

# **Posouzení vlivu pokročilých kompresních algoritmů v moderních kamerových systémech**

Bc. David Prachař

---

Diplomová práce  
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---



# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. David Prachař**  
Osobní číslo: **A17342**  
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Posouzení vlivu pokročilých kompresních algoritmů v moderních kamerových systémech**

Téma anglicky: **An Impact Assessment of Advanced Compression Algorithms in Modern Camera Systems**

## Zásady pro vypracování:

1. Nastudujte problematiku moderních kompresních algoritmů bezpečnostních kamer včetně proprietárních standardů H.264+, H265+ či Zipstream.
2. Navrhněte metodiku analýzy kvality výstupu bezpečnostních kamer v typizovaných prostředích při zachování subjektivní kvality obrazu.
3. Proveďte praktické zkoušky vybraných zástupců IP kamer v definovaných prostředích v dostupných kompresních algoritmech.
4. Získaná data analyzujte do úrovně jednotlivých parametrů videostreamů, zhodnoťte přínos a kompatibilitu tzv. inteligentních kompresí.
5. Výsledky analýz přehledně zpracujte do grafů a proveďte vyhodnocení s ohledem na generovaný datový tok a dosaženou kvalitu přenosu.
6. Navrhněte matematické algoritmy pro predikci šířky datových toků analyzovaných kompresních algoritmů pro jednotlivá typizovaná prostředí.
7. Vytvořte v libovolném programovacím jazyce na základě získaných dat a navržených algoritmů kalkulátor nároků na datové úložiště a zatížení počítačové sítě.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. LUKÁŠ, Luděk. **Bezpečnostní technologie, systémy a management II.** Zlín: Radim Bačuvčík – VeRBUm, 2012. ISBN 978- 80-87500-19-4.
2. LUKÁŠ, Luděk. **Bezpečnostní technologie, systémy a management IV.** Zlín. Radim Bačuvčík – VeRBUm, 2014. ISBN 978- 80-87500-57-6.
3. Shadid, Muhammad. **Methods for Objective and Subjective Video Quality Assessment and for Speech Enhancement.** Karlskrona, Sweden. Blekinge Institute of Technology, 2014. ISBN: 978-91-7295-294-2.
4. SLANINA, Martin. **Methods and tools for image and video quality assessment.** [Brno: University of Technology], 2009. **Vědecké spisy Vysokého učení technického v Brně. PhD Thesis.** ISBN 978-80-214-3941-2
5. CARNEC, Mathieu, LE CALLET Patrick, BARBA Dominique. **Objective quality assessment of color images based on a generic perceptual reduced reference,** *Signal Processing: Image Communication (2008)*, doi:10.1016/j.image.2008.02.003
6. **ČSN EN 62676-1-1 Dohledové videosystémy pro použití v bezpečnostních aplikacích. Část 1-1, Systémové požadavky – Obecně.**
7. **ČSN EN 62676-1-2 Dohledové videosystémy pro použití v bezpečnostních aplikacích. Část 1-2, Systémové požadavky – Výkonové požadavky na video přenos.**
8. **ČSN EN 62676-2-1 Dohledové videosystémy pro použití v bezpečnostních aplikacích. Část 2-1, Video přenosové protokoly – Obecné požadavky.**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Stanislav Kovář**

Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**30. listopadu 2018**

Termín odevzdání diplomové práce:

**17. května 2019**

Ve Zlíně dne 14. prosince 2018

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.  
*děkan*



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.  
*ředitel ústavu*



**Jméno, příjmení:** Bc. David Prachař

**Název diplomové práce:** Posouzení vlivu pokročilých kompresních algoritmů v moderních kamerových systémech

### **Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 10. května 2019

.....  
Bc. David Prachař, v.r.



## **ABSTRAKT**

Diplomová práce si klade za cíl exaktně změřit vliv používání moderních kompresních algoritmů v oblasti kamerových systémů. Jako metriky měření budou využity parametry datového toku a objektivní metody měření kvality obrazu, tak jak je definují standardy ITU-T. Výstupem navržené metodiky měření bude vytvořený program simulující průběh datového toku v definovaném prostředí s následným výpočtem zatížení počítačové sítě a potřebného datového úložiště.

Klíčová slova: Kamerové systémy, kompresní algoritmus, H.264/AVC, H.265/HEVC, datový tok, kvalita videa, experiment, regresní analýza

## **ABSTRACT**

This Master's thesis aims to precisely measure the influence of advanced compression algorithms in the field of CCTV systems. Bitstream parameters and objective methods of measuring image quality defined by ITU-T standards will be used as measurement metrics.

The output of the proposed measurement methodology will be a simulation software calculating the data flow in a defined environment followed by computing the load on the networks and secondly the necessary hard-drive storage.

Keywords: Video Surveillance Systems, Compression algorithms, H.264/AVC, H.265/HEVC, Data flow, Video quality, Experiment, Regression analysis

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Stanislavu Kovářovi za odborné rady a podnětné připomínky k obsahu a zpracování práce.

Děkuji Dr. Mathieu Carnecovi a prof. Dominique Barbovi z výzkumného týmu Image Perception Interaction laboratoří LS2N z Université de Nantes za zapůjčení analytického software AccepTV Video Quality Monitor, paní Lii Machini a Alexovi Tsoy z firmy Elecard za poskytnutí licence programu StreamEye, pánům Aleši Dostálovi z firmy Schneider Electric, Ing. Petru Domagalskému M.B.A. z firmy Bosch Security Systems, Ing. Tomáši Chumchalovi z firmy AXIS Communications a Ing. Marku Pirklovi ze společnosti Hikvision Europe B.V. za poskytnutí technického vybavení pro realizaci experimentů v reálném prostředí.

Děkuji své rodině, především manželce Bohdaně, synovi Maximovi a rodičům za jejich neustávající podporu a trpělivost, kterou projevovali po celou dobu mého studia.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.





# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>12</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>13</b>
<b>1 KOMPRESSE OBRAZU PRO VSS</b> .....	<b>14</b>
1.1 Evoluce kompresních algoritmů.....	16
1.2 Vývoj ztrátových obrazových kompresních algoritmů .....	16
1.3 Kódování chromatické informace v obraze .....	19
1.4 H.264 / MPEG-4 Part 10 AVC.....	23
1.5 H.265 / MPEG-H HEVC.....	28
1.6 Proprietární kompresní algoritmy .....	32
1.6.1 AXIS Zipstream H.264 .....	32
1.6.2 DAHUA H.264+ a H.265+ .....	34
1.6.3 Hikvision H.264+ a H.265+ .....	37
<b>2 METODY MĚŘENÍ KVALITY MULTIMEDIÁLNÍCH DAT</b> .....	<b>40</b>
2.1 Vazba na ČSN .....	40
2.2 Metody hodnocení kvality.....	44
2.3 Standardizace subjektivních metod.....	44
2.4 Standardizace objektivních metod .....	45
2.5 Objektivní metody pro NR zdroje signálu .....	46
2.6 Praktická aplikace subjektivního hodnocení .....	47
2.7 Interpretace MOS .....	49
2.8 Elecard StreamEye .....	51
2.8.1 Elecard ePSNR.....	56
2.9 AcceptTV Video Quality Monitor .....	56

<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>60</b>
<b>3 PROVÁDĚNÍ ZKOUŠEK .....</b>	<b>61</b>
3.1 Metodika testování .....	61
3.2 Prostředí .....	62
3.3 Úroveň osvětlení .....	63
3.4 Výběr kamer .....	64
3.4.1 AXIS Q1647 .....	66
3.4.2 BOSCH NBE-6502-AL .....	69
3.4.3 DAHUA IPC-HDBW81230E-Z .....	71
3.4.4 HIKVISION DS-2CD5A85G0-IZS .....	73
3.4.5 PELCO IBE-229-1R .....	75
3.5 Průběh zkoušek a evaluace získaných výsledků .....	77
3.5.1 AXIS Q1647 .....	78
3.5.2 BOSCH NBE-6502-AL .....	85
3.5.3 DAHUA IPC-HDBW81230E-Z .....	92
3.5.4 HIKVISION DS-2CD5A85G0-IZS .....	99
3.5.5 PELCO IBE-229-1R .....	105
<b>4 INTERPRETACE VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK .....</b>	<b>110</b>
4.1 Návrh algoritmu predikce šířky datového toku .....	110
4.1.1 Gompertzova funkce .....	111
4.1.2 Logistická funkce .....	112
4.1.3 Logaritmická funkce .....	113
4.1.4 Lineární lomená funkce .....	114
4.2 Metoda regresní analýzy .....	115
4.3 Výsledky aproximace průběhů křivek .....	133

<b>5</b>	<b>HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ</b> .....	<b>136</b>
5.1	Vliv zvolené komprese dle prostředí.....	136
5.2	Dopad prostředí na efektivitu komprese .....	137
<b>6</b>	<b>VÝVOJ PROGRAMU</b> .....	<b>146</b>
6.1.1	Inverzní funkce.....	146
6.1.2	Vliv pohybu na průměrný datový tok .....	146
6.2	Návrh kalkulátoru.....	150
6.2.1	Požadavky na kalkulátor .....	151
6.2.2	Grafický návrh .....	151
6.2.3	Simulátor programu .....	152
6.2.4	Finální podoba programu .....	153
6.2.5	Ověření zdrojového kódu pomocí validátoru W3C .....	154
	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>155</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>156</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>160</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>165</b>
	<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>168</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>172</b>

## ÚVOD

Moderní kamerové systémy s bezpečnostními kamerami se snímači o rozlišeních 1080p, 1440p či 4K profitují z pokročilých způsobů přenosu a záznamu obrazových dat. Klíčovou roli zde sehrávají algoritmy hybridních kompresí videosignálu, navržené za účelem maximálně efektivního snížení množství přenášených a zaznamenávaných dat. Kromě účinného snížení datových toků je charakteristickou vlastností každého moderního kompresního algoritmu snaha o maximální zachování subjektivní kvality a informační hodnoty obrazu.

Všechny dnes používané komprese obrazu využívají ztrátové algoritmy. To nutně přináší jistou degradaci kvality obrazu a při posuzování dopadu této komprese je řadou metod hodnoceno a měřeno, kdy a do jaké míry ovlivňuje toto snížení kvality úroveň prožitku pozorovatele.

Řada kompresních metod využívá nedokonalosti lidského zraku, kdy se pracuje se snímkovací rychlostí či se využívá nižší responsibility lidského oka na barvonosnou složku obrazu. Tyto metody se nazývají metodami psychovizualními. U moderních kompresních algoritmů je doplňují ještě metody využívající podobnosti (tedy opakujících se vzorů) v obraze a časově závislé metody, které redukuje similarity mezi jednotlivými přenášenými snímky.

Tato diplomová práce si klade za cíl popsat a prakticky ověřit vliv moderních kompresních algoritmů při aplikaci v kamerových systémech, realizovat formou experimentu měření vybraných výrobců kamer a následně ze zjištěných dat vytvořit nástroj pro predikci zatížení počítačové sítě a datového úložiště při očekávané subjektivní kvalitě obrazu v definovaném prostředí.

Přínos této práce spočívá především v zahrnutí pokročilých proprietárních kompresních algoritmů největších výrobců bezpečnostních kamer a exaktní metodice, která se liší od predikovaných hodnot, které dnes dostupné kalkulátory datového toku bezpečnostních kamer běžně nabízí.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**



## 1 KOMPRESSE OBRAZU PRO VSS

Již před příchodem digitálního zpracování obrazu bezpečnostních kamer stála před výrobcí otázka, jak získaná obrazová data nejen zpracovat, ale také jak je ukládat, zobrazovat a případně přenášet či dlouhodobě archivovat.

Systémy využívající v 80. a 90. letech pomaloběžné VHS<sup>1</sup> a S-VHS<sup>2</sup> rekordéry umožňovaly na jednu standardní 120 minutovou kazetu uložit nahrávku o délce neuvěřitelných 960 hodin. Při využití multiplexoru bylo reálné současně zaznamenávat tímto způsobem až 16 zdrojů kompozitního obrazu bezpečnostních kamer. Kvalita takového záznamu byla z dnešního pohledu tristní, na úrovni 240 řádkového prokládaného barevného obrazu v režimu VHS, resp. 400 TVL<sup>3</sup> při využití standardu S-VHS. Dosahovaná snímkovací rychlost atakovala při maximálním využití kapacity S-VHS pásky a při připojení 16 kanálového multiplexoru hodnotu 1 obrazový snímek za 45 vteřin. Magnetická páska v tomto režimu běžela rychlostí pouhých 11 mm/vteřinu. [1]



Obr. 1: Pomaloběžný S-VHS rekordér Panasonic AG-6740 [1]

V kontrastu s uvedenými parametry time-lapse VHS rekordérů zaznamenával první komerčně využívaný digitální rekordér Dallmeier DMS-80 z roku 1992 obraz současně z 18 připojených kamer na pevný disk o kapacitě 100MB rychlostí 1 snímek za vteřinu v rozlišení

<sup>1</sup> Video Home System, standard domácího videa vyvinutý firmou JVC v roce 1976

<sup>2</sup> Super VHS, rozšíření standardu VHS představené firmou JVC v roce 1987

<sup>3</sup> TeleVision Lines - počet zobrazovaných televizních řádek, udává rozlišení u analogových systémů

až 570 TVL. Vzhledem k omezenému výpočetnímu výkonu použitého procesoru Intel 80486 běžícího na frekvenci 33 MHz využíval pro záznam obrazu snímkové komprese MJPEG<sup>4</sup>, později rozšířené o tzv. Wavelet<sup>5</sup> modulaci zvyšující subjektivní kvalitu obrazu při zachování akceptovatelných požadavků na datové uložení. [2]



Obr. 2: Digitální rekordér DMS-80 z roku 1992 [3]

Moderní kamerové systémy, ať již hovoříme o koaxiálních analogových standardech AHD, HD-CVI a TVI<sup>6</sup>, stejně jako plně digitální systémy využívající IP kamery, dnes v největší míře využívají k záznamu obrazu kompresní algoritmy MPEG-4 Part.10 AVC dle ISO/IEC<sup>7</sup>, resp. H.264 dle označení ITU-T<sup>8</sup>. S dostupností výkonných HW encoderů se nyní prosazuje úspornější a na zpracování náročnější kodek MPEG-H/H.265. Výrobci IP kamer a HDCVI/TVI rekordérů též využívají, především za účelem snížení datového toku u IP kamer s vysokým rozlišením, proprietární modifikace těchto kodeků.

<sup>4</sup> Motion JPEG, komprese videa formou samostatných JPEG snímků

<sup>5</sup> Metoda matematického rozkladu signálu pomocí funkce z tzv. Hilbertova prostoru

<sup>6</sup> Proprietární standardy HD videa (dnes až 4K) s analogovou modulací přenášeného signálu

<sup>7</sup> Mezinárodní organizace pro normalizaci (ISO) a Mezinárodní elektrotechnická komise (IEC)

<sup>8</sup> Skupina Telekomunikační standardizace Mezinárodní telekomunikační unie (ITU-T)

## 1.1 Evoluce kompresních algoritmů

Vzhledem k zaměření bezpečnostních kamerových systémů byla klíčovou vlastností také schopnost provozu VSS<sup>9</sup> tzv. v reálném čase, kdy živý obraz poskytuje operátorům VSS možnost okamžité reakce. Vývoj VSS kamerových systémů šel při zpracování digitálního obrazu souběžně s rozvojem kompresních algoritmů z jiných odvětví výpočetní techniky a úzce souvisel právě s potřebou obraz zaznamenávat a analyzovat úsporně.

Dostupnost integrovaných systémů a rostoucí výkon počítačů přináší v průběhu devadesátých let zásadní změny v oblasti VSS. Především dostatečný výkon pro digitalizaci obrazu a rostoucí kapacita pevných disků umožňovaly využívat výhod digitálního záznamu. Využití výpočetní techniky v oblasti kamerových systému urychlil příchod prvních digitalizačních karet vybavených výkonnými A/D převodníky a HW kompresí obrazu.

V devadesátých letech již existoval základ pro ztrátovou kompresi videodat založený na proudovém vysílání, rozvíjený od poloviny 80. let pro účely přenosu televizního vysílání a využití v telekomunikacích pro telekonferenční hovory. Hlavní aktivity byly v této oblasti realizovány skupinou telekomunikační standardizace Mezinárodní telekomunikační unie (ITU-T) společně s týmy Mezinárodní organizace pro normalizaci (ISO) a Mezinárodní elektrotechnické komise (IEC).

Mezinárodní telekomunikační unie ITU<sup>10</sup> je specializovanou agenturou OSN v oblasti telekomunikací, informačních a komunikačních technologií. ITU-T je stálý standardizační orgán pro telekomunikace zodpovědný za studium technických a provozních aspektů přenosu multimediálního obsahu a vydávání doporučení s cílem vytváření standardů pro telekomunikace v celosvětovém měřítku.

## 1.2 Vývoj ztrátových obrazových kompresních algoritmů

První pokusy o vytvoření algoritmu pro kompresi proudu videodat v roce 1984 souvisí s odbornou skupinou COST 211 výboru CCITT<sup>11</sup>. Standard byl pojmenován H.120, ale nebyl nikdy prakticky využit. S cílem využít potenciálu H.120 byla zformována technická skupina

---

<sup>9</sup> Video Surveillance Systems – dohledové videosystémy, dřívější zkratka CCTV, označení dle ČSN EN 62676

<sup>10</sup> International Telecommunications Union - Mezinárodní telekomunikační unie

<sup>11</sup> Consultative Committee for International Telephony and Telegraphy - Poradní výbor pro mezinárodní telefonii a telegrafii, v roce 1993 přejmenován na ITU-T

ITU-T VCEG<sup>12</sup>, která stojí za vznikem prvního prakticky využitého ztrátového kompresního algoritmu pro digitální linky ISDN<sup>13</sup> H.261 v roce 1988. Tento kodek byl navržen pro digitální obousměrný přenos ve videokonferenčních systémech maximální rychlostí 2Mbps. Následně vzniká skupina MPEG<sup>14</sup>, která v roce 1993 vydává první verzi standardu MPEG-1, který kombinuje vlastnosti systému pro kompresi statických snímků JPEG<sup>15</sup> a kodeku H.261. Limitem tohoto kodeku byl datový tok 1.5 Mbps a pouze dvoukanálové audio. Až do dnešních dnů obě expertní skupiny VCEG a MPEG existují a spolupracují. Skupina MPEG se angažuje v oblasti broadcasting (digitální televizní vysílání), zatímco ITU VCEG se dále zaměřuje na telekomunikační standardy. [4]

Specifikace kompresních algoritmů se dělí na základní části s označením Part 1 až Part 3. Výjimku tvoří rodina kodeků MPEG-4, která pokračuje v další generaci kodekem H.264 s označením MPEG-4 Part 10. Jednotlivé části zahrnují definici standardu z pohledu struktury souborů a dat (Part 1), specifikaci vlastní videokomprese (Part 2) a komprese audia (Part 3). Například známý audio formát MP3 je MPEG-1 Part 3 Layer III. Zmatek do značení kompresních algoritmů vnáší spolupráce zmiňovaných skupin, kdy některé typy kompresí jsou označovány terminologií MPEG i ITU VCEG současně –např. MPEG-1 Part 2 dle MPEG a H.261, jak jej označuje ITU VCEG.

Technologický zlom nastává v roce 1999 s příchodem další skupiny kodeků s označením MPEG-2, který se stal základem pro digitální přenos televizního signálu, distribuci obrazu i záznam na DVD nosičích. Systémová specifikace MPEG-2 Part 1 se dělí na podčásti PS a TS<sup>16</sup>, Part 2 je alternativně označen jako H.262, audio vrstvu tvoří stejná skupina jako u MPEG-1, pouze Part 3 Layer III (MP3) byl rozšířen o podporu 5.1 kanálového audia. MPEG-2 skupina kodeků má pro audio také samostatnou definiční skupinu s označením Part 7 s implementací audio kodeku AAC<sup>17</sup>.

V roce 2004 přichází v pořadí již třetí skupina kompresních formátů MPEG, s označením MPEG-4. Podobně jako u předchozích verzí skupiny MPEG a ITU VCEG spolupracují na

---

<sup>12</sup> Video Coding Expert Group - Expertní skupina pro kódování videa

<sup>13</sup> Integrated Services Digital Network - Digitální síť integrovaných služeb

<sup>14</sup> Moving Pictures Experts Group - Skupina odborníků pro video

<sup>15</sup> Joint Photographic Experts Group - Společná expertní skupina pro fotografie

<sup>16</sup> Program Stream, Transport Stream

<sup>17</sup> Advanced Audio Coding – Pokročilé kódování audia

vývoji tohoto kodeku a proto se můžeme setkat s označením MPEG-4 i H.263, která je označením podskupiny MPEG-4 Part 2 pro video. Pro audio se ujal kodek AAC s označením MPEG-4 Part 3. Postupným vývojem a evolucí kodeků vzniklo téměř 30 podskupin algoritmu, z těch zásadních je nutno zmínit MPEG-4 Part 10 AVC<sup>18</sup>, známější pod označením H.264. Jedná se v současnosti o nejrozšířenější typ komprese videa, najdeme jej také u disků Blue-ray či v rámci DVB-S2<sup>19</sup> a DVB-T2<sup>20</sup> vysílání.

Tab. 1: Vývoj ztrátových obrazových kompresních algoritmů [5]

Rok	MPEG	ITU VCEG	Skupina	Profil	Označení
1984	-	H.120	-	-	
1988	-	H.261	-	-	
1993	MPEG-1	H.261	Part 1	System	
			Part 2	Video	VCD
			Part 3	Audio	Layer III/MP3
1999	MPEG-2	H.262	Part 1	System	PS, TS
			Part 2	Video	
			Part 3	Audio	MP3/MP3 5.1
			Part 7	Audio	ACC
2004	MPEG-4	H.263	Part 1	System	
			Part 2	Video	
			Part 3	Audio	AAC
			Part 10	Video	AVC
2013	MPEG-H	H.265	Part 14	Kontejner	MP4
			Part 1	System	
			Part 2	Video	HEVC
			Part 3	Audio	AAC

Zatím poslední skupinou kodeků je v roce 2013 představený MPEG-H, známější pod označením H.265 HEVC<sup>21</sup>. Tento moderní formát je připravený i na budoucí použití, jelikož

<sup>18</sup> Advanced Video Coding – Pokročilé kódování videa

<sup>19</sup> Digital Video Broadcasting – Satellite, Digitální vysílání přes satelit

<sup>20</sup> Digital Video Broadcasting – Terrestrial, Pozemní digitální vysílání

<sup>21</sup> High Efficiency Video Codec



podporuje rozlišení obrazu až 8K (8192x4320 pixelů), 12-bitovou barevnou hloubku, podporu 4:4:4 chroma sub-samplingu a framerate až 300 fps<sup>22</sup>. [5]

### Vazba na normy řady ČSN EN 62676

V rámci ČSN EN IEC 62676-5 Dohledové videosystémy pro použití v bezpečnostních aplikacích – Část 5: Specifikace dat a kvalita obrazu pro kamerová zařízení z března 2019 se v části o standardech pro kamerové systémy hovoří o H.264/MPEG-4 AVC ve vztahu k standardizaci ISO/IEC 14496-10, kde je H.264 uváděn jako standard podporující kompresi videa (kódování) pro přenos HD video aplikací s téměř bezztrátovým kódováním v sítích s omezenou propustností, optimalizovaný pro prezentaci videa pomocí sítě. H.265/MPEG-H HEVC je pak uveden jako standard kódování videa dle normy ISO/IEC 23008-2, MPEG-H část 2 s popisem vysokovýkonného kódování videa (HEVC), které poskytuje dvojnásobný poměr komprese dat H.264 při stejné kvalitě obrazu. [6]

## 1.3 Kódování chromatické informace v obraze

Pro pochopení způsobu kódování přenosu barev v moderních digitálních systémech jsou klíčovými pojmy termíny YUV, YCC a YPbPr a YCbCr (či také Y'UV a Y'CbCr). Často dochází k nepochopení a záměnám uvedených termínů.

Všechny uvedené zkratky jsou označením systémů popisujícího kódování jasové a barevné složky signálu u analogových televizních přenosových soustav dle CIE<sup>23</sup>. Díky snadné konverzi na lineární systém RGB a především díky úspornému řešení při přenosu barevné složky je YUV stále využíván při kódování digitálního videa.

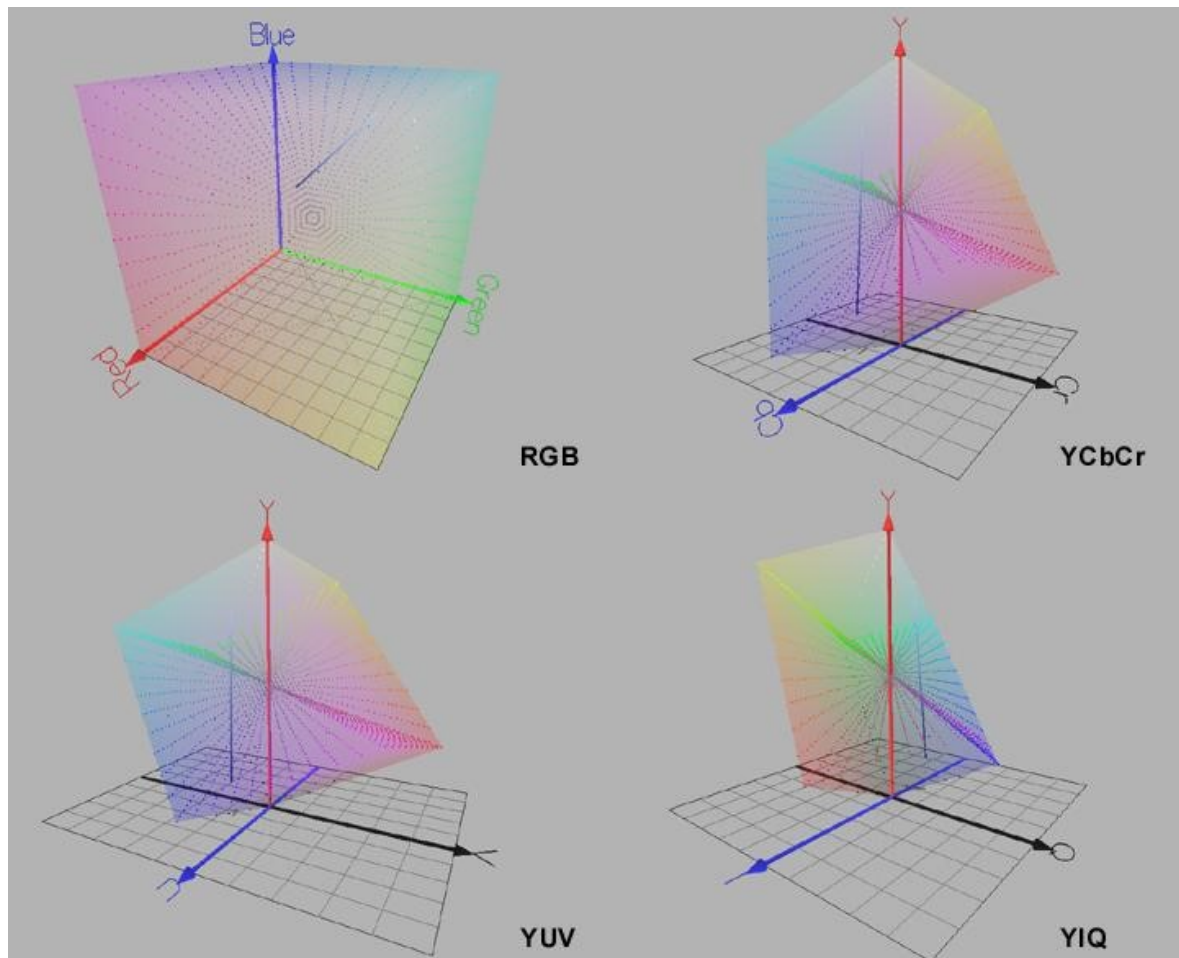
Při zahájení barevného vysílání v padesátých letech v USA bylo nutné najít technické řešení, které bude zpětně kompatibilní s černobílým přenosem a současně zajistí technickou specifikaci pro přenos barevné složky obrazu. Černobílý přenos měl pro každý bod obrazu definovanou pouze luminanční (jasovou) složku. Ta je v YUV modelu označována jako „Y“.

S příchodem barevného vysílání bylo nutné rozdělit původní kapacitu kanálu určeného pouze pro jasovou složku na složku jasovou a chromatickou – barvonosnou. To je u systému

<sup>22</sup> Frames per second – snímků za vteřinu

<sup>23</sup> Commission internationale de l'éclairage - Mezinárodní komise pro osvětlení

NTSC realizováno pomocí tříprvkového vektoru YUV, kde Y je jasová složka a U, V jsou složky barvonosné. Jelikož je lidské oko výrazně citlivější na změnu jasu, bylo pro jasovou složku ponecháno širší frekvenční pásmo než pro složky chromatické, kdy se tento systém využil i při digitální interpretaci barevného prostoru definovaného YUV modelem, kde se pro luma složku využívá větší část přenosu než pro složku chrominanci-barvonosnou. [7]



Obr. 3: Interpretace barevného prostoru pomocí různých modelů [7]

YPbPr označují použití YUV modelu v analogovém televizním vysílání, kdy Pb a Pr složky odkazují na chromatickou informaci modrého a červeného kanálu, YCbCr je používán jak pro označení chromatického modelu v TV a digitálních systémech, Y'UV, resp. Y'CbCr pak popisuje YUV model v linearizovaném RGB prostoru, kdy luma složka Y je nahrazena luma hodnotou Y'. V případě digitálních systémů bychom tedy měli hovořit o modelu Y'UV, resp. Y'CbCr. YCC je pak zkrácenou podobou Y'CbCr a zkratky jsou tak záměnné.

Proč je způsob kódování informace pro účel této diplomové práce významný? Jak již bylo řečeno, digitálně přenášené video je stále vnitřně kódováno pomocí modelu YUV. Lidské oko je výrazně citlivější na změny jasové složky než složky barevné a to platí i pro obraz komprimovaný, kdy lze bez ztráty subjektivního pocitu kvality použít silnější kompresi u chromatické složky obrazu, než u složky jasové. To je současně důvod, proč není video přenášeno v modelu RGB<sup>24</sup>, podobně jako fotografie, ale právě pomocí YUV.

### Vzorkovací schémata

Definice vzorkovacího schématu popisuje poměr mezi jasovou složkou Y a barvonosnými složkami U a V. Značí se jako 4:4:4, 4:2:2, 4:1:1, případně 4:2:0. Důvod, proč je použita jako základní jednotka číslo 4 je historické hledání kompatibilního dělitele pro NTSC<sup>25</sup> a PAL<sup>26</sup> normu pro rozdělení luma a chroma složek v šířce frekvenčního pásma nosného kanálu. Jelikož standardní definice u černobílého vysílání definovala vzorkování signálu na 13,5 Mhz, byl společný faktor dělení pro NTSC i PAL stanoven jako 2,25 MHz a dělení poměru jasové a chromatické složky jako 4:1:1, tedy každá chroma složka měla 4x menší šířku pásma, než složka jasová. V době analogového vysílání se nehovořilo o vzorkovacím schématu, frekvenční pásmo kanálu bylo pro barevné vysílání rozděleno v tomto poměru. Vlastní vzorkovací schéma a jeho modifikace nabývají významu až s příchodem digitálního vysílání. [8]

Pokud je základní vlastností YUV modelu redukce chromatické informace, základní vlastností RGB modelu je naopak stejný rozsah složek R, G i B, zde hovoříme pouze o množství informace zachytitelné v jednom kanále, což je určeno počtem bitů, které jsou pro zaznamenání informace využity, definujeme tak 8-bitovou, 10-bitovou či 12-bitovou interpretaci barevného kanálu, což znamená pro každý pixel obrazu v RGB modelu 24, 30, resp. 36 bitů informace a maximální počet zobrazitelných barev bude 16,7 milionu pro 24-bitovou interpretaci, přibližně 1 miliarda pro 30 bitů a 69 miliard barev pro 36-bitovou barevnou hloubku. Z uvedeného vyplývá, že pokud není poměr jasových a chromatických složek v modelu YUV stejný, dochází při konverzi mezi RGB a YUV k degradaci úrovně barevné informace v obraze a to bez ohledu na bitovou interpretaci daného prostoru. Je tedy vhodné respektovat

---

<sup>24</sup> Red-green-blue, označení barevného modelu využívaných v počítačové technice

<sup>25</sup> National Television Systems Committee, standard modulace analogového televizního signálu v USA

<sup>26</sup> Phase alternating line, standard modulace barevného televizního signálu používaného v Evropě

tuto vlastnost obou modelů a vyvarovat se zbytečným konverzím mezi prostory a současně lze definovat v YUV modelu ekvivalentní kvalitu barevného prostoru k RGB v podobě vzorkovacího schématu 4:4:4, které zachovává pro barevnou složku stejný prostor jako pro složky barvonosné – samozřejmě s adekvátním dopadem na kapacitu přenosového kanálu.

