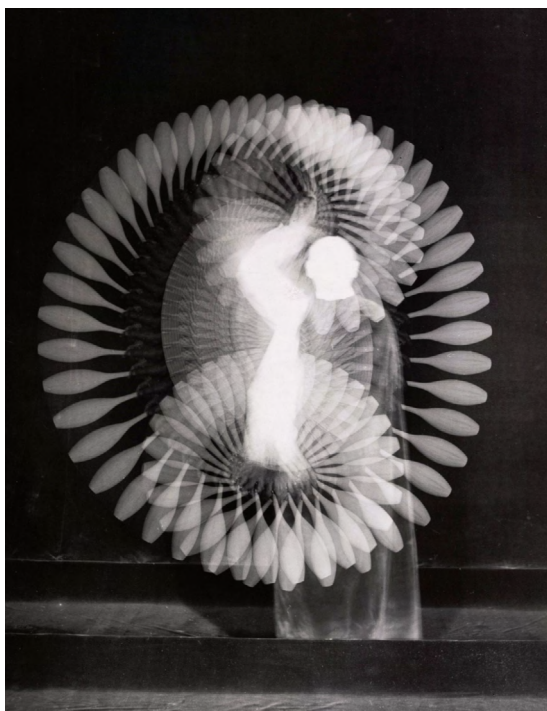


Obr. 5: Studie kapání mléka

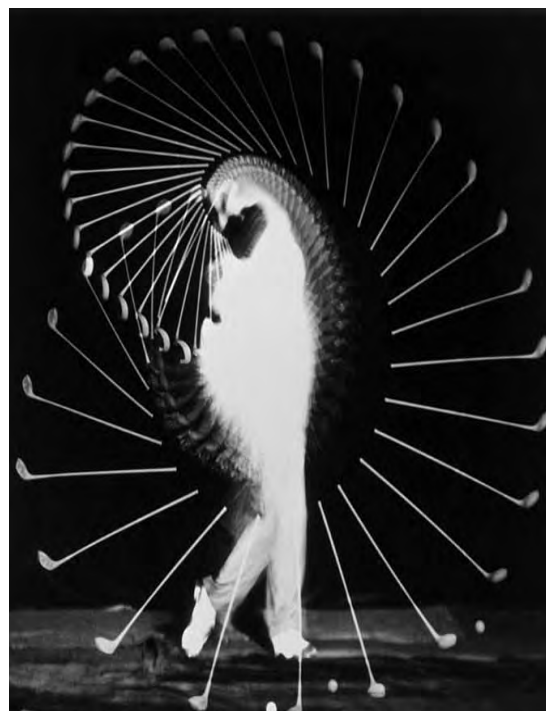


Obr. 6: Cutting the Card Quickly  
Edgerton, 1964

Vysokorychlostní fotografie byla součástí mnoha vědeckých studií, včetně raketového programu pro NASA stejně jako pro výzkum laserů. Tento typ fotografie byl také používán v medicíně a ve výrobním sektoru. Díky dostupnosti fotografické technologie a pokroku digitálních fotoaparátů se vysokorychlostní fotografie stala součástí vizuální kultury po celém světě. Vysokorychlostní fotografie a videozáznamy jsou moderní zázrak, který vyřešil nespočet vědeckých záhad, tvoří nádherné umění v oblasti filmového a reklamního průmyslu, odhalil vnitřní fungování buněk nebo mechanických strojů. Tímto způsobem odkaz inovací v Los Alamos přesahuje daleko za výzkum v oblasti jaderné vědy.<sup>2</sup>



Obr. 7: Indian Club Demonstration,  
Multiflash 100x/s, 1939



Obr. 8: Bobby Jones with a Driver,  
1938





# JAK FUNGUJÍ VYSOKORYCHLOSTNÍ KAMERY

Za účelem vyvolání pocitu pohybu ze statických snímků používají filmové kamery přerušovaný pohyb, a to pomocí strhovacího mechanismu. Při pořizování souvislých sérií snímků v sekvenci filmu se používá přerušovaný pohyb pro postupné posouvání filmového materiálu snímek po snímku k okeničce kamery. Výsledkem je, že se obraz jeví v pohybu a v reálném čase při přehrávání filmu dopředu standardní projekční rychlostí.

Vysokorychlostní kamery jsou schopny zachytit objekty nebo události při extrémně vysokých rychlostech, a to synchronizací rychlosti filmu s rychlostí obrazu. Po zaznamenání sekvence vysokorychlostní snímkovou frekvencí lze film přehrát projekční rychlostí (např. 24 fps), což způsobí, že se sekvence promítne v pomalém pohybu a umožní tak detailnější vizuální analýzu.

Existují tři typy vysokorychlostních filmových kamer: Kamery s přerušovaným pohybem, které jsou zrychlenou verzí standardních filmových kamer s použitím mechanismu šicího stroje k postupnému posunu filmu s přerušovaným pohybem materiálu pro jeho přesnou expozici za čočkou objektivu. Dále pak kamery s rotujícím hranolem, které kontinuálně táhnou dlouhý kotouč filmu skrze okeničku na hranici expozičního bodu, kde se nachází mezi členem objektivu a rovinou filmového pásu rotující hranol, který probíhá synchronně s pohybem filmu, přičemž je důležité, aby se obraz stabilizovaný optickým členem posouval relativně v klidu vůči surovině. A posledním typem jsou kamery s rotujícím zrcadlem, které přenášejí obraz na cívku s filmem, mohou pracovat pouze v režimu sériového snímání.

## KAMERY SE ZVÝŠENOU FREKVENCÍ POUŽÍVANÉ VE FILMOVÉM PRŮMYSLU

### Drapákový mechanismus

Zařízení s jisticími kolíky neboli drapákový systém zastaví filmový materiál v okeničce během jeho exponování. Při vysokorychlostním snímání vyžaduje tento mechanismus určité úpravy pro dosažení požadované výsledné kvality záznamu. V každém případě se musí vytvořit smyčka filmu na cívkách před a za dráhou okeničky. Drapáky, které vstupují do suroviny skrze perforaci, ji táhnou na místo osvitu. Poté surovinu strhnou o jedno další políčko, z perforace se vytahují a nastupují do následujícího perforačního panelu. Zachytí se tak přes více perforačních oken na filmu, čímž se sníží napětí, kterému je filmový pás vystaven. Využíváme tedy početně více jisticích kolíků, které zajišťují stabilitu při exponování. V některých případech se pro udržení kolmé pozice filmu vůči optickým členům na dráze, zejména u 35milimetrového a 70milimetrového filmu, používá vakuový přítlak. Obraz je tak perfektně ostrý po celé ploše políčka.

Přibližně do 500 fps je možné využít běžných krokových filmových kamer, obvykle se zesílenou závěrkou a strhávacím mechanismem s upravenými jisticími kolíky (až 12 kolíků) pro perfektní stabilitu filmového pásu při exponování. Tento systém je relativně pohodlný pro změnu frekvence v průběhu záběru, kdy je zapotřebí mít propojené zařízení na vyrovnání expozičního osvětlení buď clonou, nebo sektorem. Čím vyšší je frekvence, tím vyšší je nárok na osvětlení. Fyzicky však existuje limit pro tyto hodnoty. Pokud potřebujeme vyšší snímkovou frekvenci než 500 fps, není již možné využívat systému strhávání suroviny, což vede k využití systému plynulého chodu filmu v kameře, například Prisma. To znamená, že expozice snímku probíhá synchronně s pohybem filmu, kde je důležité, aby se obraz stabilizovaný optickým členem posouval relativně v klidu vůči surovině.

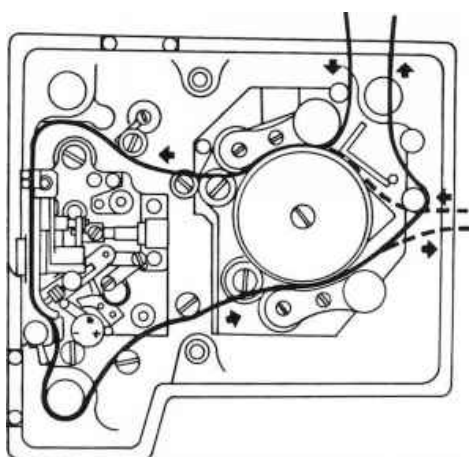
16 mm kamery: Photo-Sonics Actionmaster byla schopna dosáhnout snímkové rychlosti až 500 fps (Test této kamery od Brave it out společně s digitální kamerou Phantom Gold - <https://vimeo.com/284435622>). D. B. Milliken Locam, taktéž schopný 500 fps, jeho design byl nakonec prodán firmě Redlake. Kamera Mitchell High Speed HS-16 E4 schopna až 400 fps

35 mm kamery: Arriflex 435 schopna až 150 fps, Mitchell GC Standard 35 mm - 144 fps, Photo-Sonics 4ER - 360 fps (v roce 1988 Cena Akademie za technický úspěch).

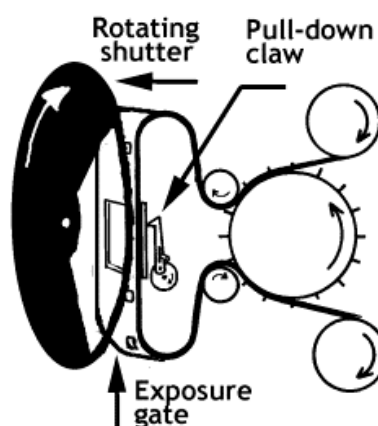
70 mm kamery: Hulcher, Photo-Sonics 10A a 10R, schopné dosahovat 125 fps.



Obr. 9: Kamera Photo-Sonics 4ER 35 mm



Obr. 10: Schéma kamery



Obr. 11: Drapákový mechanismus

## VYSOKORYCHLOSTNÍ KAMERY POUŽÍVANÉ PRO VĚDECKÉ ÚČELY

Na rozdíl od běžných kinematografických kamer nepoužívají speciální vysokorychlostní kamery pro vědecké účely přerušovaný pohyb k posunu filmu. Místo toho používají formu nepřetržitého postupu, který dovolí filmu pohybovat se vyšší rychlostí než s přerušovaným pohybem. Nejběžnějším způsobem výroby tohoto typu kamery je nahradit běžnou závěrku rotujícím hranolem (prisma). Když se hranol otáčí, posouvá obraz synchronně s filmem; hranol zároveň slouží jako závěrka.

### Prismový mechanismus

Technologie s rotačním hranolem (prisma) otevřela možnosti s vyššími snímkovými kmitočty, aniž by kladla velké napětí na filmový pás nebo posuvný mechanismus. Surovina se pohybuje kontinuálně na rovinu rotujícího hranolu, který je synchronizován s posunem pásu tak, že rychlost filmu a rychlost hranolu jsou vždy spuštěny se stejnou proporcionální rychlostí. Hranol je umístěn mezi objektivovou čočkou a materiálem tak, že při rotaci exponuje políčka filmu s každou svou stranou. Hranoly jsou většinou krychlové nebo čtyřstranné, pro plnou expozici snímku. Jelikož k expozici dochází při točení hranolu, obraz v horní nebo dolní části kompozice, kde je hranol v podstatě mimo osu, trpí významnou aberací. Závěrka může zlepšit výsledky omezením osvětlení kolem bodu, kde jsou hranolové plochy téměř rovnoběžné.

16 mm kamery: Photo-Sonic E10 s výkonem až 10 000 snímků za sekundu, kamery Redlake Hycam (Test kamery - <https://www.youtube.com/watch?v=FXRMxk34j1U>) a Fastax jsou schopny dosahovat až 10 000 fps s plnoformátovým hranolem (čtyřstranný), dále 20 000 fps s polovičním formátem a 40 000 fps se čtvrtinovým formátem. Kamera NAC E-10/EE s osmibokým dělicím prisma je schopna rychlosti 40 000 fps. Pro robustnější potřeby vyrobil Weinberger model Stalex 1B, který snímá 3000 plných snímků za sekundu s možností montáže na palubu vozidla pro testování nehod.

35 mm kamery: Photo-Sonics 4C jsou schopné pojmout 2500 fps s plnoformátovým hranolem (čtyřstranný), 4000 fps s polovičním formátem a 8000 fps se čtvrtinovým formátem.

70 mm kamery: Photo-Sonics 10B dokáží 360 fps s plnoformátovým hranolem (čtyřstranný) a 720 fps s polovičním formátem.