Tab. 2: Vybrané standardy a jejich vzorkovací schémata [8]

Standard	Vzorkovací schéma
HDCAM	3:1:1
NTSC	4:1:1
PAL, HDTV <sup>27</sup> , DVB-T, internet, DVD, Blue Ray, JPEG	4:2:0
HDTV broadcast, Apple ProRes <sup>28</sup>	4:2:2
Nekomprimované video, obraz v PC	4:4:4

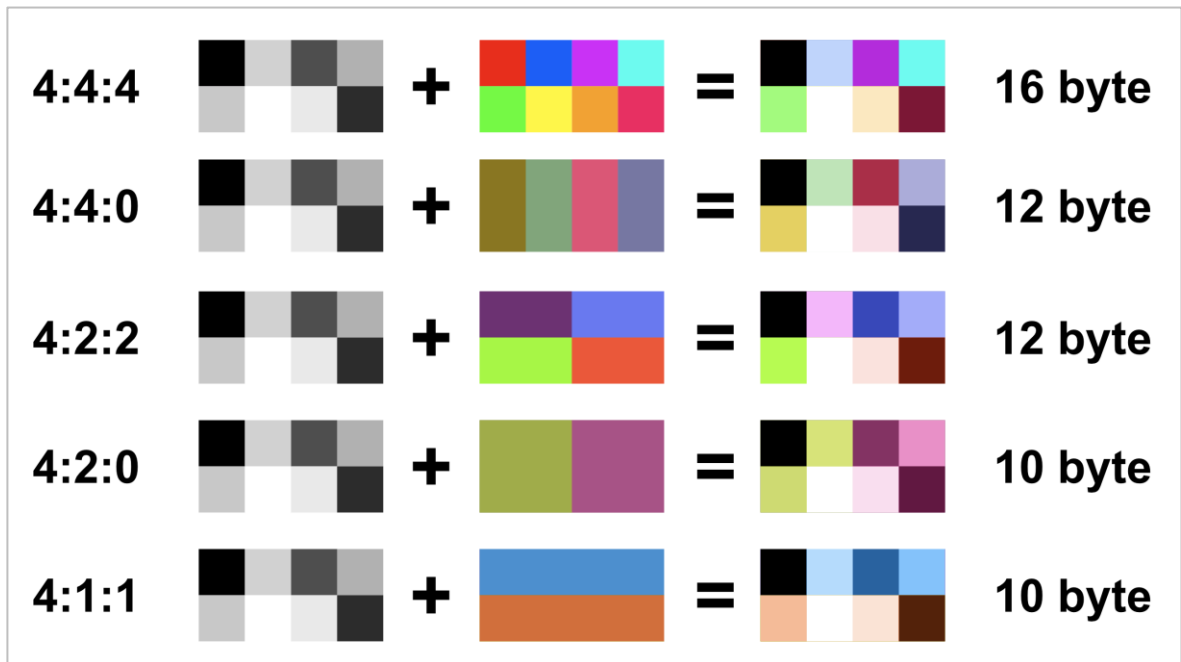
Z Obr. č. 4 na další straně je patrné jaký vliv má kódování barevné informace v jednotlivých schématech na vizuální stránku i objem dat. V modelu 4:4:4 má každý pixel obrazu svou jasovou i chromatickou složku. V modelu 4:2:2 je pak využita jediná barevná informace pro dva sousední pixely – hodnota barvy je při kódování vypočtena jako průměr barev obou pixelů. Při kódování 4:2:0 je barevná informace společná pro 4 sousední pixely. Pochopitelně má způsob kódování barevné informace zásadní vliv na objem přenášených dat.

V současné době používají všechny bezpečnostní kamery úsporné vzorkovací schéma 4:2:0 při 8-bitové barevné hloubce, lze se pouze domnívat, že pokud se v prostředí bezpečnostních technologií prosadí HDR<sup>29</sup> kamery, budou i v budoucnu bezpečnostní kamery využívat větší bitovou hloubku pro interpretaci barevného kanálu a současně přejdou výrobci na méně úsporné vzorkovací schéma za účelem dosažení vyšší kvality přenášeného obrazu.

<sup>27</sup> High-definition television - televize s vysokým rozlišením

<sup>28</sup> Kompresní formát vyvinutý pro účely post-produkce, podporuje chroma 4:4:4 při 12-bit a 8K rozlišení

<sup>29</sup> High dynamic range – rozšířený dynamický rozsah docílený zvýšeným vzorkováním kanálů (10/12 bit)



Obr. 4: Vliv jednotlivých vzorkovacích schémat při 8 bitovém vzorkování (zdroj:vlastní)

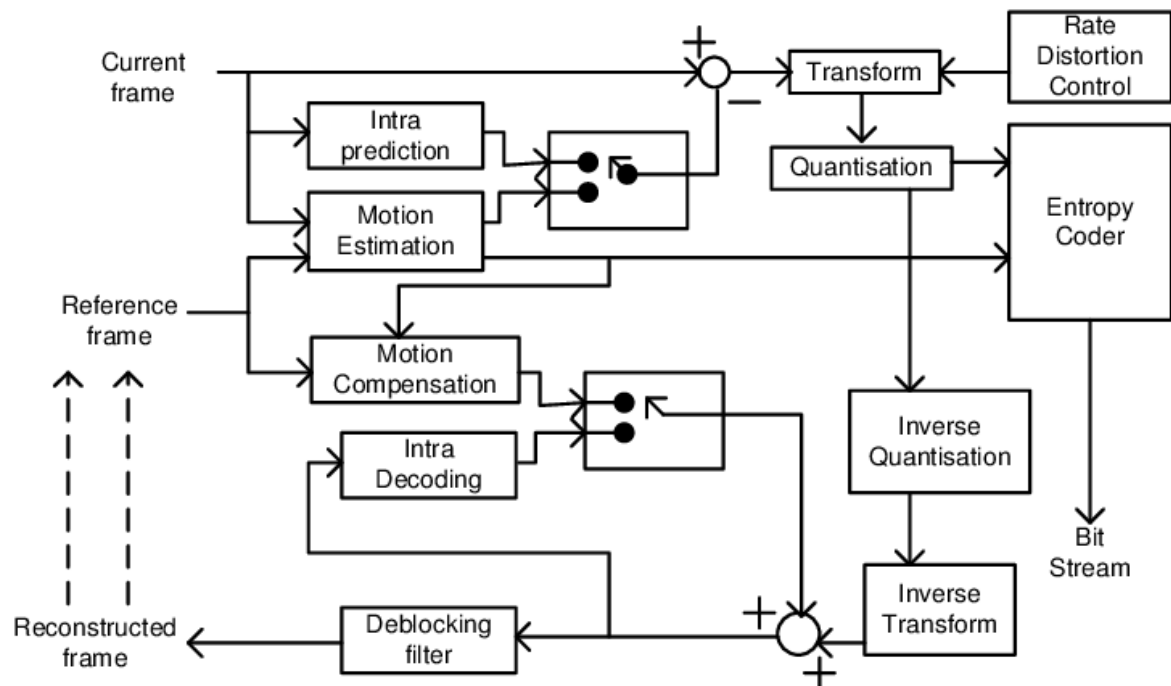
#### 1.4 H.264 / MPEG-4 Part 10 AVC

V současnosti stále nejpoužívanější standard komprese obrazu H.264 / MPEG-4 Part 10 Advanced Video Codec pracuje na principu rozdělení každého individuálního snímku obrazu na menší čtvercové části označované jako makroblok. Velikost makrobloku u kodeku H.264 může nabývat velikostí 4×4, 8×8 nebo 16×16 obrazových bodů (pixelů).

Klíčový mechanismus komprese tkví v kódování stejných, případně podobných makrobloků v jednotlivých snímcích pouze jednou, další stejné makrobloky jsou pouze odkazem na stejný, již dříve kódovaný makroblok. Těto metodě založené na podobnosti v rámci stejného snímku se říká intra predikce. V případě odkazu na makrobloky v jiném, předcházejícím snímku hovoříme o tzv. inter predikci. Tato metoda je výhodná při kódování pohybu, jelikož část obrazu mění pouze svou polohu vůči statickému obrazu. Kodek H.264 též obsahuje metody pro kompenzaci pohybu a vytváří tzn. rezidua (zbytkové části obrazu) pro následnou transformaci a kódování entropie. Vlastní proces komprese obrazu pomocí H.264 probíhá ve dvou souběžných vrstvách – VCL<sup>30</sup> a NAL<sup>31</sup>. [9]

<sup>30</sup> Video Coding Layer – Vrstva kódování videa

<sup>31</sup> Network Abstraction Layer – Vrstva síťového přenosu



Obr. 5: Proces komprese videodat vrstvy VCL H.264 [10]

## H.264/AVC VCL - Video Coding Layer

Vrstva VCL se stará o kódování vlastních video dat a to kombinací metod adaptivní rozdílové pulzní kódové modulace (ADPCM) a diskrétní kosinové transformace (DCT). Rozdílová PCM vychází z předpokladu, že je úspornější kódovat změny mezi jednotlivými vzorky signálu (obrazových bodů). Adaptivní vlastností je zde implementace proměnného kvantizátoru, který snižuje rozsah možných hodnot komprimovaného bloku, kdy se současně při kvantizaci většina hodnot ignoruje (je nulová) a jsou kódovány pouze jasově významné body. Vlastní kódování obrazu probíhá v následujících krocích. [11]

### Makrobloky

Obraz, resp. jednotlivé snímky obrazu jsou rozděleny do makrobloků. Každý makroblok obsahuje jasovou a barevnou informaci o dané části obrazu. Velikosti bloků jsou u kodeku H.264 omezeny na rozměry 4×4, 8×8 a 16×16 pixelů.

## Snímky a rámce

Makrobloky se seskupují do jednotlivých snímků obrazu. U formátu H.264 nicméně nemá každý snímek přenášeného obrazu stejný mechanismus kódování obsahu. Snímky jsou u kodeku H.264 označovány I, P a B. I – *intra prediction frame* s predikcí vůči vlastnímu obsahu, těmto snímkům se také říká klíčové snímky, jelikož obsahují obraz celého obrazového pole a jsou tak klíčové pro zahájení dekódování. P a B snímky využívají tzv. inter predikci, vycházející z obrazové informace, která se nalézá v rámci jiného snímku. P – *forward prediction* jsou snímky s dopřednou predikcí, B – *bi-directional prediction* pak snímky s dopřednou a zpětnou predikcí. U kamer testovaných v rámci této diplomové práce nejsou žádnými výrobci využívány obousměrné B-snímky. [11]

## Intra a inter predikce

Intra predikce je proces hledání similarit v rámci jednotlivých snímků. Obraz je rozdělen do makrobloků o velikosti  $4 \times 4$  až  $16 \times 16$  pixelů dle množství textur v rámci oblasti – pro komplexní texturu bloku se hodí menší velikost makrobloků, pro jednolitě plochy pak maximální velikost makrobloku.

Inter predikce označuje proces předpovídání obrazového bloku pomocí bloku z jiného snímku, který se pak nazývá referenční snímek. P nebo B snímky se dělí na makrobloky o velikosti  $16 \times 16$ ,  $16 \times 8$ ,  $8 \times 16$  či  $8 \times 8$  pixelů. Blok  $8 \times 8$  lze dále kódovat přímo nebo rozdělit na podbloky o velikosti  $4 \times 8$ ,  $8 \times 4$  nebo  $4 \times 4$  pixelu. Kromě informace o velikosti bloku je pro dekódování vyžadován tzv. pohybový vektor (MV) určující směr predikce. Makroblok může být také označen *P\_Skip* nebo *B\_Skip*, kdy již v minulosti dekódovaná data jsou použita pro rekonstrukci souvisejícího makrobloku. [11]

## Transformace a kvantizace signálu

Z výše uvedených predikčních postupů se získává reziduální signál. Dvourozměrná prostorová transformace se aplikuje na každou oblast  $4 \times 4$  zbytkového obrazu. Konkrétně se používá aproximace diskretní kosinové transformace (DCT), známé jako integrátor DCT. Získané transformační koeficienty jsou kvantovány a tento proces je řízen pomocí kvantizačního parametru (QP), který musí být zvolen při kódování. Parametr kvantizace je klíčový při

stanovení stupně komprese, resp. výstupní kvality obrazu. Výrobci kamer využívají kvantizačního parametru pro řízení optimální či požadované hodnoty datového toku. [9]

Ing. Zdeněk Pokorný, Ph.D. v 2. díle publikace Bezpečnostní technologie, systémy a management doplňuje proces transformace informací o bezztrátovém procesu diskrétní kosinové transformace a převod obrazového signálu z časové do frekvenční oblasti, kdy ve frekvenční oblasti lze lépe identifikovat dominantní informace. V rámci procesu kvantizace již dochází k odstranění částí obrazu se zastoupením vysokých frekvencí a je tak realizována ztrátová komprese. [11]

### Kódování entropie

Kodéry H.264 / AVC využívají dvě odlišné metody kódování entropie – CAVLC<sup>32</sup> a CABAC<sup>33</sup>. CAVLC využívá odhadu koeficientů pomocí VLC tabulek, zatímco CABAC zpracovává kontextově podmíněné odhady pravděpodobnosti. Dle Muhammada Shadida se zjistilo, že CABAC je účinnější při redukci přenosové rychlosti než CAVLC v podobné kvalitě obrazu. Všichni tetovaní výrobci IP kamer pak využívají pro kódování entropie právě metody CABAC, což tuto jeho domněnku potvrzuje. [9]

### Profily a úrovně kompresního algoritmu

Metody pro kódování obrazu, které jsou součástí specifikace H.264/AVC, jsou zařazeny do tzv. profilů, které specifikují požadavky na algoritmické a výkonnostní schopnosti dekodéru. Jsou využívány při odhadu náročnosti na datový tok a výkon hardware, který bude komprimovaný stream dekodovat. Další výhodou specifikace profilů je možnost výběru profilu, který se nejlépe hodí pro danou aplikaci - některé profily jsou efektivní ve vysokém stupni komprese, v dosahování vyšší kvality obrazu či v nízké latenci přenášeného obrazu. Například tzv. *baseline* profil je využitelný především v aplikacích, které vyžadují nízkou náročnost při dekódování a současně nízké zpoždění kódování. Konkrétní hodnoty parametrů,

---

<sup>32</sup> Context-adaptive variable-length coding, kontextově adaptivní kódování s proměnnou délkou

<sup>33</sup> Context-adaptive binary arithmetic coding, kontextově adaptivní binární aritmetické kódování



jako je maximální rozlišení obrazu, snímkovací rychlost, maximální datové tok je pak definována verzí profilu (např. Level 4.2). Právě verze určuje požadavky na hardwarové vlastnosti dekodéru. [9]

### **H.264/AVC NAL - Network Abstraction Layer**

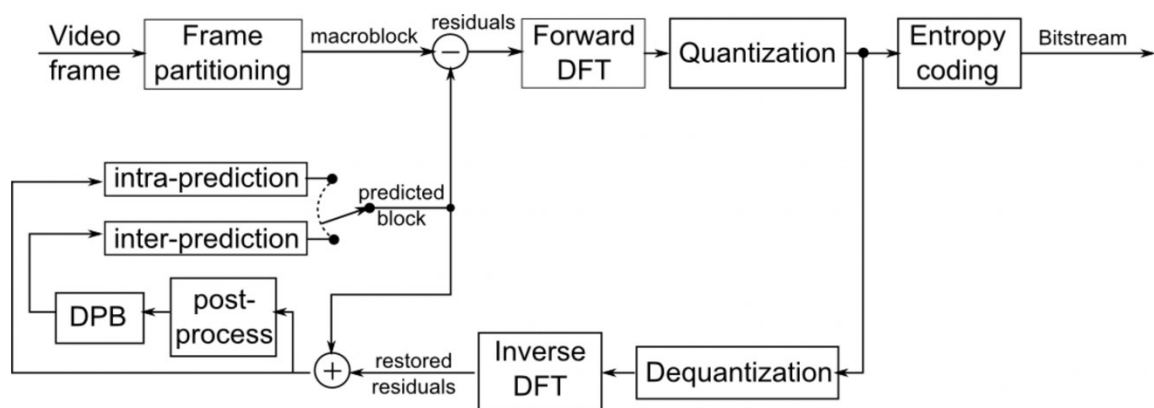
Vrstva NAL zajišťuje formu a obálku pro data VCL, bez ohledu na přenosovou technologii, či operační systém dekodéru. NAL se skládá z následujících tří klíčových částí:

- a) Základní stavební jednotkou NAL jsou pakety dat, které kromě kódovaného záhlaví obsahujícího popis přenášených dat, obsahují i vlastní kódovaná obrazová data (VCL).
- b) Sady parametrů (*Parameter Sets*). Jedná se o informace - metadata o nástrojích a parametrech klíčových pro dekódování přenášeného obrazu. Sady parametrů mohou sloužit pro více skupin přenosů VCL a NAL, jelikož se jedná o informace klíčové pro dekódování obrazu, mohou být přenášeny buď v rámci kanálu VCL, NAL nebo pomocí separátního spolehlivého přenosového kanálu.
- c) Přístupové jednotky (*Access Units*). Přístupová jednotka odkazuje na VCL a NAL data, která patří do jediného dekódovaného obrazového snímku. Udržují konzistenci přenášeného obrazu. [9]

## 1.5 H.265 / MPEG-H HEVC

Standard komprese H.265/MPEG-H HEVC je stejně jako H.264/MPEG-4 Part 10 AVC. hybridní kodek založený na prostorové transformaci částí obrazu - makrobloků. Od těchto získaných makrobloků se odečítá pomocí intra a inter prediktivních metod obsah původních snímků a následná rezidua obrazu se kódují.

Proti kodeku H.264, kde se používá diskretní kosinová transformace DCT je u komprese H.265 využita dopředná diskretní Fourierova transformace (DFT). DFT převádí rezidua obrazových informací do frekvenční oblasti, již zde se snižuje objem dále zpracovávaných dat. Následná kvantizace zvoleným kvantizačním parametrem QP se aplikuje již na transformovanou matici stejným způsobem jako u kodeku H.264, tím se docílí požadovaný stupeň komprese. Získaná data podléhají entropickému kódování, které umožňuje získat finální komprimovaný datový tok.



Obr. 6: Proces komprese videodat pomocí kodéru H.265 [12]

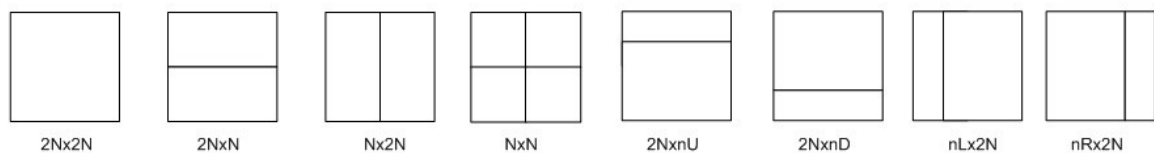
Pro účely inter- a intra-predikce jsou komprimovaná rezidua (data) dekvantizována a pomocí inverzní DFT zpracována pro účely intra-predikce v rámci aktuálního snímku, případně uchována v obrazové vyrovnávací paměti DPB<sup>34</sup>, kde slouží k inter-predikci mezi snímky.

<sup>34</sup> Decoded picture buffer – Vyrovnávací paměť pro dekodovaný obraz

## Koncept makrobloku

Koncept makrobloků u H.265 / MPEG-H HEVC stojí na tzv. blokové jednotce hierarchického stromu CTU<sup>35</sup>. Proti formátu H.264 který je limitován velikostí makrobloku  $16 \times 16$  pixelů, lze velikost makrobloku H.265 definovat ve velikostech  $16 \times 16$ ,  $32 \times 32$  či dokonce  $64 \times 64$  obrazových bodů. Zvětšení CTU si klade za cíl zvýšit efektivitu blokových operací na videosekvencích s vysokým rozlišením (studie Maxima Sharabayka a kol. udává díky zvětšení CTU až 16% úsporu datového toku proti formátu H.264).

Samotné CTU se následně dělí na menší kódové jednotky CU<sup>36</sup> a ty obsahují predikční a transformační bloky PU a TU<sup>37</sup>. Každý TU je definován DFT maticí která může nabývat rozměrů  $32 \times 32$ ,  $16 \times 16$ ,  $8 \times 8$ , případně  $4 \times 4$ , což umožňuje efektivně postihnout i velmi malé změny pohybu. PU jsou pak konstrukty zodpovědné za ukládání predikčních dat, obsahují tedy úhel při inter-predikci, případně definují pohybový vektor u inter-predikce bloku. PU mohou dělit CU na sub-bloky o velikostech  $2N \times 2N$ ,  $2N \times N$ ,  $N \times 2N$ ,  $N \times N$ ,  $2N \times nU$ ,  $2N \times nD$ ,  $nL \times 2N$  a  $nR \times 2N$ , kdy  $2N$  je velikost dělené CU. [12]



Obr. 7: Možné varianty dělení kódové jednotky na predikční bloky [12]

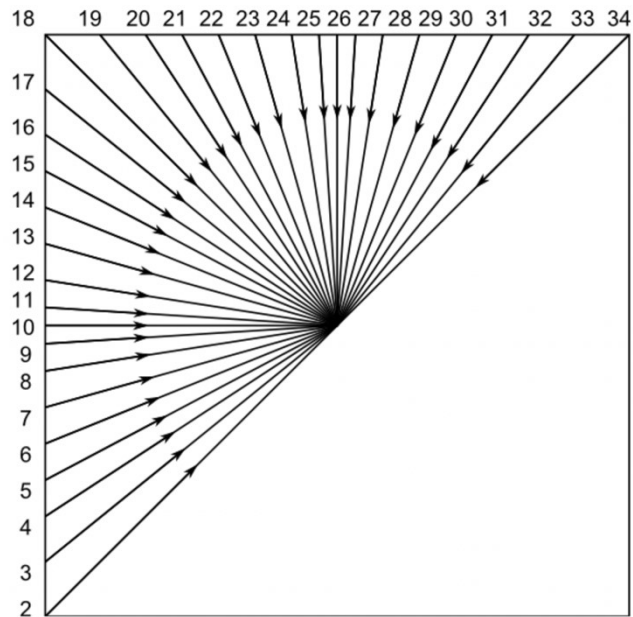
## Intra a Inter predikce

Mechanismus prediktivních metod vychází z modelu použitého u H.264, liší se v množství režimů, které může kodér H.265 využívat. Najdeme zde celkem 35 predikčních režimů, kdy kromě rovinné transformace (režim 0 – planární) najdeme DC transformaci (režim 1) a 33 úhlových režimů – viz obr. 8. Vlastní prediktivní metody pracují s nativní velikostí bloku.

<sup>35</sup> Coding Tree Unit – bloková jednotka hierarchického stromu

<sup>36</sup> Coding unit – kódová jednotka

<sup>37</sup> PU – prediction unit, TU – transformation unit



Obr. 8: Úhlové režimy intra prediktivních metod u H.265/HEVC [12]

### Transformace a kvantování

Zbytky po odečtení předpokládaných hodnot pixelů jsou podrobeny diskrétní Fourierově transformaci DFT a následně kvantovány. HEVC využívá celočíselnou aproximaci diskrétní kosinové transformace DCT a diskrétní sinusové transformace DST, která využívá bloky o velikosti  $32 \times 32$ ,  $16 \times 16$ ,  $8 \times 8$  a  $4 \times 4$  pixelu. Pro intra kódované bloky se využívá DST pro velikost bloku/matice  $4 \times 4$ .

Mechanismus kvantizace získaných dat je totožná s algoritmy použitými u H.264/AVC, nicméně díky zvětšení maximální velikosti bloků jsou metody účinnější.

### Kódování entropie

Entropické kódování v HEVC je evolucí kontextově adaptivního binárního aritmetického kódování (CABAC) použitého u H.264/AVC. Aritmetický kodér HEVC se nazývá syntaktický kontextově adaptivní binární aritmetický kodér SBAC<sup>38</sup> a má 27 kontextových modelů

<sup>38</sup> Syntax based context-adaptive binary arithmetic coder

pro kódování prvků syntaxe. Každý kontext je adaptivně modifikován na základě již zpracovaných dat. Hlavní úpravy v SBAC ve srovnání s CABAC se týkají možnosti paralelního kódování a dekódování.

### Postprocessing

H.265/HEVC používá dvě metody adaptivního post-processingu (dodatečného zpracování obrazu). Označují se jako deblokovací filtr DBF<sup>39</sup> a dílčí modifikace hodnot vzorků SAO<sup>40</sup>. Obě metody jsou pro kodér volitelné.

Cílem DBF je redukovat rušivé artefakty, které vznikají na hranách makrobloků po kvantování. Filtr je aplikován na hrany bloků transformačních bloků (TU) blokových jednotek (CTU) do vzdálenosti max. 8 pixelů. Algoritmus zohledňuje hodnoty v sousedních blocích a upravuje je pro získání plynulého přechodu, který nebude působit rušivě. Algoritmus obsahuje rozhodovací mechanismus, který podle rozdílu mezi jasovou složkou sousedních bloků volí šířku hranice od 0 do 4.

Druhou fází postprocessingu je nelineární transformace SAO. Tato metoda byla poprvé představena s kodekem H.265/HEVC a má za cíl kompenzovat ztráty detailu při dekódování komprimovaných CTU. Rekonstruované hodnoty pixelů jsou získávány přidáním předem určených hodnot posunu, kdy tyto hodnoty jsou získány již při kódování obrazu a jsou přenášeny paralelně v datovém toku. Ovlivněné pixely jsou vybírány podle jejich intenzity. [12]

---

<sup>39</sup> Deblocking filter – Filtr pro potlačení blokové chyby v obraze

<sup>40</sup> Sample-Adaptive Offset

## 1.6 Proprietární kompresní algoritmy

Růst rozlišení a snímkovací rychlosti bezpečnostních kamer generuje stále více dat, která je zapotřebí zpracovat a uložit k případnému vyhodnocení. Přes vysoký stupeň komprese jsou kodeky MPEG-4 AVC/H.264 či MPEG-H HEVC/H.265 vhodné především pro kompresi multimediálního obsahu a při záznamu scén bezpečnostních kamer, které většinu času snímají statický obraz, nejsou dostatečně efektivní. Výrobci proto hledají cesty, jak zvýšit výtečnost těchto kompresních metod modifikací procesu enkódování a snaží se tak docílit dalšího výrazného snížení datového toku bez negativního dopadu na kvalitu obrazu.

### 1.6.1 AXIS Zipstream H.264

Kamery AXIS byly jako jedny z prvních v roce 2015 vybaveny pokročilými metodami pro snížení datového toku a zvýšení efektivity komprese. Axis dosud (začátek roku 2019) běžně nevyužívá kompresního algoritmu H.265/HEVC, ale implementuje proprietární modifikaci algoritmu H.264 MPEG-4 Part 10/AVC s označením Zipstream.

Zipstream popisuje společnost Axis jako technologii pro optimalizaci datového toku a stejné označení používá pro H.264 MPEG-4 Part 10/AVC video stream optimalizovaný touto technologií. Cílem optimalizace je samozřejmě generování datově méně náročného streamu, který je při dekódování kompatibilní s kompresí H.264 MPEG-4 Part 10/AVC a kde probíhá optimalizace video streamu v reálném čase v kameře. Zipstream zahrnuje tři techniky pro snížení datového toku:

**Dynamic ROI**<sup>41</sup> se snaží určit význam částí obrazu podle toho, zda se v záběru objevují pohybující se objekty (lidé či vozidla) a aplikuje na různé části obrazu odlišný stupeň kompresního poměru, což má za následek úspornější využití datového toku v méně významných částech scény.

**Dynamic GOP**<sup>42</sup> je metoda, která zásadním způsobem ovlivňuje množství generovaných dat. Struktura datového toku kamery s kompresním algoritmem H.264/MPEG-4 Part 10 AVC sestává z tzv. klíčových a změnových snímků. Změnové snímky obsahují pouze změny

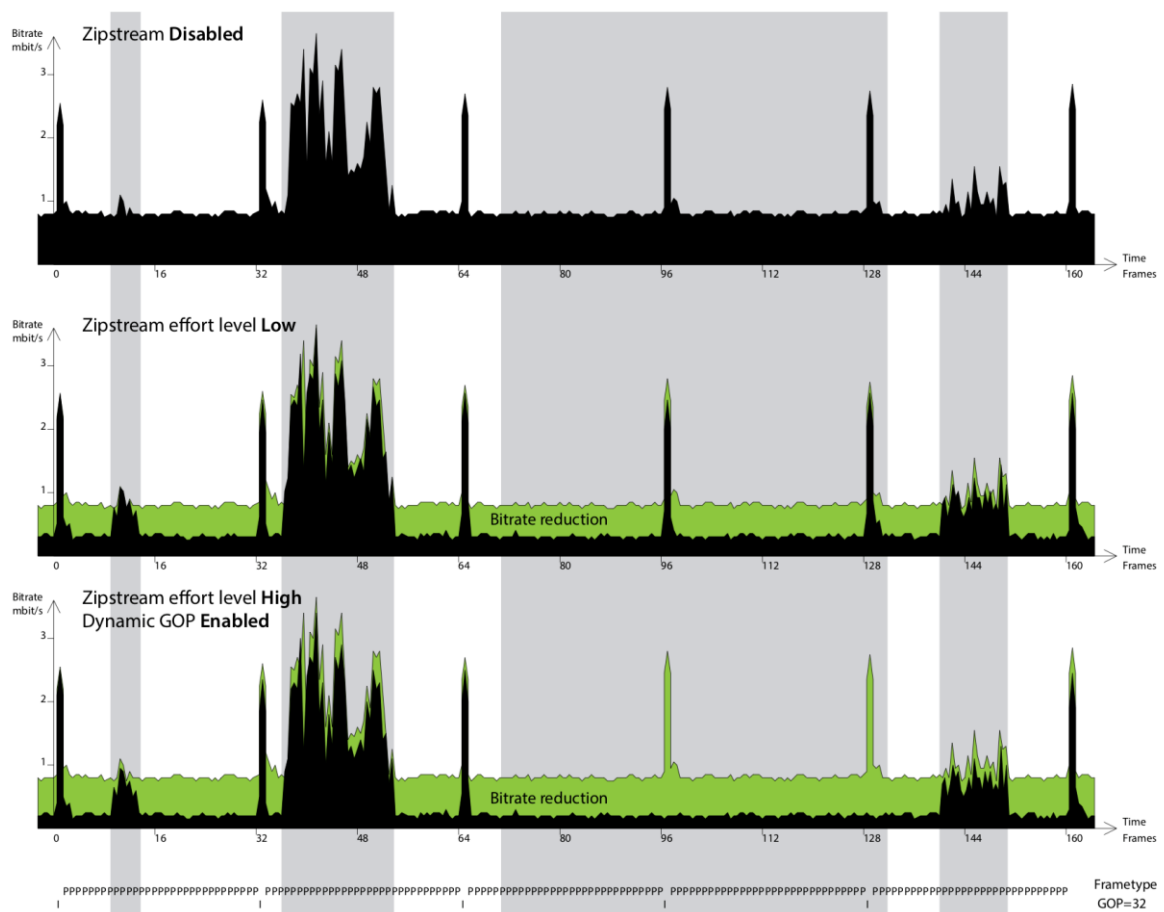
---

<sup>41</sup> Region of interest - oblast zájmu

<sup>42</sup> Group of pictures = skupina snímků

v částech obrazu. Jelikož obsahují klíčové snímky záznam celého obrazového pole, je velikost těchto snímků násobně vyšší než snímků změnových. Běžné kamery generují klíčové snímky v předem definované frekvenci, například 1x za vteřinu, tedy typicky každých 25, 30 nebo 50 snímků. Pokud kamera umí vyhodnotit snímanou scénu, může rozhodnout o prodloužení intervalu generování klíčových snímků a zásadně tak snížit množství dat nutné na přenos klíčových snímků.

Poslední metoda redukce datového toku v technologii Zipstream nese označení **Dynamic FPS**. Ta analyzuje generované snímky a pokud nenalezne dostatek aktivních změn mezi jednotlivými snímky, tyto nezměněné snímky zahodí a kamera je nedigitalizuje. [13]



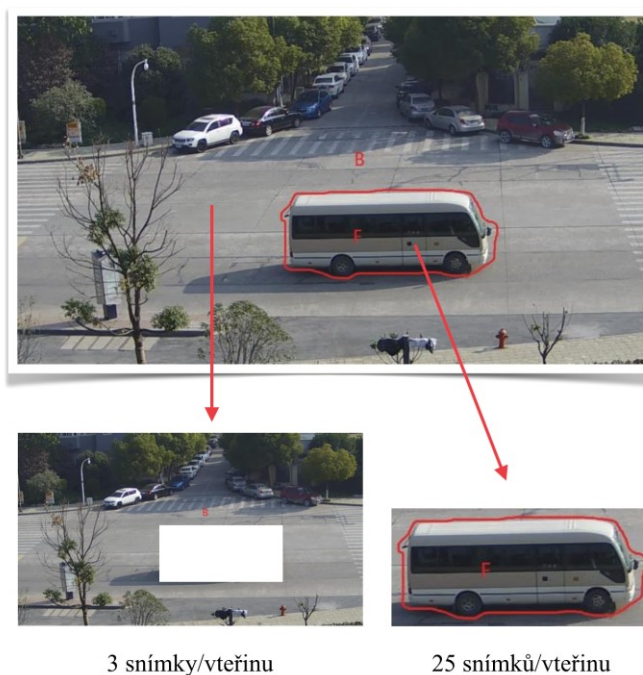
Obr. 9: Příklad redukce datového toku při využití Zipstream [13]

### 1.6.2 DAHUA H.264+ a H.265+

Implementace tzv. chytrého kodeku H.264+ a H.265+ v případě kamer Dahua staví na optimalizaci standardních algoritmů H.264/MPEG-4 Part 10 AVC a H.265/MPEG-H HEVC. Cílem optimalizace kodeku je podobně jako u kamer AXIS snížení efektivního datového toku při současném zachování dekódovatelnosti streamu pomocí standardních nástrojů. Dahua využívá pro snížení datové zátěže několik technik.

#### Dynamic ROI<sup>43</sup>

Je dokázáno, že při sledování obrazu se soustředíme na objekty, které se v záběru kamery objevují, pohybují se přes scénu a nejsou tak v obraze přítomny trvale. Nabízí se tedy možnost komprimovat pozadí scény (tedy trvale přítomné objekty), nižší kvalitou neboli vyšším stupněm komprese. Kamera analyzuje pohyb objektů v záběru, separuje je od pozadí a realizuje kompresi odděleně pro pohybující se objekty a statické pozadí.



Obr. 10: Rozdělení obrazu na pozadí a ROI [14]

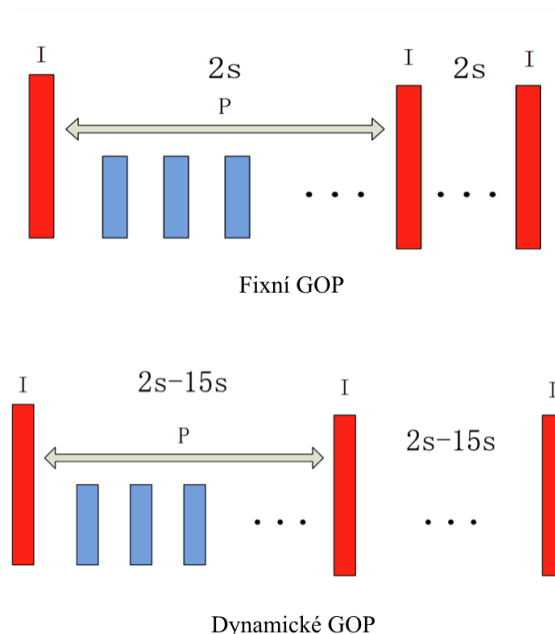
<sup>43</sup> Region Of Interest – oblast zájmu



### Dynamické GOP<sup>44</sup>

Video komprimované ztrátovými kompresemi rodiny MPEG se skládá ze skupin snímků, které se označují GOP. Každá skupina snímků obsahuje tzv. Intra-frame, klíčový snímek, který obsahuje informace o celém snímaném obraze, je tedy spíše fotografií zobrazované scény. Důvodem pro existenci klíčových snímků je vytvoření výchozího bodu, od kterého je možno plnohodnotně začít zobrazovat video, následující snímky obsahují pouze změny, vztahující se ke klíčovému či jinému změnovému snímku.

Je logické, že klíčové I-snímky jsou objemově větší, než snímky změnové. Rozdíl, v případě běžného podílu pohybu v obraze je často až 90% velikosti snímku. Jedním ze způsobů snižování datového toku je prodlužování intervalu generování klíčových snímků, kdy typická četnost generování snímků 25/30, případně 50/60 snímků, bývá prodlužována až na hranici 1000 snímků. Nevýhodou pevného nastavení velikosti skupiny snímků je nutnost čekání na klíčový snímek při zahájení dekodování a současně klesá efektivita MPEG komprese při vyšším podílu pohybu v obraze, kdy vyšší četnost generování klíčových snímků snižuje efektivitu této metody. Dynamické GOP zvyšuje podíl klíčových snímků pokud je podíl pohybu ve scéně nízký a naopak při nárůstu podílu pohybujících se částí obrazu se podíl klíčových snímků zvyšuje. Metoda je obdobná, jako v případě technologie AXIS Zipstream.



Obr. 11: srovnání fixního a dynamického GOP [14]

<sup>44</sup> Group of Pictures – skupina snímků

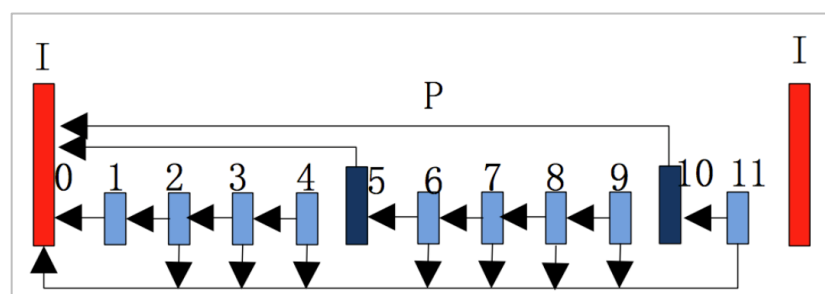
### Adaptivní redukce šumu

Zásadní vliv obrazového šumu na výsledný datový tok, resp. kvalitu obrazu je znám již od počátku digitalizace obrazu pomocí ztrátových algoritmů na bázi Wavelet komprese, součástí každého kompresního algoritmu je tedy aplikace určitého stupně odstranění náhodného obrazového šumu. Proti náhodnému šumu se lze bránit snímáním v dostatečné hladině osvětlení, což v případě bezpečnostních kamer často není možné, dále lze využívat kamery s většími snímači a světelnými objektivy, což zvyšuje výrobní náklady a pořizovací cenu kamer, nejčastěji se tak přistupuje k implementaci matematických metod pro detekci a korekci nežádoucího náhodného šumu v obraze.

Typické metody redukce šumu určují úroveň pro algoritmus pomocí měření odstupů užitečného signálu od šumu (například měřením generovaného šumu při zavřené závěrce kamery), ale přistupují ke všem pixelům obrazu stejnou měrou. Výsledkem je tak ztráta kontrastu a kresby i v zájmových oblastech s větším dynamickým rozsahem a vyšším odstupem užitečného signálu od šumu. Adaptivní potlačení šumu tak vyčleňuje ze záběru zájmové oblasti a aplikuje na ně nižší stupeň redukce šumu, než na ostatní části obrazu.

### Flexibilní referenční rámce

Tzv. dual-frame reference metoda vytváří dva referenční snímky a následující změnové se odkazují na ten, ve kterém lze nalézt vhodnější referenci. Virtual I-frame metoda řeší omezení kompresního algoritmu H.265, kdy lze do datového toku kdykoliv vložit pouze I-frame snímky, Smart H.265+ kodek však umožní vložit virtuální I-frame s odkazem na původní snímek, což se využívá právě při metodě dynamické GOP. Obě tyto metody zásadním způsobem snižují datový tok, který kamera vytváří a současně udržují zpětnou kompatibilitu s H.265/HEVC.



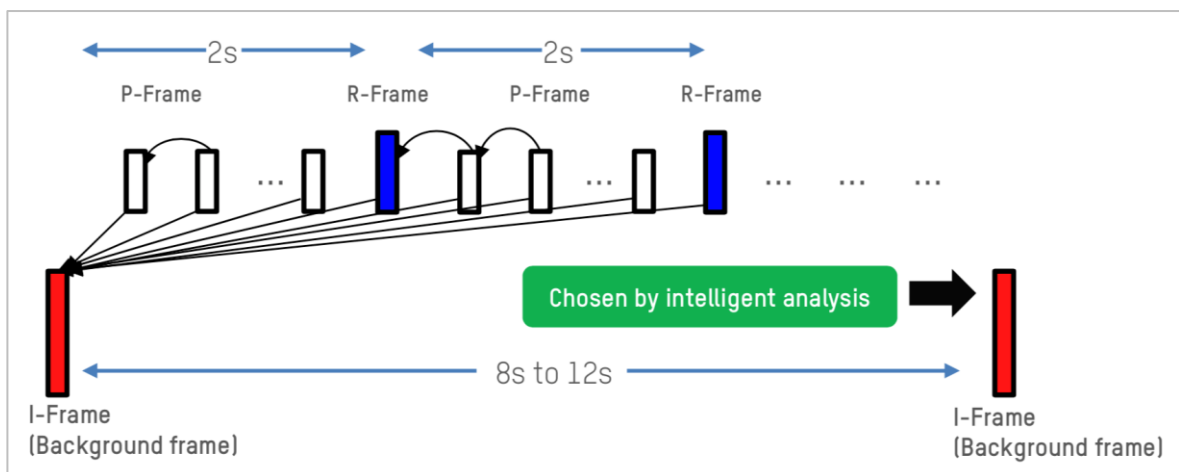
Obr. 12: Princip flexibilních referenčních rámců [14]

### 1.6.3 Hikvision H.264+ a H.265+

Stejně jako společnost Dahua umožňuje firma Hikvision využívat u svých pokročilých kamer chytré kompresní algoritmy Smart H.264+ a H.265+. Pro snížení datového toku využívá Hikvision podobných metod a algoritmů jako firmy AXIS a Dahua.

#### Prediktivní encoding

Hikvision doplňuje vedle standardních I-frame a P-frame snímků další referenční snímky označované R-frame, ke kterým následně vztahuje rezidua P-snímků. Jedná se o podobnou techniku, kterou Dahua označuje jako flexibilní referenční rámce. Současně s touto metodou analyzuje encoder kamery množství pohybu v záběru a upravuje četnost generování klíčových I-snímků (obdoba dynamické GOP u kamer Dahua).

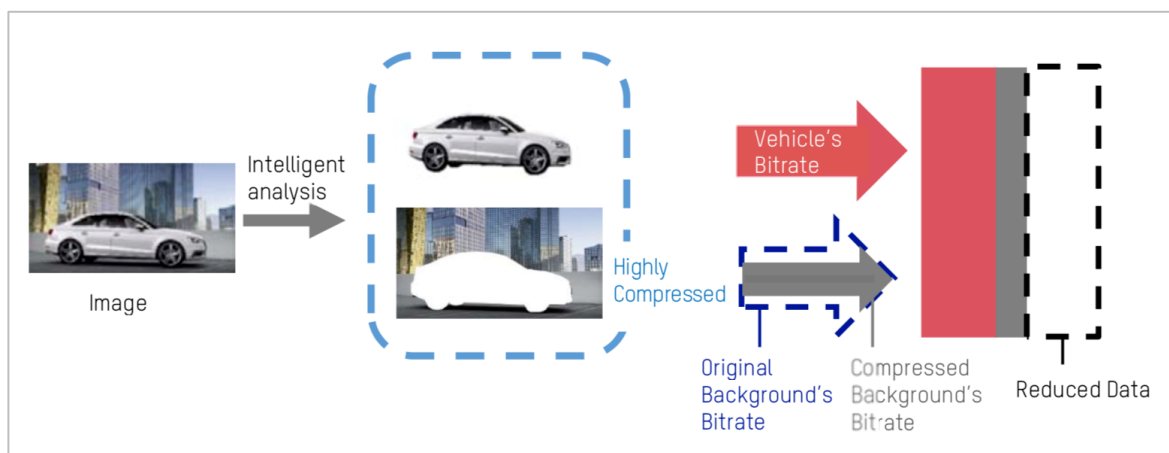


Obr. 13: Metoda vkládání R-frame u kamer Hikvision [15]

Jak je patrné z Obr. 13, skuteční klíčový I-frame snímek je generován s intervalem 8-12 sekund, zatímco R-frame (refresh) s intervalem 2 sekundy. R-snímky plní ve streamu dvě odlišné role. Alternací I-frame zajišťují konzistenci streamu a kompatibilitu s normou algoritmů H.265 při přehrávání, pro pohybující se objekty vytváří prediktivní rámce. Změnové snímky P-frame jsou pak generovány dle požadované snímkovací rychlosti a obsahují prediktivní informace o změnách proti klíčovým I snímkům, případně proti předchozímu P resp. R snímku.

### Algoritmy potlačení šumu

Podobně jako jiní výrobci sází i Hikvision na adaptivní potlačení šumu. Statické pozadí snímků (I-frame a R-frame) digitalizuje vyšším kompresním poměrem a pohybující se objekty s vyšší kvalitou, tedy nižším stupněm komprese. Součástí kompresních algoritmů jsou metody odstranění šumu, které tak různou měrou ovlivňují výsledný datový tok.

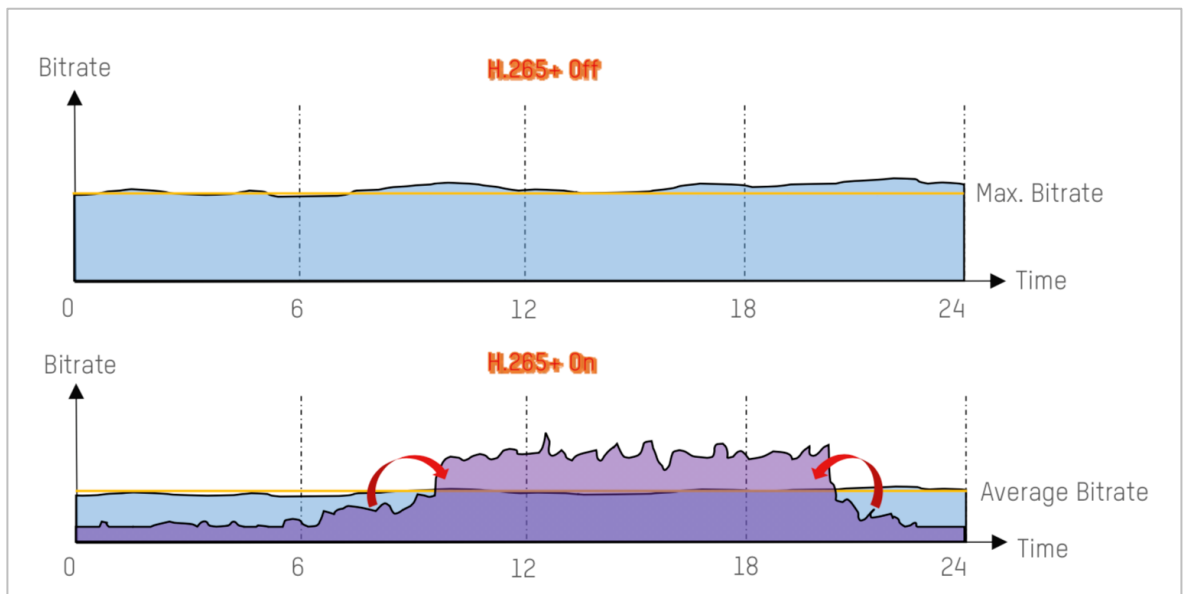


Obr. 14: Proces rozdělení obrazu a rozdílné komprese obrazu [15]

### Long-term bitrate control

Kamery Hikvision přichází s unikátní funkcí adaptace průměrného datového toku. Běžně lze u kamer nastavit konstantní či variabilní datový tok CBR/VBR<sup>45</sup>. Výhoda konstantního datového toku je snadný odhad využití kapacity sítě i úložiště, negativním projevem je pak plýtvání šířkou pásma. Proti tomu využití variabilního datového toku přináší úsporu datového toku při scénách s minimem pohybu, naopak se nedostatečnost datového toku projeví při dynamických scénách, kde již omezená šířka datového pásma nestačí. Kamery Hikvision kompenzují nevýhody obou přístupů inteligentním řízením datového toku, kdy kamera predikuje potřebnou šířku pásma v dlouhodobém horizontu (hodiny až dny) a využívá nadbytečné šířky datového pásma v hluchých místech na zvýšení datového toku v období vysoké náročnosti na pohyb. Výsledná kapacita úložiště je tak stejná, ale záznam dosahuje v klíčových okamžicích řádově vyšší kvality.

<sup>45</sup> Constant bitrate / Variable bitrate



Obr. 15: Vliv long-term bitrate control funkce H.265+ u kamer Hikvision [15]

Společnost Hikvision ve svých materiálech dále uvádí dopad inteligentních kompresních algoritmů ve srovnání se standardní H.264, resp. H.265 kompresí. Při porovnání H.264 a H.265+ uvádí průměrnou úsporu datového toku téměř 84% a při srovnání H.265 a H.265+ pak téměř 67%. Nutno podotknout, že studie společnosti Hikvision nepracuje s hodnocením kvality obrazu a porovnává pouze dosažené výsledky kompresí bez vztahu ke kvalitě záznamu. [15]

## 2 METODY MĚŘENÍ KVALITY MULTIMEDIÁLNÍCH DAT

Kvalitu interpretace multimediálního obsahu lze posuzovat pomocí objektivních či subjektivních metod měření. Objektivní metody využívají matematické algoritmy a snaží se postihnout maximální šíři kvalitativních parametrů, naproti tomu staví subjektivní metody na kvalitativním hodnocení poučené skupiny osob, což klade na tyto postupy výrazné časové i technické nároky. Subjektivní metody jsou využívány a standardizovány již od počátku televizního vysílání a vystihují při hodnocení kvality multimediálního obsahu realitu lépe, jelikož zohledňuje řadu subjektivních vjemů, které lze často jen velmi těžko objektivními metodami popsat a měřit.

### 2.1 Vazba na ČSN

V rámci řady norem ČSN EN 62676 jsou požadavky na kvalitu přenosu a služeb zmíněny pouze se zaměřením na parametry síťového rozhraní. V článku 4.2.2 normy ČSN EN 62676-2-1 se s odkazem na kvalitu služby uvádí: „Na rozdíl od broadcastových aplikací s neznámým počtem klientů, pro IP video v bezpečnostních aplikacích není dnes definován žádný QoS<sup>46</sup> protokol. QoS v dohledové síti je garantován správným nastavením a konfigurací při návrhu pro určitý počet operátorů nebo přijímačů a využitím schopností systému správy videa (VMS<sup>47</sup>), který zajistí veškeré streamování videa a požadavky jednotlivých video přenášejících zařízení.“ [16]

Z uvedeného je zřejmé, že se technická norma pro VSS systémy zaměřuje na technické aspekty přenosu multimediálních dat a nevěnuje se vlastnímu zdroji obrazu či posuzování kvality obrazu při jeho zobrazování a interpretaci obsluhou VSS.

Norma ČSN 62676-1-2 pak uvádí seznam funkcí, které ovlivňují úroveň prožitku – QoE<sup>48</sup>:

- Kódování streamu, příjem a dekódování streamu
- záznam streamu
- Živé streamování a zobrazení

---

<sup>46</sup> Quality of Service

<sup>47</sup> Video Management System

<sup>48</sup> Quality of Experience

- Přehrávání záznamu a opakování
- Ovládání kamery
- Stavový monitoring
- Video analýza
- Tvorba metadat a jejich streamování
- Pomocné funkce

Požadavky na kvalitu streamování (přenosu videosignálu s sítích IP) jsou v rámci ČSN EN 62676-1-2 definovány v těchto oblastech:

- Přesnost časových služeb v transportním streamu je rozdělena do čtyř tříd T1 až T4 s diferencí 1 ms až 80 ms
- Čas k navázání spojení je definován třídami I1-I4 s časy navázání 250 ms až 2 s
- Vlastnosti přenosové sítě popisuje norma ve třídách C1-C4 a P1-P4, kdy hodnocené parametry jsou definice šířky pásma pro každý videokanal, omezení šířky pásma pro jedno zařízení a omezení šířky pásma nebo počtu videostreamů do všech klientských zařízení v síti pro třídy C a upřednostnění vybraných streamů před ostatními, resp. upřednostnění uživatelů před ostatními (např. funkcí prioritizace PTZ ovládání) v popisu třídy P
- Přenosové zpoždění – doba po kterou je datový paket přenášen v síti
- Zpoždění přeměrováním – doba kterou potřebuje zařízení (switch, router) k odeslání přijatého paketu
- Procesní zpoždění – doba nutná k vyhledání síťové cesty, modifikaci záhlaví paketů a změny typu zapouzdření
- Zpoždění zobrazení – čas který potřebuje prezentační jednotka (monitor/displej) ke změně obsahu obrazového prvku
- Zpoždění kódováním a dekódováním – zde je zajímavá zmínka o závislosti zpoždění na funkčních vlastnostech, typu, profilu a úrovni kodeku. Např. profil „main“ kodeku H.264 má dle ČSN EN 62676-1-2 zpoždění kódováním 350 ms, profil „baseline“ zpoždění 120 ms, kodek MPEG4 zpoždění 110 ms a kodek MPEG-2 „low delay“ zpoždění <180 ms.

Dále je v normě ČSN EN 62676-1-2 velmi podrobně rozpracována otázka ztrátovosti paketů, opět rozdělené do tříd S1 až S4, hodnotící parametry maximální ztráty, jednosměrného zpoždění živého streamu, maximální reakční čas trikových povelů. Prodleva povelů pro pohyb

kamery vč. zobrazení a ovládání PTZ, odděleně pro statické a pohybující se objekty. Časové diference se pohybují mezi 100 ms až 700 ms. Maximální ztrátovost paketů je dle použité třídy povolena v rozsahu hodnot 30 ppm až 240 ppm<sup>49</sup>.

Kolísání zpoždění paketů (jiter) má v normě definováno pět tříd M0 až M4 s rozsahem povoleného kolísání paketů 20 až 160 ms. Norma ČSN EN 62676-1-2 odkazuje i na stupeň zabezpečení dle ČSN EN 62676-1-1, kdy dle definovaného stupně klade na systém požadavky na maximální povolený interval nedostupnosti zařízení (např. 30 sekund pro stupeň 4) a maximální část detekce ztráty živého signálu (2 sekundy pro stupeň 4).

Z uvedeného je patrné, že norma ČSN EN 62676-1-2 *Dohledové videosystémy pro použití v bezpečnostních aplikacích - Část 1-2: Systémové požadavky - Výkonové požadavky na video přenos* se, jak už z názvu vyplývá, soustředí na technické vlastnosti přenosového kanálu a kvalitu pořizovaného a zobrazovaného obsahu ponechává bez povšimnutí. [17]

Očekávaná norma ČSN EN 62676-5 zabývající se specifikací dat a kvality obrazu pro kamerová zařízení, která oficiálně vychází až v březnu 2019 definuje metody měření specifikací parametrů dohledových videokamer, standardní podmínky natáčení, rozsah kvantizace jasových složek, popisuje metody měření vlastností kamer při slabém osvětlení, měření zpoždění IP videa, měření rozostření pohybu a měření přenosové rychlosti datového toku, ale podobně jako normy ČSN 62676-1-2 a 62676-2-1 se nevěnuje oblasti kvality obrazu systematicky a nenabízí metodu hodnocení kvality služby, či metodu hodnocení kvality obrazu. [6]

Jak již bylo zmíněno v úvodu kapitoly, metodám zaměřujícím se na technické aspekty zpracovaných dat říkáme metody objektivní, metodám kdy je hodnocení realizováno skupinou osob říkáme metody subjektivní. Objektivní metody jsou vzhledem k mechanismu měření výrazně rychlejší, matematické algoritmy hodnotí předložená data podle skupiny předem definovaných kritérií. Nabízí se úvaha, že objektivní metody budou přesnější, resp. budou k různým zdrojům obrazu přistupovat obdobně. Skutečnost je však složitější, vždy záleží na zvolené metodice, nevhodný analytický model může vést k chybným závěrům. Jako příklad lze použít primitivní metodu testování kvality, která bude postavena na měření množství dat ve vzorku. Představme si fotografii – snímek pořízený starším digitálním fotoaparátem

---

<sup>49</sup> parts per milion, jedna miliontina = 0,00001% z celku



v rozlišení 1600x1200 pixelů a uchovaný ve formátu nekomprimovaného BMP<sup>50</sup>. Uvažujme barevnou hloubku kanálu 8 bitů, výsledná velikost souboru bude tedy přibližně 1600 x 1200 x 8 x 3 = přibližně 46 MB. Proti tomu postavme fotografii pořízenou moderním fotoaparátem s rozlišením 24 megapixelů pracujícím s formátem snímků JPEG. Fotografie interpretovaná tímto ztrátovým kompresním algoritmem bude mít velikost 8 MB. Pokud budeme objektivní metodou porovnávat pouze velikost souboru, dospějeme k závěru, že kvalita snímku z prvního fotoaparátu musí být výrazně lepší, jelikož velikost snímku je více než 5x vyšší. Samozřejmě při subjektivním hodnocení by byl výsledek zcela jistě opačný. To je úskalí objektivních metod měření kvality.

Subjektivní metody měření kvality multimediálních dat jsou založeny na váženém průměru hodnocení poučené skupiny osob, kdy jednotlivé postupy jsou popsány v rámci technických standardů a jsou realizovány v laboratorním prostředí, které zaručuje konstantní podmínky pro jednotlivá měření. Pochopitelně existuje několik metod testování a hodnocení, vždy s ohledem na obsah testování. Klíčový je také dostatečně velký počet subjektů a vzorků, kdy při malém počtu testovacích osob či při malém počtu testovaných vzorků dochází k nežádoucímu zkreslení výsledků testování. Výstupem subjektivních zkoušek je pak průměrná hodnota kvalitativního skóre označovaná jako MOS – Mean Opinion Score, tedy skóre průměrného hodnocení.

Zásadní překážkou při subjektivním hodnocení kvality není ani nutnost laboratorního prostředí či požadavek na dostatečný počet poučených subjektů, ale vysoká časová náročnost těchto testů a z nich plynoucí vysoké náklady na jejich realizaci. Z tohoto důvodu se začaly prosazovat objektivní metody hodnocení, které se pokouší subjektivní metody substituovat. Hlavním cílem objektivních metod je tedy odhadnout vizuální kvalitu s vysokou korelací se subjektivním hodnocením.

---

<sup>50</sup> Bitmap, nebo také Windows bitmap, formát rastrové grafiky představený v roce 1988

## 2.2 Metody hodnocení kvality

Při měření kvality multimediálních dat se velmi často určuje míra kvality pro různá rozlišení či stupně komprese. Můžeme si to představit tak, že je k dispozici zdrojový soubor zaznamenaný bezztrátově s kódováním chromatické složky 4:4:4 a se vstupním rozlišením 1080p při 60 snímcích za vteřinu. Různým nastavením kodéru získáváme sekvence o nižších rozlišeních, snímkovacích rychlostech, chroma kódování a nižších datových tocích. Pokud porovnáváme takto získaná data s původním zdrojovým souborem, metodu označujeme za metodu s plnou referencí (FR – full reference).

Pokud nebudeme mít k dispozici referenční zdroj obrazu, ale pouze tzv. metadata, které jej popisují, hovoříme o metodě s redukovanou referencí (RR – reduced reference). Zde si můžeme představit využití informací jako jsou hodnoty SNR (odstup signál-šum) pro jednotlivé snímky, či statistická data o zastoupení složek signálu ve snímcích – tzv. histogram.

Pokud nemáme ani původní zdrojový soubor, ani referenční data, hovoříme o metodě měření kvality bez referencí (NR – no reference). NR metody jsou aplikovány ve dvou rovinách analýzy obrazových dat, hodnotí se samotná obrazová informace (pixely) a hodnocení parametrů datového toku, jako je např. bitrate, způsob klíčování a přenosu snímků, hodnota kvantizačního faktoru apod. Při testování kvality CCTV kamer je klíčová právě NR metoda, jelikož zdrojem pro výsledný obrazový stream je IP kamera a obraz vzniká v reálném čase generováním z výstupu CMOS snímače kamery. [18]

## 2.3 Standardizace subjektivních metod

Každý experiment má váhu pouze pokud je reprodukovatelný a předvídatelný, což znamená že na stejné zadání se dočkáme podobného výsledku. Aby bylo možné subjektivní testování kvality porovnávat, musela vzniknout metodika, která postup experimentu popisuje a určuje kritéria jak samotného testu, tak standardizuje výsledky zkoumání.

Za tímto účelem předložily dvě divize ITU svá doporučení. Jednalo se o divize ITU-R<sup>51</sup> a ITU-T<sup>52</sup>. Výsledkem bylo koncem 80. let doporučení (jak ITU své standardy nazývají),

---

<sup>51</sup> International Telecommunication Union - Standardization sector Radiocommunication

<sup>52</sup> International Telecommunication Union - Standardization sector Telecommunication

s označením ITU-R BT.500. Do dnešního dne již byla vydána 13. revize doporučení a aktuální verze z ledna 2012 je označovaná jako ITU-R BT.500-13.

Samotné doporučení obsahuje popis a nastavení laboratorního vybavení, podmínky pozorování i vlastní metodiku testování s plnou referencí a testování bez reference. Kromě ITU-R BT.500 zaměřeného na televizní vysílání existuje i doporučení ITU-R BT.1788, které řeší subjektivní posuzování kvality videí určených pro multimediální aplikace a ITU-R BT.2021 dedikované pro stereoskopické 3DTV systémy. Pro doplnění je ještě vhodné zmínit i řadu doporučení ITU-T P.900, která se zabývá analýzou audiovizuální kvality v multimediálních službách. V moderní internetové době vznikl ještě jeden standard doporučení testování kvality internetových médií s označením ITU-T P.913. Doporučení subjektivních hodnocení kvality doplňuje pak především metodika popsána v rámci ITU-T P.805 a hodnocení pro HDTV ITU-R BT.710-4.

Všechny metody použití v jednotlivých doporučeních jsou založeny na subjektivních metodách hodnocení a jsou tak časově i finančně náročné. Z tohoto důvodu se organizace jako je ITU a VQEG<sup>53</sup> začaly zaměřovat na algoritmizaci procesů hodnocení kvality a vývoj objektivních metod testování kvality. [9]

## 2.4 Standardizace objektivních metod

Objektivní metody hodnocení kvality videa vznikají jako reakce na náročnost subjektivních metod hodnocení kvality. Současně se zjednodušováním procesu testování se objektivní metody pokouší přiblížit subjektivním metodám hodnocení, které stále nejlépe vystihují nuance lidského vnímání multimediálních dat.

Objektivní metody přináší nové pojmy QoS a QoE<sup>54</sup>. Skupina ITU-T pracující na standardizaci objektivních metod hodnocení kvality nese označení ITU-T SG12<sup>55</sup>. Kromě expertních skupin ustanovených pod ITU působí také skupina odborníků specializujících se na posuzování kvality videa, již zmiňovaná VQEG, která shromažďuje poznatky z akademické sféry a průmyslu za účelem plánování a ověřování objektivních metod. V rámci VQEG působí

---

<sup>53</sup> Video Quality Experts Group

<sup>54</sup> Quality of Service, Quality of Experience

<sup>55</sup> ITU-T Study Group

řada odborníků z ITU-T a proto řada standardů a doporučení ITU vychází ze zkušeností a spolupráce s VQEG.

Standardsy objektivních metod kombinují testování pro televizní i multimediální aplikace, část vychází z metod s plnou nebo částečnou referencí a jsou to především doporučení ITU-T J.144, J. 247, J.342 pro měření kvality přenosu HD signálu v kabelových televizích při dostupnosti redukováného signálu, případně ITU-T J.342 pracující s metodou edge PSNR, která je použita v modifikované podobě i v programu ELECARD StreamEye pro analýzu kvality H.264/AVC streamů.

Pro účely testování kvality nereferenčních zdrojů jsou nejzajímavější metody popsány v doporučeních ITU-T P.1201 a P.1202, které se věnuje hodnocení kvality bez dostupného zdroje původní informace. Expertní skupiny ITU-T také pracují na vývoji tzv. hybridního modelu hodnocení s označením J.bitVQM, který bude zahrnovat hodnocení parametrických charakteristik streamů i analýzu datového toku, resp. rámců přenášených videodat. Tento standard je však zatím ve vývoji a otevírá tak prostor na trhu pro komerční aplikace blízkých hybridním metodám, jak je vnímá ITU-T. [9]

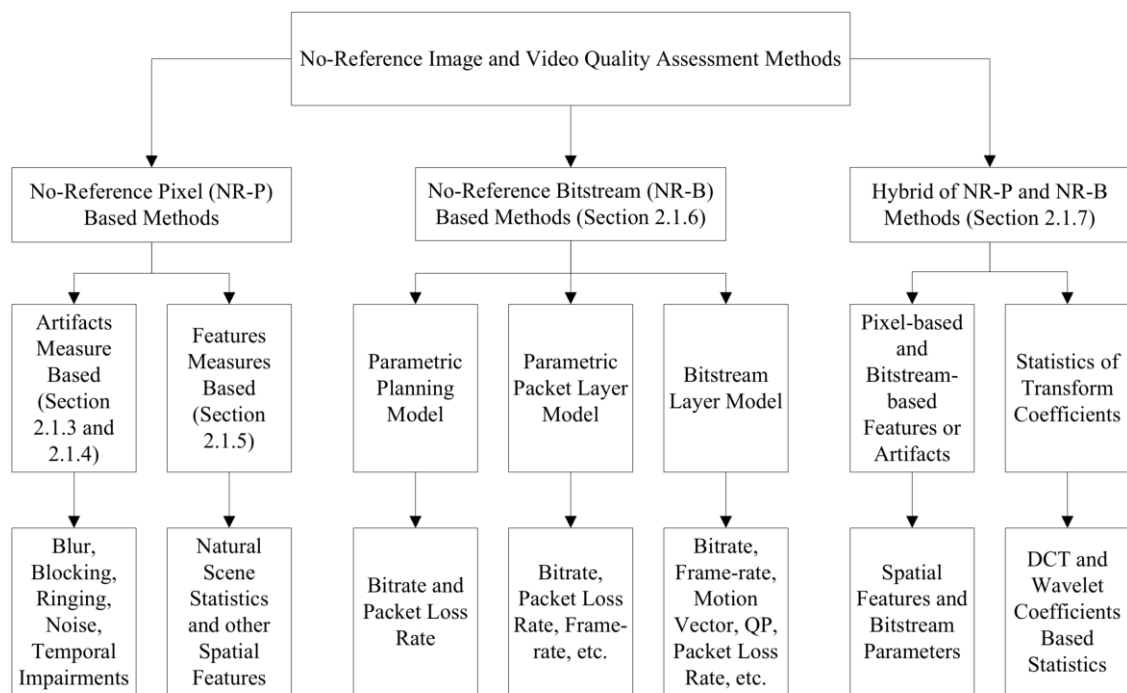
## 2.5 Objektivní metody pro NR zdroje signálu

Základní metody hodnocení kvality obrazu pro bezreferenční zdroje lze rozdělit na tři základní typy – orientované na jednotlivé obrazové body (pixelová analýza), analýzu datového toku (bitstream) a hybridní metody kombinující NR-P i NR-B metody.

Velkou výhodou metod založených na analýze bitového toku je snadno dostupný zdroj dat z přenášeného streamu, není třeba dekódovat samotné video a analýza kvality je tak velmi rychlá a efektivní i na slabším hardware. Pro účely této diplomové práce nás však budou zajímat metody orientované na jednotlivé body obrazu (pixely), které i přes výraznou náročnost při analýze datového toku umožňují sestavit model hodnocení velmi blízký modelu subjektivního hodnocení MOS<sup>56</sup>.

---

<sup>56</sup> Mean Opinion Score



Obr. 16: Přehled metod NR hodnocení kvality [9]

Na Obr. 16 zpracovává Muhammad Shadid ve své práci přehled metod bezreferenčního hodnocení kvality s rozdělením na pixelové, bitstreamové a hybridní metody. Každá metoda pracuje s jiným typem hodnocených dat (druhý řádek), kdy výstupem jsou jednotlivé hodnocené aspekty kvality (třetí řádek). [9]

## 2.6 Praktická aplikace subjektivního hodnocení

Jako příklad aplikace subjektivního hodnocení kvality mohou posloužit metodiky SSCQE<sup>57</sup> a DSIS<sup>58</sup> z doporučení ITU-R BT.500.

Metodika SSCQE vychází z tzv. slepého testování, kdy je divákům prezentována série videosekvencí, kdy některé sekvence obsahují poškození obrazu různého stupně. Subjekty hodnotí průběžně v reálném čase vnímanou kvalitu pomocí posuvníku s plynulým chodem bez uvedení stupňů či označením škály.

<sup>57</sup> Single Stimulus Continuous Quality Evaluation

<sup>58</sup> Double Stimulus Impairment Scale



Obr. 17: Posuvník subjektivního hodnocení metody SSCQE [19]

V testu DSIS jsou divákům zobrazeny vždy dvojice sekvencí složené z „referenční“ a „testovací“ sekvence. Subjekty hodnotí po shlédnutí obou sekvencí míru poškození v testovací sekvenci na diskretní pětistupňové škále v rozsahu od nepostřehnutelného po velmi obtěžující poškození.