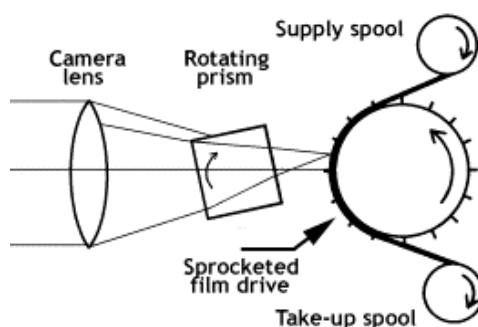
Většina filmového materiálu nevyžaduje kompenzaci vůči selhání reciprocity, pokud doba expozice je menší než jedna desetitisícina sekundy. Nicméně, aby byl naexponovaný negativ vyvážený od tmavých tónů po nejsvětlejší, je běžnou praxí materiál spíše lehce přexponovat nežli naopak. Při použití vysokorychlostních kamer není neobvyklé přexponování o půl či dvě třetiny clony. Pokud používáme rotační hranol v rozsahu 2000 až 10 000 fps, je pravděpodobné, že dojde k poruše reciprocity. Proto by byla vhodnější expozice vyšší o dvě třetiny až 1,5 clony.<sup>3</sup>



Obr. 12: Kamera Photo-Sonics 4C 35 mm



Obr. 13: Kamera Redlake HyCam II 16 mm



Obr. 14: Prismový mechanismus

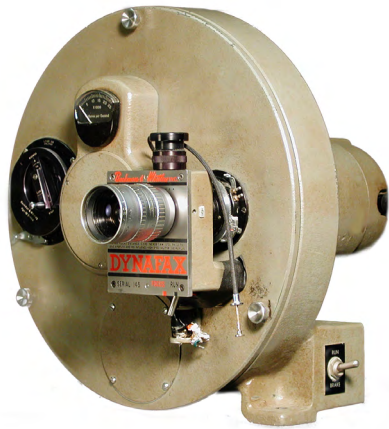
## Rotační zrcadlo

Kamery s rotujícími zrcadly lze rozdělit do dvou podkategorií: kamery s rotujícím zrcadlem a s rotujícím bubnem.

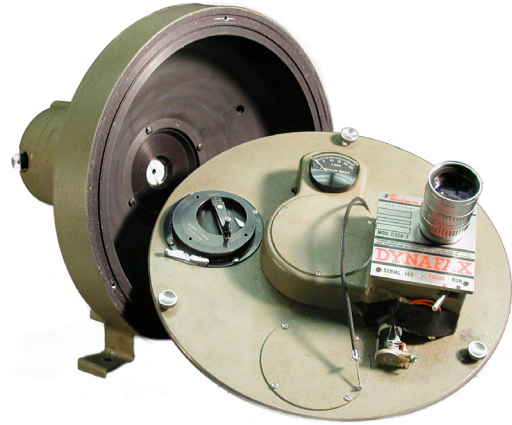
V kamerách s rotujícím zrcadlem se film drží ve stacionárním oblouku uprostřed rotujícího zrcadla. Obraz vytvořený čočkou objektivu je přenášen zpět do rotujícího zrcadla z primární čočky nebo skupiny čoček a poté skrz sekundární čočku neboli skupinu čoček, která přenáší obraz ze zrcadla na film. Pro každý snímek vytvořený na filmu je zapotřebí jedna skupina sekundárních čoček. Tyto kamery obvykle nezaznamenávají více než sto snímků. To znamená, že snímají pouze velmi krátkou dobu – obvykle méně než milisekundu. Proto vyžadují speciální časovací a osvětlovací zařízení.

Rotující buben, například kamera Dynafax, drží proužek filmu ve smyčce na vnitřní dráze rotujícího bubnu. Tento buben se poté otáčí rychlostí odpovídající požadované rychlosti snímkové frekvence. Obraz je přenesen k vnitřnímu rotujícímu zrcátku vycentrovanému v oblouku bubnu. Zrcadlo je mnohostranné, obvykle má šest až osm ploch. Je zapotřebí pouze jedna sekundární čočka, jelikož expozice se vždy vyskytuje ve stejném bodě. Když film putuje přes tento bod, tvoří se série snímků. Rotující bubnové kamery jsou schopné rychlosti od desítek tisíc do stovek tisíc snímků za sekundu. U těchto druhů kamer se filmový pás pohyboval průběžně. To znamená, že kamera jela neustále a vědci exponovali, jen když zrovna potřebovali. Nevýhodou systému byla ohromná spotřeba filmového materiálu, tedy několik kilometrů pro jednu scénu. Proto bylo zapotřebí zkonstruovat kazety s filmem ve velikosti skříní.

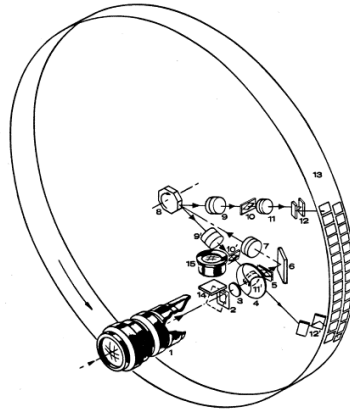
U obou typů kamer s rotujícím zrcadlem může dojít k dvojité expozici, pokud není systém správně seřízen. Může se tak stát udělá-li zrcadlo sekundární průchod optikou, zatímco světlo stále vstupuje do kamery. V rotující bubnové kameře se tak může přihodit udělá-li buben více než jednu otáčku během stálého pronikání světla do kamery. Většinou se těmto chybám zabraňuje použitím strobových xenonových lamp, které jsou navrženy tak, aby vytvářely záblesky pouze určitou dobu.<sup>4</sup>



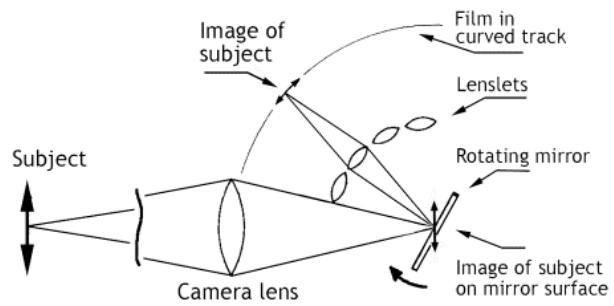
Obr. 15: Kamera Dynafax (1)



Obr. 16: Kamera Dynafax (2)

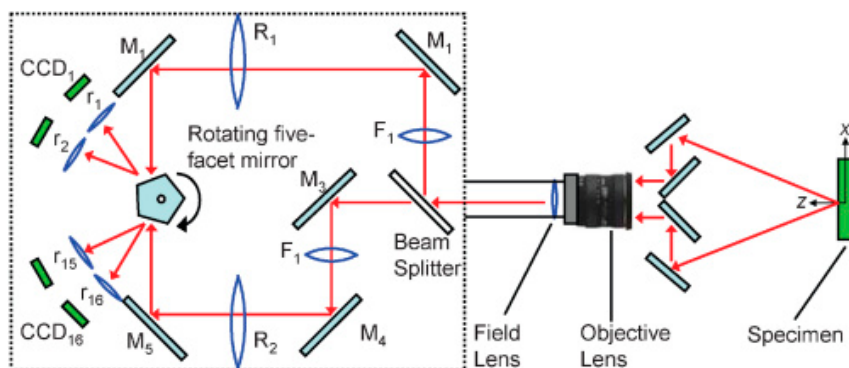


Obr. 17: Schéma kamery



Obr. 18: Mechanismus rotačného zrcadla

Technologie rotujících zrcadlových kamer byla v nedávné době aplikována na digitální zobrazování, kde je místo filmového materiálu kolem rotujícího zrcadla uspořádáno pole jednotlivých CCD nebo CMOS snímačů. Tato adaptace přináší všechny výhody elektronického zobrazování v kombinaci s rychlostí a vysokým rozlišením. Lze tak dosáhnout rychlosti až 25 milionů snímků za sekundu.



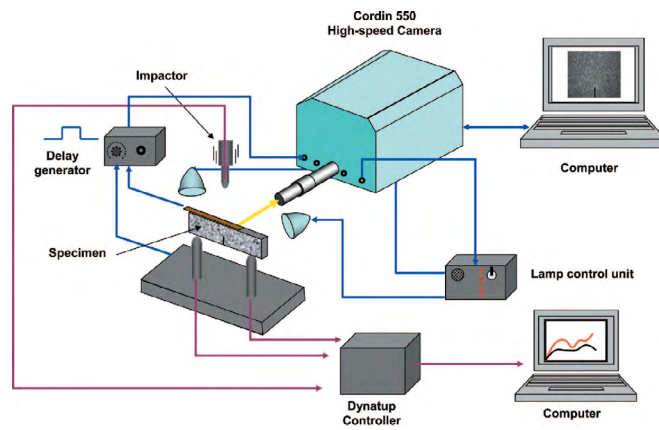
Obr. 19: Optické uspořádání vysokorychlostní digitální kamery Cordin-550

M1 – M5 jsou zrcadla; r1 – r32 jsou reléové čočky pro CCD; c1 – c32 jsou CCD snímače.

Komerční dostupnost obou typů kamer s rotujícím zrcadlem byla reprezentována v padesátých letech společnostmi Beckman & Whitley a Cordin (Test Cordin s 35 000 fps <https://www.youtube.com/watch?v=VEirQVxlnKQ>). Beckman a Whitley prodávali jak kamery s rotujícím zrcadlem, tak rotující bubnové kamery a vytvořili termín „Dynafax“. Společnost Cordin prodávala pouze rotující zrcadlové kamery. V polovině šedesátých let společnost Cordin koupila Beckman & Whitley, a stala se tak jedinou společností na trhu prodávající tento typ technologie.

Kodak vyvinul pro vysokofrekvenční technologii materiál ze silnější podložky Estaru místo acetátu, aby film mohl být tažen dráhou rychleji. Estar byl také stabilnější, umožnil přesnější měření a nebyl tak náchylný k hoření.





Obr. 19a: Ultra vysokorychlostní digitální kamera Cordin-550 a její workflow



Obr. 19b: Ultra vysokorychlostní digitální kamera Cordin-550 schopná snímat až 25 milionů snímků za sekundu



# TYPY ZÁVĚREK

Závěrka je mechanické zařízení uvnitř kamery, které vystavuje film nebo elektronický senzor světlu procházejícímu objektivem po určitou dobu. Bez ohledu na typ závěrky jsou rychlost nebo úhel závěrky to, čím kameraman řídí dobu expozice. Čím déle zůstane závěrka otevřená, tím více světla prochází. Rychlost závěrky či její úhel není stejná jako rychlost snímku; to je počet snímků, které jsou vystaveny za sekundu. Snímková frekvence je rychlost filmu. Rychlost nebo úhel závěrky je doba expozice. U filmových kamer se využívaly tzv. rotační závěrky měřené ve stupních úhlu. Důležitou součástí výrobního procesu digitálního obrazu, kde nejsme omezeni konstrukcí, je pochopení rozdílů mezi elektronickými závěrkami, tzv. rolovací a globální, měřených v rychlosti za sekundu. Jejich konstrukční mechaniky jsou odlišné, stejně tak výsledný obraz, kdy je kamera či objekt v pohybu. Vysvětlíme si jednotlivé výstupy ovlivňující naši práci.

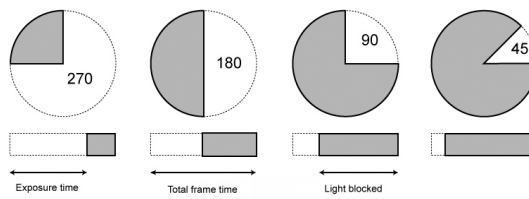
Tato diplomová práce se bude ubírat spíše k technicko-technologické logice vysokofrekvenčního využití ve filmovém odvětví. Rád bych ovšem doporučil dvě internetové stránky, kde je do podrobnosti vysvětleno využití highspeedu z pohledu filmové řeči i to jak může znalost všech důsledků perfektně posloužit k vyprávění příběhu či charakteru postav ve filmu:

- [www.hurlbutacademy.com/cinematography-intensity-with-internal-camera-settings/](http://www.hurlbutacademy.com/cinematography-intensity-with-internal-camera-settings/)
- <https://ascmag.com/podcasts/saving-private-ryan-20th-anniversary-janusz-kaminski>

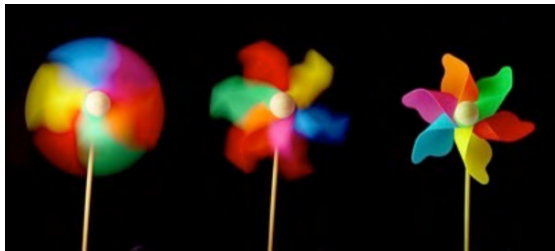
## Rotační závěrka (Rotary Shutter)

U filmových kamer je každý snímek vystaven individuálně, stejně jako u fotoaparátů. Tato posloupnost snímků v určité rychlosti vytváří iluzi pohybu. Rotační závěrka se otáčí před okeničkou a vystavuje jedno filmové políčko světlu po určitý čas. Závěrka může být s pevnou hodnotou úhlu či s nastavitelným úhlem (mezi pěti až 230 stupni), bez zrcadla (tzv. nereflexní kamery - např. Mitchell, Paillard) nebo se zrcadlem umístěným nad závěrkou (tzv. reflexní kamery - např. Arriflex 435). Jak se závěrka otáčí, blokuje světlo pronikající objektivem a zároveň strhávací systém posouvá filmový pás o další políčko. V ten samý moment zrcadlo reflektuje záběr na matnici skrze průhledový hledáček a kameraman je schopen vidět záběr. Když se závěrka otočí do polohy průchodu světla, je exponováno další políčko na filmovém materiálu. Celý proces se takto stále opakuje, například 24x za sekundu (při snímkové frekvenci 24 oken za vteřinu). Pokud by byl film při svém posunu vystaven světlu, tím pádem exponován, obraz by se jevil rozmazaně. Podstatným faktorem ostrosti objektů v pohybu je právě úhel závěrky.