Please rate the video impairments on the following scale:

Imperceptible
Perceptible, but not annoying
Slightly annoying
Annoying
Very annoying

Obr. 18: Škála hodnocení metodou DSIS [19]

Výhoda metody SSCQE je v průběžném hodnocení kvality sledovaného videa a může tak interpretovat i vnímané změny kvality v čase. Díky tomuto přístupu se však velmi komplikovaně hodnotí střední nebo průměrná hodnota kvality a interpretace škály je čistě na vnímání subjektu. [19]

Proti tomu je metodiky DSIS přesnější na vyhodnocení, jelikož pro každou krátkou sekvenci lze určit pouze jediné hodnocení v pětistupňové škále a interpretace vnímání kvality je současně snadnější pro subjekt, jelikož hodnotí testovací sekvenci proti referenční a volí ze škály kritérií která jsou blízká lidskému hodnocení. Po zprůměrování dostatečného počtu výsledků hodnocení více subjektů můžeme hovořit o hodnotě MOS – Mean Opinion Score, tedy průměrného hodnotícího skóre, což je současně hodnotící kritérium algoritmu použitého v analýzy programu Video Quality Monitor od AccepTV, který je využit v rámci této diplomové práce.

## 2.7 Interpretace MOS

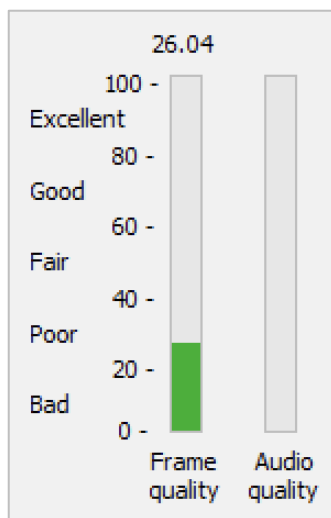
V rámci doporučení ITU-T P.802.2 je definována problematika hodnocení MOS. Skóre je dle doporučení prostý průměr hodnocení subjektů při předem definovaném a kontrolovaném experimentu.

Samotná definice MOS v rámci ITU-T P.802.2 již předpokládá využití škály pro objektivní metody hodnocení kvality obrazu a varuje před chybnou interpretací škály MOS. Přímou v doporučení se uvádí: „Cílem objektivních algoritmů pro měření kvality je předpovědět hodnotu MOS, kterou daný vstupní signál generoval v subjektivním experimentu. Proto při interpretaci objektivně odvozené MOS je nezbytné porozumět základnímu návrhu experimentu, který je předvídan“. Nejčastějším typem stupnice MOS je hodnotová ACR<sup>59</sup>, která je často doplněna slovním hodnocením kvality. Existuje také varianta DMOS<sup>60</sup>, která subjektům předkládá spolu s testovaným vzorkem i referenční obraz, což zjednodušuje a zpřesňuje tyto metody hodnocení. V případě obrazu z bezpečnostních kamer nelze z pochopitelných důvodů tuto škálu použít.

---

<sup>59</sup> Absolute Category Rating

<sup>60</sup> Degradation Mean Opinion Score



Obr. 19: Škála ACR – tak je MOS interpretováno programem VQM (zdroj: vlastní)

Vlastní proces testování probíhá tak, že jsou subjektu předkládány vzorky záznamu o délce 6-10 sekund, což je dostatečný čas na to aby si subjekt vytvořil názor na sledovaný vzorek aniž by si vytvořil v průběhu testu vůči vzorku nějaký předsudek. Je složité vybrat vzorek který věrně interpretuje rozsah možností, v případě kamerového systému například scény ve dne a v noci, hodnocení se tak provádí opakovaným testováním vzorku za odlišných podmínek. V rovnici č. 1 je uveden výpočet MOS hodnoty průměrem součtu individuálních hodnocení jednotlivých subjektů, kdy „ $N$ “ je celkový počet zkoušek či měření a „ $R_n$ “ hodnota jednotlivých hodnocení.

$$MOS = \frac{\sum_{n=1}^N R_n}{N} \quad (1)$$

V kapitole 8 doporučení ITU-T P.802.2 vyvrací autoři mylnou představu, že každý testovací vzorek má jistou hodnotu MOS. Hodnota MOS bude totiž vždy ovlivněna mnoha faktory, mimo jiné pokyny dané subjektům (jak byla představena škála MOS), použitým zařízením pro testování, prostředím ve kterém test probíhá, subjektem samotným (věk, zkušenosti), rozdíly ve výkladu a používání ratingových stupnic napříč kulturami a podobně. Subjekty mají především tendenci přizpůsobit svá hodnocení rozsahu experimentu. Z tohoto důvodu



mají dobře připravené experimentu na začátku prezentaci vzorků které pokrývají celou škálu hodnocení, tak aby došlo k správné „kalibraci“ hodnocení subjektů.

Samotné hodnocení podléhá také časovému odstupu mezi jednotlivými experimenty. Lze se tak domnívat, že stejný subjekt bude hodnotit při dvou experimentech dva totožné vzorky odlišně a to s ohledem na aktuální situaci a okolnosti experimentu. V případě experimentů s videem upozorňuje doporučení na důležitost obsahu videa při hodnocení kvality, jelikož obsah sekvence má zásadní význam na způsob jak efektivně může být kódována. [20]

Doporučení také uvádí, že pro případné srovnání výsledků je nutné určit primární kontext testovaného videa, což je nejčastěji totožné rozlišení obrazu. Tohoto doporučení se při testování kvality držíme a všechny praktické testy budou probíhat výhradně v rozlišení Full HD, vzorky s rozlišením 720p a 4K (2160p) budou otestovány pouze pro účely konstrukce kalkulátoru bitrate a zjištění koeficientu navýšení toku.

Klíčové pro získání hodnoty MOS v uvažovaném experimentu bude použití jednotné metody, tak jak ji realizuje program Video Quality Monitor, v rámci definovaného primárního kontextu a při stejných podmínkách, resp. se stejnou snímanou scénou. Díky objektivnímu modelu hodnocení budou výsledky měření porovnatelné a využitelné pro sestavení matematického modelu hodnocení kvality obrazu z jednotlivých typů kamer, kodeků a prostředí.

## 2.8 Elecard StreamEye

Společnost Elecard patří mezi světové lídry v oblasti vývoje programového vybavení pro encoding, decoding, zpracování a přenos multimediálních dat. Společnost byla založena v roce 1988 v Tomsku (Rusko) a dnes zaměstnává více než 160 specialistů. Mezi jejich zákazníky patří výrobci multimediálního obsahu, poskytovatelé IPTV, VoD a provozovatelé přenosových sítí, mimo jiné také firmy jako Intel, Cisco, Netflix, Huawei, Blackmagic a další. Elecard mimo jiné dodává software pro encoding TV vysílání z MS ve fotbale 2017/2018 a dodává technologie pro TV vysílání v rozlišení 8K. [21]

Elecard poskytla pro realizaci tohoto projektu jeden ze svých analytických programů s označením StreamEye, což je nástroj pro profesionální a detailní analýzu videostreamů. StreamEye podporuje zpracování řady videoformátů: MPEG-2, H.264/AVC, H.265/HEVC, VPX, MPEG-Dash, HLS, AV1. Velmi zajímavou funkcí podprogramu StreamEye s názvem

VideoQuality je výpočet QoE ve standardech PSNR<sup>61</sup>, APSNR<sup>62</sup>, SSIM, DELTA, MSE<sup>63</sup>, MSAD, VQM<sup>64</sup>, NQI<sup>65</sup> a VMAF<sup>66</sup>. Mezi použité NR (no reference) metodiky patří ePSNR<sup>67</sup>, bohužel algoritmus ePSNR je kompatibilní pouze s kodeky MPEG-2 a H.264/AVC a nelze jej aplikovat na videostream komprimovaný kodeky H.265/HEVC.

### Výčet analytických funkcí programu Elecard StreamEye:

- Realizace FR (full reference) měření kvality PSNR
- ePSNR výpočet pro MPEG-2 a H.264/AVC
- Ověření kompatibility se standardy ISO/IEC MPEG a ITU-T VCEG
- Automatická analýza a generování reportů o stavu streamu
- Zobrazení dekódovaných, predikovaných a reziduálních pixelů
- Zobrazení reziduálních, transformačních a dekvantizovaných koeficientů
- Zobrazení makrobloku (MPEG-1/2, H.264AVC) / blokové jednotky hierarchického stromu (CTU - Coding Tree Unit) H.265/HEVC
- Interpretace streamu a snímků v grafu
- Obsah hlaviček streamů a zobrazení snímků I, P, B, IP a klíčových snímků
- Prohlížeč streamu - prezentace obsahu souboru v textovém, hexadecimálním a binárním režimu
- Zobrazení záhlaví bitových proudů s posuny a indikací velikosti bitů
- Vizualizace řezů a hranic makrobloků, oddílů, pohybových vektorů, typů, bitových velikostí, hodnot kvantizačních parametrů
- Zobrazení referenčních rámců a dekódované obrazové vyrovnávací paměti (DBP)
- Analýza a zobrazení parametrů vyrovnávací paměti video dekodéru
- Zobrazení referenčních nezpracovaných dat [22]

---

<sup>61</sup> Peak signal to noise ratio - špičkový odstup signálu k šumu

<sup>62</sup> Aligned PSNR

<sup>63</sup> Mean squared error - Střední kvadratická chyba

<sup>64</sup> Video Quality Metric

<sup>65</sup> Nonlinear Quality Index – Index nelineární kvality

<sup>66</sup> Video Multimethod Assessment Fusion

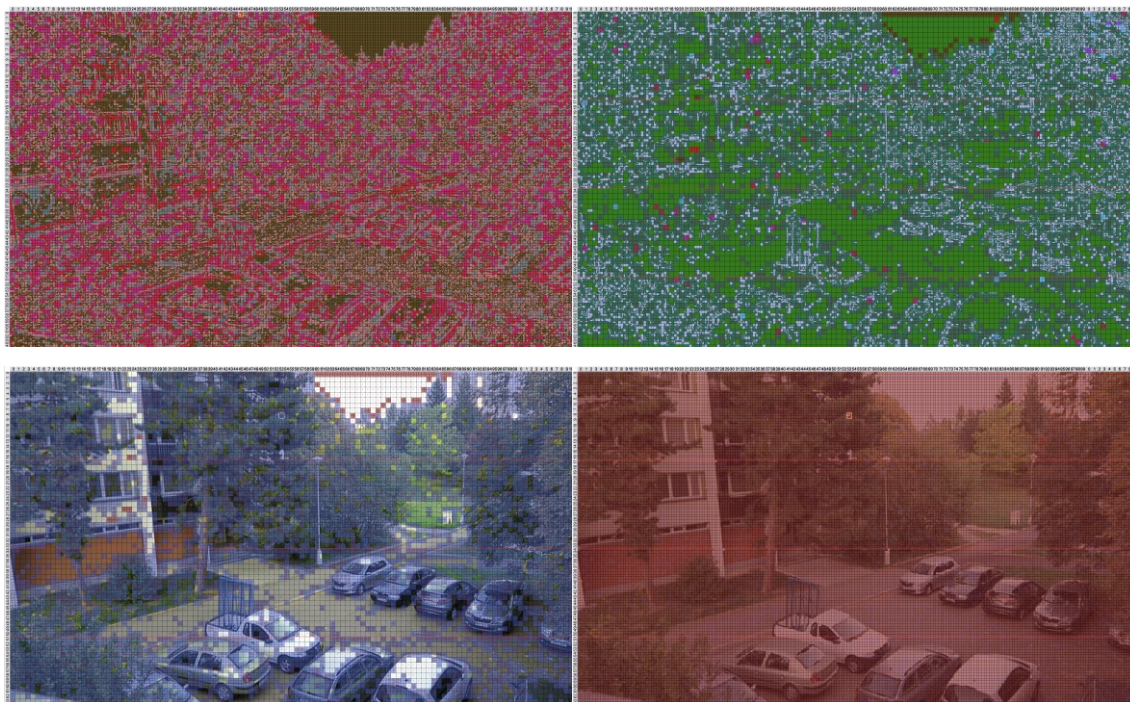
<sup>67</sup> Estimated peak signal to noise ration – odhadovaný špičkový odstup signálu k šumu

### Prostředí programu

Prostředí programu je přehledně členěno na okno s grafem snímků, který lze přepínat do zobrazení sloupcového grafu, náhledu snímků a plošného grafu. V grafu lze zobrazit bitovou velikost snímku, hodnotu kvantizačního faktoru, vypočtené ePSNR, podíl makrobloků, jejich velikostí, I/P/B snímků a řadu dalších vlastností snímků streamu – viz Obr. 21.

Okno se statistickými informacemi obsahuje statistická data o streamu, vybraném snímku, detail hlaviček snímků, detailní informace o procesu predikce, detailní informace o pixelech, použitém standardu, vzorkovacím schématu chromatické informace – viz Obr. 22.

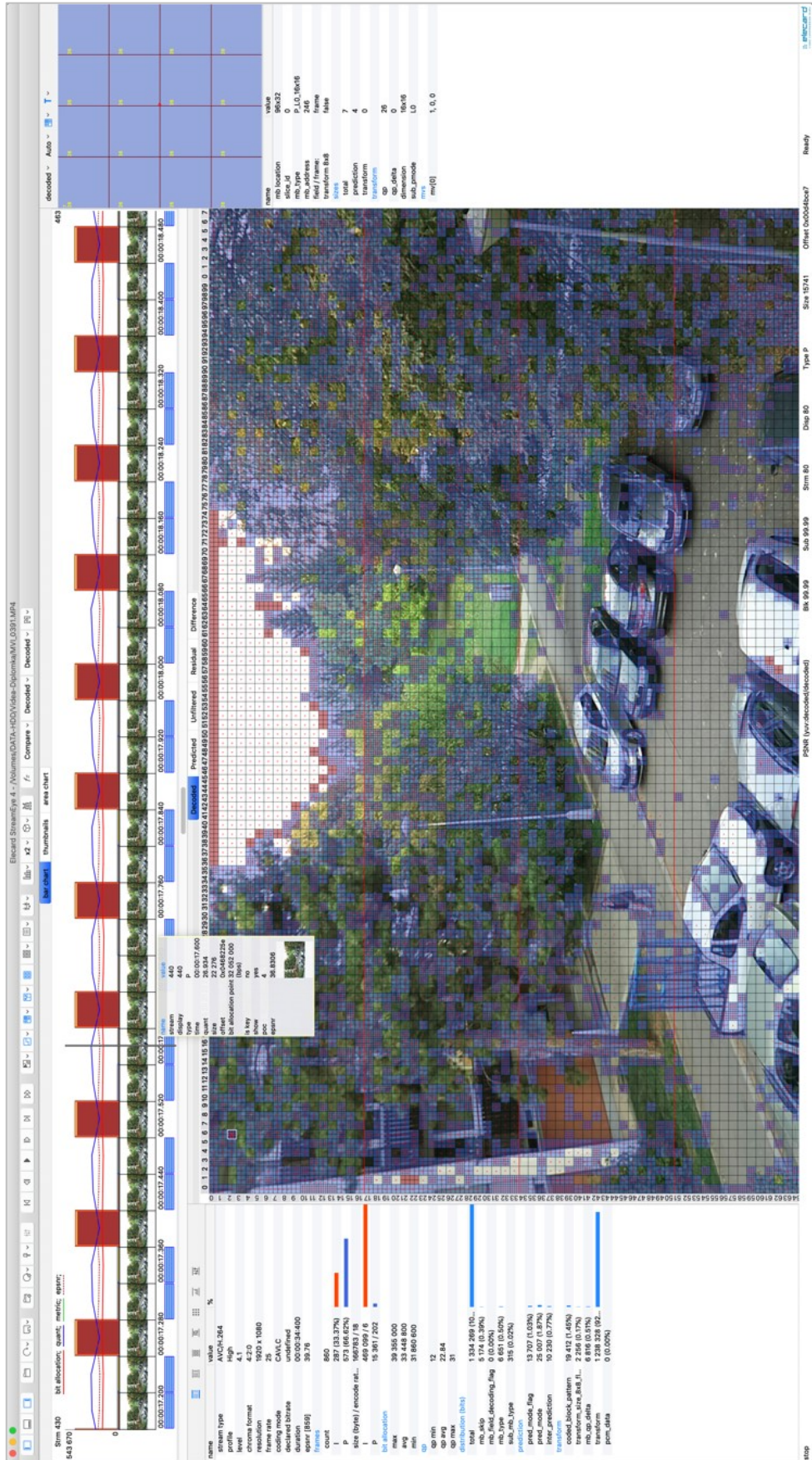
Největší část plochy programu zabírá okno s vizualizací vlastních videodat, kdy toto okno může zobrazovat dekodovaný, predikovaný, nefiltrovaný, reziduální a diferenční snímek, včetně zobrazení makrobloků, řezů a CTU s odkazem na detailní rozbor parametrů makrobloku.



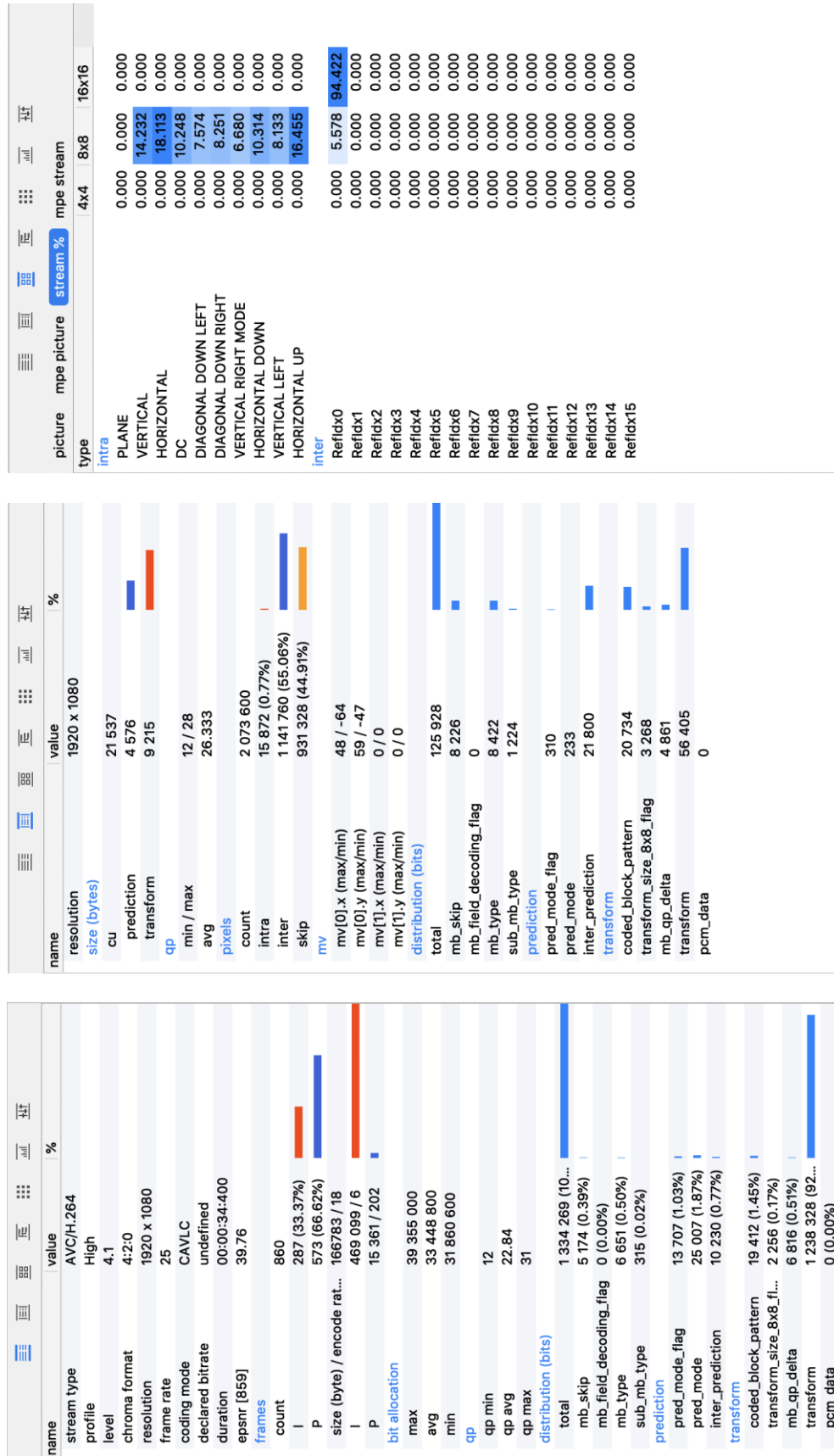
Obr. 20: Zobrazení reziduí, predikovaného a dekodovaného snímku (zdroj-vlastní)

Poslední část programu zobrazuje detail vybraného makrobloku či CTU s uvedením detailních informací o referenčním makrobloku, velikosti, poloze, dělení makrobloku, predikčním vektoru a kvantizačních parametrech snímku. Lze tak detailně zkoumat každý aspekt dekodovaného snímku či streamu.





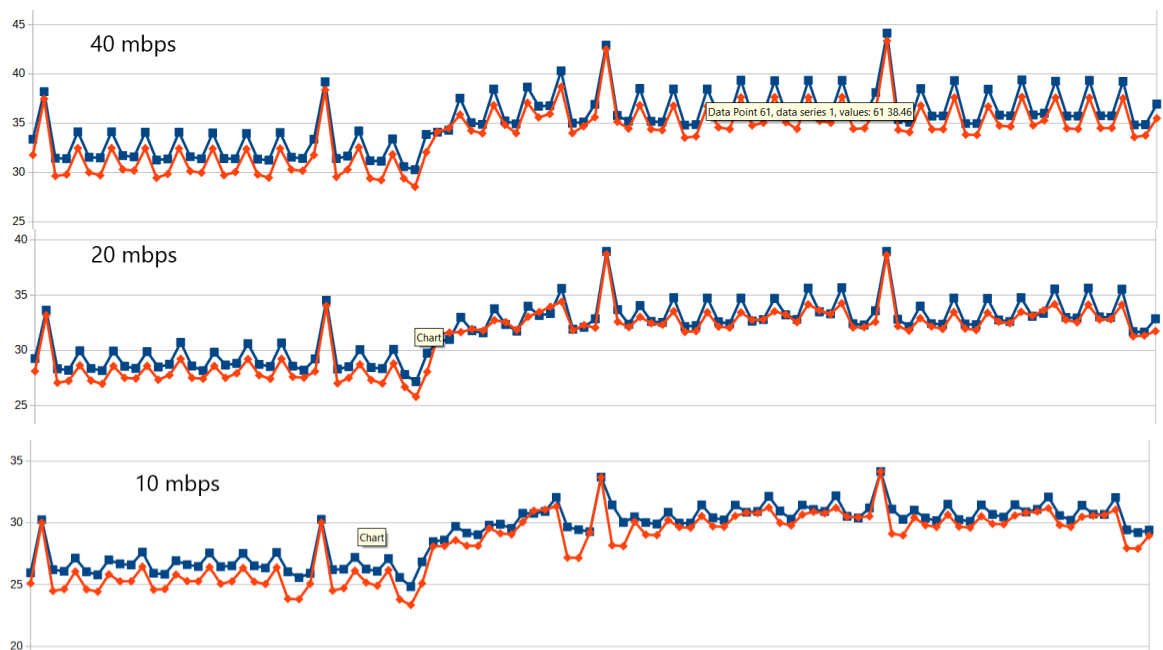
Obr. 21: Prostředí programu Elecard StreamEye (zdroj-vlastní)



Obr. 22: StreamEye - statistika analyzovaného streamu a snímku (zdroj-vlastní)

### 2.8.1 Elecard ePSNR

ePSNR je proprietární metoda společnosti Elecard k měření dopadu komprese na přenášený obraz. Zkratka znamená Estimated Peak to Signal Ratio, tedy odhadovaný špičkový odstup signálu k šumu. Metoda ePSNR vyhodnocuje parametry metadat streamu, velikosti a parametry makrobloku a měří relativní hodnotu kvantizačního faktoru vůči kvantovanému DCT koeficientu vyjádřenému v decibelech. Vzhledem k využívání diskrétní kosinové transformace pouze u standardů MPEG-2 a H.264/AVC nelze použít ePSNR pro H.265/HEVC, čímž se stává pro účely této diplomové práce nepoužitelným. Metoda ePSNR vyvinutá firmou Elecard je natolik přesná, že ji lze použít místo PSNR, jak výrobce ilustruje na grafech níže, kde porovnává získané hodnoty s referenční PSNR (modrá linka) s bezreferenční ePSNR (oranžová linka).



Graf 1: srovnání PSNR a ePSNR generovaného programem Elecard StremEye [23]

## 2.9 AcceptTV Video Quality Monitor

AcceptTV je francouzská společnost zabývající se výhradně vývojem software pro měření objektivní kvality videa a plně automatické monitorování vysílacích a přenosových sítí.



Firma sídlí v Nantes ve Francii a vznikla v roce 2008 na univerzitě v Nantes jako výsledek práce výzkumného týmu Image Perception Interaction (IPI) laboratoří LS2N (laboratoř digitálních věd). Zakládajícími členy jsou Mathieu Carnec, Ph.D a prof. Dominique Barba. Hlavní produkt AcceptTV, program Video Quality Monitor (VQM) je výkonné softwarové řešení pro měření a monitorování kvality videa s vysokou korelací k subjektivnímu hodnocení, tak jak je interpretováno doporučeními ITU-T BT.500 a ITU BT.710. Výstupem aplikovaného algoritmu je ekvivalent hodnocení kvality MOS se škálou 1 až 100%. VQM může také měřit a sledovat kvalitu zvuku a hlasitost zvuku.

Video Quality Monitor (VQM) obsahuje algoritmy pro hodnocení kodeků MPEG-2, MPEG-4, H.264/AVC i H.265/HEVC, čímž je ideálním nástrojem pro realizaci měření objektivní kvality obrazu pro účely této diplomové práce.

VQM provádí analýzu obrazu formou analýzy technických parametrů streamu s doplněním měření a monitorování efektu vytváření bloků v obraze, detekci rozmazání, kolísání kontrastu, trhání obrazu, zamrznutí obrazu, přenos prázdných snímků, změny v barevnosti a kolísání snímkovací rychlosti. Metoda tak pokrývá výrazně větší škálu vlastností než běžně dostupné objektivní metody a interpretace hodnot MOS je velmi blízká případnému subjektivnímu experimentu. [24]

The screenshot displays the Video Quality Monitor (VQM) software interface. The main window is titled "Video Quality Monitor" and features a video preview window on the left showing a building. The central area contains various control panels and measurement options. The "Online measurement" section is active, showing video source settings (URL: http://192.168.0.20) and audio source settings (URL: http://192.168.0.20). The "Video measurement" table shows current and worst values for various metrics:

Video measurement	Current value	Worst value
Perceived video quality (MOS)	81.828849	62.487955
Bloodyness	1.157285	1.662495
Blur	0.092895	1.075737
Contrast	0.232535	0.192534
Jerkiness	0.0 ms	0.0 ms
Badly reconstructed macroblocks	---	---
Temporal activity - Major changes	0.1155 - 0.0126 %	n/a
Mean value - standard deviation	85.4 - 52.287	n/a
Min - Max	6-255	n/a
Camera noise	---	---
Bloom	---	---
Encoding quality (MOS)	---	---
Transmission quality (MOS)	---	---
Super-black / Super-white pixels	0.0009 % - 3.2377 %	0.0021 % - 3.2450 %

The "Audio measurement" table shows:

Audio measurement	Current value	Worst value
Perceived audio quality (MOS)	---	---
Counter of audio breaks	---	---
Momentary loudness	---	---
Short term loudness (3.00 sec.)	---	---
Medium term loudness (15.00 sec.)	---	---
Gated loudness (15.00 sec.)	---	---
Max - Std Deviation	---	---

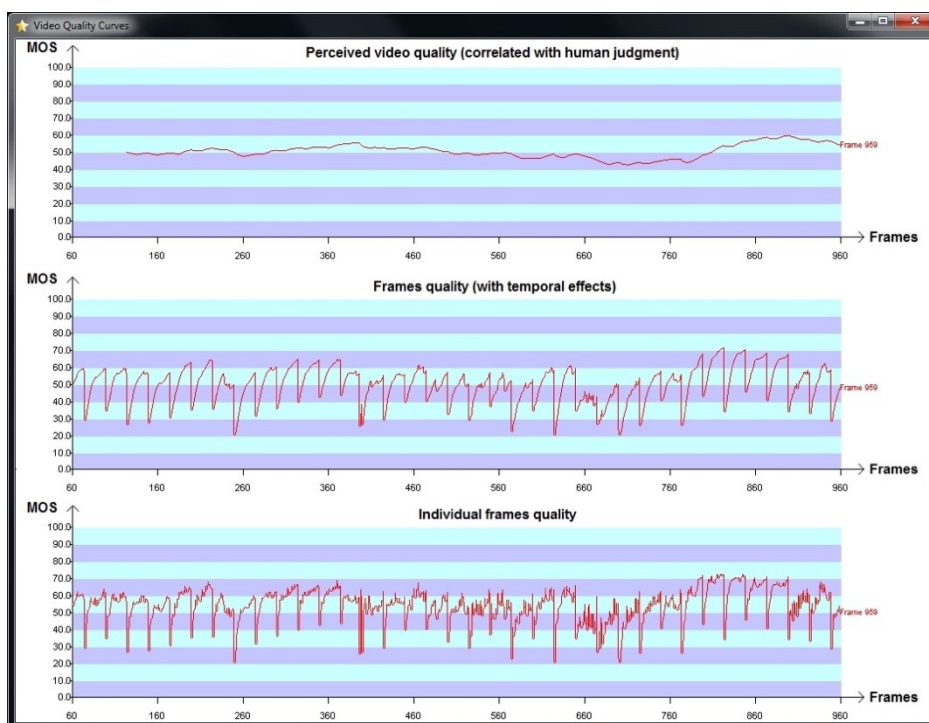
The interface also includes a sidebar with monitoring windows (Video quality, Video bitrate, VQ indicators, Temporal activity, Measured audio, Audio quality, Audio bitrate, Current alerts, Latest alerts, Magnify) and an HTTP server section (Stopped, Start, Open, Infrared & scripting, IR codes..., Edit script..., Run script, Pause script, Parametric & Hybrid, Transmission quality, Clock, Settings..., Help, AcceptTV, Exit).

Obr. 23: Prostředí programu Video Quality Monitor (zdroj-vlastní)

VQM může zpracovávat jako zdroje signálu video soubory, snímkovací karty (SDI, HDMI, kompozitní apod.), ale akceptuje také IP stream ve formátech UDP, RTP, RTSP, RTMP, HTTP či HTTP live streaming. Pro účely analýzy streamů do diplomové práce bude využit, tam kde to kamery budou umožňovat, přímý streaming přes RTSP, v opačném případě budou analyzovány uložené videostreamy z SD karet zaznamenaných přímo kamerou.

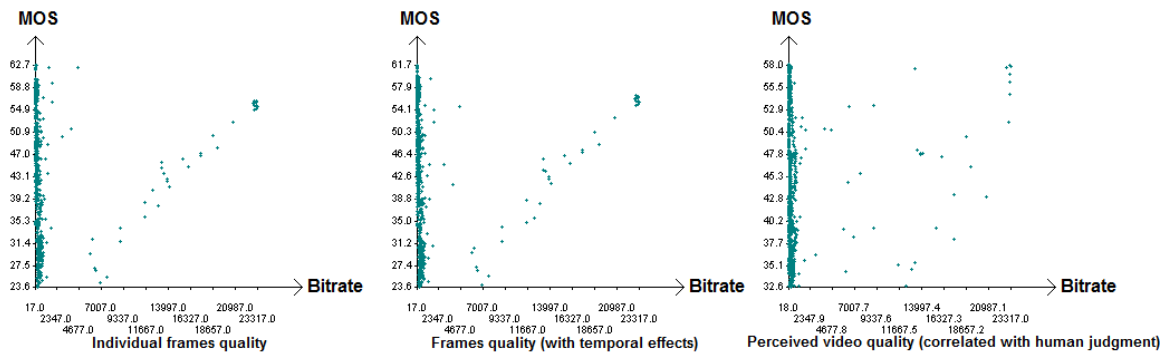
### Výstup programu

Video Quality Monitor zobrazuje získané hodnoty v reálném čase pomocí integrovaného www serveru v přehledných grafech, výstupem u analýzy ze souboru může být též HTML report. VQM vyhodnotí také nejlepší část přenosu a snímek s nejnižší kvalitou, lze tak dobře analyzovat příčiny nízké MOS. Pro každý analyzovaný stream vyhodnotí VQM křivku a průměrnou hodnotu kvality (MOS), kolísání bitového toku a křivku projevů blokové chyby, rozmazání, kontrastu a šumu v obraze. Opět za účelem určení příčiny největšího vlivu na kvalitu streamu.

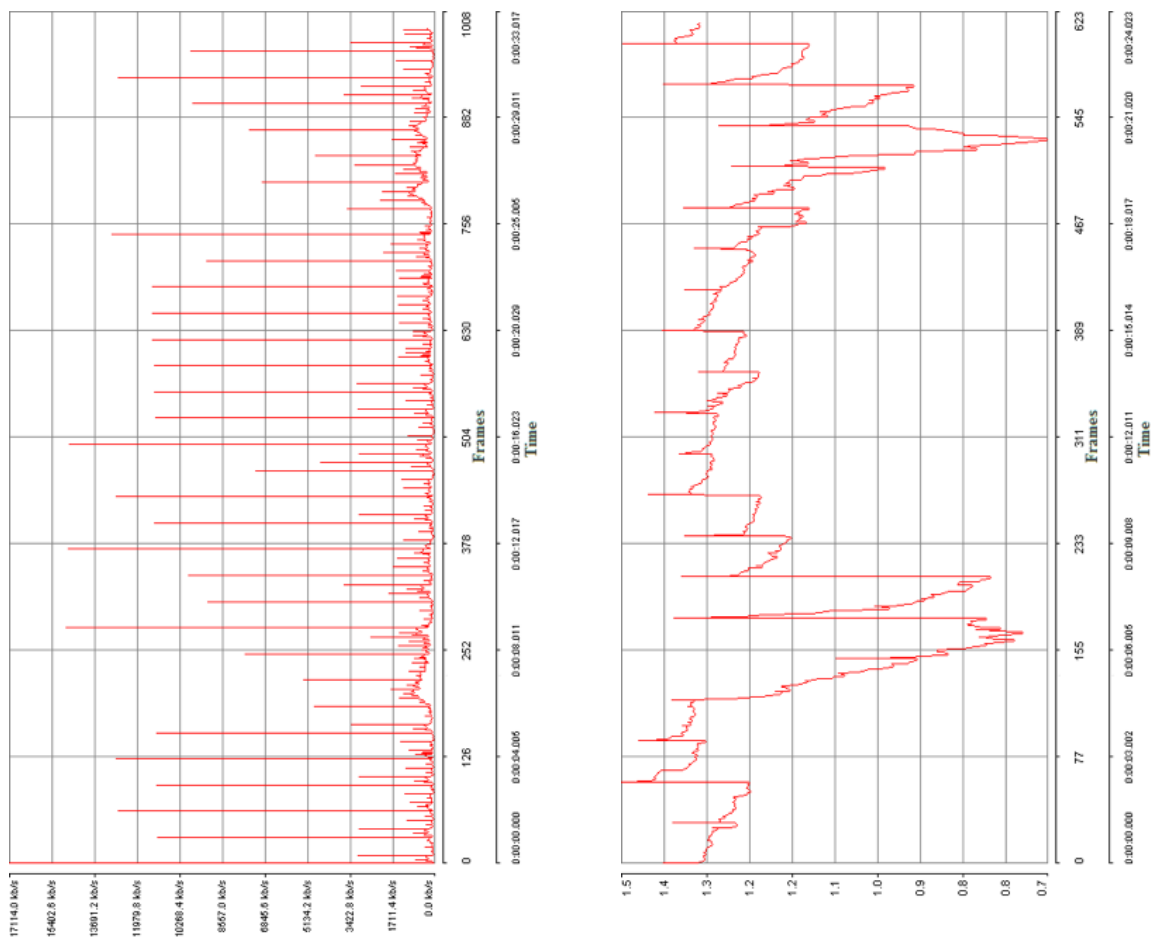


Obr. 24: Ukázka výstupu křivek zpracovávaného streamu v reálném čase [24]





Obr. 25: Korelace MOS a datového toku videostreamu (zdroj: vlastní)



Obr. 26: Ukázka výstupu měření VQM – datový tok a bloková chyba (zdroj-vlastní)

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

### 3 PROVÁDĚNÍ ZKOUŠEK

Cílem provádění zkoušek je získání relevantních podkladů pro stanovení hodnoty datového toku video streamu kamery při souběžném měření efektivní a reálné kvality přenášeného obrazu. Na základě takto získaných dat bude aproximací odpovídajících hodnot získán průběh matematické funkce závislosti datového toku ke kvalitativní škále vyjádřené hodnotou MOS<sup>68</sup>. Výstupem analýzy bude podklad pro vytvoření interaktivního kalkulátoru umožňujícího s vysokou pravděpodobností odhadnout zatížení počítačové sítě a prostor diskového úložiště digitálního záznamu při využití daného počtu a typu bezpečnostních kamer.

#### 3.1 Metodika testování

Při konfiguraci kamer bylo využito doporučení normy ČSN EN IEC 62676-5 pro standardní nastavení kamery – viz Tab. 3. Požadavky normy označené hvězdičkou nejsou pro účely provádění zkoušek relevantní, nemohli z tohoto důvodu být respektovány.

Tab. 3: Standardní nastavení kamery dle ČSN EN IEC 62676-5 [6]

Parametr	Hodnota
AGC	Zapnuto
Vyvážení bílé	Optimální nastavení (automaticky)
Maximální doba expozice	33 ms (1/30 sec.)
Snímkovací frekvence	30 fps
Počet pixelů výstupního obrazu	Maximální*
Formát komprese videa	Nekomprimovaný*
Poměr komprese videa	Minimální komprese*

Vlastní testování bylo realizováno snímáním identického prostředí všemi vzorky kamer, vždy v pěti rozdílných nastaveních kvality (resp. datového toku) a všech dostupných metodách komprese. RTSP stream kamery bude přenášen do programu Video Quality Monitor a po vyhodnocení 1000 snímků obrazu bude výsledek měření zapsán do testovacího archu.

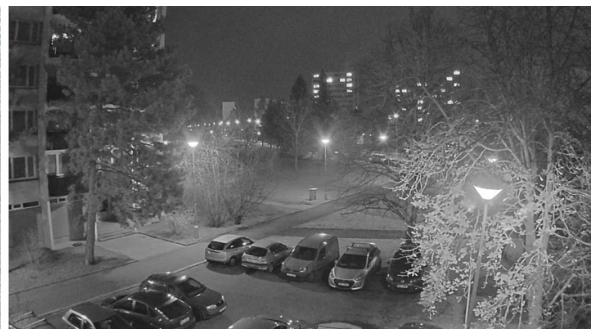
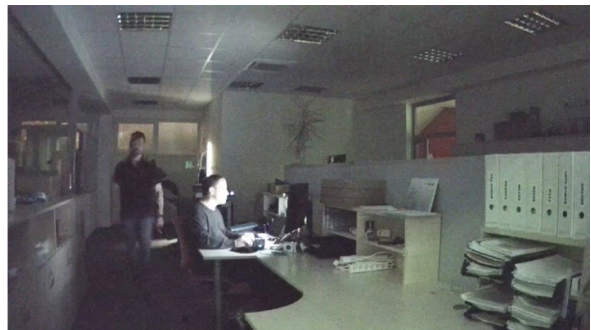
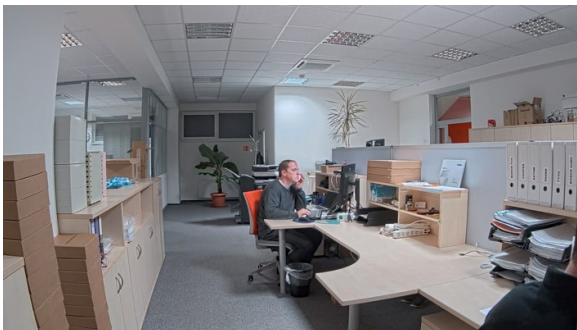
<sup>68</sup> Mean Opinion Score – průměrné názorové skóre

### 3.2 Prostředí

Testovaná prostředí zahrnují vnitřní kancelářské prostory a venkovní prostředí s výskytem přirozeného pohybu vegetace a v denní době také s výskytem osob a vozidel. Požadovaný poměr pohybu u vnitřního prostředí zajistí figurant pohybem v zorném poli kamery.

Tab. 4: Přehled testovacích prostředí se základními parametry

Prostředí	Denní doba	Poměr pohybu
Interier	den	15% pohybu
	noc	15% pohybu
Exterier		15% pohybu
	den	100% pohybu
	noc	15% pohybu



Obr. 27: Ukázky testovacího prostředí



Obr. 28: Ukázka prostředí exteriér při testování dopadu 100% změny scény

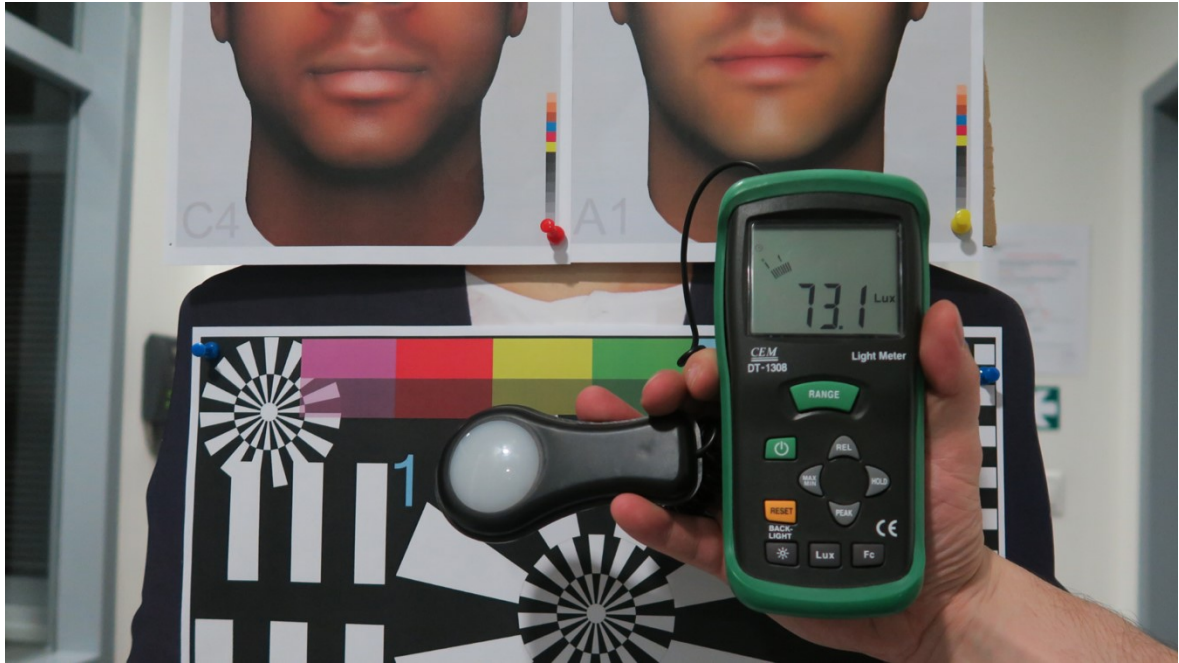
### 3.3 Úroveň osvětlení

Pro měření úrovně osvětlení byl použit přístroj CEM DT-1308. Tento kompaktní měřicí přístroj provádí měření pomocí křemíkové fotodiody, rozsah měření přístroje je 0,01 luxu až 400.000 luxů<sup>69</sup>. Klíčovou vlastností přístroje je automatický výpočet faktoru korekce a spektrální přesnost  $V\lambda f1 \leq 6\%$ . Měřením intenzity osvětlení pomocí luxmetru CEM DT-1308 byli v místě provádění zkoušek naměřeny následující hodnoty:

Tab. 5: Průměrné hodnoty úrovně osvětlení v testovacích prostředích

Prostředí	Denní doba	Osvětlení	Intenzita osvětlení
Interier	Den	Přirozené/umělé	140 lx
Interier	Noc	Zbytkové	0,24 lx
Exterier	Den	Přirozené	14.500 lx
Exterier	Noc	Umělé	1,5 lx
Exterier	Den-sněžení	Přirozené	700 lx

<sup>69</sup> Lux je jednotka intenzity osvětlení (E), 1 lux (lx) odpovídá osvětlení 1 m<sup>2</sup> světelným tokem 1 lumen (lm)



Obr. 29: Ukázka měření pomocí přístroje CEM DT-1308 (zdroj: vlastní)

### 3.4 Výběr kamer

Získání dostatečného množství relevantních dat pro sestavení kalkulátoru předpokládá analýzu vzorků z kamer odlišných výrobců. K výběru bylo přistupováno s předpokladem, že odlišný přístup výrobců k implementaci kompresních algoritmů, následné optimalizaci obrazu před vlastní kompresí, případně k aplikaci pokročilých post-processing metod pro snížení datového toku bude různou měrou ovlivňovat výsledky jednotlivých zkoušek.

Pro výběr výrobců kamer posloužil žebříček časopisu A&S Magazín, který každoročně zveřejňuje žebříček hospodářských výsledků nejvýznamnějších společností v oblasti bezpečnostních systémů. Při výběru jako podklad posloužilo pořadí firem z roku 2017. Pořadí značek je uvedeno v Tab. 6.



Tab. 6: Nejvýznamnější výrobci VSS dle A&amp;S magazínu [25]

Značka	Obrat v mil. USD	Pořadí VSS	Pořadí celkové
HIKVISION	5.364	1.	1.
DAHUA	2.681	2.	2.
BOSCH	2.088	3.	4.
AXIS	967	4.	5.
PELCO	?	?	?

Ke značkám Hikvision, Dahua, Bosch a Axis byl v rámci testování doplněn vzorek kamery společnosti Pelco, která je součástí koncernu Schneider Electronic a výsledky divize kamerových systémů samostatně nezveřejňuje. Důvodem proč byla kamera Pelco zařazena je fakt, že společnost Pelco a její výrobky jsou v České republice široce rozšířeny. Například městský kamerový systém města Zlín je postaven na platformě této značky. Popularita kamer Pelco se datuje již do 90. let, kromě městských kamerových dohlížecích systémů jsou známé z dopravních a energetických aplikací.



Obr. 30: Testovací sestava kamer při provádění zkoušek

### 3.4.1 AXIS Q1647

První zástupce testované kamery je model AXIS Q1647. Ten uvedla společnost AXIS na trh počátkem roku 2018 jako model nejvyšší modelové řady Q, používané především pro profesionální instalace. V době uvedení se jednalo o nejcitlivější 5.3 megapixelovou kameru tohoto výrobce a to především díky vynikajícímu CMOS čipu o velikosti  $\frac{1}{2}$ " s progresivním skenováním.

Model Q1647 disponuje řadou pokročilých funkcí. Kamera s výkonným CPU je vybavena inteligentní videoanalýzou, elektronickou stabilizací obrazu, ale také například řízeným i-CS objektivem, který předává managementu kamery informace o hodnotě otevření clony, poloze ostřících motorů a aktuálně nastavené transfokace objektivu. Všechny parametry objektivu lze dálkově nastavovat, což významně usnadňuje instalaci kamery. Právě funkcemi umožňujícími snadnější či přesnější nastavení je společnost AXIS známá.

Kamera je též vybavena mechanickým IR-cut filtrem, slotem na MicroSD/SDHC/SDXC kartu, vstupem a výstupem pro tzv. linkové audio, vstupní audio signál lze také využít jako signál poplachu.

#### **Lightfinder**

Proprietární technologie společnosti Axis umožňující zvýšit citlivost kamer a umožnit sledování v barevném režimu i při velmi nízké hladině osvětlení. Výrobce deklaruje, že kamery vybavené touto funkcí umožňují produkovat barevný obraz při hladině osvětlení 0,02 luxu. Hodnota citlivosti na světlo je u této kamery ukázkou technické vyspělosti dnešní technologie, stačí si uvědomit, že při hladině osvětlení 0,5 luxu lidské oko přestává vnímat barvy a hranice citlivosti lidského oka na světlo je přibližně 0,01 luxu.

Technologie Lightfinder kombinuje vlastnosti citlivých CMOS snímačů a kvalitních A/D převodníků s pokročilými algoritmy digitálního zpracování obrazu integrovanými v jednotném SoC<sup>70</sup> modulu. Důležitou součástí technologie Lightfinder je řízený objektiv s vysokou světelností, kdy u kamery Q1647 najdeme objektiv s hodnotu clony F1,5. [26]

---

<sup>70</sup> System on Chip - integrovaný obvod s funkcí kompletního počítače zahrnující obvody A/D převodu, digitalizace i postprocessingu



## Forensic WDR

Snímání scén s širokým dynamickým rozsahem umožňuje moderním kamerám integrovaná technologie WDR<sup>71</sup>. Jednoduchou implementací funkce WDR je digitální zpracování obrazu s adjustací lokálního kontrastu v rámci jednoho snímku. Tato metoda využívá pouze jediné expozice snímáče, nezvyšuje tedy dynamický rozsah snímání ve srovnání s maximálním rozsahem snímáče a bývá označována jako digitální WDR.

Kamera Axis Q1647 označuje digitální WDR jako *WDR-dynamic contrast* a doporučuje používat tuto metodu k snímání scén s vysokým podílem pohybu, případně k pořizování záběrů v místech s běžnou dynamikou osvětlení.

Další tři WDR metody použité u kamery Q1647 již využívají vícenásobné expozice, kdy kamera střídavě exponuje s krátkou a delší hodnotou času elektronické závěrky, následně průměruje pořízené snímky a kompenzuje velký rozsah jasů a stínů snímané scény. Axis tento režim označuje jako *WDR-dynamic capture*. Nevýhodou násobné expozice jsou artefakty objevující se v záznamu a stíny, které se objevují kolem pohybujících se objektů.

Další WDR metoda kamer Axis nese označení *WDR-forensic capture*, která k dvojitě expozici přidává funkci optimalizace lokálního kontrastu pro zvýšení rozlišitelnosti detailů v obraze.

Pro eliminaci negativních vlivů obou zmíněných metod vyvinula společnost Axis v současnosti nejpokročilejší metodu *Forensic WDR*, která kombinuje dvojitou expozici s optimalizací lokálního kontrastu a přidává funkce pro inteligentní odstranění šumu a eliminaci artefaktů způsobených dvojitou expozicí. Forensic WDR je dle výrobce primárně vyvinuta pro scény s vyšším zastoupením pohybu u kamer s vysokým rozlišením. [27]

## AXIS a H.265

Společnost Axis v současnosti (začátek roku 2019) preferuje kompresní algoritmus H.264 MPEG-4 Part 10/AVC a ve svých materiálech uvádí, že proprietární technologie komprese Zipstream je kompatibilní s algoritmem H.265/HEVC, nicméně stávající stupeň vývoje algoritmu HEVC je využitelný především pro kompresi bezšumového digitálního televizního vysílání a pro obraz bezpečnostních kamer není dosud vhodně optimalizován. [13]

---

<sup>71</sup> Wide Dynamic Range – rozšířený dynamický rozsah snímání



Obr. 31: Kamera AXIS Q1647 v exteriérovém provedení [28]

Tab. 7: Technické parametry kamery AXIS Q1647 [28]

AXIS Q1647	
<b>Parametry snímače</b>	½“ CMOS, 5.3 megapixelů, progresivní skenování, citlivost v barevném režimu 0.12 luxu při rozlišení 5MPx, 50 IRE <sup>72</sup> a F1.5 a aktivní funkci Lightfinder a Forensic WDR
<b>Objektiv</b>	IR korigovaný, 4~13mm F1.5 TAMRON M118VP413IR 91°~29° horizontálně, i-CS, IR-cut filtr <sup>73</sup>
<b>Podporované komprese</b>	MJPEG, H.264 (MPEG-4 Part 10/AVC) main/baseline/high profil, Zipstream (H.264+), ONVIF <sup>74</sup>
<b>Specifické funkce</b>	Forensic WDR 120dB, Lightfinder, elektronická stabilizace, Inteligentní analýza: Fence, Motion, Loitering Guard, audio detekce, Perimeter Defender, instalace aplikací 3. stran
<b>Firmware testované kamery</b>	Verze 7.35.2.1

<sup>72</sup> metoda měření úrovně výstupního signálu u analogových kamer. 0 IRE = 0 mV, 100 IRE pro PAL signál odpovídá 0,7V. Zkratka vznikla poněkud nelogicky z Institute of Radio Engineers.

<sup>73</sup> mechanicky odstranitelný filtr infračerveného světla, chránící ve dne snímač kamery před IR zářením

<sup>74</sup> Sdružení snažící se o standardizaci komunikace IP kamer a interoperabilitu napříč značkami

### 3.4.2 BOSCH NBE-6502-AL



*Obr. 32: Kamera Bosch NBE-6502-AL [29]*

BOSCH NBE-6502-AL je moderní verzi venkovní kompaktní kamery BOSCH s podporou moderního kodeku H.265/HEVC patří do série kamer Starlight s vysokou citlivostí na světlo. Snímač kamery disponuje vysokou hodnotou dynamického rozsahu 134 dB a kamera je vybavena základními algoritmy inteligentní video analýzy Essential VA. Snímači CMOS o velikosti  $\frac{1}{2}$ .8" a rozlišení 1080p sekunduje motorický objektiv s rozsahem ohniska 2.8~12 mm. [29]

#### **ROI a e-PTZ**

Kamera podporuje současné streamování ve formátech MJPEG, H.264 a H.265. Pomocí funkce ROI<sup>75</sup> lze generovat separátní přenos části záběru. Implementace virtuálního protokolu e-PTZ<sup>76</sup> se kamera může chovat jako virtuální otočná kamera, což je často využívaná funkce u kamer s extrémně širokoúhlými objektivy typu rybí oko.

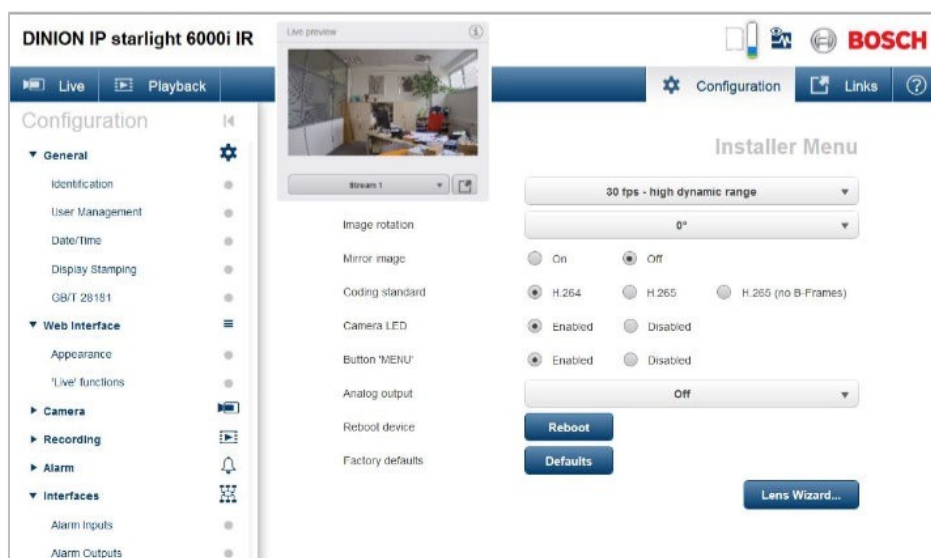
---

<sup>75</sup> Region of Interest – oblast zájmu

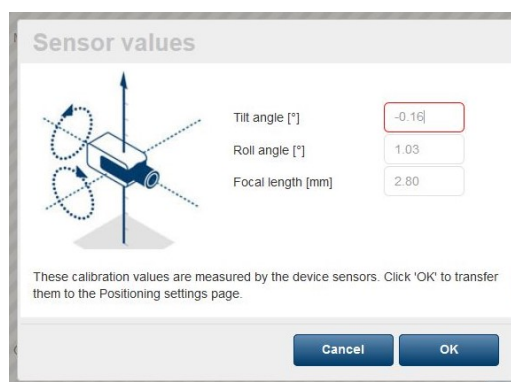
<sup>76</sup> Electronic Pan-Tilt-Zoom – digitální varianta natáčení (pan), naklápění (tilt) a transfokace (zoom) kamery

## Edge-recording a cloud service

Záznam obrazu je možné realizovat nejen v rámci NVR<sup>77</sup> či VMS<sup>78</sup>, ale také na integrovanou MicroSD/SHXC kartu, iSCSI<sup>79</sup>, FTP<sup>80</sup> server či dokonce cloudové služby typu Dropbox. Bosch tak vychází vstříc uživatelům malých systémů.



Obr. 33: Ukázka rozhraní kamery Bosch NB-6502-AL



Obr. 34: Zajímavá funkce – měření polohy kamer integrovaným náklonovým čidlem

<sup>77</sup> Network Video Recorder – jednoúčelové zařízení určené pro záznam obrazu z IP kamer

<sup>78</sup> Video Management Software – pokročilé serverové řešení záznamu a práce s kamerovým systémem

<sup>79</sup> Standard a název protokolu pro přístup a sdílení síťového datového úložiště

<sup>80</sup> File Transfer Protocol – protokol pro jednoduchý přenos souborů přes počítačovou síť

Tab. 8: Technické parametry kamery NBE-6502-AL

NBE-6502-AL	
<b>Parametry snímače</b>	½.8“ CMOS, 2.12 megapixelů, progresivní skenování, citlivost v barevném režimu 0.0225 luxu při 30 IRE a F1.4
<b>Objektiv</b>	IR korigovaný, 2.8~12mm F1.4 DC-drive <sup>81</sup> 100°~33° horizontálně, IR-cut filtr
<b>Podporované komprese</b>	MJPEG, H.265/MPEG-H HEVC H.264 (MPEG-4 Part 10/AVC) main/baseline/high profil, ONVIF Profile S <sup>82</sup> , ONVIF Profile G, GB/T 28181
<b>Specifické funkce</b>	WDR 134dB, iDNR <sup>83</sup> , Essential Video Analytics: line crossing, enter/leave field, follow route, loitering, idle/removed object, people counting, crowd density estimation, 3D tracking
<b>Firmware testované kamery</b>	Verze 6.50.0128 (28510650), HW rev. F000A243

### 3.4.3 DAHUA IPC-HDBW81230E-Z

Kamera HDBW81230E-Z patří do nejvyšší produktové řady uvedeného výrobce, označované jako ULTRA series. Kamera je tak vybavena maximem dostupných funkcí a rozměrným CMOS snímačem o velikosti 1/1.7“ s technologií Starvis. Kamera se dále pyšní podporou komprese H.265+ a kvalitní motorický objektiv 4.1~16.4mm slibují vynikající parametry. Snímač kamery je doplněn funkcí SSA<sup>84</sup>, která vyhodnocuje pohyb v záběru kamery a automaticky optimalizuje nastavení expozice pro udržení konzistentního obrazu bez přexpozic či černých částí v záběru.

Funkce e-PTZ dává u kamery s velkým snímačem a rozlišením 4K větší smysl, než její použití u jinak špičkové kamery BOSCH NBE-6502-AL. Zde je použití funkce virtuální PTZ zcela na místě.

### Inteligentní analýza

Nejvyšší řada kamer Dahua Ultra series je vybavena jak základní sadou analytických funkcí s detekcí narušení prostoru, překročení virtuální bariéry, detekce odloženého a odcizeného

<sup>81</sup> Jeden ze způsobů řízení clony objektivu, nastavení clony je realizováno na základě měření kamerou

<sup>82</sup> ONVIF se rozlišuje na tzv. profily, které definují jaké vlastnosti a schopnosti dané zařízení má

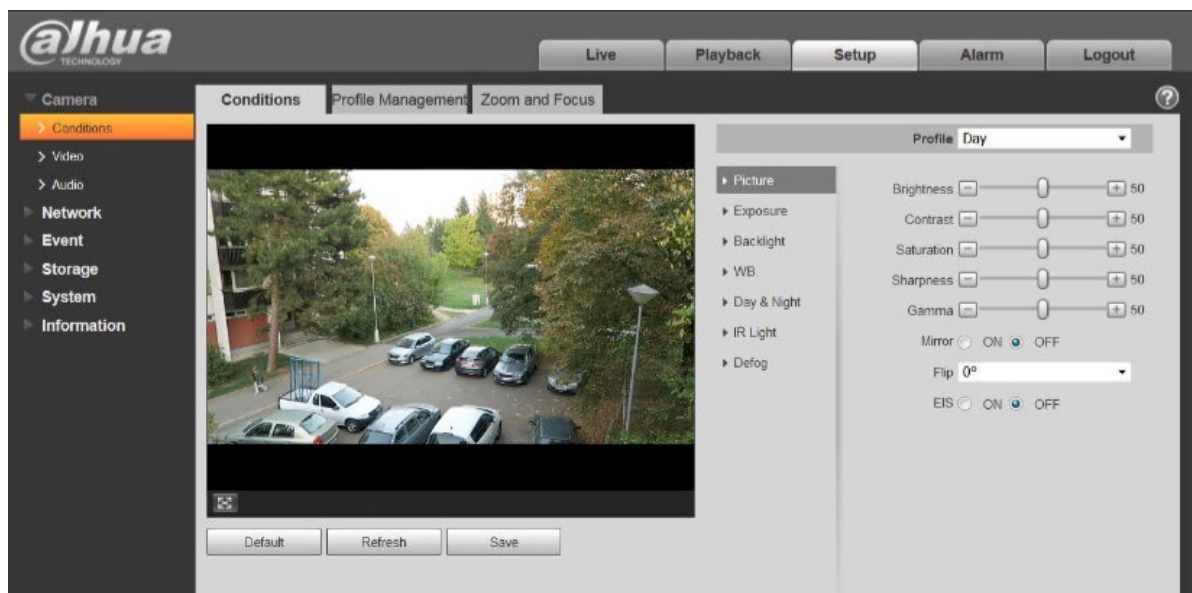
<sup>83</sup> Intelligent Digital Noise Reduction – inteligentní redukce šumu v obraze

<sup>84</sup> Smart Scene Adaptive

zavazadla, tak pokročilou sadou analytických algoritmů pro detekci obličeje, rozpoznání sabotáže kamery, počítání osob a generování tzv. heatmap, oblastí záběru s různou intenzitou pohybu v čase. Pokročilé funkce kamery ji řadí mezi špičku v dnešní nabídce IP kamer.



Obr. 35: Kamera Dahua IPC-HDBW81230E-Z [30]



Obr. 36: Ukázka prostředí webového rozhraní kamery Dahua IPC-HDBW81230E-Z

Tab. 9: Technické parametry kamery Dahua IPC-HDBW81230E-Z [30]

IPC-HDBW81230E-Z	
<b>Parametry snímače</b>	1/1.7" CMOS, 12 megapixelů, progresivní skenování, citlivost v barevném režimu 0.01 luxu při 30 IRE a F1.53
<b>Objektiv</b>	IR korigovaný, 4.1~16.4mm F1.53 HALL 105°~35° horizontálně, motorizovaný
<b>Podporované komprese</b>	H.264 (MPEG-4 Part 10/AVC) main/baseline/high profil, , H.265/MPEG-H HEVC, H.264+, H.265+ ONVIF, PSIA <sup>85</sup> , CGI <sup>86</sup>
<b>Specifické funkce</b>	EIS <sup>87</sup> , MicroSD/SDHC, Intelligent Video System: Tripwire, Intrusion, Object Abandoned/Missing, Face Detection, People Counting, Heat Map
<b>Firmware testované kamery</b>	Verze 2.420.000.10.R

#### 3.4.4 HIKVISION DS-2CD5A85G0-IZS

Společnost Hangzhou Hikvision Digital Technology Co., Ltd., jak se celým názvem jmenuje, je v současnosti nejvýznamnější výrobce technologií kamerových systémů s ročním obratem více než 5 miliard USD. Kamera DS-2CD5A85G0-IZS patří mezi střední třídu produktů této firmy, je vybavena citlivým 1/1.8" CMOS snímačem a motorickým varifokálním objektivem s ohniskovou vzdáleností 2.8 až 12mm při clonovém čísle F1.2.

Kamera má velmi podobné technické parametry jako testovaná Dahua IPC-HDBW81230E-Z a bude zajímavé při podobných technických parametrech hardware porovnat datový tok a odpovídající kvalitu obrazu.

<sup>85</sup> Physical Security Interoperability Alliance, sdružení výrobců bezpečnostních zařízení snažící se o standardizaci IP komunikace, v jistém slova smyslu je konkurencí sdružení ONVIF

<sup>86</sup> Common Gateway Interface, protokol pro komunikaci aplikací 3. stran s rozhraním IP kamery

<sup>87</sup> Electronic Image Stabilization, elektronická stabilizace obrazu kamery



Obr. 37: Kamera Hikvision DS-2CD5A85G0-IZS [31]

A screenshot of the Hikvision web interface. The top navigation bar includes 'Akt. zobrazení', 'Aplikace', and 'Konfigurace'. The 'Konfigurace' menu is active, showing sub-options: 'Zobř. nastavení', 'Nastavení OSD', 'Privátní maska', and 'Překrytí obrazu'. A left sidebar contains system settings like 'Systém', 'Síť', 'Video a audio', 'Snímek', 'Udalost', 'Úložisté', and 'Statistika'. The main content area displays a live camera feed of an office interior with a timestamp '11-20-2018 Tue 12:18:26'. To the right of the feed are various configuration sliders and sections: 'Nastavení obrazu podle ro...' (Automatické přepnutí), 'Úprava obrazu' (Brightness, Contrast, Saturation, Sharpness), 'Nastavení expozice', 'Ostření', 'Přepnutí den/noc', 'Nastavení podsvícení', 'Vyvážení bílé', 'Vylepšení obrazu', 'Úprava videa', and 'Jiné'. A copyright notice '©2018 Hikvision Digital Technology Co., Ltd. All Rights Reserved.' is visible at the bottom.

Obr. 38: Ukázka prostředí webového rozhraní kamery Hikvision DS-2CD5A85G0-IZS



Tab. 10: Technické parametry kamery HIKVISION DS-2CD5A85G0-IZS

DS-2CD5A85G0-IZS	
<b>Parametry snímače</b>	1/1.8" CMOS, 12 megapixelů, progresivní skenování, citlivost v barevném režimu 0.009 luxu při F1.2
<b>Objektiv</b>	IR korigovaný, 2.8~12mm F1.2 112.4°~41° horizontálně, motorizovaný
<b>Podporované komprese</b>	H.264 (MPEG-4 Part 10/AVC) main/baseline/high profil, H.265/MPEG-H HEVC, H.264+, H.265+ MJPEG, ONVIF (PROFILE S, PROFILE G)
<b>Specifické funkce</b>	120dB WDR, EIS, MicroSD/SDHC/SDXC, Behavior Analysis: Line crossing detection, intrusion detection, region entrance detection, region exiting detection, unattended baggage detection, object removal detection, Scene change detection, defocus detection, object counting
<b>Firmware testované kamery</b>	Verze 5.5.62. b180710, encoder verze 7.3 b180510

### 3.4.5 PELCO IBE-229-1R

Společnost Pelco zapůjčila původně do srovnávacího testu špičkovou moderní kameru Pelco GFC Pro 4K IMP831. Bohužel kamera byla vybavena předprodukčním firmware a nepodařilo se s kamerou realizovat všechny plánované testy. Z tohoto důvodu byla do testu zařazena kamera IBE-229-1R, která výměnou za absenci kompresního algoritmu H.265 disponuje technologií SureVision 3.0 a 130dB širokým dynamickým rozsahem.



Obr. 39: Kamera Pelco IBE-229-1R [32]

**SureVision 3.0**

Kamery Pelco jsou vybaveny sadou funkcí a technologií SureVision 3.0, která u moderních HD kamer značky Pelco přináší přesné vyvážení bílé barvy, zpracování 60 snímků/vteřinu při plném rozlišení kamery, 130dB WDR a další užitečné funkce. Kamery jsou dále vybaveny pokročilou redukcí datového toku, anti-bloom technologií a 3D redukcí šumu.