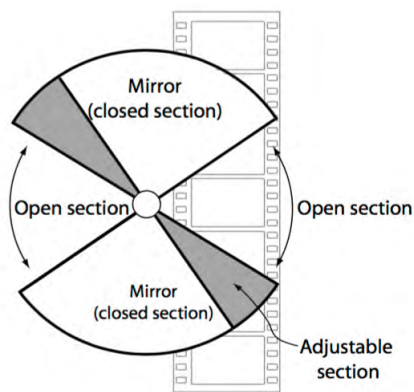
Většina filmových kamer standardně běží s úhlem o hodnotě přibližně 180°. Film je vystaven osvitě na polovinu času a během druhé poloviny je obraz promítán do zobrazovacího systému. Při variabilní závěrce má její zavírání za následek kratší dobu expozice, tím pádem získáme ostřejší objekty v kompozici. Například úhel 45° bude vykazovat mnohem čistší a ostřejší obraz jakéhokoli pohybujícího se objektu, než kdybychom natáčeli stejnou scénu například s úhlem 220° (Obr. 21). Při natáčení vysokorychlostní metodou je proto velmi důležité pochopit, jaký úhel nebo rychlost závěrky by měly být použity.



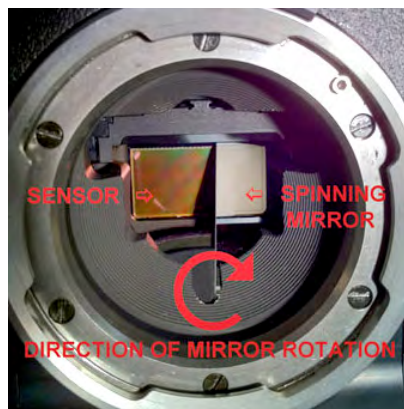
Obr. 20: Nastavení úhlu závěrky ovlivňuje dobu po kterou je film vystaven světlu



Obr. 21: Stejně tak ovlivňuje pohybovou neostrost



Obr. 22: Schéma rotační závěrky

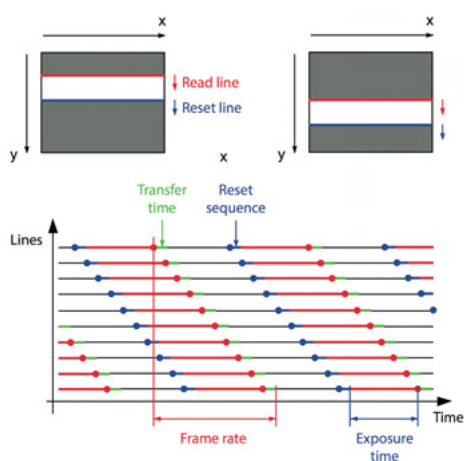


Obr. 23: Mechanismus rotační závěrky

## Rolovací závěrka (Rolling Shutter)

Snímače obrazu typu CCD i CMOS s rolovací závěrkou neexponují současně celý senzor najednou, nýbrž postupně s každým řádkem, přičemž každý řádek má jiný počáteční a koncový časový rámec (obr. 24). Horní řádek je exponován první, následně čte kamera data z pixelů senzoru na druhém, třetím, čtvrtém řádku a tak dále. Od shora dolů zachycuje světlo dopadající na pixel v daném okamžiku a přeměňuje se na elektrický signál. Každý z počátečních a koncových řádků má zpoždění, než je obraz načten úplně celý.

Výsledkem je zešikmený nebo jinak zdeformovaný objekt v obraze (obr. 25 - 27). Ke zkreslení záběru dochází v důsledku integrace řádek po řádku a posunutí na pohybujících se objektech v rámci akce. Nežádoucí deformace pohybových artefaktů se objeví, pokud se informace ze senzoru načítají pomalu. Většina rolovacích závěrek je v dnešní době velice rychlá a minimalizuje tak případné problémy (například Arri Alexa Mini 8 ms, Sony FS7 15 ms). Vysokorychlostní kamery jako například Phantom také používají rolovací závěrku, ovšem se čtecí rychlostí 1 milisekunda.



Obr. 24: Princip rolovací závěrky



Obr. 25: Výsledný obraz objektu v pohybu zachycený rolovací závěrkou

## Globální závěrka (Global Shutter)

Snímače obrazu v kameře typu CCD i CMOS s globální závěrkou umožňují, aby všechny pixely senzoru byly elektronicky nasnímány v jednu chvíli současně (obr. 28). Tato funkce je při natáčení rychle se pohybujících objektů velmi důležitá, na rozdíl od postupného načítání informací. Díky tomu neobsahuje výsledný záběr deformaci předmětů. Tato funkce však může mít negativní následky na přenesení kontrastu obrazu, tvorbu artefaktů nebo vliv na snížení citlivosti čipu.



Obr. 26: Rozdíl mezi rolovací a globální závěrkou 1



Obr. 27: Rozdíl mezi rolovací a globální závěrkou 2



Obr. 28: Schéma rozdílu rolovací a globální závěrky

Obr. 29: Rozdíl mezi rolovací, globální závěrkou a lidským okem





# WORKFLOW DIGITÁLNÍHO HIGHSPEEDU

## Když u filmu čas znamená peníze

Ačkoli jsou vysokorychlostní kamery stále považovány za speciální druh kamer, v mediálním průmyslu se používají pro všechnu práci, od reklam až po natáčení praktických efektů pro hrané filmy. Vzhledem k tomu, že vysokorychlostní kamery snímají s přehledem až 40krát vyšší rychlostí než klasické kinematografické kamery, často se používají k zachycení podrobných dramatických pohybů v bojových scénách nebo při záběrech explozí.

V tomto nastavení je kamera typicky obsluhována pomocí ovládacích prvků umístěných na ní nebo dálkovým zařízením, například počítačem, který je připojen k více monitorům – například pro operátora kamery, režiséra nebo ostříže. Po kontrolní projekci záběrů jsou data dočasně uložena v paměti RAM (Random Access Memory), což usnadňuje zpracování obrazu před uložením hotového snímku, a poté přenesena na pevné disky (například systém vysokorychlostního datového úložiště CineMag), které dokáží pojmout až 2 TB Raw dat.

Správné hospodaření s časem může filmové produkci signifikantně snížit náklady v rozpočtu i v řádu milionů korun. Z tohoto důvodu, je klíčovým kritériem vysokorychlostní kamery schopnost podporovat velmi rychlý pracovní postup, kdy je kamera provozována bez počítače a stahování souborů probíhá samostatně v rámci stahovací jednotky/čtečky (například CineStation). Tento pracovní postup v konečném důsledku šetří produkci čas a peníze, což je v odvětví, ve kterém panuje přísný harmonogram velmi důležité.

Použití rychlého 10gygabitového ethernetového připojení je v tomto případě pro stahování objemných dat v řádu terabytů nepostradatelné. Kopie Raw souborů se uloží na dva disky, aby se zajistila archivace. Zkomprimovaná verze záběrů z každého natáčecího dne je uložena pro režiséra jako kontrola denních prací.

Vysokorychlostní kamery, které podporují rychlá, výsuvná flash média, často umožňují režim přímého záznamu, který obchází paměť RAM. To sice omezuje snímkovou frekvenci na 120 snímků za sekundu, umožňuje však mnohem delší dobu nahrávání. Z toho plyne, že vysokorychlostní zařízení v tu chvíli pracuje jako běžná digitální kamera. Když nastavíme režim přímého záznamu, můžeme využít jedinou kameru jak pro zachycení speciálních efektů, tak pro běžné natáčení s normální snímkovou frekvencí. Tato varianta se může hodit pro projekty, kde je zapotřebí, aby pouze jedna kamera byla schopna natočit veškeré potřebné záběry v natáčecím plánu.

### Pracovní postup

Zcela zásadní je pochopení celého workflow (pracovního postupu) a toho, jak nám výše uvedené nástroje umožňují zlepšení výsledků pomocí vysokorychlostní technologie. Kamery Phantom mají celou řadu funkcí, které mohou zlepšit přenos, připojení či správu dat a zajistit, aby operátoři a kameramani získali ty nejlepší možné snímky. Příprava je naprosto klíčová a nevyhnutelná pro práci s vysokorychlostním médiem. Je důležité si na začátku celého procesu říct, co je našim cílem, jakého typu záběru chceme docílit. Dalším důležitým faktorem je prostředí, ve kterém budeme tvořit – interiér, exteriér. Musíme mít přístup k základním potřebám, jako je elektřina a podobně.

Snímače vysokorychlostních kamer zaznamenávají nezpracovaná data (Raw – otevřený formát bezeztrátového zápisu digitalizovaného obrazu originálně pořízeného fotografického nebo skenového snímku) a umožňují

široké užití průvodních informací o obrazu (metadata) k jeho zpracování. Raw soubory lze považovat za digitální negativ. Tento typ souboru je důležitý pro vědecké i průmyslové využití kvůli měření a zajištění integrity dat. Pro filmový průmysl je výhodný na editaci pořízených záběrů v nejvyšší možné kvalitě bez artefaktů. Převod Raw souborů na interpolované nebo komprimované formáty může mít také své výhody. Jejich velikost je podstatně menší a tedy pohodlnější pro správu dat, v závislosti na typu souboru a algoritmu je zaručena kompatibilita s běžnými přehrávači videí nebo postprodukčními programy.

Postup záznamu v kameře je nepřetržité nahrávání do vyrovnávací paměti (Circular buffer), avšak pouze pro krátkou dobu záznamu – v sekundách. Některé novější kamery nabízejí streamování do PC nebo SSD disk (Solid-state drive) pro delší dobu záznamu. Nahrávání do vyrovnávací paměti znamená, že uživatel může nastavit kameru do režimu smyčky. Tím se myslí, že kamera bude i nadále nahrávat sama, dokud nedojde k aktivaci spouště (Trigger), buď ručně operátorem, nebo automaticky po nastavení časovače. Na základě uživatelských preferencí jsou snímky nahrány buď před nebo po spuštění triggeru. Nahrávání do vyrovnávací paměti je velmi důležité pro události, ke kterým dochází náhodně či neočekávaně. Tyto typy kamer se rovněž používají jako nástroj pro shromažďování faktů a analýzu dynamických událostí.

### Správa dat

Proč je důležité zvážit jednotlivé pracovní postupy? Naše první úvaha směřuje k objemu dat, která je potřeba během natáčení zpracovávat. Vyšší počet snímků za sekundu společně s vyšším rozlišením obrazu, má logicky za následek větší velikost souborů, tzn. delší přenosový čas. Raw data (Phantom Cine Raw) jsou nejúčinnějším a nejlepším formátem pro natáčení kvůli jeho dynamickému rozsahu, ale správa objemných souborů může být poměrně náročná. Velmi rychlé stahování velkého množství dat mezi záběry na place, z paměti RAM na bezpečný harddisk, je v tomto případě zásadní.

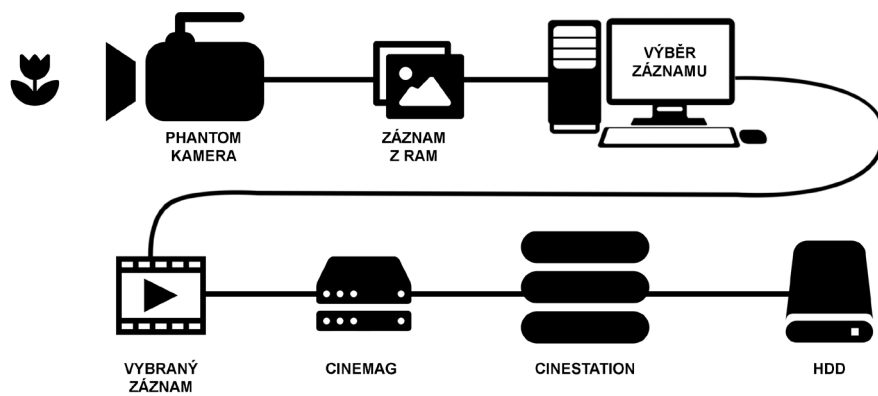
Vezmeme-li v úvahu, že dvousekundové video s rozlišením 1 Mpx při snímkové frekvenci 10 000 se rovná souboru o velikosti 30 GB ve formátu Raw, je průměrná doba přenosu přes 1 Gb Ethernet 15+ minut. Použijeme-li 10 Gb Ethernet, doba se zkrátí na dvě minuty. Pro řešení podobných problémů se stahováním dat vyvinula společnost Vision Research úložné zařízení CineMag. Tyto vysokorychlostní paměťové disky jsou schopny snížit dobu stahování na méně než jednu minutu.

### CineMag

#### (Systém vysokorychlostního datového úložiště)

Při natáčení se snímkovou frekvencí 1000 v rozlišení 1920 x 1080, kdy každá vteřina záběru obsadí přibližně 4 GB paměti, můžeme čtyřsekundovou sekvenci stáhnout za 15 minut přes Gb Ethernet. Tento čas může být ovšem využit pro natáčení dalšího záběru. Systém Vision Research Phantom CineMag a CineStation nabízí pro takové případy řešení. Jedná se o energeticky nezávislou flash paměť pro vysokorychlostní záznam. Jsou k dispozici v několika modelech od 144 GB až po 2 TB, které nabízejí řešení hot-swap a non-volatile, především pro digitální vysokorychlostní kamery Phantom.