Tab. 11: *Technické parametry kamery Pelco IBE-229-1R* [32]

<b>IBE-229-1R</b>	
<b>Parametry snímače</b>	1/2.8“ CMOS, 3.0 megapixely, progresivní skenování, citlivost v barevném režimu 0.05 luxu při >20 SNR a F1.3
<b>Objektiv</b>	IR korigovaný, 3~9mm F1.3 P-iris 100°~39° horizontálně, motorizovaný
<b>Podporované komprese</b>	H.264 (MPEG-4 Part 10/AVC) main/baseline/high profil, Smart H.264 komprese, MJPEG, ONVIF Profile S, Profile G, and Profile Q
<b>Specifické funkce</b>	130dB WDR, MicroSD/SDHC, Sarix Analytics: opuštěný objekt, detekce narušení, sabotáž kamery, detekce směru, loitering, počítání objektů, odstraněný objekt, zastavení vozidla.
<b>Firmware testované kamery</b>	Verze 06.2.2.30

### 3.5 Průběh zkoušek a evaluace získaných výsledků

Výsledky testování kamer byly zapsány do záznamových archů, pro každé prostředí vznikl jeden arch. Pro každou zkoušku byly zaznamenány hodnoty datového toku a hodnoty MOS, případně ePSNR pro ověření analogie obou testovacích metod. Celkem bylo realizováno 370 individuálních měření. Z hodnoty datového toku a MOS byl pro zjednodušení interpretace výsledku vyjádřen poměr, který udává potřebný datový tok (v kbps) na jednotku stupnice MOS. Interpretace výsledků měření a komentář je obsahem následujících kapitol.

Pro slovní hodnocení výsledků bude využita škála hodnocení MOS dle ITU-T P.802.2, nejlépe odpovídá škále subjektivního hodnocení kvality a pro hodnotitele je snáze uchopitelná. Na Obr. 40 je vizualizace hodnot MOS tak, jak ji interpretuje program Video Quality Monitor.



Obr. 40: Interpretace škály MOS do subjektivního hodnocení kvality

Zjednodušeně lze říci, že pokud se hodnota MOS pohybuje v rozmezí intervalu  $<0;20>$  bude průměrné subjektivní hodnocení kvality obrazu velmi špatné, rozmezí hodnot v intervalu  $<20;40>$  získá hodnocení nedostatečné, dále v intervalu  $<40;60>$  uspokojivé,  $<60;80>$  prezentuje dobré hodnocení a konečně v rozsahu hodnot MOS  $<80;100>$  pak obraz získává

hodnocení subjektivní kvality vynikající. Pro subjektivní hodnocení kvality výstupu v rámci této práce byla tato interpretace přejata a je dále používána v tomto duchu.

### 3.5.1 AXIS Q1647

Kamera AXIS Q1647 disponuje objektivem s rozsahem ohniskové vzdálenosti 3.9~10mm. Úhel záběru kamery pro provádění zkoušek byl zvolen přibližně na hodnotu 5mm pro eliminaci případných optických vad při nejširším ohnisku, snahou také bylo použít pro všechny testované kamery stejnou šířku záběru 90°. Pro posouzení kvality výstupu nehraje volba ohniskové vzdálenosti zásadní význam, hodnoty tedy byly voleny odhadem. Kamera byla vždy před prováděním zkoušky zaostřena pomocí funkce automatického ostření s důrazem na střední část obrazu. Použitý objektiv Tamron M118VP413 disponuje řízenou P-Iris<sup>88</sup> clonou, hodnota otevření clony byla nastavena kompromisně k udržení dostatečné hloubky ostrosti při udržení dostatečné hladiny osvětlení.

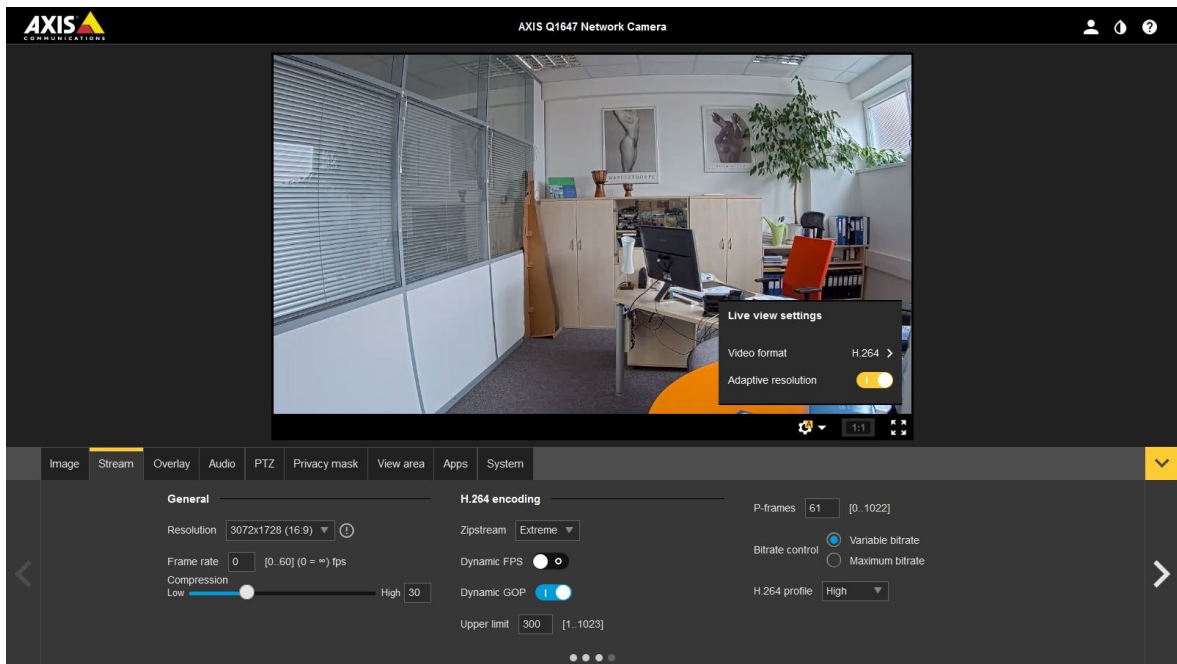
Rozměrný 1/2" CMOS snímač kamery AXIS disponuje velmi dobrým dynamickým podáním obrazu, subjektivním testováním ve venkovním prostředí za denního světla byly zkoušky prováděny s nastavením hodnoty WDR na 50%. Vyvážení bílé, stejně jako přepínání do BW režimu a ovládání IR-cut filtru bylo ponecháno na logice kamery.

Expoziční automatika byla nastavena na zónové měření, maximální hodnota času závěrky omezena dle požadavku normy ČSN EN 62676-5 na 1/30 vteřiny. Kamera Axis Q1647 umožňuje definovat maximální zesílení při nedostatečné hladině osvětlení (AGC), noční zkouškou byla zvolena hodnota 50dB jako optimální poměr zisku snímače a generovaného šumu. Kompenzace expozice nastavena na 50%, funkce defog, BDC<sup>89</sup>, Blur-noise trade-off a funkce elektronické stabilizace obrazu EIS byly deaktivovány pro získání maximálně statického obrazu bez výrazného vlivu postprocesingu. Ostrost, gamut, jas i kontrast byly ponechány na výchozích hodnotách.

---

<sup>88</sup> P-Iris objektivy obousměrně komunikují s elektronikou kamery, objektiv předává hodnotu nastavené clony, kamera tak může efektivně řídit hloubku ostrosti

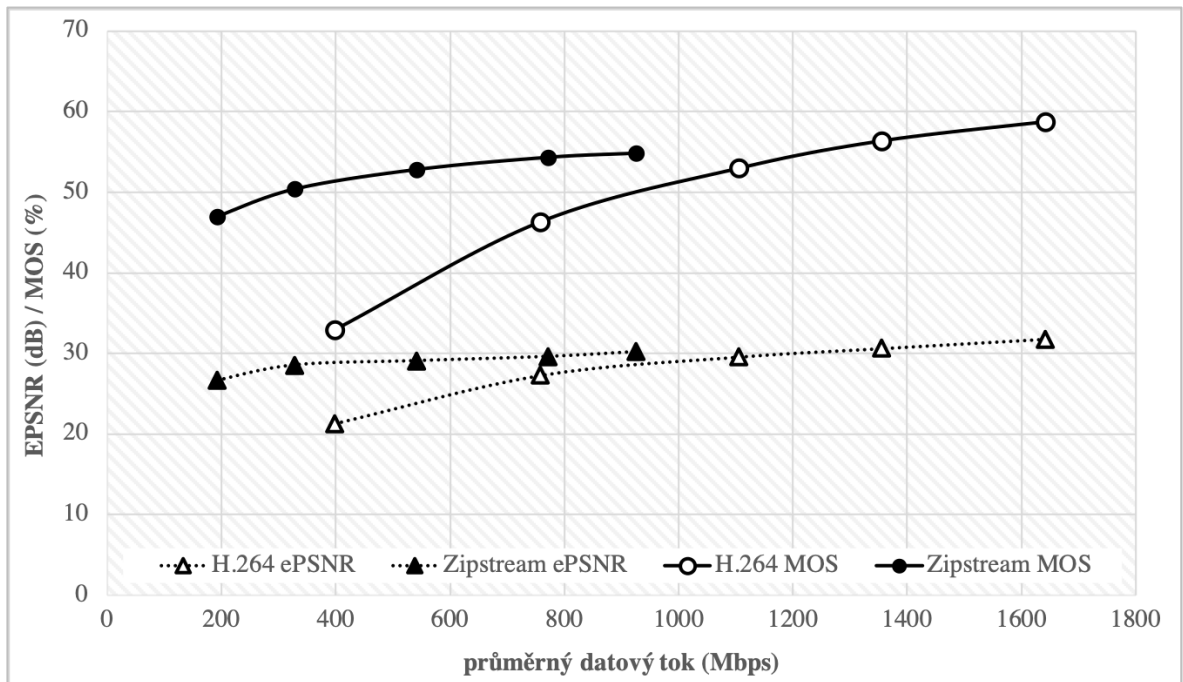
<sup>89</sup> Barrel distortion correction – Korekce soudkového zkreslení objektivu



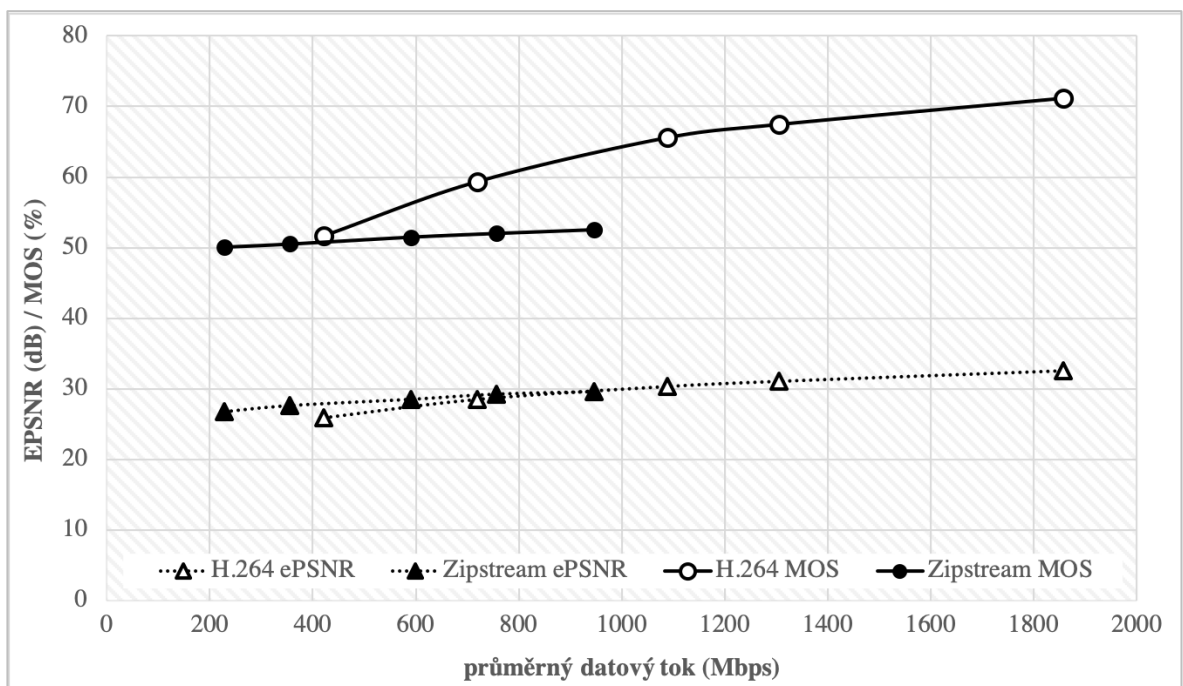
Obr. 41: Webové rozhraní kamery AXIS – záložky s nastavením

## Měření kvality obrazu

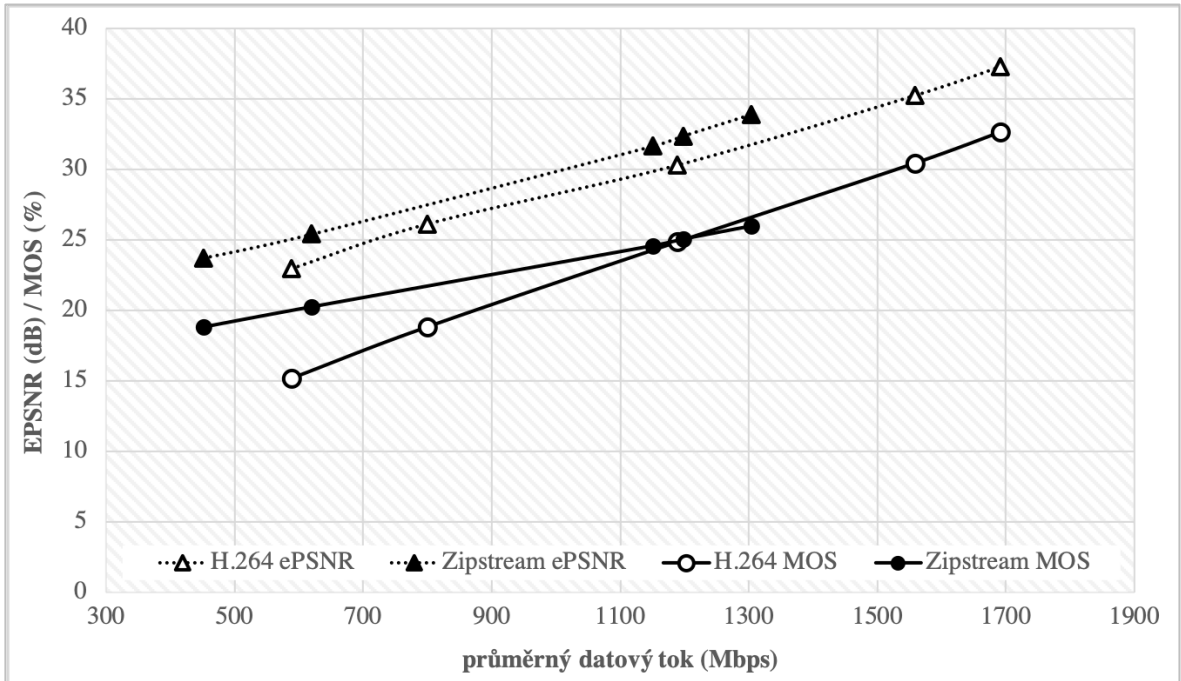
Videostreamy z kamery AXIS byly analyzovány metodami programu AccepTV Video Quality Monitor a Elecard StreamEye. Porovnáním obou metod byla potvrzena lineární souvislosti mezi výsledky při měření ePSNR metody v programu StreamEye a MOS metody programem Video Quality Monitor. Vzhledem k faktu že ePSNR metodu nelze použít pro analýzu kompresního algoritmu H.265 byla zvolena pro další kamery a také analýzu výsledků kamery Axis jako referenční metoda MOS, tedy hodnoty které jsou výstupem programu Video Quality Monitor od firmy AccepTV. Výsledky analýzy MOS mají také větší dynamický rozsah a pro hodnocení se tak hodí lépe než metodika ePSNR.



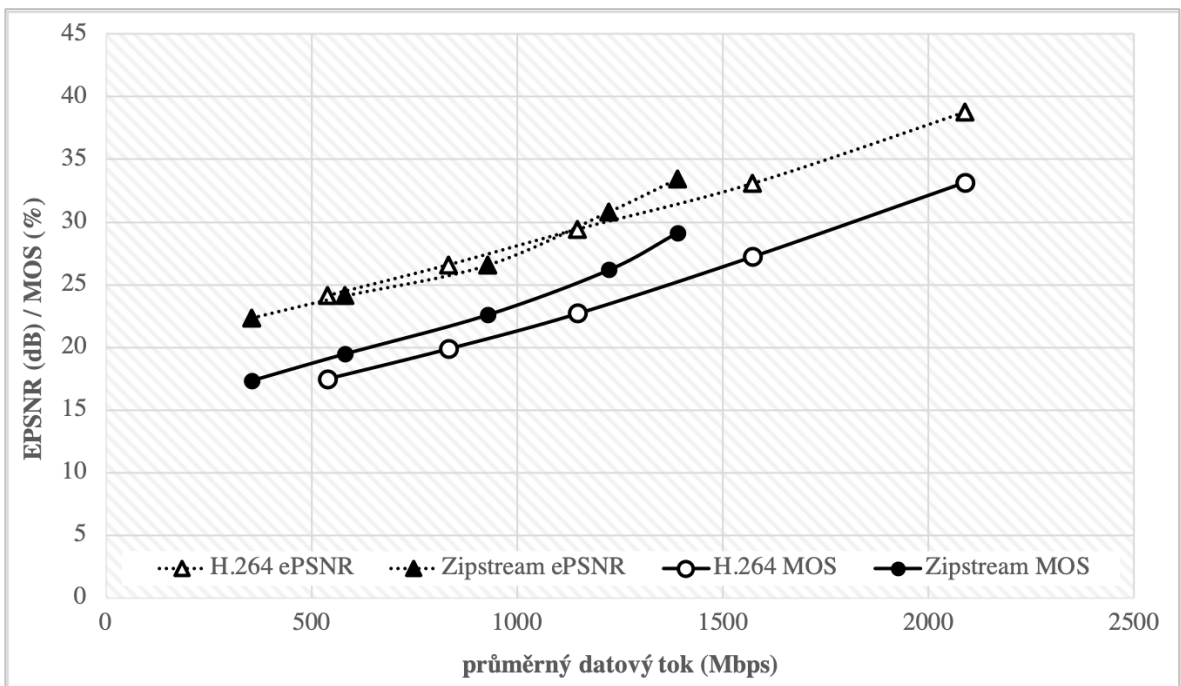
Graf 2: Výsledek měření kamery AXIS, vnitřní prostředí, den



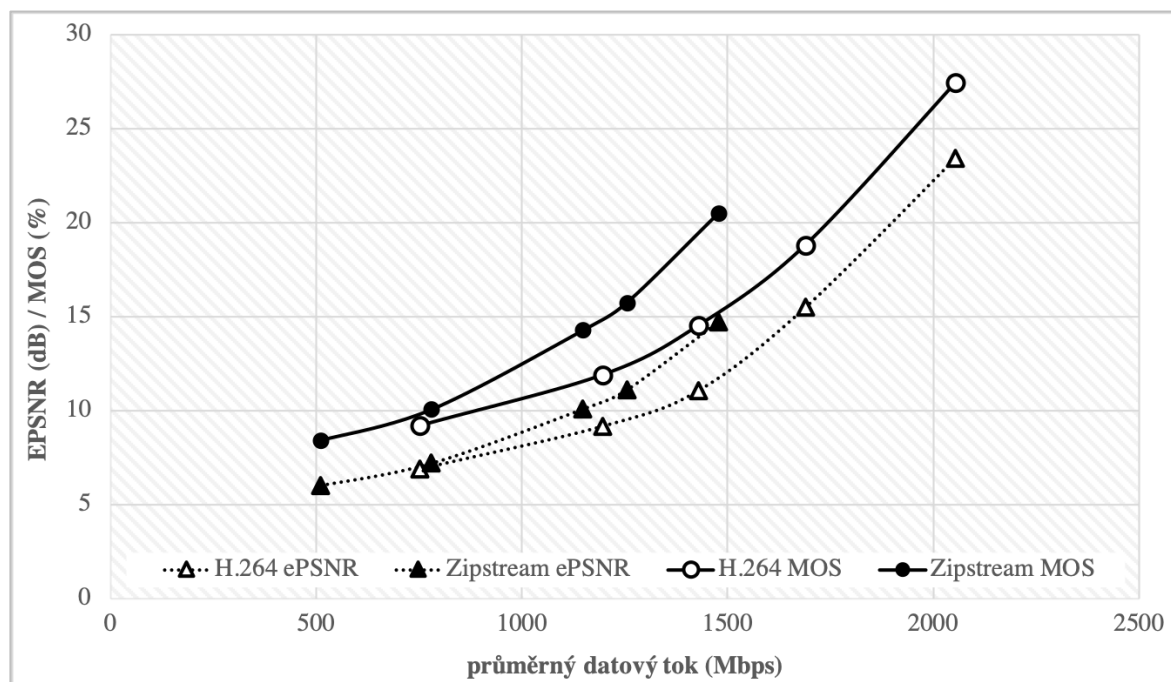
Graf 3: Výsledek měření kamery AXIS, vnitřní prostředí, noc



Graf 4: Výsledek měření kamery AXIS, venkovní prostředí, den



Graf 5: Výsledek měření kamery AXIS, venkovní prostředí, noc



Graf 6: Výsledek měření kamery AXIS, venkovní prostředí, den, sněžení, 100% pohyb

### Komentář k výsledkům měření

Z grafů naměřených hodnot je patrná korelace mezi metodikou ePSNR a MOS. Při vyhodnocování výsledků naměřených a analyzovaných hodnot u kamery AXIS byla zarážející nízká hodnota MOS a to ve všech prostředích a denních dobách. Zvláštní se jeví také hodnoty MOS i ePSNR při porovnání denní a noční doby ve interiéru – výsledky z nočního testování vycházely lépe než v denní dobu. Následným ověřováním výsledků bylo potvrzeno, že výsledky měření ovlivňuje vlastnost algoritmu WDR kamer AXIS, který zesílením lokálního kontrastu na objektech ve scéně pomáhá čitelnosti obrazu a ten se subjektivně jeví jako ostřejší a lépe prokreslený, což ale automatizované algoritmy vyhodnocují jako defekt a projevuje se to na snížené známce hodnocení MOS. Výsledky měření kamery AXIS vůči ostatním značkám je tak třeba brát s rezervou, kvalita obrazu kamery AXIS byla navzdory těmto výsledkům skutečnými hodnotiteli hodnocena jako vynikající.

Z výsledků je patrná souvislost mezi datovým tokem a kvalitou obrazu, nejedná se ale o závislost lineární, nelze tedy tvrdit, že při dvojnásobném datovém toku získáme 2x vyšší kvalitu obrazu, růst je více logaritmický. Pokud budeme brát za hraničně uspokojivou kvalitu obrazu hodnotu MOS 40%, dosahuje kamera AXIS Q1647 v interiéru a při použití komprese H.264 této hodnoty při datovém toku přibližně 600 kbps. Optimální hodnoty kvality



obrazu, stanovené na hodnotu 70% MOS kamera díky chybnému vyhodnocení v programu Video Quality Monitor nedosahuje, tato měření jsou pro kameru irelevantní.

Kamera disponuje velmi dobře optimalizovaným kompresním algoritmem H.264 který podává velmi dobré výsledky v optimalizaci datového toku bez ohledu na prostředí či denní dobu. Nastavení úrovně komprese bylo voleno v rozmezí 20-50 bodů ze 100 možných, přesto hodnota datového toku v rozlišení FullHD nepřesahovala 2 Mbps.

Vliv optimalizovaného kompresního algoritmu Zipstream na datový tok a kvalitu obrazu nepotvrdil v reálném prostředí výrobcem slibované výsledky, přesto při zachování subjektivní kvality obrazu dosahoval velmi dobrých výsledků datového toku a to především v denní době a při nastavení kompromisní kvality obrazu.

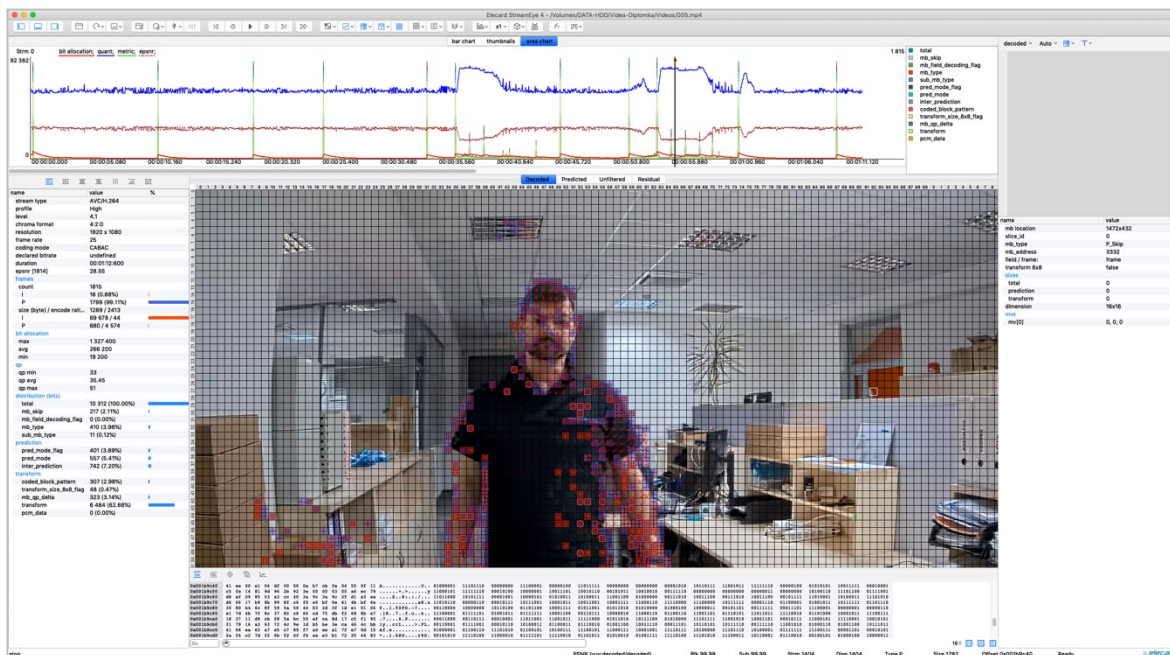
### **Analýza datového toku kamery AXIS pomocí StreamEye**

Cílem hloubkové analýzy streamů z kamery AXIS bylo srovnání běžné komprese H.264/AVC s proprietární technologií Zipstream. Při zkoumání struktury streamu pomocí programu StreamEye nebyla identifikována žádná zásadní odchylka formátu Zipstream od standardu H.264/AVC. StreamEye identifikuje oba typy streamů jako H.264/MPEG-4 AVC, high profile, level 4.1, který je definován maximální velikostí snímku 8192 makrobloků, resp. FullHD rozlišením při 30fps. Z definovaného profilu HiP/100 vychází bitová hloubka 8 bitů na barevný kanál, kódování chromatičnosti 4:2:0 a podpora kódování entropie CABAC.

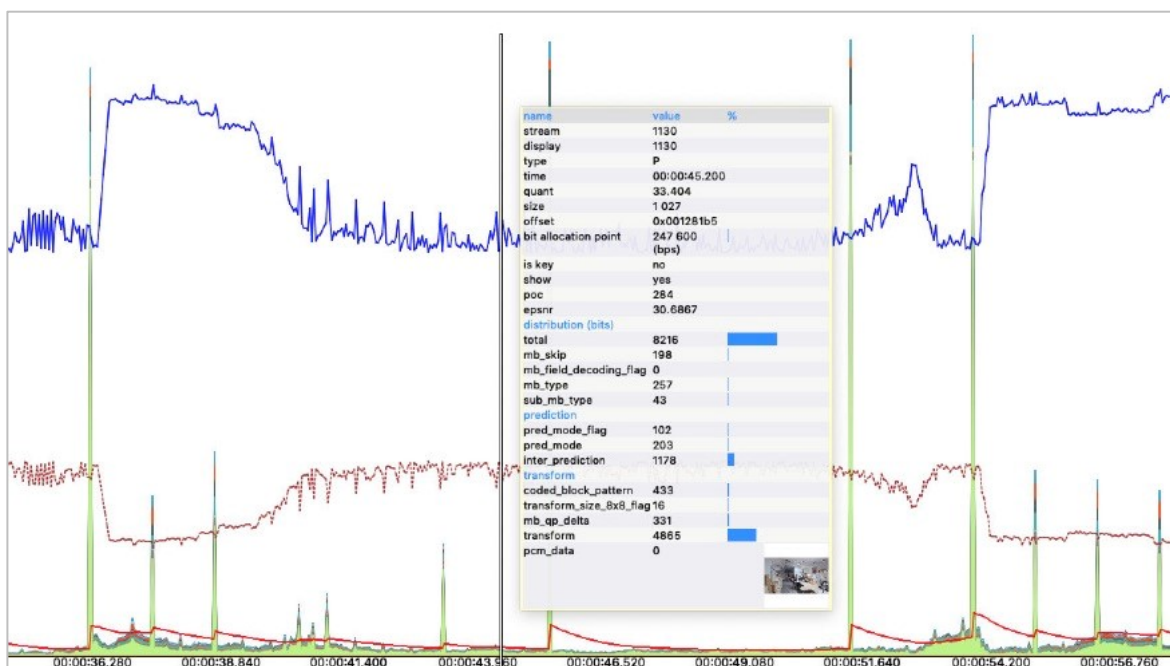
*Tab. 12: Vlastnosti streamu testované kamery AXIS*

<b>Parametr</b>	<b>H.264</b>	<b>H.264+</b>
<b>Kódování entropie</b>	CABAC	
<b>Verze H.264</b>	High profile, level 4.1	
<b>Kódování chromatičnosti</b>	4:2:0	
<b>Schéma GOP</b>	I-P, 30 frames	
<b>Kvantizační faktor</b>	33-54	33-45
<b>Intra makrobloky</b>	4x4, 8x8, 16x16	
<b>Inter makrobloky</b>	16x16	

Test dekódovatelnosti pomocí nástrojů QuickTime a VLC byl úspěšný v obou případech, oba testovací dekodéry byly schopni stream korektně dekódovat. Zatížení CPU bylo u obou typů komprese identické. Optimalizace chytré komprese v provedení Zipstreamu od firmy Axis by se v tomto smyslu dalo označit za příkladné.



Obr. 42: Analýza streamu z kamery AXIS pomocí programu StreamEye

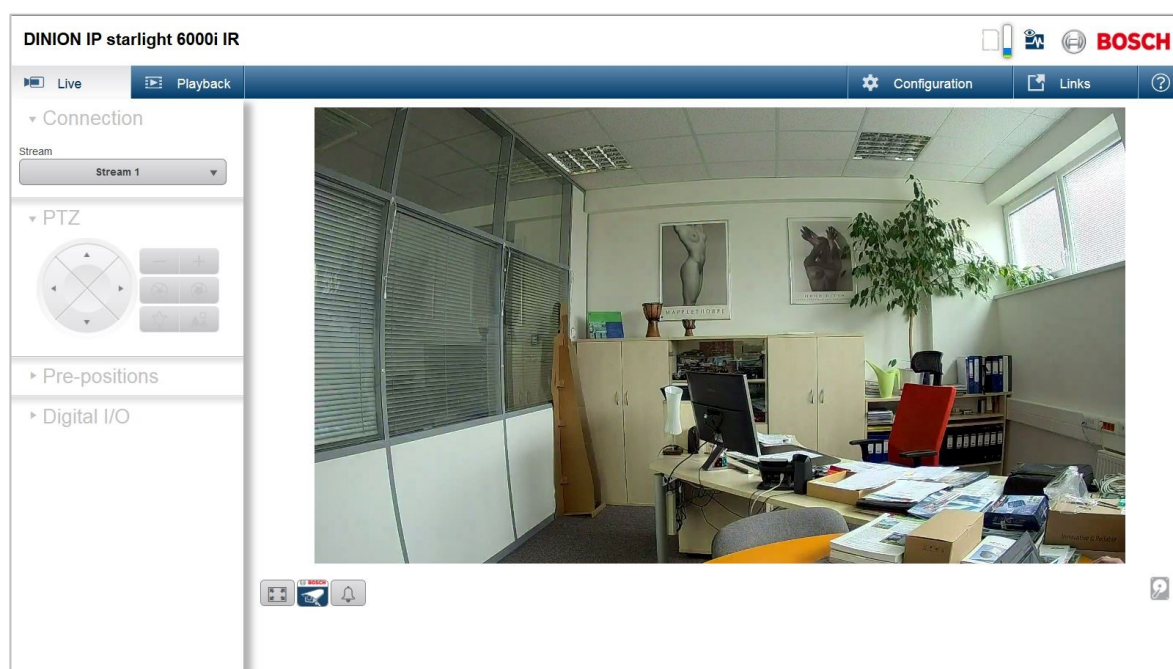


Obr. 43: Detail klíčového snímku v průběhu datového toku kamery AXIS

### 3.5.2 BOSCH NBE-6502-AL

Kamera BOSCH NBE-6502-AL nedisponuje rozměrným snímačem, což kompenzuje relativně nízkým rozlišením 2.12 MPx, z čehož plyne její vysoká citlivost na světlo. IR korigovaný varifokální objektiv 2.8~12 mm byl nastaven k hodnotě přibližně 3.2mm pro zachování minimálního zkreslení obrazu a přiblížení k úhlu záběru přibližně 90°.

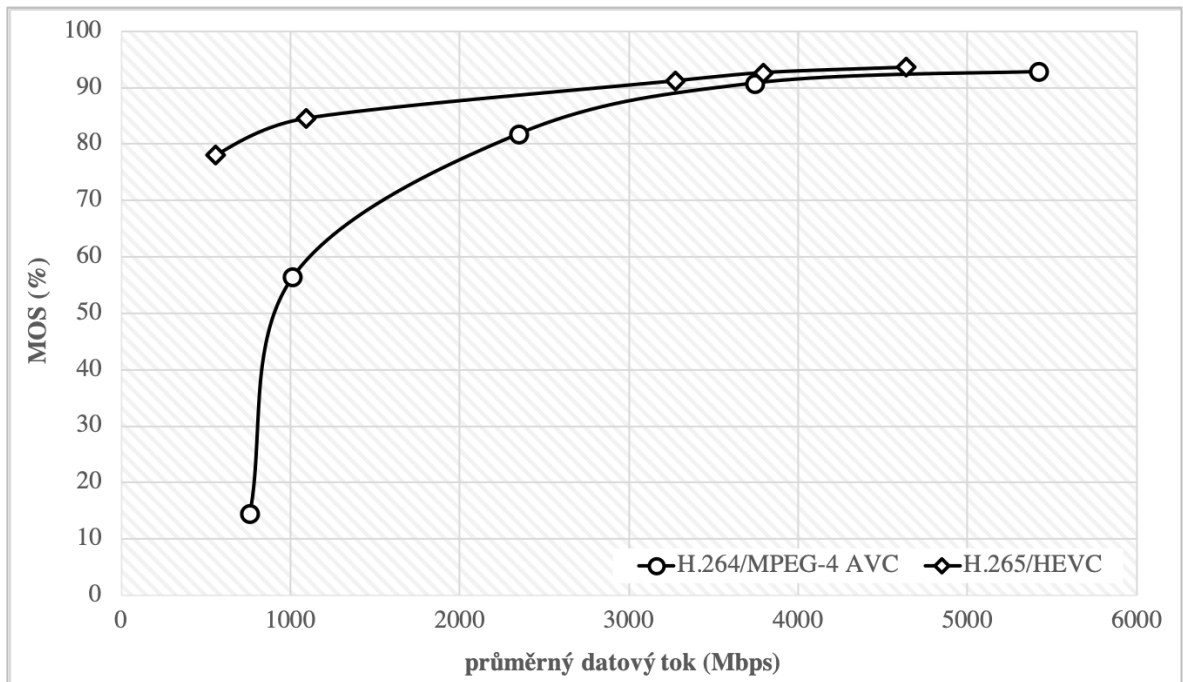
Hodnota WDR je nastavena na 50% maximální hodnoty, DNR, vyvážení bílé a přepínání IR-cut filtru byly ponechány na automaticce kamery. Stejně jako u kamery AXIS byl maximální čas závěrky nastaven na 1/30 vteřiny. Ostrost, gamut, jas i kontrast byly ponechány na výchozích hodnotách.



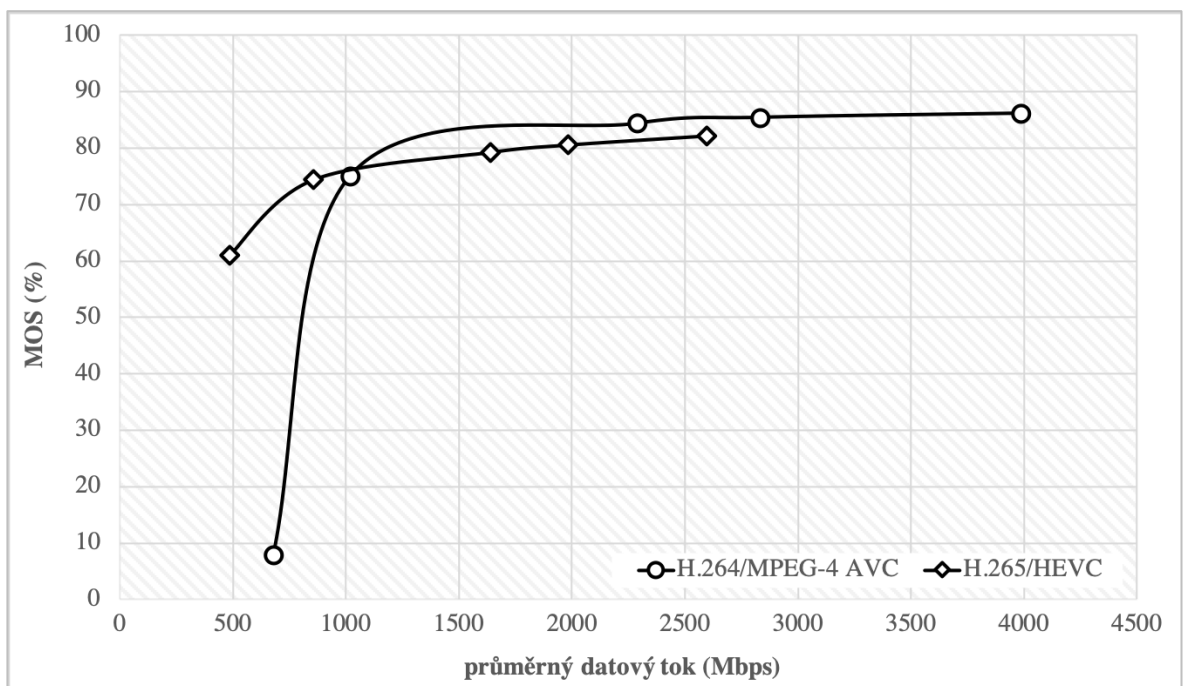
Obr. 44: Webové rozhraní kamery BOSCH NBE-6502-AL

### Měření kvality obrazu

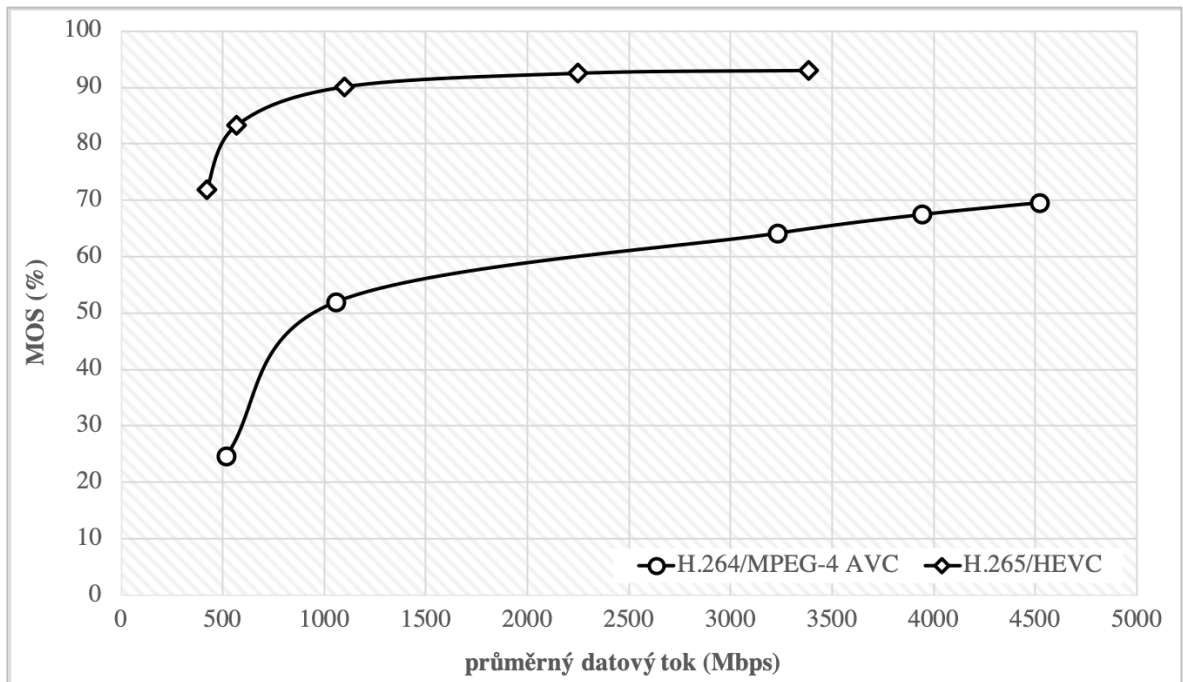
Videostreamy z kamery BOSCH byly analyzovány metodami software AccepTV Video Quality Monitor a Elecard StreamEye. S ohledem na výsledky srovnání ePSNR a MOS při testování kamery AXIS bylo testování již realizováno výhradně v metrice MOS programem AccepTV Video Quality Monitor.



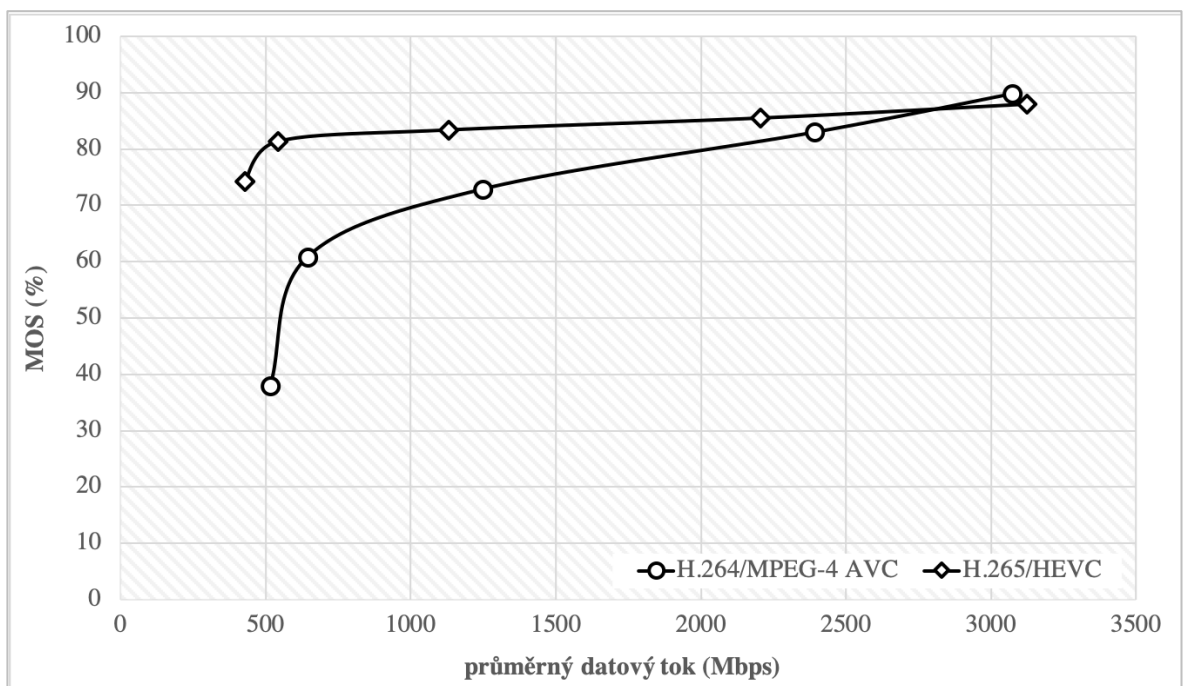
Graf 7: Výsledek měření kamery BOSCH, vnitřní prostředí, den



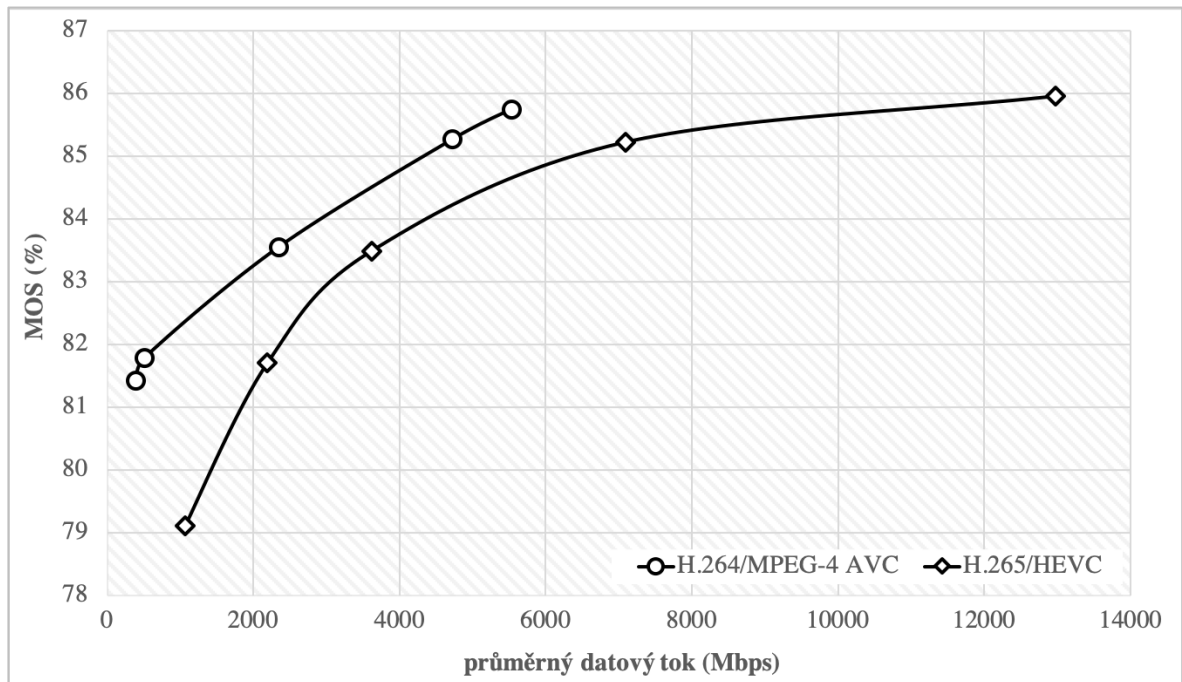
Graf 8: Výsledek měření kamery BOSCH, vnitřní prostředí, noc



Graf 9: Výsledek měření kamery BOSCH, venkovní prostředí, den



Graf 10: Výsledek měření kamery BOSCH, venkovní prostředí, noc



Graf 11: Výsledek měření kamery BOSCH, venkovní prostředí, den, sněžení, 100% pohyb

### Komentář k výsledkům měření

Společnost Bosch využívá u této kamery potenciál kompresního algoritmu H.264 skutečně na maximum. Ve všech prostředích se to projevuje strmým růstem kvality obrazu v hodnotách datového toku do 1 Mbps. Statický obraz s konstantním osvětlením v interiéru definuje hranici datového toku, od kterého již není efektivní další zvyšování datového toku, k růstu hodnocení kvality obrazu MOS již dochází jen v malém přírůstku. Je velmi zajímavé, jak již při výchozím nastavení algoritmu iDNR je efektivně redukován šum a komprese obrazu je v noční scéně tak paradoxně účinnější než za běžného osvětlení. Vlivem statického obrazu s minimálním podílem změn a dílem také díky funkci iDNR není zisk z použití komprese H.265 v interiéru zásadní. Při nižších datových tocích je v hodnotách kolem 1 Mbps datového toku viditelný nárůst MOS o přibližně 30%, prakticky se dá tvrdit, že komprese H.265 je u kamery BOSCH NBE-6502-AL při aplikaci v interiéru efektivní již v hodnotách kolem 0.5 Mbps a zvyšováním hodnoty datového toku již dochází pouze k nepatrnému zlepšování kvality přenášeného obrazu.

Zajímavé srovnání kompresí H.264 a H.265 v noční interiérové scéně ukazuje na primární cíl při návrhu kompresního algoritmu H.265, tedy obraz s vysokým rozlišením a vysokým

podílem pohybu. V noční interiérové scéně byl od hodnoty datového toku přibližně 1 Mbps účinnější kompresní algoritmus H.264.

Síla komprese pomocí H.265 se naplno projevuje ve venkovním prostředí. Denní scéna s velkým podílem jemných detailů a pohybu způsobeného vegetací a stromy ukazuje silné stránky komprese H.265, které se H.264 ani nepřibližuje. Hodnoty MOS 70 dosahuje H.264 při průměrném datovém toku 4.5 Mbps, zatímco H.265 disponuje stejnou úrovní subjektivní kvality obrazu při datovém toku přibližně 500 kbps. Lze tak zjednodušeně tvrdit, že je ve venkovním prostředí algoritmus H.265 u toho typu kamer až 9x účinnější, než H.264.

Rozdíl mezi kompresemi se opět stírá v nočních scénách, kdy nedostatek pohybu a vliv algoritmů redukce šumu nedávají kompresi H.265 prostor pro využití svého potenciálu. Přesto je diference kvality při referenční úrovni 70 MOS přibližně 1 Mbps u H.264 a 450 kbps u H.265, tedy lze tvrdit, že i v noční scéně je komprese H.265 u kamery Bosch přibližně 2x účinnější než H.264.

Kamera Bosch NBE6502-AL byla testována i v prostředí extrémního pohybu při snímání exteriérové scény hustého sněžení s velmi dobrým výsledkem, kdy subjektivní kvalita obrazu po celou dobu sledování neklesala pod hodnoty 80 MOS, je zde třeba zmínit především schopnost kamery generovat stabilních 30fps i při takto složitých podmínkách. Datový tok streamu byl pochopitelně vyšší než při běžném použití, ale již při hodnotách kolem 2Mbps podávaly obě komprese velmi dobré výsledky. H.265 byl pak přibližně o 1/3 úspornější než H.264, což ale platí pro vysoké hodnoty MOS, při hodnotách kolem 80 MOS, což jsou stále velmi vysoké hodnoty, pracovala kamera při H.265 s datovým tokem přibližně 500 kbps, což je obdivuhodná optimalizace kompresních algoritmů, jakou nám společnost Bosch předvádí.

### **Analýza datového toku kamery BOSCH pomocí StreamEye**

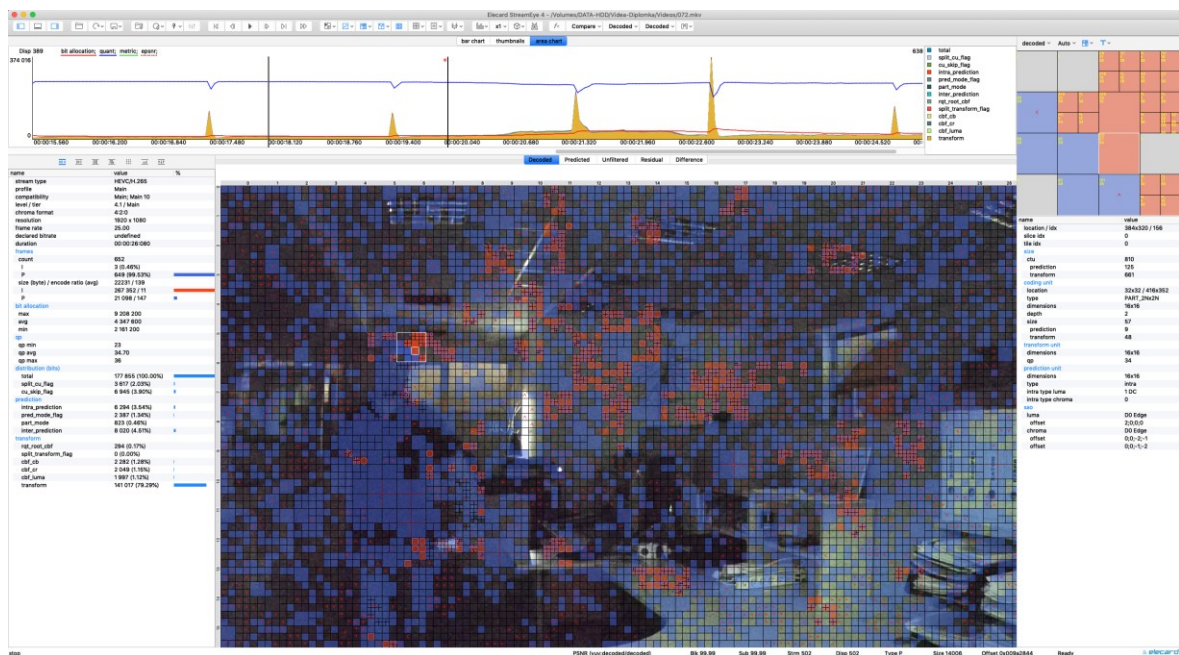
Analýza struktury streamů z kamery Bosch si klade za cíl určit míru shody se standardy a ověřit kompatibilitu realizované komprese ve standardně dostupných dekodérech H.264 a H.265. Stream kamery bylo možné analyzovat běžným způsobem, odchýlení od standardů nebylo zaznamenáno. Stream šel dekodovat pomocí interních kodeků v programu VLC, pomocí QuickTime Playeru se nepodařilo přehrát streamy s kompresí H.264.



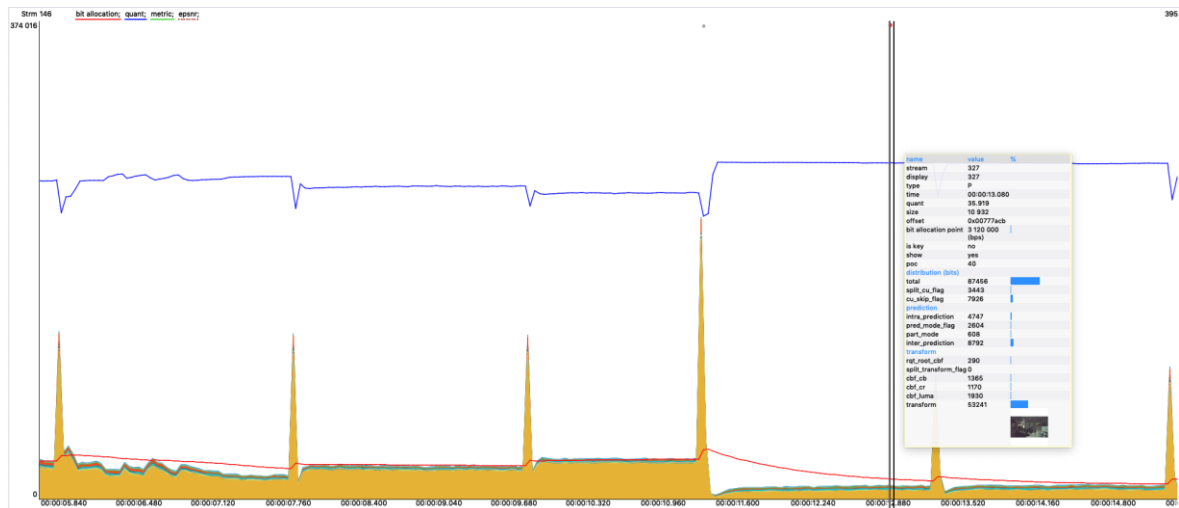


Tab. 13: Vlastnosti streamu testované kamery BOSCH

Parametr	H.264	H.265
Kódování entropie	CABAC / 2 ref. frames	?
Verze H.26x	Main profile, level 4.2	Main profile, level 4.1
Kódování chromatičnosti	4:2:0	
Schéma GOP	I-P, 25~294 frames	I-P, 25~276 frames
Kvantizační faktor	0-51	18-51
Intra makrobloky	4x4, 16x16	4x4, 8x8, 16x16, 32x32
Inter makrobloky	8x8, 16x16	8x8, 16x16, 32x32, 64x64



Obr. 45: Analýza streamu z kamery BOSCH pomocí programu StreamEye



Obr. 46: Detail klíčového snímku v průběhu datového toku kamery BOSCH

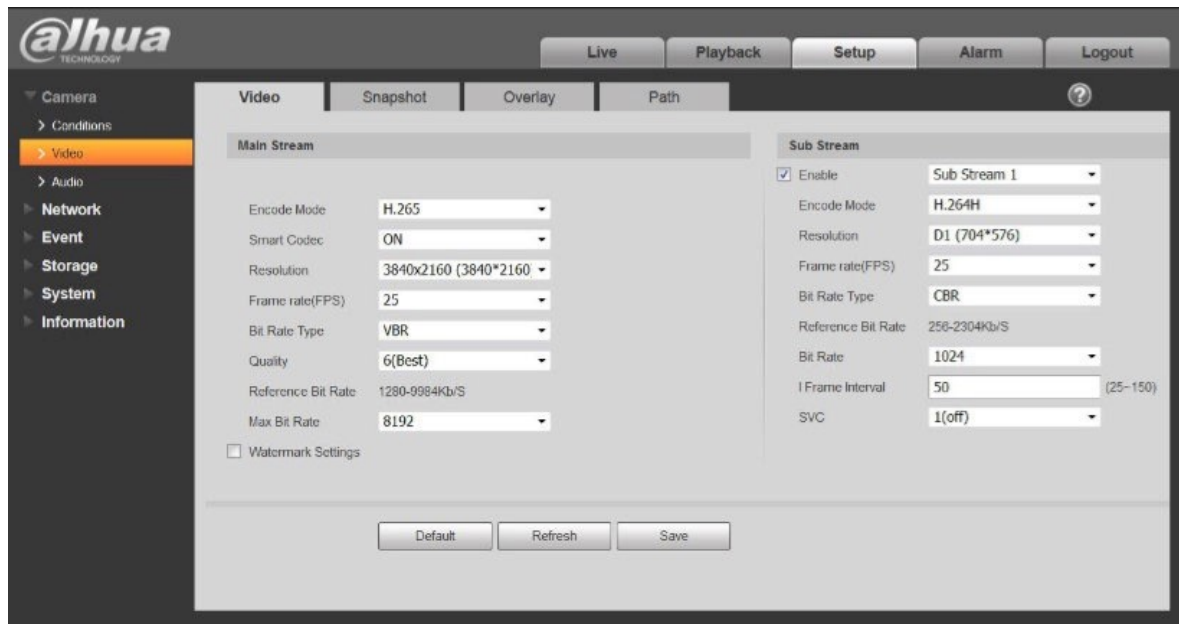
### 3.5.3 DAHUA IPC-HDBW81230E-Z

Kamera Dahua IPC-HDBW81230E-Z patří do nejvyšší produktové řady výrobce označované jako Ultra. Tento špičkový model kamery disponuje rozměrným snímačem CMOS o velikosti 1/1.7" s rozlišením 12 megapixelů. Při porovnání rozměrů a rozlišení s kamerou BOSCH NBE6502-AL je plocha CMOS senzoru kamery Dahua o plných 63% větší, nicméně hustotou pixelů je na tom téměř 6x hůře.

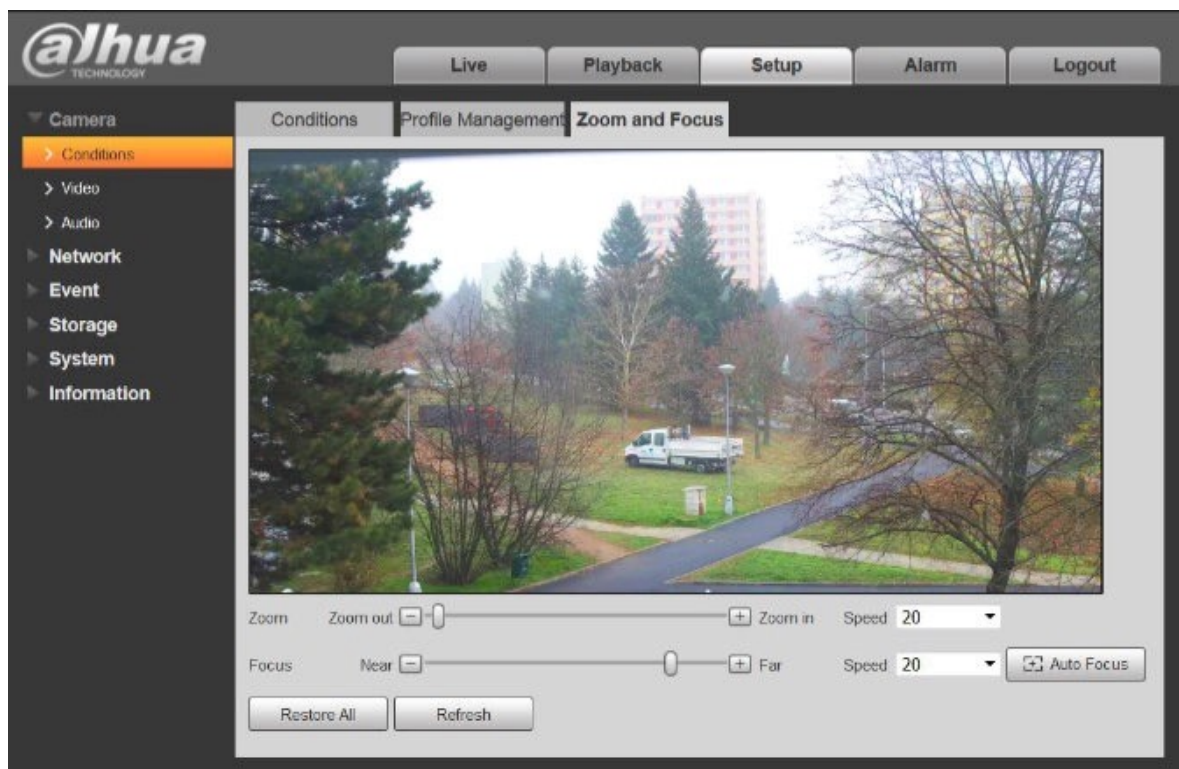
Kamera je vybavena varifokálním motorickým objektivem o ohniskové vzdálenosti 4.1~16.4 mm, vzhledem k velikosti snímače s výbornou světelností F 1.53. Stejně jako u dalších testovaných kamer byla kamera nastavena na ohniskovou vzdálenost odpovídající úhlu záběru přibližně 90°, před každým krokem testování byla spuštěna funkce autofocus. Funkce WDR, vyvážení bílé, expoziční automatika i 3D NR byly ponechány na vnitřní logice kamery.

#### Měření kvality obrazu

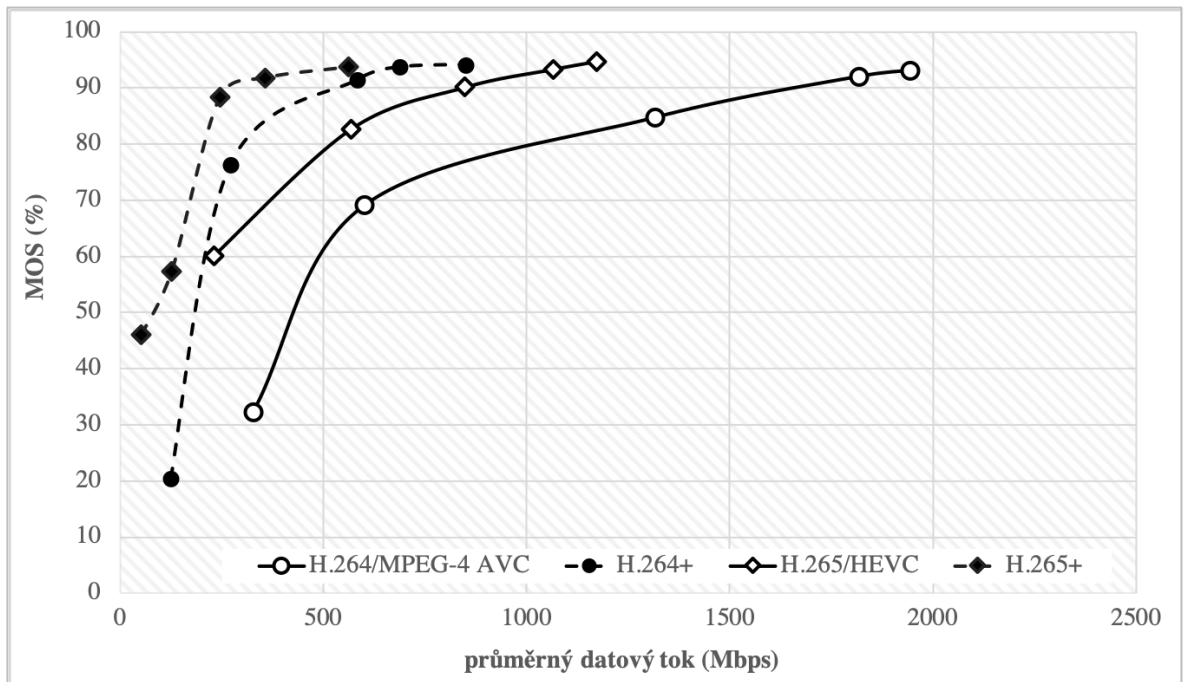
Videostreamy z kamery Dahua byly analyzovány metodami software AccepTV Video Quality Monitor a Elecard StreamEye. Díky podpoře komprese H.265 bylo měření kvality realizováno pouze v metrice MOS. Bohužel kamera Dahua nebyla k dispozici v době záznamu exteriérové scény se sněžením, statistika tento typ testování nezahrnuje.