Po nahrání dat do paměti RAM kamery proběhne během několika vteřin rychlý přenos dat do programu CineMag, což zaručuje minimální prostoje při ukládání souborů. K dispozici je také volitelné 10 Gb ethernetové připojení. CineMag je dodáván s duálními HD-SDI výstupy umožňujícími přehrávání ve vzorkování 4: 4: 4 Cine souborů ve všech HD formátech. CineMag II dosahuje rychlosti přenosu 800 Mpx za sekundu a CineMag V dokonce až 1,4 Gpx za sekundu. V závislosti na snímkové frekvenci by měl kameraman zvolit vysokorychlostní systém, který využívá technologii komprese obrazu k získání delšího času záznamu s omezenou pamětí DRAM. Management ukládání a zálohování dat by měl být naplánován před samotným natáčením, než dojde ke zpomalení procesu z důvodu omezeného úložného prostoru nebo rychlosti přenosu.<sup>5</sup>



Obr. 30: Pipeline záznamu od spuštění triggeru po uložení na HDD



Obr. 31: CineMag IV PRO



Obr. 32: CineMag II + CineStation X2SR  
CineMag IV + CineStation IV



# VYSOKORYCHLOSTNÍ TRIKOVÉ NATÁČENÍ

Vysokorychlostní technologie je velmi užitečná v širokém spektru tvořivosti člověka, ať už se jedná o dokumentaci účelné přesnosti nového mechanismu pro vesmírný výzkum, vyměření deformačních zón v automobilovém průmyslu či vizuální poezii při tvorbě filmu. Nyní si uvedeme příklad, kdy tento výrobní postup obrazové složky ve filmovém průmyslu nemusí nutně sloužit pouze pro stylizované zvýraznění efektu pohybu, ale hodí se i jako nepostradatelný pomocník při tvorbě trikového natáčení s modely. Nejprve si vysvětlíme základní pojmy.

Co je to model a co je to maketa ve filmu? Model je vždy v určitém měřítku vůči realitě, v poměru 1:10 nebo i 1:3. V takovém případě kameraman s modeláři řeší výtvarné řešení materiálu a povrchu modelu, aby působil co možná nejrealističtěji. Menší velikosti modelů se nepoužívají, jelikož není možné udělat přesný vzhled jako má reálný objekt. Taktéž nemusíme mít k dispozici kameru schopnou snímat extrémně vysoké frekvence, aby nám to stačilo na podtočení příliš malého modelu. Obecně platí, čím menší model, tím vyšší počet oken za sekundu. Ke zjištění výpočtu vhodné snímací frekvence modelu vůči realitě nám dopomůže vzorec uvedený níže. V ideálním případě volíme natáčecí postupy tak, abychom kombinovali modely s reálnými scénami pro dosažení věrohodnosti.

Maketa je částečný objekt nebo pozadí, který je spíše pomocného charakteru. Například pro herce, aby měli ve scéně možnost na něco skutečného reagovat: „Nastupuje do auta, které má jen jedno okno a dveře. Pilotuje letadlo, které je uřízlé vejpůl.“ Zbytky maket se posléze dodělávají ve 3D v postprodukčním procesu. Nepostradatelné využití má tato technologie taktéž v pyrotechnických efektech. I když třeba dopředu víme, že celou scénu

ve filmu budeme vytvářet ve 3D prostředí, natočení makety či modelu nám může výrazně pomoci jako reference například při explozi domu. Také můžeme výbuch modelu vložit do jiného záběru pomocí planárního trackingu. Poté se ve 3D digitální postprodukci objem a dojem síly výbuchu pouze obohacují. Fyzikální zákony, kterými se musíme bezpodmínečně řídit, však máme zachyceny ze skutečné scény. Když pracujeme s modely nebo maketami, vždy se jedná o highspeed technologii, jinak výsledného efektu, tedy vjemu přirozenosti, nemůžeme dosáhnout.

Vzorec pro vypočítání zvýšené snímání rychlosti  
v závislosti na modelu

Úhlová rychlost:

$$R = M \cdot K^2$$

K = odmocnina z R/M

R = reálný objekt

M = maketa

Tento zjištěný koeficient se vynásobí standardní frekvencí.

Zvýšená snímání frekvence:

$$F_u = F_{std} \cdot K$$

F<sub>u</sub> = frekvence upravená

F<sub>std</sub> = frekvence standardní

K = koeficient

Pomocí tohoto vzorečku zjistíme, jakou snímání frekvenci musíme použít, aby pohyb modelu vypadal přirozeně.



Vysokorychlostní natáčení je taktéž nástroj potřebný ke vzbuzení dojmu síly nebo objemu živlu, ale také jako dramaturgický prvek v příběhu. V dnešní době již do jisté míry nejsme omezeni maximální snímací frekvencí jako dříve, kdy z konstrukčního hlediska filmové kamery bylo možné snímat pouze 360 oken za sekundu. Pro filmový průmysl plynulo omezení z velikosti kazet (magazínu) s materiálem. Než se film vůbec stačil rozběhnout na požadovanou frekvenci, skoro polovina materiálu v magazínu již byla pryč.

Přírodní elementy mají v realitě určitý časový průběh, který nemůžeme zpomalit – oheň, plamen, výbuch. Například u výbuchu zdi v domu nemůžeme provést samotnou fyzikální akci reálné exploze pomaleji, pouze můžeme přidat na dramatičnosti exploze vyšší frekvenci. Proto, když potřebujeme udělat explozi modelu pomaleji, ale stále tak, aby vypadala věrohodně, musíme takzvaně prodloužit fyzikální akci. Roznětky náloží se nastaví s milisekundovým zpožděním za sebou, takže místo pěti náloží primárního výbuchu se udělá například dalších pět sekundárních výbuchů. Tedy celkem deset explozí. Tím se mohutnost celé exploze prodlužuje. Lidským okem není tato změna postřehnutelná, avšak na výsledném záznamu, v kombinaci s vysokou frekvencí, dotváří zřetelný efekt. Další příklad: Výbuch sudu naplněného benzínem, který exploduje na běžnou snímkovou frekvenci 25 oken za sekundu cca 30 metrů vysoko, bude mít také určitý časový průběh. Stejně tak menší kapsle s benzínem. Úkolem kameramana je dosáhnout v malém měřítku stejného vjemu efektu jako při velkém reálném objektu, abychom z důvodu bezpečnostních předpisů na natáčení a respektu k životnímu prostředí nemuseli zbytečně zapalovat či odpalovat obří modely.

Vodní živel má v rámci práce s modely stejný charakter pohybu, tudíž i v tomto případě musíme opět uvažovat podle měřítka správné snímkové frekvence. V opačném případě by efekt mohutnosti vody, který v reálném prostředí vnímáme, zanikl. Když se naopak voda příliš zpomalí, může se stát, že ji začneme vnímat jako olej. Proto musí správná frekvence vycházet z oné velikosti modelu, který snímáme. Kupříkladu u katastrofické scény ve

filmu, kdy máme za úkol zhmotnit vlnu tsunami, která zaplaví pobřežní město, umocníme vyšší snímkovou frekvencí společně s dynamickým zvukovým doprovodem její destrukční sílu a naplníme očekávání diváků v sále.

S pomocí vzorce vypočítáme snímkovou frekvenci, jakou musíme využít pro dosažení vjemu, že modelem je reálný objekt, a poté zkontrolujeme záznam. Aby váha modelu, pocit těžkosti apod. odpovídaly skutečnosti, je frekvence jiná, tedy vyšší. Následně je důležitá úzká spolupráce s mistry stříhu a jejich naprosto precizní umění stříhové skladby modelu a reálného objektu společně tak, aby divák nepoznal kouzla filmového řemesla. Dle svého záměru si zhodnotíme, zda je snímková frekvence dostačující, nebo ji budeme muset ještě navýšit. Musíme si však ujasnit, čeho chceme dosáhnout. Pokud zvýšená frekvence nemá sloužit jako výrazový efekt, na který chceme upozorňovat, ale má být podstatným řemeslným nástrojem ke spojení scén reálu s modelem, nesmíme podlehnout pocitům a nátlaku režisérů, kteří nemusí respektovat měřítko zpomalení a snaží se efekt „prodat“. Takový výsledný záznam by byl výrazně proti našemu fyzikálnímu vnímání. U určité skupiny filmů není v rámci scénáře a žánru zapotřebí „reklamních praktik“. Úkolem kameramana je zůstat věrný matematicko-fyzikálním zákonům.

Nyní si na ukázce dvou scén z filmu *Terminator 2: Judgment Day* (1991) rozebereme, záběr po záběru, postup tvůrců při akční sekvenci, kdy museli z mnoha důvodů využít modely společně s reálnými objekty a postarat se o jejich dokonalé splynutí ve stříhové skladbě.

\*BTS – behind the scenes

## Scéna - Honička s kamiónem



Obr. 33: Film Terminátor 2



Obr. 34: BTS Terminátor 2

Reálný objekt kamiónu v reálné scéně.  
Kaskadér skáče z pick up dodávky na  
kapotu kamiónu.

Reálný objekt kamiónu v reálné scéně.  
Průjezd kamiónu společně s kamerovým  
vozem vpravo.



Obr. 35: Film Terminátor 2



Obr. 36: BTS Terminátor 2

Reálný objekt kamiónu v reálné scéně.  
Hlavní protagonista na kapotě kamiónu.

Reálný objekt kamiónu v reálné scéně.  
Pohled členů štábu z kamerového vozu.



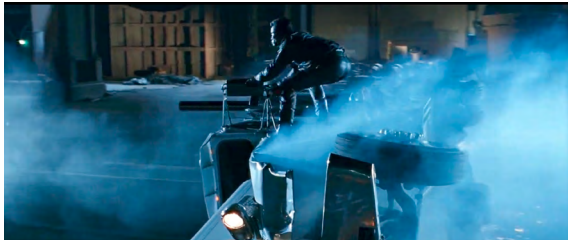
Obr. 37: Film Terminátor 2



Obr. 38: BTS Terminátor 2

Model kamiónu v miniaturní scéně.  
Model se naklání na stranu  
společně s figurou.

Model kamiónu v délce 5 metrů  
a výšce 0,5 metru v měřítku 1:5.  
Kamera na dolly vpravo.



Obr. 39: Film Terminátor 2

Reálný objekt kamiónu v reálné scéně.  
Kaskadér na kapotě kamiónu, který je  
tažen lany.



Obr. 40: BTS Terminátor 2

Reálný objekt kamiónu v reálné scéně.  
Vlevo štáb v kamerovém voze.



Obr. 41: Film Terminátor 2

Model kamiónu v miniaturní scéně  
22 m x 6 m s figurkou  
hlavního protagonisty.



Obr. 42: BTS Terminátor 2

Model kamiónu a pick up dodávky  
v měřítku 1:5 v miniaturní scéně  
22 m x 6 m.



Obr. 43: Film Terminátor 2

Zadní projekce nakloněného kamiónu  
na bok. Figura katapultována směrem  
na kameru.



Obr. 44: BTS Terminátor 2

Model kamiónu v délce 5,5 metru a výšce  
0,5 metru v měřítku 1:5 společně  
s figurkou hlavního protagonisty.

## Scéna - Apokalypsa města



Obr. 45: Film Terminátor 2



Obr. 46: BTS Terminátor 2

Destrukce modelu budovy  
o velikosti 60 x 30 cm.

Miniatura města Los Angeles od  
4-Ward Production na ploše ateliéru  
6 x 8 metru.



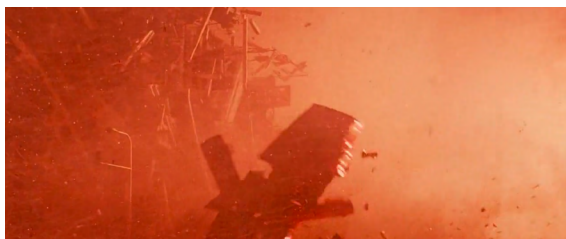
Obr. 47: Film Terminátor 2



Obr. 48: BTS Terminátor 2

Destrukce modelů pomocí  
vysokého tlaku vzduchu.

Vysokotlaké větráky se nacházely  
pro maximální efekt tři metry od modelů.



Obr. 49: Film Terminátor 2



Obr. 50: BTS Terminátor 2

Destrukce modelů. Celá akce se vždy  
natáčela třemi kamerami.

Přestavba miniatury města pro další  
záběr destrukce trvala zhruba 2 až 3 dny.  
Opakovala se celkem osmkrát.



# SVĚTLO JAKO BLIKAJÍCÍ ZDROJE

Světelný zdroj je zdroj elektromagnetického záření v rozsahu vlnových délek zhruba 380 - 780 nm, což je záření, které můžeme pozorovat lidským okem jako viditelné světlo. Světelný zdroj rozlišujeme přírodní a umělý (člověkem vytvořený). Dalším dělením jsou primární a sekundární zdroje. Jako primární světelné zdroje označujeme taková tělesa nebo látky, v jejichž struktuře dochází ke vzniku světla, například Slunce, žárovku, plamen apod. Sekundární světelné zdroje jsou látky, které samy světlo nevytváří, ale pouze odrážejí anebo rozptylují. Například Měsíc, mraky, různá stínítka či difuzery.

Nejznámější a nejrozšířenější umělé zdroje světla se rozdělují podle dalších hledisek, například podstaty vzniku světla:

- A. teplotní záření - žárovka
- B. elektrický výboj v plynech a parách kovů - zářivky, výbojky
- C. luminiscence - svítivé diody

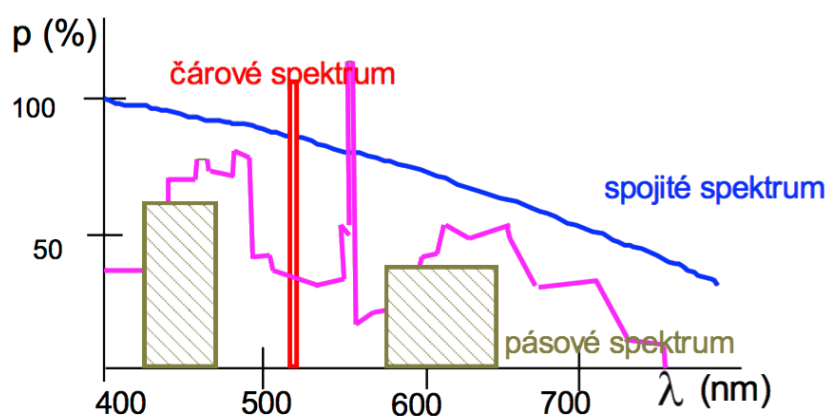
Mezi hlavní parametry, jež se sledují u umělých světelných zdrojů, patří:

1. životnost světelného zdroje (udávaná v hodinách)
2. hodnota světelného toku, jas, svítivost
3. spektrální složení, index podání barev Ra/CRI, TLCI, CQS  
a teplota chromatičnosti

U umělých světelných zdrojů, jejichž činnost závisí na elektrické energii, pak sledujeme také příkon, napětí, proud a především měrný výkon, což je podíl vyzařovaného světelného toku a příkonu (vyjadřuje se tedy v lm/W). Měrný výkon charakterizuje efektivnost přeměny energie elektrické na světelnou.



Existují dva základní druhy světelných zdrojů. Největší a nejstarší skupinu tvoří zdroje teplotní, tzv. inkandescenční, mající spojité spektrum. Inkandescence je vyzařování světla způsobené tepelným buzením. Vzniká průchodem elektrického proudu pevnou vodivou látkou s vysokou teplotou tání, což je například platina či wolfram. Pevná látka se rozžhává na požadovanou teplotu, při které dochází k emisi viditelného záření. V těchto zdrojích vzniká světlo jako jedna ze složek elektromagnetického záření vyvolaného vysokou teplotou povrchu nějakého tělesa. Patří sem například oheň, v němž září rozžhavané částice (nejčastěji uhlíku), slabě i žhavé plyny. V plynové lampě svítí žhavá tepelně odolná punčoška z jemné tkaniny ohřívána málo svítivým plynovým plamenem.



Obr.: 51 Typy spektra

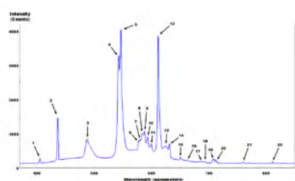
U elektrického neteplotního zdroje s nespojitým spektrem vzniká světlo, na rozdíl od teplotních zdrojů, jinými mechanismy. Základně je dělíme na luminiscenční, fluorescenční a výbojkové. Výbojkové s čárovým spektrem ještě pak na vysokotlaké (například vysokotlaké rtuťové a sodíkové výbojky, HMI lampy – Hydrargyrum Medium-Arc Iodide s účinností 2 až 5krát vyšší než běžná žárovka) a nízkotlaké (například zářivkové nebo sodíkové lampy), které fungují na principu výbojů plynů v parách. Obvykle jde o proud fotonů jednotlivě vyzářených při návratu elektronů z nestabilních poloh ve vyšších hladinách do stabilní polohy v nižší hladině v elektronovém obalu nějakého



atomu. Protože energie uvolňovaná vracejícími se elektrony je kvantovaná velikostí „skoku“ mezi hladinami, mají i energie fotonů nespojitý průběh, rozdělený do tzv. emisních spektrálních čar nebo pásů. U všech těchto zdrojů se vytváří oblouk mezi katodou a anodou. Tento oblouk pak vzrušuje plazmatický mrak, který je nutí zářit. Všechny výbojky svítí díky střídavému proudu.

Vybuzeného stavu atomů s elektrony dočasně na vyšších hladinách než jsou obvykle se dosahuje procesem zvaným excitace. K excitaci dochází různými způsoby, například vysokou teplotou, silným elektrickým polem, nárazem částic nebo atomů s vysokou energií apod. Ke zdrojům světla s nespojitým spektrem patří i lasery.

Barva světla popsaných zdrojů obvykle nebývá bílá. Podle polohy svítivých částí spektra má zdroj výraznou převažující barvu. Například neonka, zvaná tak podle plynové náplně neonu (Ne) nebo také podle barvy výboje doutnavka, svítí červeně. Rtuťové výbojky a zářivky svítí převážně v neviditelné ultrafialové části spektra a pro získání viditelného světla je třeba použít optickou transformaci pomocí luminiscenčních vrstev na vnitřní straně baňky či trubice. Nízkotlaké sodíkové výbojky svítí převážně na žlutooranžových sodíkových (Na) čarách spektra.



Spektrální křivka vyzářené energie v závislosti na vlnové délce u zářivky. Křivka má ostrá lokální maxima, na rozdíl od hladké křivky teplotního zdroje



Čárové spektrum vysokotlaké sodíkové výbojky: Modré a zelené proužky jsou emisní čáry rtuť, červené a oranžové pásy jsou emise sodíku.

Obr. 52: Spektrální křivka

## Problematika blikajících světelných zdrojů

Z kinematografického hlediska, žárovka napájená střídavým proudem má výkon, který stoupá či padá podle toho, jak průběh energie kolísá. Střídavý proud stoupá a klesá během zahřívání vlákna, které zůstává dostatečně dlouho horké na to, aby se vyzařované světlo příliš měnilo. Existuje určitá ztráta výkonu, ale je minimální, většinou 10 až 15 procent, což neovlivňuje expozici.

U výbojkových zdrojů výkon výrazně stoupá a klesá během cyklů střídavého proudu. Přestože je to jen málokdy viditelné pro lidské oko, blikání zdroje se vyskytuje na filmu jako nerovnoměrná změna expozice. Tento efekt je výsledkem změn expozice mezi jednotlivými snímky kvůli nejednotě průběhu výkonu světelné a snímací frekvence kamery. Příliš intenzivní blikání může znehodnotit natočený materiál, bude tedy pro producenta nepoužitelný. Výstupem střídavého zdroje energie je sinusová vlna. Nezávisle na tom, jestli je momentální proud na horní či spodní části vlny, výkon světla bude maximální. Když sinusoida překročí středovou osu, proud klesá na nulu a žárovka ztrácí výkon. Při zapnutí zdroje pro pozitivní i negativní stranu sinusové vlny dosahuje svého maxima dvojnásobnou rychlostí střídavého proudu – 100 cyklů za vteřinu u 50hertzového proudu. Pro zdroje HMI s magnetickou tlumivkou (s měděnou cívkou kolem jádra) výkon v bodě styku může klesnout i na 17 % z celkového výkonu. U filmů je ještě další komplikace – závěrka se může zavírat a otevírat s jinou frekvencí, než světlo kolísá. Jestliže se závěrka a výkon světelného zdroje liší, každé políčko filmu může být naexponované v jiné fázi cyklů. Ve výsledku se tyto odchylky na materiálu projeví viditelně.

Existují tři možnosti: snímková frekvence kamery může být nestabilní, případně frekvence elektrického napájení může kolísat, nebo snímková frekvence závěrky vytváří nesoulad v synchronizaci závěrky a světelného výkonu. Pokud jsou rychlost závěrky nebo světelný výkon náhodné, je zřejmé, že každý snímek bude naexponován jinak/různou expozicí. Třetí je o něco slo-

žitější. Pouze určité kombinace nastavení závěrky a frekvence elektrického proudu lze považovat za přijatelně bezpečné. Odchytky od těchto kombinací vždy nesou riziko viditelného blikání. Proto jsou nezbytné čtyři základní podmínky pro zabránění viditelnému blikání zdrojů fluorescenčních a HMI:

- konstantní frekvence zdroje napájení střídavého proudu
- konstantní snímací frekvence v kameře
- kompatibilní úhel sektorů
- kompatibilní snímací frekvence

První dvě podmínky většinou uspokojí krystalické ovládání agregátu a kamery, nebo napájení jednoho či obou společně z centrály generátorů se střídavým proudem, které jsou většinou velmi přesné a spolehlivé, co se týče frekvence. Při snímkové rychlosti 24 fps, pokud je zdroj proudu stabilní, se může úhel sektoru měnit s malým rizikem mezi 90° a 200°. Ideální úhel sektoru je 144° má za následek dobu expozice 1/60 vteřiny, která odpovídá frekvenci proudu v síti (USA, Kanada, Japonsko atd.). V reálné praxi je při použití 180 stupňové závěrky malé riziko, pokud je kamera řízena krystaly a napájena ze sítě nebo krystalem řízeného generátoru. Při hodnotě závěrky 144° zaznamenává kamera 2 až 2,5 pulsu na jedno políčko (namísto přesně dvou pulsů, které bychom měli při 144° mít), expozice se tak může teoreticky lišit až o 9 procent. V jiných zemích s 50 cykly za sekundu se snímkovou rychlostí 24 fps je ideální úhel závěrky 172,8°. Jednoduchým způsobem, jak nad touto problematikou uvažovat, je vydělit 120 celým číslem – např.  $120/4 = 30$ ,  $120/8 = 15$ . Pro 50hertzové systémy, vydělíme 100 celým číslem. Jakákoli změna frekvence napájení bude mít za následek kolísání expozice přibližně o 0,4 clony. Čas jednoho cyklu kolísání bude záviset na vzdálenosti zdroje proudu. Každý použitý generátor musí být ideálně ovládán krystaly.

Tyto generátory však nikdy nedosahují požadované přesnosti. K periodickému monitorování generátoru by se měl používat měřič frekvence. Většina agregátů má čtečku frekvencí, ale nejsou dostatečně přesné. Proto se v mnoha případech považuje za přijatelnou odchylku v rozmezí čtvrtiny cyklu. Dostupné jsou i tlumivky „flicker-free” (bez blikání), aby minimalizovaly blikání u velmi vysokých snímacích frekvencí. Tyto flicker-free jednotky používají elektronické balasty namísto železových. Pracují na základě dvou hlavních principů – obdélníkového signálu a vysoké frekvence.

Tlumivky modifikují vlnovou formu zdroje energie tak, že místo zaoblené sinusové vlny je výstup vlny obdélníkový. To znamená, že stoupající a klesající části vlny jsou osekány na mnohem menší části. Světelný výkon je tak vypnutý na kratší dobu. Flicker-free tlumivky také používají zvýšenou frekvenci. Při 200 nebo 250 cyklech za sekundu je pak méně pravděpodobné, že dojde k neshodě mezi jednotlivými snímky. Tyto tlumivky jsou dnes k dispozici pro všechny typy HMI zdrojů. Při vysokorychlostním snímání může nastat problém s blikáním u malých wolframových žárovek, jelikož menší vlákna nemají takovou sílu a objem, aby zůstala zahřívána během cyklu, jako je tomu u větších žárovek.<sup>6</sup>



Obr. 53: ARRI M90 s režimem AutoScan, který určuje frekvenci minimalizující kolísání světla



Obr. 54: 9000W HMI Single Ended Bulb pro ARRI M90



Obr. 55: Flicker-free tlumivka EB 6/9 HS AutoScan pro výbojkové zdroje ARRI 9 KW, 12 KW a 18 KW s frekvencí až 1000 Hz



# SEZNÁMENÍ S HIGHSPEEDOVOU TECHNOLOGIÍ

## První zkušenosti

Osobní zkušenost s touto technologií vznikla vcelku nevinně. Již delší dobu jsem si pohrával s myšlenkou toto výjimečné odvětví vyzkoušet, jelikož se přece jen jedná o něco zcela odlišného, než na co jsou kameramani dokumentárních či hraných filmů zvyklí. Neměl jsem ovšem správný nápad či projekt, kde bych vizi uplatnil, natož tušení, jak k takové práci přistoupit. Poté se však objevila příležitost natočit tři reprezentační znělky pro Famufest 2017. Kontaktoval jsem svého režiséra, nadšen příležitostí zkusit si prozkoumat něco neznámého. Dali jsme se proto do práce.

Dovolte mi malý vhled do projektu. Podtitul školního festivalu dostal název Inferno. Peklo – v italském originále Inferno – je první ze tří částí eposu Božská komedie, jehož autorem je Dante Alighieri. Božská komedie je alegorického charakteru, znázorňuje cestu lidské duše přes peklo a očistec až do ráje k Bohu. Kantika Peklo popisuje Dantovu cestu pekelnou říší, na níž ho doprovází římský básník Vergilius. Peklo je zde popisováno jako devět soustředných kruhů utrpení hříšných duší, sestupujících až do jádra Země. Oba básníci společně postupují devíti kruhy pekla, kde se setkávají s různými osobnostmi z historie, až se dostanou k očistci.<sup>7</sup>

Smyslem Famufest Inferno bylo otevřít tabu a otázky, které FAMU a obecně film vzbuzují. Inferno není prostor pro hanbu a výčitky, naopak otevírá problémy a pokouší se je řešit. Na základě tohoto zadání jsme vypracovali literární scénář. Námět je inspirovaný technickým postupem v úvodní sekvenci filmu Duplicity (<https://www.youtube.com/watch?v=in-pUWzhRsAI>), kde sledujeme fyzickou potyčku dvou manažerů natočenou vysokofrekvenční kamerou. Samotný pohyb se stává atrakcí pro diváka, za doprovodu hudby, která je v kontrapunktu k patosu logiky slow motion a situaci samotné.

Červené kolečko v grafických návrzích interpretujeme pomocí rajčete letícího na autora tematicky nebo umělecky nepohodlného filmu. Infernem si prochází každý autor předkládající svoje dílo publiku, které je ztělesněním osobního inferna každého tvůrce. Tento vnitřní prožitek jsme potřebovali vyjádřit highspeedovou kamerou Phantom Flex 2K od americké firmy Vision Research.

Postava mladého muže, respektive dívky, přichází tanečním krokem na pódium kina k mikrofonu, natáčí si ho k sobě a připravuje se něco říci. Vtom čelí palbě rajčat, před kterými se snaží krýt, po skončení palby se několika gesty letmo očistí a odchází pryč z pódia do zákulisí. Spot je provázen hudbou v žánru dechovky, aby tak vznikl další nosný kontrast. Hudební podkres nakonec přechází v ambientní zvukový podkres, v obraze se objeví packshot festivalu a loga.



## Technický postup

Samotnou realizaci jsme se snažili z důvodu omezeného rozpočtu pojmout jednoduše. Studio disponující kryjícím černým sametem v zorném úhlu 180 stupňů, rozvařená rajčata pro lepší efekt destrukce při kontaktu s protagonisty, kostýmy pro dva herce, kamera schopná snímkové frekvence alespoň 1000 oken za sekundu. Nakonec jsme během natáčení s režisérem přistoupili k variantě natáčení až 2500 fps, za cenu nižšího rozlišení pouze Full HD – respektive 2048 x 1080 pixelů, s úhlem závěrky 90°, do negativního formátu Phantom Cine Raw (.cine). Výsledkem je maximální důraz na detaily rozmáčkávajících se rajčat o herce, zvlnění a pohyb kůže na jejich obličejích vlivem rychlosti nárazu. K natáčení jsme proto přizvali i profesionálního baseballového nadhazovače, jelikož mechanický katapult použitý během prvního dne natáčení nenaplnil naši představu o přesnosti letu rajčete. Chtěli jsme využít technologii, jež je schopna zachytit i miniaturní pohyb, který v reálném světě není možné okem postřehnout. Barevné ladění odpovídá grafickým návrhům festivalů – černé pozadí, béžový oblek, červená rajčata, červený mikrofon.

Po technické stránce bylo velmi obtížné vše uchopit správně na první pokus. Jelikož jsem neměl žádné předchozí zkušenosti s touto technikou, kontaktoval jsem nejprve reklamní studio Mirage, které vysokorychlostními kamerami disponuje, a snažil se na základě jejich zkušeností zjistit, co vše je potřeba zařídit: Výšší počet oken za sekundu, vyšší expoziční osvětlení. Nemalá praktická citlivost čipu ISO 800, kterou kamera Phantom Flex 2K poskytuje, vyžaduje i tak značné množství světla při vysokofrekvenčním natáčení, aby bylo možné dosáhnout správné expozice. Bylo tedy zřejmé, že budeme potřebovat silné zdroje. Ale jak moc silné a které? Když vezmeme v úvahu, že při natáčení 25 fps s úhlem závěrky 180°, 1/50 sekundy a nastavením ISO 800 s hodnotou clonového čísla 2.8 máme správné expoziční osvětlení scény, při dosažení snímkové rychlosti 1000 či 2500 nám intenzita osvětlení klesne až o 6,5 clony, což nutně potřebujeme vykompenzovat.

Z časových a finančních důvodů nebylo možné provést potřebné testy lamp, které by byly vhodné pro náš projekt.

Sešel jsem se proto s několika osvětlovači, kteří měli s vysokorychlostním natáčením již zkušenosti. Poté jsem hledal informace na internetu a v odborné literatuře. Z mých zjištění vyplynul jasný závěr založený na fyzikálním jevu: Denní i umělé zdroje jsou napájeny střídavým proudem, což znamená, že se žárovka rozsvítí a zhasne 50x za sekundu (viz. předchozí kapitola). Při záznamu rychlostí vyšší než 1000 snímků za sekundu se tento jev stává jasně viditelným a má za následek blikání zdroje. Nestačí proto světlo pouze "přidat", nýbrž potřebujeme takové, které nám nebude způsobovat vnímatelný pulsující efekt. Z důvodu úspory financí jsem byl nucen přemýšlet o levnější variantě umělých zdrojů. Ve výsledku proto budou ideální silné lampy, v nichž se wolframové vlákno během jednoho cyklu rozžhaví natolik, že nebude mít dostatek času na vychladnutí (zhasnutí) a zůstává tak z větší části horké. Tedy lampa se žárovkou o síle minimálně 5000 wattů. Díky tomuto jevu se zdá být světlo konstatní a neblíkající. Těmto komplikacím se můžeme vyhnout prací v exteriéru a využitím slunečního záření, které je vlastně nejlepším zdrojem pro natáčení vysokorychlostní technologií. Ne vždy nám to ovšem podmínky či vize projektu umožňují, a to byl i náš případ. Potřebovali jsme prostorné studio a světelný design, který se skládal z:

- 1x 10KW ARRI Tungsten Fresnel
- 2x 5KW ARRI Tungsten Fresnel
- 1x 2KW lanebeam
- 8x 1KW Par 64
- 6x Alu Frame 4x4 + 1/2 Frost
- 2x Combo Stand
- 1x Double Windup Stand
- 2x BigBen Stand
- 6x Cstand
- 8x 3KW dimmer
- 3x rozvodný box
- 1x rozvodný penál

## Tvorba scény

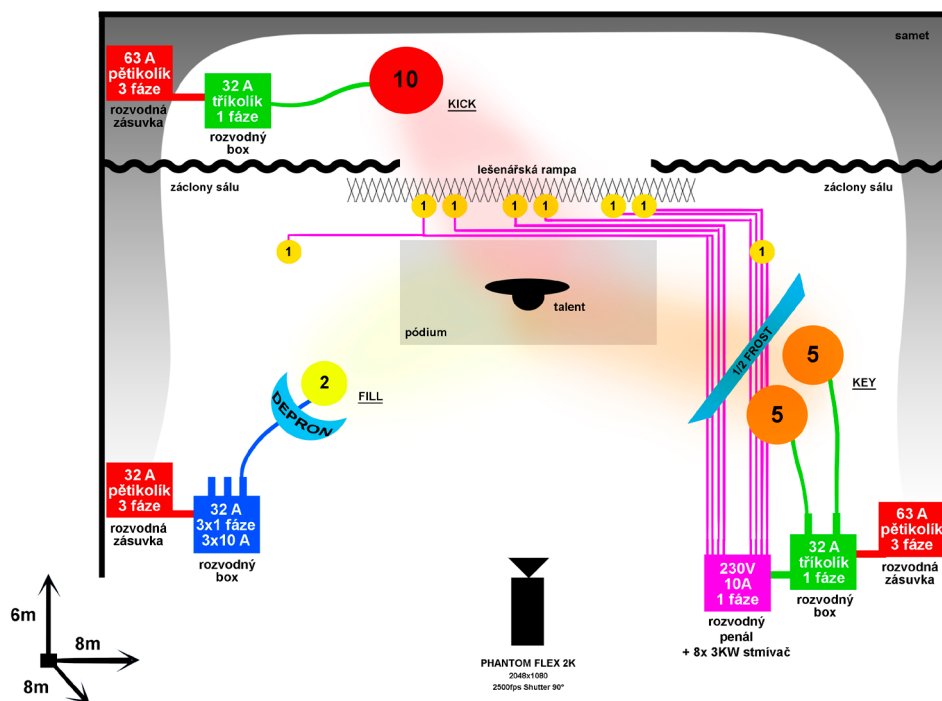
Realizace projektu proběhla po obhlídkách lokací v Institutu intermédií, Fakulty elektrotechnické ČVUT, který disponoval ateliérem vyhovujícím našemu účelu. Prostor o velikosti 8 x 8 x 6 m, černým sametem pokrytý úhel studia 180°, lešenářské trubky a konstrukce pro úchyt lamp na stropě a praktikábl k postavení potřebného pódia. Jak je možno vidět na plánu níže, světelné zdroje jsem rozmístil tímto způsobem: nejsilnější 10KW lampu jsem využil jako kontra pro hlavní protagonisty při vstupu na pódium; dva 5KW zdroje jsem umístil do pozice hlavních světel, kde procházely přes rám s frostem 4x4 (ne všechny záběry byly natočeny highspeedem, proto jsem záběry natočené na 25 fps svítil pouze jedním 5KW zdrojem společně se stáhnutou intenzitou 10KW kontra pro požadovaný světelný poměr); šest 1KW Par lamp jsem přimontoval na lešenářskou rampu pro simulaci kontra světla a také pro vizuální pocit kinosálu, další dva 1KW Par zdroje svítily z boku od země směrem do záclony jako light design a kvůli prohloubení prostorového plánu; 2KW lanebeam jsem využil jako doplněk pro vyvážení poměru osvětlení na obličejích herců.

Takto plně zapojené zařízení ovšem způsobovalo výpadek proudu. Problém byl v tom, že do budovy vedl třífázový proud, který je v ní dále distribuován po jedné fázi. Všechny zásuvky v ateliéru byly svedeny do té samé jedné fáze. Tím pádem nápor silných zdrojů, které nemohou být připojené přes stmívače, nýbrž natvrdo přímo do zásuvek (stmívače mohou ovlivnit pulsování světla), byl pro tento okruh nezvládnutelný.

Proto je velmi dobré si před natáčením projít konkrétní lokaci a přesně si vypočítat výkon proudu v síti. Potíže jsme vyřešili zapojením rozvodných boxů, které bylo potřeba dodatečně nafasovat, a připojení světel jsme přeorganizovali. Nakonec byla distribuce proudu upravena pomocí tří základních sektorů, ze kterých vedl rozvodný box a z něho případně rozvodný penál se stmívači. Tedy z jedné strany ateliéru z rozvodné zásuvky 63A pětikolík na

32A tříkolík jednofázový, který byl určen pouze pro jednu 10KW lampu (1KW = 6,3 A), dále ze strany druhé z rozvodné zásuvky 63A pětikolíku na 32A tříkolík jedno fázový, který byl určen pro napájení dvou 5KW zdrojů. Z něho byla možnost vést dodatečně rozvodný penál 230V, ke kterému byly připojeny stmívače pro osm 1KW Par světel.

Tyto slabší spoty jsem potřeboval pomocí stmívačů expozičně dorovnat se zbytkem light setupu, dalším důležitým faktorem byl nepřiliš velký dynamický rozsah čipu, který tento starší Phantom Flex vykazuje. Rozsah expozice bohužel není 14+ clon jako u dnešních digitálních kamer, nýbrž praktických 9 clon. Tím pádem je kontrastní poměr scény vyšší, než na jaký jsme běžně zvyklí. Je nutné s tím proto počítat. Určitá místa ve scéně jsou příliš tmavá a naopak určité body, například viditelný zdroj v kompozici, se na histogramu zobrazují vysoko přes hodnotu 100 %. Je tedy zapotřebí tento bod zkorigovat snížením jeho intenzity.




Obr. 56: Světelný plán ČVUT

Tento krok ovšem přináší jinou potíž, a to, že světlo v důsledku snížení plného výkonu – jinými slovy kvůli menšímu rozžhavení již výkonnostně slabšího wolframu způsobuje pulzování v obraze. Naštěstí tato “chyba” nebyla tak markantní a dá se jednoduše odstranit v postprodukcí pomocí speciálních plug-inů Frame blending nebo Deflicker. Obecně bych ale doporučoval, pokud chceme vidět “practicals” zdroje přímo v kompozici pro vytvoření světelného designu a atmosféry, využít silnějších lamp, alespoň 2 až 3KW, na jejich plný výkon a snižovat jejich intenzitu pomocí ND (Neutral Density) fólií.

Po levé straně byl poslední distribuční sektor 32A pětikolíku třífázový na rozvodný box 32A jednofázový pro případné užití dalších světel, převážně pak pro doplněk ve formě 2KW lanebeam odražený přes depronovou desku na vyvážení poměru oněch kontrastně tmavších ploch v obličejích herců a celkovém obraze.

Famufest spot přikládám jako ukázkový materiál k této práci na DVD.

**FAMU**  
  
**FEST**



Obr. 57 - 62: Famufest Spot

# PHANTOM FLEX 2K

Základní specifikace:

CMOS senzor  
12-bit Cine Raw  
Senzor 25.6 x 16 mm  
Rozlišení 2560 x 1440 pixelů  
Dynamický rozsah 10 clon  
Exposure Index 1000  
36 GB vysokorychlostní interní RAM  
Maximální rychlost v rozlišení 2560 x 1440 je 1617 fps  
Maximální rychlost v rozlišení 2048 x 1080 je 2564 fps  
Minimální snímková frekvence 24 fps  
Váha: 5,5 kg



Obr. 63: Kamera Phantom Flex 2K  
Obr. 64 a 65: Technický výkres Phantom Flex 2K





## Další zkušenosti

Další má zkušenost s vysokorychlostní technologií přišla při tvorbě reklamního spotu ve spolupráci s Mirage studiem. Přístup k této práci byl odlišný od mé předchozí zkušeností. Nejen že jsem měl již základní povědomí o přípravě před natáčením, ale i charakter a požadovaný výstup byl zcela specifický. Měl jsem za úkol vytvořit sérii záběrů ovoce padajícího do vody, ovoce ve vodě či jakákoli jiné kreativní alternativy, která působí čistě a svěže.

## Technický postup

Samotná realizace proběhla právě pod záštitou studia Mirage, které mi dalo k dispozici své prostředí a technické vybavení. I přes veškerý luxus jsem se snažil své nápady a zároveň set up scény uchopit jednoduše, jelikož času bylo velmi málo. Jeden den příprava, jeden den natáčení. První den jsem si celou scénu postavil a připravil podle svých potřeb a expozičně i kompozičně vyzkoušel na digitální fotoaparát. Ze světelného arzenálu jsem využil:

2x 9KW ARRI M90 Highspeed Open-Face/Faceted Reflector

2x 5KW ARRI Tungsten Fresnel Studio

2x Alu Frame 4x4 + ochranná tepelná fólie

2x 12'x12' Butterfly + Solid Silk

2x Cstand

2x Double Windup Stand

Z důvodu vysokých nároků na kvalitu a případný crop do obrazu jsem sáhl po kameře Phantom VEO 4K od americké firmy Vision Research. Po rychlých ranních testech byla uspokojivá snímací rychlost stanovena na 500 fps s úhlem závěrky 180°, ISO 1000, do maximálního 4K rozlišení 4096 x 2304 pixelů a negativního formátu Phantom Cine Raw (.cine). Původně jsem předpokládal rychlost snímání až 1000 fps, ovšem po poradě s klientem jsme se rozhodli, že poloviční rychlost je na akci padajícího ovoce dostačující. Nechtěli jsme v postprodukcí zrychlovat zbytečně mnoho záběrů. Dále nám toto rozhodnutí otevřelo možnost až 11 sekund akce v End Triggeru.

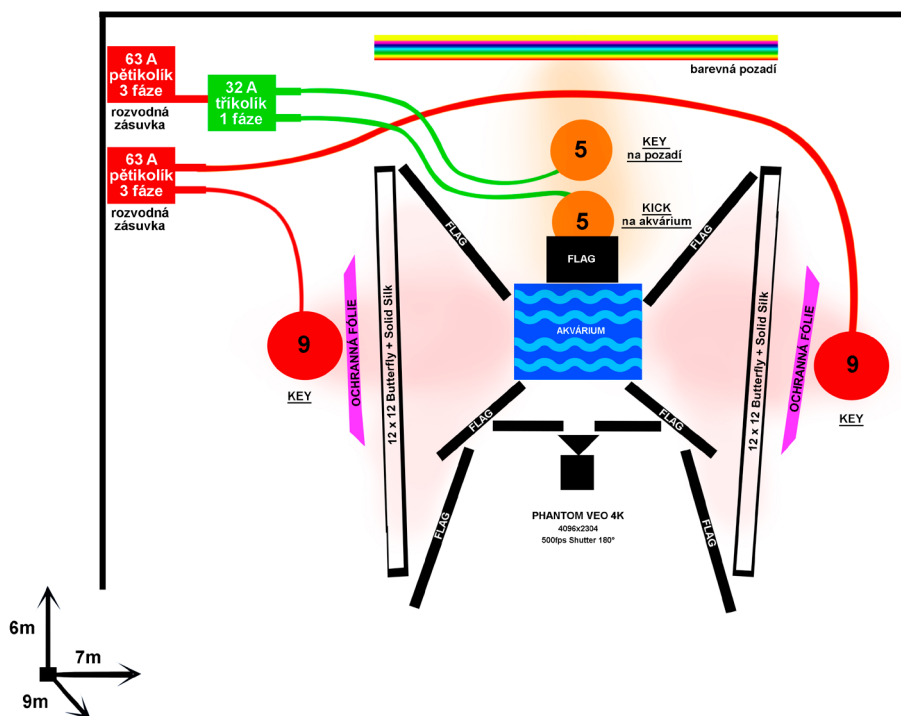
## Tvorba scény

Připravil jsem si akvárium o velikosti 40 x 30 x 25 cm na skleněný stůl, který byl položen pouze na velmi jednoduché, tenké konstrukci. Potřeboval jsem totiž do akvária svítit zezadu, pod úrovní dna, případně podsvítit jedním 5KW Tungsten Fresnel Studio, aby se ovoce oddělilo od pozadí a voda se při pohybu leskla. Tato pozice lamp byla nejvhodnější pro jejich ukrytí mimo kompozici. Nádrž jsem napustil filtrovanou destilovanou vodou, abych eliminoval mikronečistoty, které by při pohybu hladiny vody létaly všude kolem. Na dno jsem umístil speciální systém trubiček pro tvorbu bublinek s možností řízení míry proudění vzduchu hadičkami. Tento vizuální efekt můžeme využít pro pohyb vody, pohyb ovoce ve vodě či simulaci minerální vody/pramene. Musíme také myslet na malá „hejna“ bublinek, která se vytvářejí na stěnách skla akvária a vadí tak čistotě kompozice. Musíme je tedy pravidelně odstraňovat stěrkou na sklo. Dále jsem nakoupil několik druhů ovoce, převážně bio, protože tyto produkty vypadají vizuálně vždy o dost lépe. I přesto musíme po rozkrojení pečlivě vybírat, aby se přiblížily k pomyslné dokonalosti. Obecně bych ale po této zkušenosti s opravdovým ovocem doporučil nechat si speciálně vyrobit ovoce umělé. Bude vypadat nejdokonale, nerozpadne se po pár použitích, neokorá a nebude za žádných okolností špinit vodu, což ušetří spoustu času.

Prakticky jsme schopni udělat pouze tři až čtyři záběry ovoce ve vodě, než dužina začne opadávat a plavat po celém akváriu. Takové záběry jsou poté pro klienta nepoužitelné. Samozřejmě není problém drobné nečistoty v postprodukčním procesu vyretušovat. Nicméně jde o další zásah do rozpočtu. Proto je důležité vodu kontrolovat a případně vyměnit. Ovšem výměna a reset scény může trvat až patnáct minut. Pokud tento fakt promítnu do natáčecího plánu, jsme schopni vytvořit pouze cca šest variant jednoho typu záběru za hodinu. Z nich se možná vybere jeden finální. Jak je vidět, práce s velmi přesným házením ovoce do nádrže a udržování čisté vody je časově velmi náročná disciplína, a je proto nutné přizpůsobit harmonogram natáčení.

Jak můžeme číst z plánu níže, light set up jsem pojal velmi skromně. Zásadní bylo prosvítit akvárium tak, aby nebylo patrné sklo před kamerou a aby obraz působil reklamně „svěže”. Postavil jsem proto dvě 12’x12’ Butterfly + Solid Silk pro zjemnění intenzity světla, které jsem umístil na obě strany od nádrže. Za každou Butterfly svítila HMI M90 skrze rám s tepelně ochrannou fólií proti vznícení jemného silku. Pro kontrolu širokého toku difúzního světla bylo zapotřebí mnoho Floppů pro jeho vytvarování do potřebných míst tak, aby se ve skle neodrážela kamera nebo celé studio. Při natáčení vertikálního padání ovoce přímo na objektiv kamery jsem vyměnil větší nádrž za mělčí, cca 10 cm vysoké akvárium, a kameru na minijibu umístil pod něj, mezi nohy konstrukce. Jednu stranu Butterfly jsem poté otočil o 45° nad nádrž kvůli zakrytí stropu ateliéru a vytvoření neutrálního pozadí. Pro zpeštění scény jsem vytvořil různě barevná pozadí za akváriem, která jsem pro intenzivnější reprodukci vysvítal 5KW Tungsten Fresnel Studio lampou a prošťídával barvy podle toho, jaké ovoce bylo snímáno, a dle jejich spektrální odlišnosti pro nejvyšší barevný kontrast.

Reklamní spot přikládám jako ukázkový materiál k této práci na DVD.



Obr. 66: Světelný plán Mirage

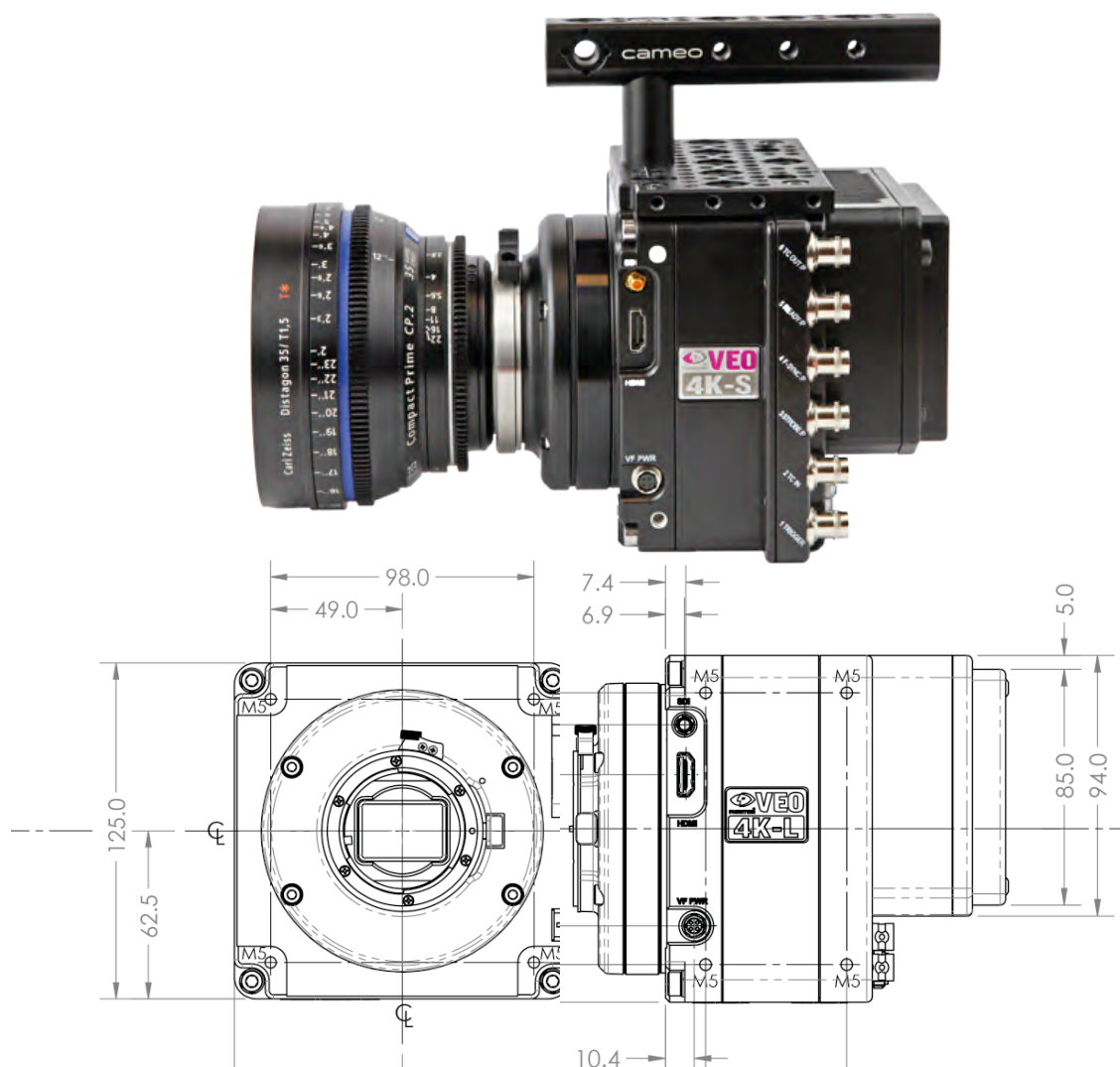


Obr. 67 - 72: Mirage Spot

# PHANTOM VEO 4K PL-RLS

Základní specifikace:

CMOS senzor  
12-bit Cine Raw  
Senzor 27.6 x 15.5 mm  
Rozlišení 4096 x 2304 pixelů  
Dynamický rozsah 12 clon  
Exposure Index 1000  
36 GB, 72 GB vysokorychlostní interní RAM  
Maximální rychlost v rozlišení 4096 x 2304 je 938 fps  
Maximální rychlost v rozlišení 2048 x 1080 je 1977 fps  
Minimální snímková frekvence 24 fps  
Váha: 2,5 kg



Obr. 73: Kamera Phantom VEO 4K  
Obr. 74 a 75: Technický výkres Phantom VEO 4K



# TESTY LED SVĚTELNÝCH ZDROJŮ HIGHSPEEDOVOU TECHNOLOGIÍ

V rámci této diplomové práce jsem provedl testy některých LED světelných zdrojů, které se běžně při natáčení place užívají, a podrobil je zkoušce způsobilosti ve vysokorychlostních podmínkách natáčení. Postup testu je následující:

V ateliéru jsem si připravil malé jednoduché zátiší, nejlépe takové, které bude obsahovat základní barvy spektra. Tedy stůl, na něm modrý ubrus/hadr, na něm zelený rendlík s červenými jablky, zelenou láhev a žluté banány. Vše jsem si poskládal do kompozice tak, abych vyplnil celý obraz. Vedle si na Cstand připravím velkou středně šedou tabulku, jednak kvůli jednotné expozici, jednak kvůli tomu, aby bylo možné spatřit rozdíly, rozsah a schéma případného blikání zdrojů. Všechny lampy poté otestuji na 1000 fps i 2500 fps s postupně snižující se intenzitou zdroje na dimmeru, tedy 100 %, 75 %, 50 %, 25 % tak, že si nasnímám pár sekund zátiší a poté pár sekund připravenou šedou tabulku. Tu pouze vložím do kompozice, aby mi zaplnila celé pole obrazu. Smyslem je poznat, jak moc je vidět případné blikání zdroje v reálném členitějším prostředí, kde se může relativně “schovat” a být tak méně rušivé, než právě na jednoduše ploše, kde bude určitě zřetelnější.

Testované LED zdroje:

Fiilex Q1000 Bi-Color

Cream Source Doppio Plus Bi-Color

Falcon Eyes RX-24 TDX LED Light 60x60 Bi-Color

Dedolight LED 9.1 Daylight

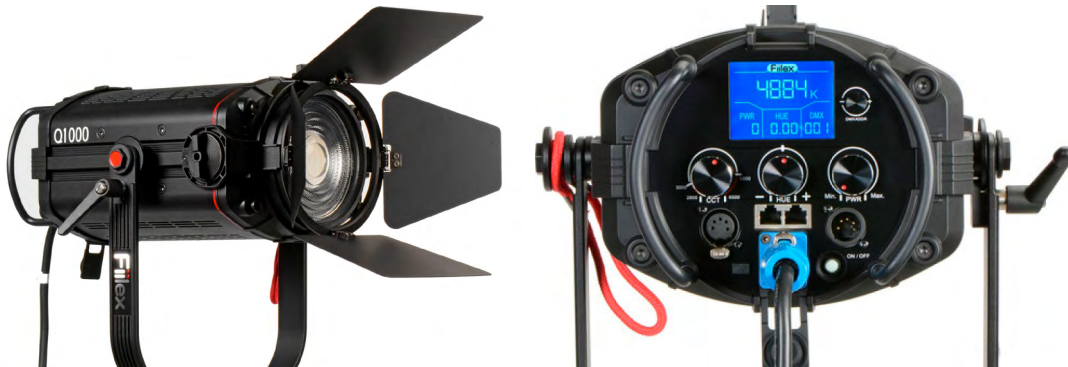
Sumolight Bi-Color

Litepanels Astra 6x Bi-Color

Záběry z testů přikládám jako ukázkový materiál k této práci na DVD.



## FILLEX Q1000 Bi-Color



340 W (ekvivalent wolframu 1500W - 2000W)  
 Rozměry (D x Š x V): 350 mm x 325 mm x 400 mm  
 CCT rozsah: 2800 - 6500K  
 Odstíny: ±.25 Magenta/Green  
 CRI: >96  
 Stmívání: 0 - 100%  
 LED: Dense Matrix LED  
 IP hodnocení: IP- 24 (Voděodolný)  
 Chladicí systém: Advanced Vapor Cooling System  
 Úhel paprsku: 32° - 55° (s 5" Fresnelovou čočkou)  
 10° - 25° (s 8" Fresnelovou čočkou)  
 LED Life: 42  
 Bi-Color: Ano  
 Hmotnost: 5,8kg  
 Vstupní napětí: AC napájení 100 - 240V AC, 50/60Hz, Max 185W

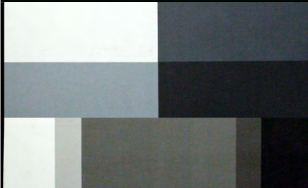

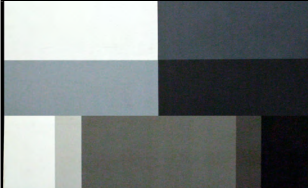

1000 fps	100 %	75 %	50 %	25 %	poznámka
	!!	X	X	X	X viditelné pulzování na jednoduché ploše
	!!	!!	!!	X	!! na členitější ploše je pulzování přijatelnější
2500 fps	100 %	75 %	50 %	25 %	poznámka
	X	X	X	X	X nepřijatelné
	!!	X	X	X	!! odstranění v postprodukcí X nepřijatelné



## Cream Source Doppio Plus Bi-Color



350 W (ekvivalent wolframu 1500W - 2000W)  
 Rozměry (D x V x H): 770 mm x 455 mm x 100 mm  
 CCT rozsah: 2700 - 6500K  
 Odstíny: ±.25 Magenta/Green  
 CRI: >95  
 Stmívání: 0 - 100%  
 LED: 140 LED diod  
 IP hodnocení: IP - 20  
 Chladicí systém: Pasivní (tichý)  
 Úhel paprsku: 13° spot  
 30°, 60° (difúzor pro roztažení paprsků)  
 LED Life: 70  
 Bi-Color: Ano  
 Hmotnost: 9,4kg  
 Vstupní napětí: AC napájení 90 - 260V AC, 50/60Hz, Max 350W

1000 fps	100 %	75 %	50 %	25 %	poznámka
	OK	!!	X	X	!! pravidelné pulzování, odstranění v postprodukcii
	OK	!!	X	X	!! pravidelné pulzování, odstranění v postprodukcii
2500 fps	100 %	75 %	50 %	25 %	poznámka
	X	X	X	X	X nepřijatelné
	!!	X	X	X	!! odstranění v postprodukcii X nepřijatelné

## Falcon Eyes RX-24 TDX LED Light 60x60



150 W  
 Rozměry (D x Š x H): 600 mm x 600 mm x 50 mm  
 CCT rozsah: 3000 - 5600K  
 Odstíny: Žádné  
 CRI: >95  
 Stmívání: 0 - 100%  
 LED: 756 LED diod  
 IP hodnocení: IP - 20  
 Chladicí systém: Žádný  
 Úhel paprsku: 10 - 360°  
 Bi-Color: Ano  
 Hmotnost: 3 kg  
 Vstupní napětí: AC napájení 15V 5A, 50/60Hz, Max 150W

1000 fps	100 %	75 %	50 %	25 %	poznámka
	!!	X	X	X	X viditelné pulzování na jednoduché ploše
	!!	!!	!!	X	!! příjemné, odstranění v postprodukcí
2500 fps	100 %	75 %	50 %	25 %	poznámka
	X	X	X	X	X příliš slabý zdroj, naprosto nevhodný pro 2500 fps
	X	X	X	X	X příliš slabý zdroj, naprosto nevhodný pro 2500 fps

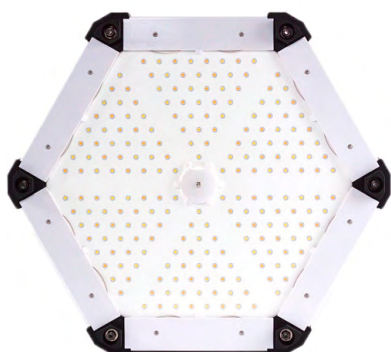
## Dedolight LED 9.1 Daylight



90 W  
 Rozměry (D x Š x H): 380 mm x 240 mm x 234 mm  
 CCT rozsah: 5600K (Daylight)  
 Odstíny: Žádné  
 CRI: >91  
 Stmívání: 0 - 100%  
 LED: dioda  
 IP hodnocení: IP - 40  
 Chladicí systém: Žádný  
 Úhel paprsku: 4 - 54° fokusovací  
 Bi-Color: Ne  
 Hmotnost: 3,7kg  
 Vstupní napětí: AC napájení 90 až 264 VAC, 50/60Hz, Max 90W

1000 fps	100 %	75 %	50 %	25 %	poznámka
	!!	X	X	X	!! odstranění v postproduci X nepříjemné
	!!	X	X	X	!! odstranění v postproduci X nepříjemné
2500 fps	100 %	75 %	50 %	25 %	poznámka
	!!	X	X	X	!! odstranění v postproduci X nepříjemné
	!!	X	X	X	!! odstranění v postproduci X nepříjemné

## Sumospace Light Bi-Color



400 W  
 Rozměry (D x Š x H): 510 mm x 560 mm x 100 mm  
 CCT rozsah: 2800 - 6500K  
 Odstíny: Žádné  
 CRI: >95  
 Stmívání: 0 - 100%  
 LED: 216 LED diod  
 IP hodnocení: IP - 40  
 Chladicí systém: Žádný  
 Úhel paprsku: 30°, 60°, 120°  
 (vyměnitelné optické čočky)  
 Bi-Color: Ano  
 Hmotnost: 5,5kg  
 Vstupní napětí: AC napájení 100 - 240V 5A, 50/60Hz, Max 400W

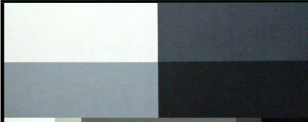

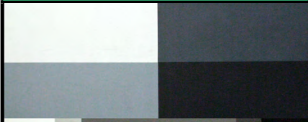

1000 fps	100 %	75 %	50 %	25 %	poznámka
	OK	!!	X	X	!! přijatelné X viditelné pulzování na jednotlivé ploše
	OK	OK	!!	!!	!! na členitější ploše je pulzování stále přijatelné
2500 fps	100 %	75 %	50 %	25 %	poznámka
	!!	X	X	X	!! odstranění v postprodukci X nepřijatelné
	X	X	X	X	X nepřijatelné



## Litepanels Astra 6x Bi-Color



105 W  
 Rozměry (D x Š x H): 450 mm x 413 mm x 134 mm  
 CCT rozsah: 3200 - 5600K  
 Odstíny: Žádné  
 CRI: >95 daylight 98 tungsten  
 Stmívání: 0 - 100%  
 LED: 256 LED diod  
 IP hodnocení: IP - 20  
 Chladicí systém: Pasivní/fén  
 Úhel paprsku: 46°  
 LED Life: 42  
 Bi-Color: Ano  
 Hmotnost: 3,2kg  
 Vstupní napětí: AC napájení 120 - 240V AC, 50/60Hz, Max 105W

1000 fps	100 %	75 %	50 %	25 %	poznámka
	X	X	X	X	X příliš intenzivní pulzování
	X	X	X	X	X příliš intenzivní pulzování
2500 fps	100 %	75 %	50 %	25 %	poznámka
	X	X	X	X	X příliš intenzivní pulzování
	X	X	X	X	X příliš intenzivní pulzování



# ZÁVĚR

Vysokorychlostní technologie je velmi užitečná v širokém spektru tvořivosti a zároveň součástí vizuální kultury ve filmovém a reklamním průmyslu, kde působí jako výrazových prostředek k interpretaci emocí či stylizaci efektu. Toto odvětví je velice specifické a proto vyžaduje důslednou edukaci nejzákladnějších pravidel, které je nezbytné si osvojit, ctít a respektovat, než se do samotné exekuce natáčení pustíme.

Jak je patrné z předešlých kapitol, zásadní a bezpodmínečná je příprava, která se nesmí za žádných okolností podcenit nebo zcela vypustit z příprav natáčení. Doporučuji provést vlastní testy nejen kamerové techniky v potřebných podmínkách či naplánování managementu zpracování, ukládání a zálohování dat a jejich rychlost přenosu pro šetření časového harmonogramu, ale i detailní zkoušku všech typů světelných zdrojů, které budeme na place používat, abychom dosáhli technicky správných výsledků.





# SEZNAM ZDROJŮ

[1] History Of The High Speed Camera (online červenec 2019)

Zdroj: <https://www.photonicsonline.com/doc/history-of-the-high-speed-camera-0001>

[2] High-Speed Photography (online červenec 2019)

Zdroj: <https://www.atomicheritage.org/history/high-speed-photography>

[3] The Tools and Techniques of High-Speed Cinematography (online červenec 2019)

Zdroj: [http://www.photosonics.com/high\\_speed\\_article\\_by\\_conrad\\_kiel.html](http://www.photosonics.com/high_speed_article_by_conrad_kiel.html)

[4] Zdroj: The Science of Imaging An Introduction by Graham Saxby - © IOP Publishing 2002

ISBN 0 7503 0734 X

[5] Ultra-Fast Data Storage System CineMag, CineStation (online červen 2019)

Zdroj: <https://www.directindustry.com/prod/vision-research/product-60001-405484.html>

[6] Zdroj: Cinematography Theory and Practice 2nd Edition by Blain Brown - © 2012 Focal Press, Elsevier Inc. ISBN 978 0 240 81209 0

[7] Peklo (Dante) (online červenec 2019)

Zdroj: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Peklo\\_\(Dante\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Peklo_(Dante))

8) Cinematography Theory and Practice 1st Edition by Blain Brown - © 2016 Focal Press, Elsevier Inc. ISBN 113 8 940 925

9) Digital Cinema: The Revolution in Cinematography, Postproduction, and Distribution by Brian McKernan © 2005 by The McGraw-Hill Companies, Inc. ISBN 007 146700 9

10) Digital Cinematography: Fundamentals, Tools, Techniques, and Workflows by David Stump, ASC © 2014 Focal Press ISBN 978 0 240 81791 0

11) Scientific Photography and Applied Imaging by Sidney Ray © 1999 CRC Press ISBN 113 609 4377



# PODĚKOVÁNÍ

Žádný filmový projekt se neobejde bez dávky podpory od ostatních členů štábu, kde by pouhá snaha jedince znamenala velmi málo. Při tvorbě této diplomové práce tomu nebylo jinak. Rád bych tímto poděkoval za Vaši oporu, cenné rady a ochotu, jmenovitě:

Martin Šec, Antonín Weiser, Studio Mirage - Michal Povolný a Martin Kosina, Jitka Ročňová, Václav Filáček, Studio Famu, Stanislav Klika, Jan Chajewski.