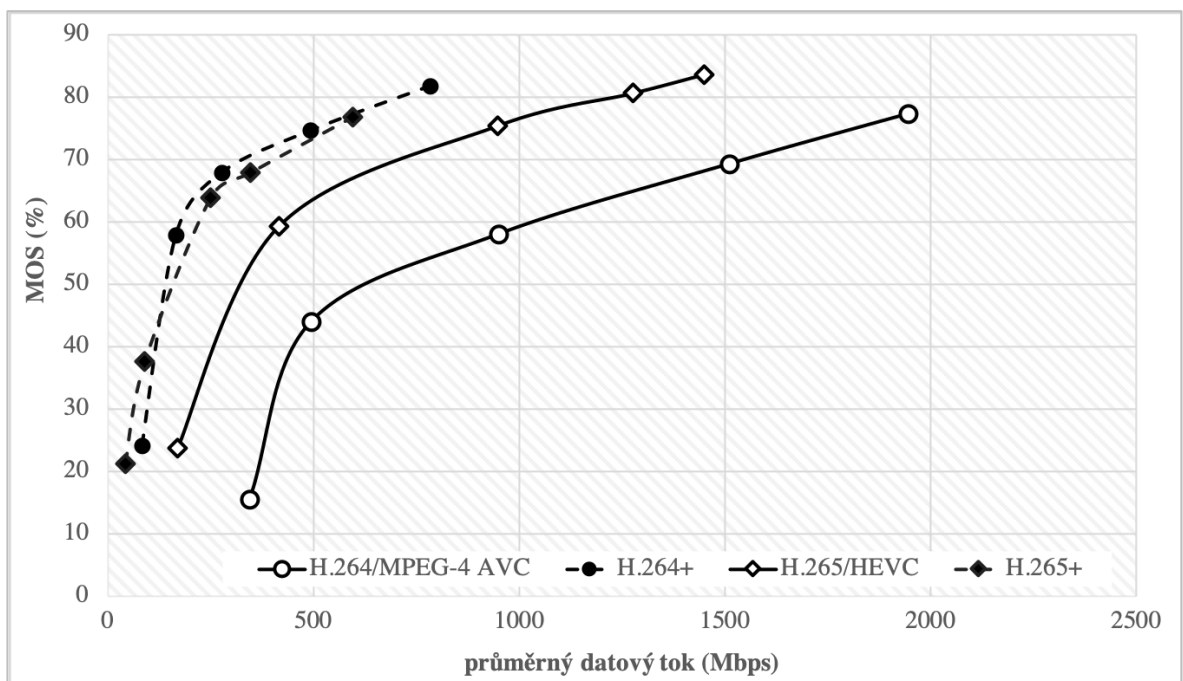
Obr. 47: Webové rozhraní – nastavení kamery DAHUA IPC-HDBE81230E-Z



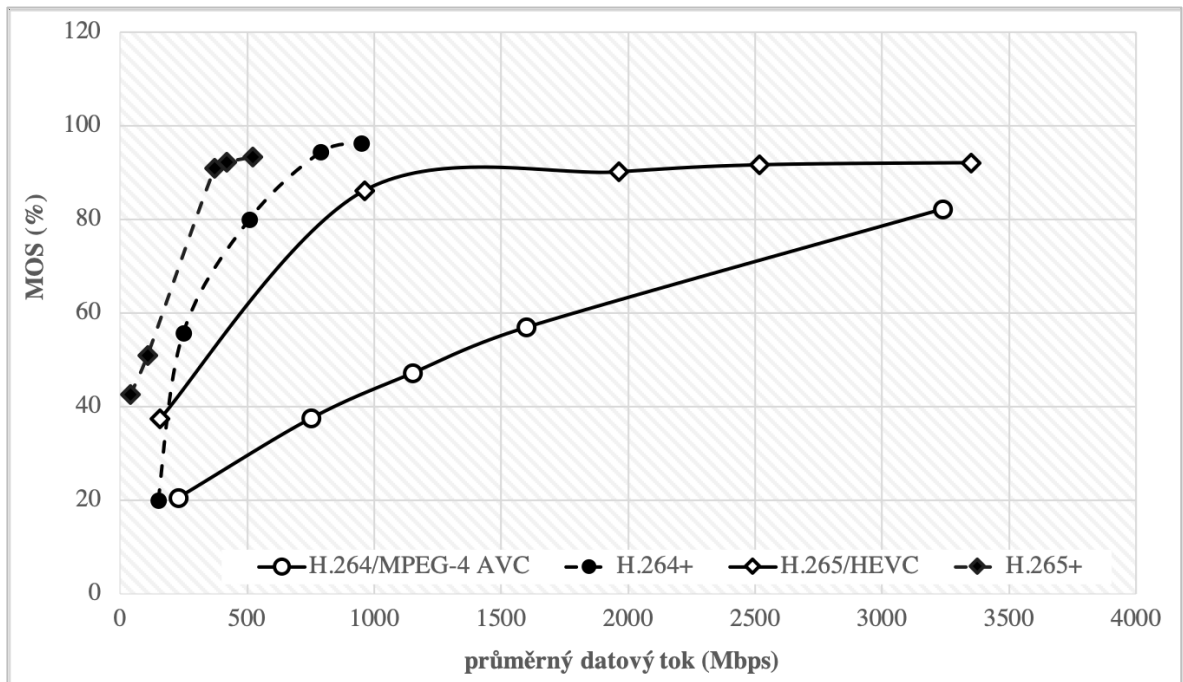
Obr. 48: Webové rozhraní kamery DAHUA IPC-HDBE81230E-Z – nastavení objektivu



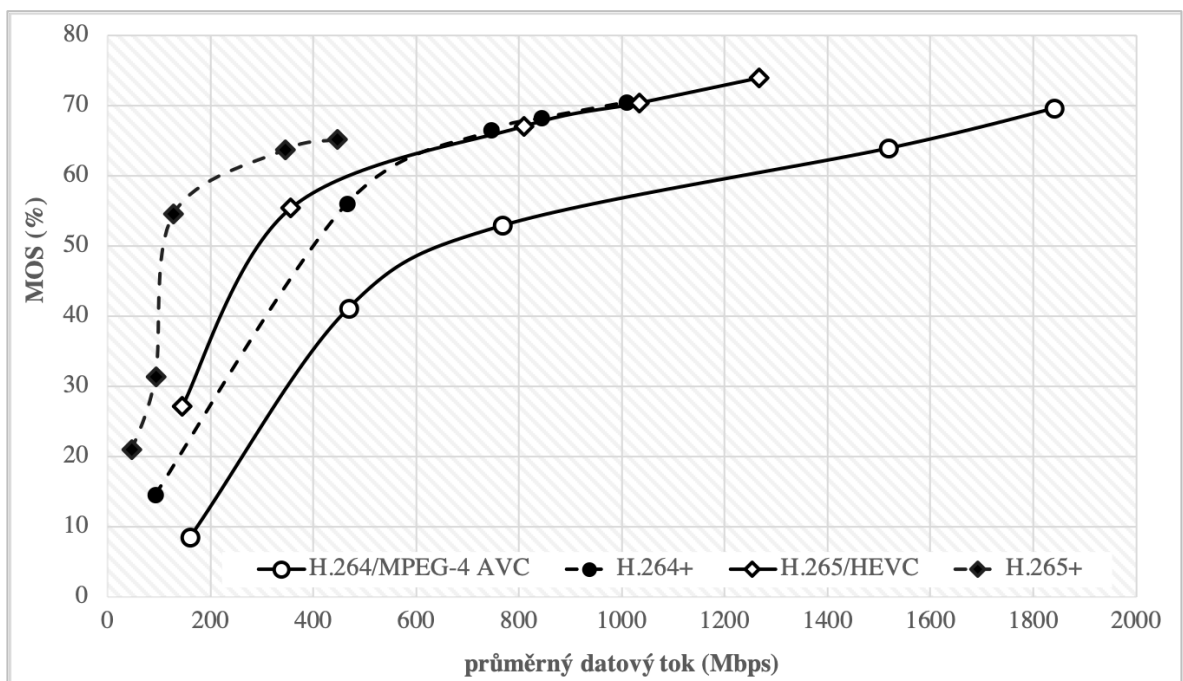
Graf 12: Výsledek měření kamery DAHUA, vnitřní prostředí, den



Graf 13: Výsledek měření kamery DAHUA, vnitřní prostředí, noc



Graf 14: Výsledek měření kamery DAHUA, venkovní prostředí, den



Graf 15: Výsledek měření kamery DAHUA, venkovní prostředí, noc

### Komentář k výsledkům měření

Kamera Dahua patřila k dalším zástupcům IP kamer s dobře zvládnutou optimalizací kompresního algoritmu. Velmi konstantních výsledků dosahovala kamera s pokročilými variantami komprese H.264+ a H.265+. Přínos chytrých kompresí byl u tohoto typu kamery zaznamenán u všech prostředí. Daní za efektivitu chytré komprese je omezená kompatibilita při dekódování v běžných přehrávačích.

V interiéru při běžném osvětlení dosahuje kamera referenční hodnoty kvality obrazu 70 MOS již při datovém toku 600 kbps při zvolené kompresi H.264, při využití H.265 klesá datová zátěž na 400 kbps, v interiéru nelze využít výhody úsporného kódování pohybu u H.265 a proto má H.264+ lepší kompresní poměr při shodné kvalitě než H.265, konkrétně 250 kbps při MOS 70. H.265+ pak dosahuje v interiéru při 70 MOS hodnoty přibližně 200 kbps.

Noční scéna v interiéru je silně ovlivněna působením algoritmu 3D NR, který úspěšně odstraňuje chromatický i jasový obrazový šum. Z důvodu snížení kontrastu (ostrosti) obrazu, je výsledný datový tok při shodné kvalitě vyšší, velký snímač kamery však umožňuje i při takto nízkých hodnotách osvětlení generovat obraz s měřitelnou kvalitou až 80 MOS. Referenční hodnoty 70 MOS dosahuje kamera při kompresi H.264 přibližně 1,5 Mbps, při kompresi H.265 je hodnota datového toku ~750 kbps, chytré varianty kodeků pak dosahují při referenční úrovni kvality hodnot datového toku 370 kbps, resp. 450 kbps, paradoxně ve prospěch komprese H.264, která je při nízké hladině osvětlení, aktivní funkci 3D NR a minimu pohybu v obraze úspornější než H.265+.

Ve venkovním prostředí se situace zásadně mění ve prospěch komprese H.265. Kvalitu obrazu dokáže pokrýt kamera až do hodnoty kvality 90 MOS, nárůst kvality je u komprese H.264 méně dynamický než v interiéru, kvality obrazu 70 MOS dosahuje až při datovém toku 2.75 Mbps, zatímco H.265 při 620 kbps a chytré varianty komprese dosahují referenční hladiny kvality obrazu při 400 kbps pro H.264+ a 250 kbps při H.265+. H.264+ je tedy opět úspornější než H.265 bez funkcí aktivně snižujících datový tok.

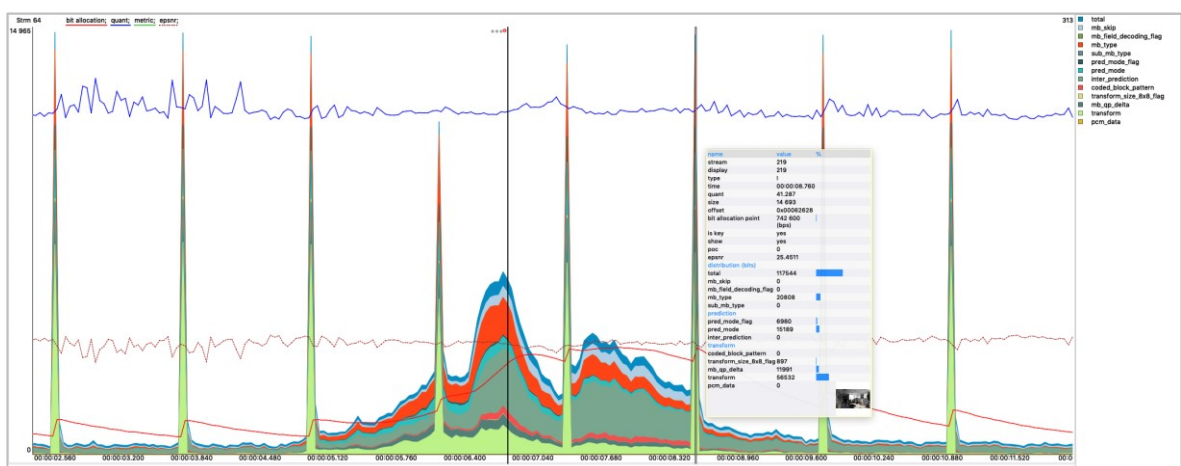
Noční venkovní scény obsahují méně detailů a díky snížení hladiny šumu pomocí 3D NR lze komprimovat noční záběry v kompresi H.264 v úrovni referenční kvality datovým tokem 1.85 Mbps, Smart komprese H.264+ je pro nižší kvality úspornější než H.265, při referenční úrovni kvality 70 MOS dosahuje s H.265 stejné hodnoty datového toku přibližně 1 Mbps. H.265+ je při venkovní noční scéně nejúspornější, v rámci nastavených hodnot pro testování

však H.265+ hodnoty 70 MOS nedosáhl, aproximací výsledků lze odhadnout, že hodnota 70 MOS by odpovídala přibližně 700 kbps.

### Analýza datového toku kamery DAHUA pomocí StreamEye

Praktické testy kompatibility přehrávání a analýza streamů z kamery Dahua byly klíčové především ve vztahu k chytrým kompresím H.264+ a H.265+. Z analýzy jednotlivých streamů je patrná snaha o udržení standardů, zásadní disproporcí byla rozdílná velikost GOP skupiny, což způsobuje náročný pohyb v rámci streamu v programu StreamEye, který neustále hledá další blízké klíčové snímky. Další pozorovatelný rozdíl u komprese H.265+ bylo využití velikostí 16x16 a 32x32 bodů pro intra makrobloky, což není v rámci standardu uvedeno. Oba chytré kompresní algoritmy dále používají velký rozsah kvantizačního faktoru mezi 1 až 48 násobky.

Test dekódovatelnosti pomocí nástrojů QuickTime a VLC byl úspěšný, oba testovací dekodéry byly schopny stream korektně dekódovat, nicméně přehrávání streamu s kompresí H.264+ a H.265+ je uživatelsky nekomfortní díky dynamické délce GOP skupiny, kdy VLC i QuickTime Player přehrávají u H.265+ obraz až po přijetí prvního snímku, po několik sekund až minut nezobrazují tedy žádný obraz. U formátu H.264+ bylo přehrávání úspěšnější, dekodér programu QuickTime Player přehrával i nekompletní P snímky.

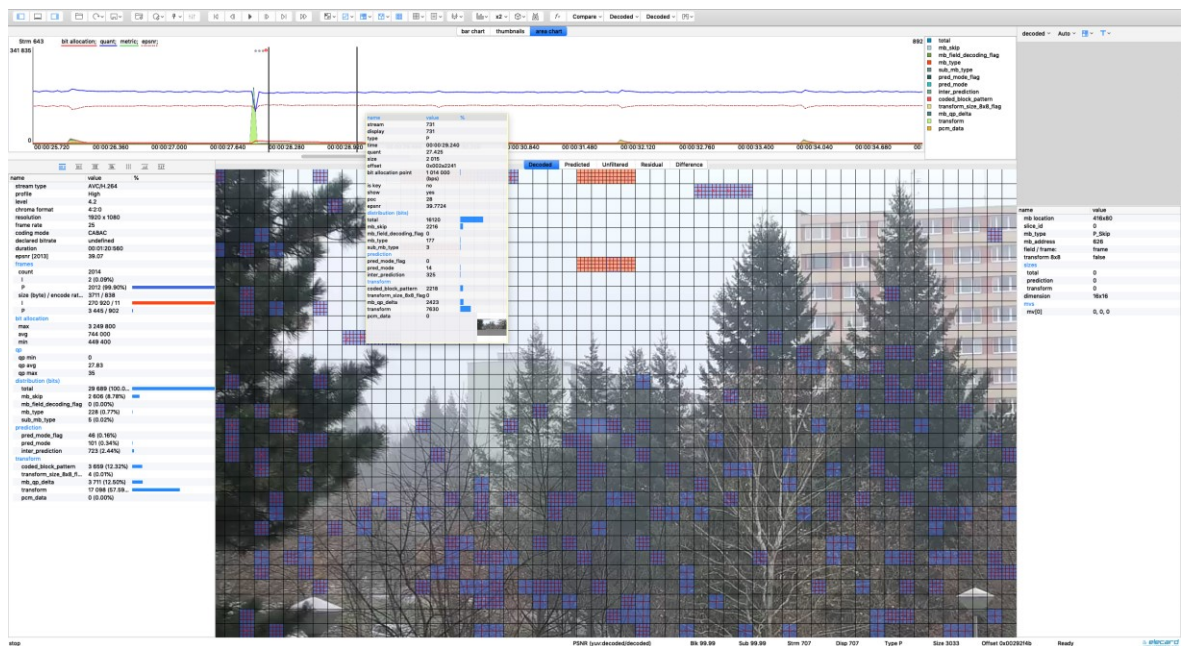


Obr. 49: Detail klíčového snímku v průběhu datového toku H.264 kamery DAHUA



Tab. 14: Vlastnosti streamů testované kamery DAHUA

Parametr	H.264	H.264+	H.265	H.265+
Kódování entropie	CABAC			
Verze H.26x	High profile, level 4.2		Main profile, level 4.1	
Kódování chromatičnosti	4:2:0			
Schéma GOP	I-P, 30 frames	I-P, 25~750 frames	I-P, 30 frames	I-P, 25~750 frames
Kvantizační faktor	25-48	1-48	32-48	12-48
Intra makro-bloky	4x4, 8x8, 16x16		4x4, 8x8	4x4, 8x8, 16x16, 32x32
Inter makro-bloky	8x8, 16x16		8x8, 16x16, 32x32, 64x64	



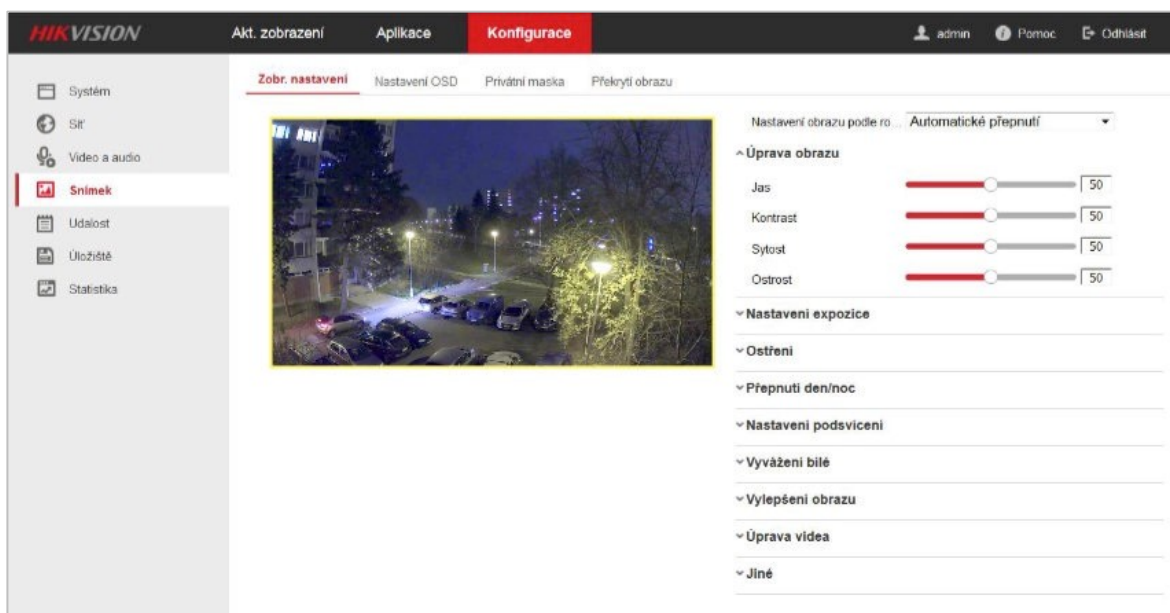
Obr. 50: Analýza streamu z kamery DAHUA pomocí programu StreamEye



### 3.5.4 HIKVISION DS-2CD5A85G0-IZS

Kamera Hikvision disponuje podobně výkonným hardware jako testovaná Dahua. Snímač kamery je nepatrně menší - 1/1.8" a je vybaven stejně jako u kamery Dahua rozlišením 12 megapixelů, objektiv má menší rozsah transfokace 2.8~12 mm, nabízí však vyšší clonové číslo F1.2.

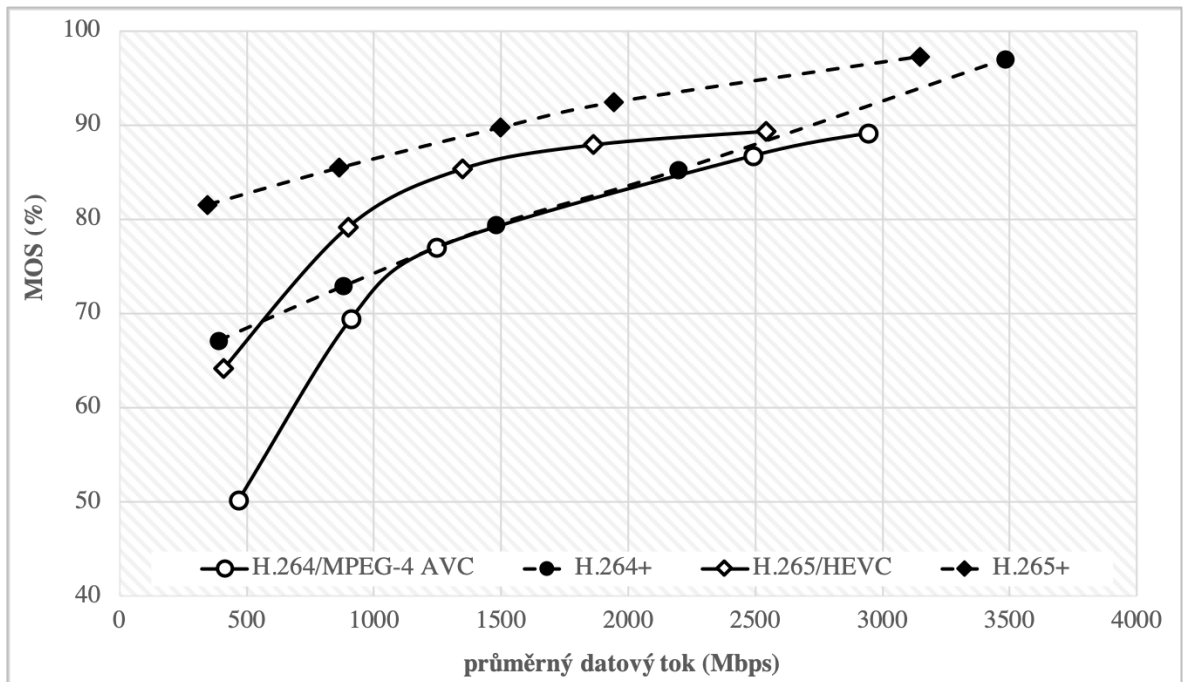
Objektiv kamery byl nastaven na hodnotu přibližně 4mm odpovídající 90° úhlu záběru, před každým testovacím cyklem byl obraz zaostřen pomocí funkce autofocus. Parametry obrazu, vyvážení bílé a DNR byly ponechány v automatickém režimu, WDR nastavena na 50% hodnoty, EIS byl vypnut, expozice byla omezena na max. hodnotu 1/30 sekundy.



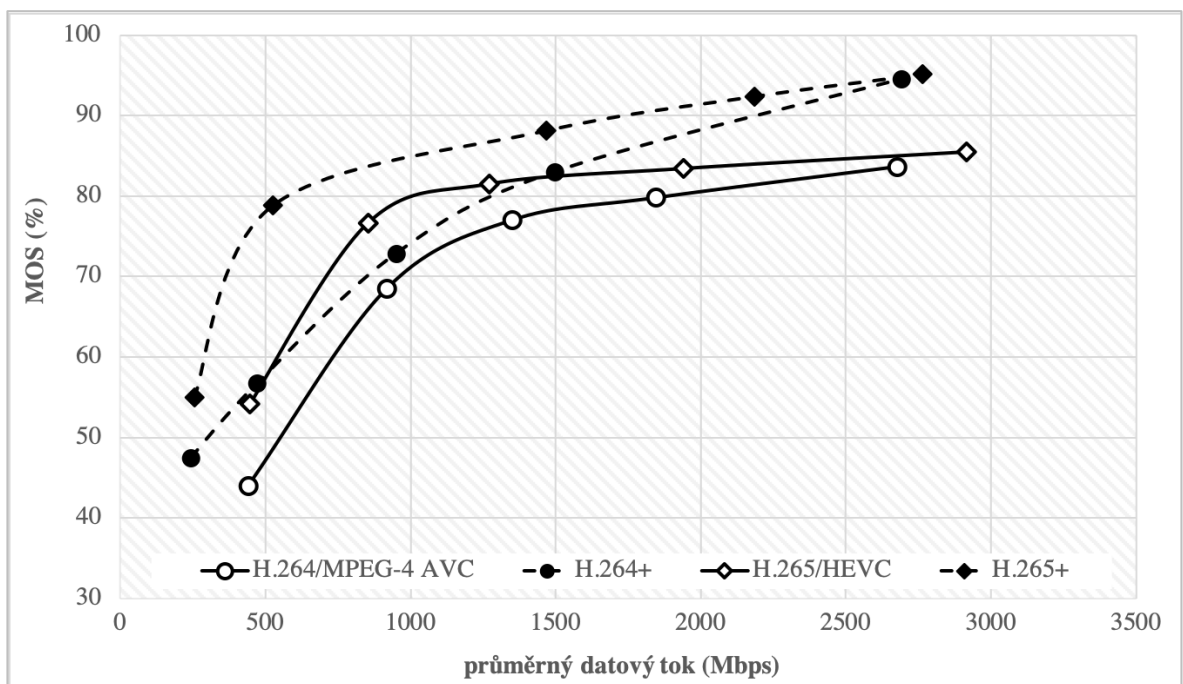
Obr. 51: Webové rozhraní – nastavení kamery HIKVISION DS-2CD5A85G0-IZS

### Měření kvality obrazu

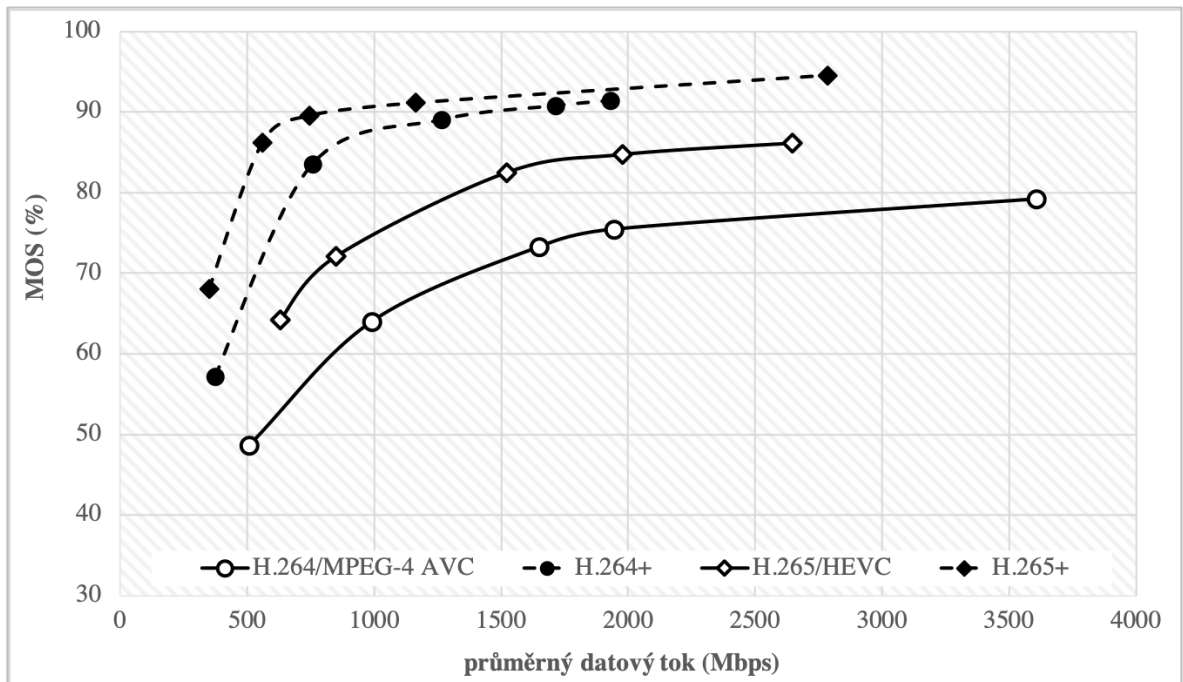
Videostreamy z kamery byl opět zpracován měřicími algoritmy pro H.26x programu AcceptTV Video Quality Monitor, detailní analýza streamu provedena v Elecard StreamEye. Vzhledem k použití komprese H.265 a Smart H.265+ bylo měření kvality realizováno pouze v metrice MOS.



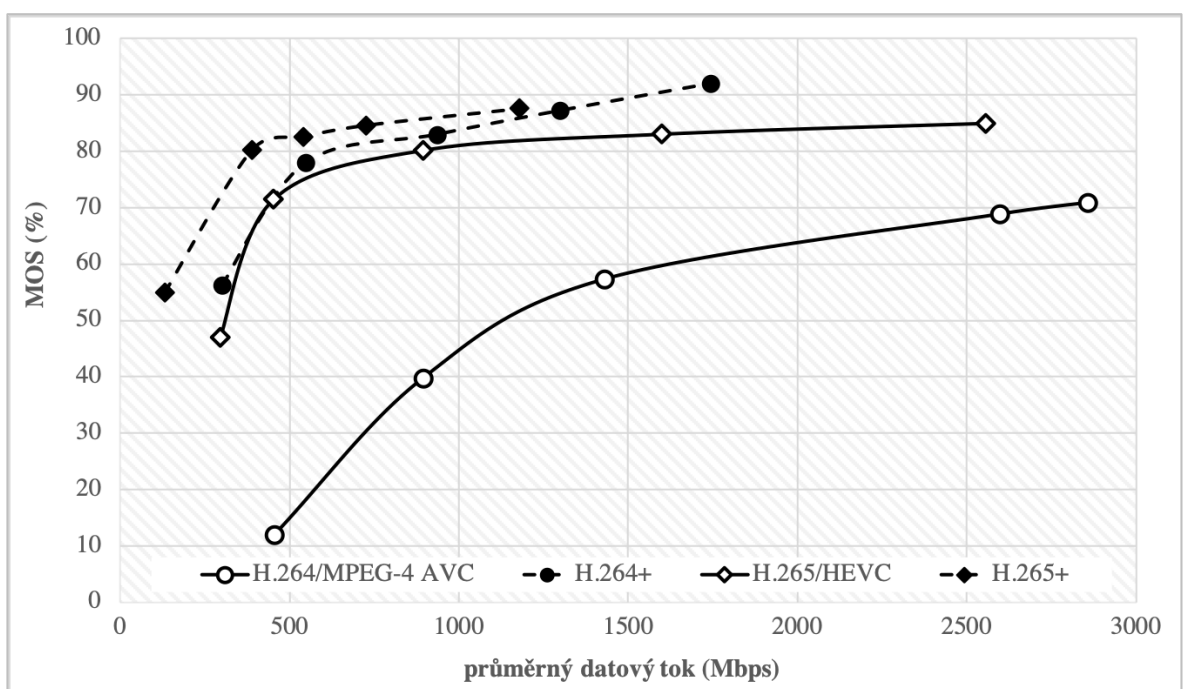
Graf 16: Výsledek měření kamery HIKVISION, vnitřní prostředí, den



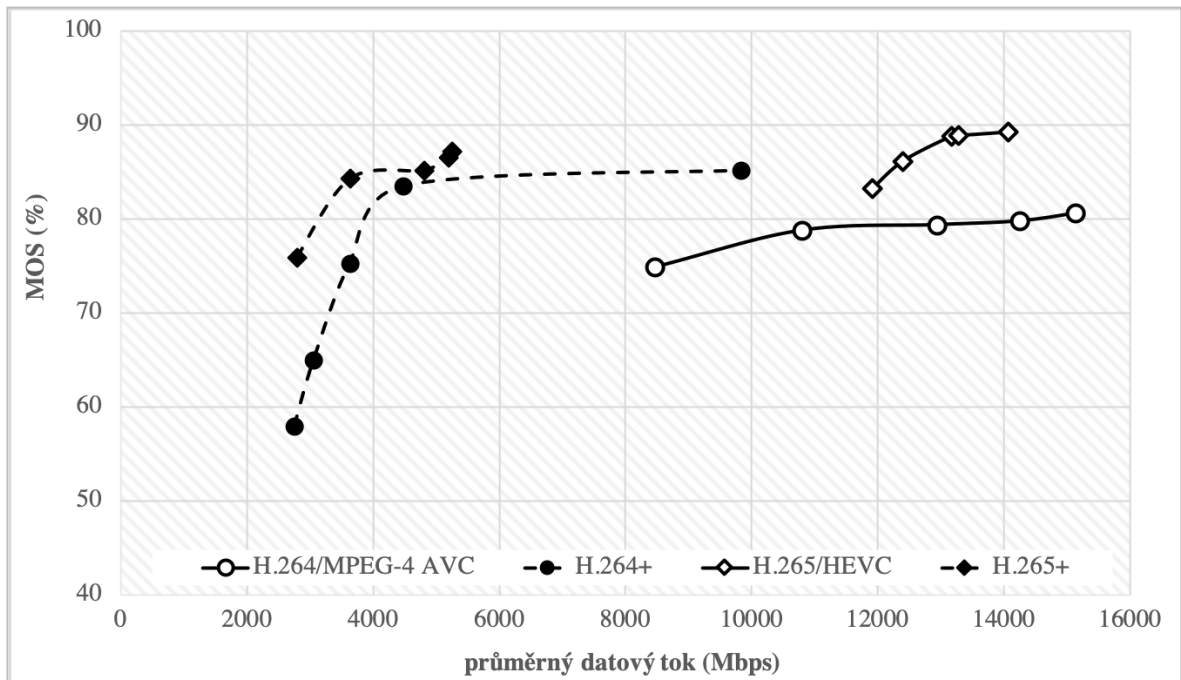
Graf 17: Výsledek měření kamery HIKVISION, vnitřní prostředí, noc



Graf 18: Výsledek měření kamery HIKVISION, venkovní prostředí, den



Graf 19: Výsledek měření kamery HIKVISION, venkovní prostředí, noc



Graf 20: Výsledek měření kamery HIKVISION, venkovní prostředí, sněžení, 100% pohyb

### Komentář k výsledkům měření - interiér

Výsledky, resp. vzájemné porovnání jednotlivých typů komprese nejsou u kamery Hikvision DS-2CD5A85G0-IZS podobně předvídatelné jako u kamery Bosch či Dahua. Smart varianty kompresí H.264+ a H.265+ podávají dobré výsledky již v interiéru, při referenční hladině 70 MOS odpovídá pro H.264 v denní době datový tok přibližně 950 kbps, H.264+ pak 700 kbps. H.265 dosahuje 70 MOS při datovém toku 600 kbps, nejnižší naměřená hodnota 82 MOS pro H.265+ odpovídá datovému toku 400 kbps.

Vysoká světelnost objektivu se projeví především v nočním režimu, kdy v interiéru není pro kameru problém dosahovat hodnot kvality obrazu 80-90 MOS. I v nočních scénách se chytré kompresní varianty vypořádávají s digitalizací obrazu lépe než varianty bez pokročilých algoritmů. Při referenční hodnotě 70 MOS je při H.264 generován datový tok přibližně 950kbps, H.264+ pak 800 kbps. H.265 si vystačí s datovým tokem 700 kbps, H.265+ pak přibližně 50% z této hodnoty, tedy asi 400 kbps.

### **Komentář k výsledkům měření - exteriér**

Snímání venkovní scény je u kamery Hikvision výrazně ve prospěch pokročilých kompresí H.264+ a H.265+. Lepších výsledků než H.265 dosahuje v celém rozsahu i H.264+, v denní době je rozdíl velmi výrazný. Při 70 MOS je v H.264 generovaný datový tok 1.4 Mbps, H.265 pak 750 kbps, ale H.264+ dosahuje stejné úrovně subjektivní kvality 70 MOS již při 500 kbps a H.265+ dokonce 400 kbps. Pro venkovní scény jsou chytré komprese H.264+ a H.265+ v podání kamer Hikvision velmi efektivní.

Noční venkovní scéna je u kamer Hikvision DS-2CD5A85G0-IZS problematická pro kodek H.264, podává výrazně horší výsledky než další varianty komprese. H.264 s hodnotou kvality obrazu 70 MOS pracuje s datovým tokem 2.7 Mbps, H.264+ a H.265 dosahují dané referenční hodnoty shodně při datovém toku 450 kbps. Modifikovaná varianta H.265 pak dosahuje ještě lepšího výsledku při datovém toku 300 kbps.

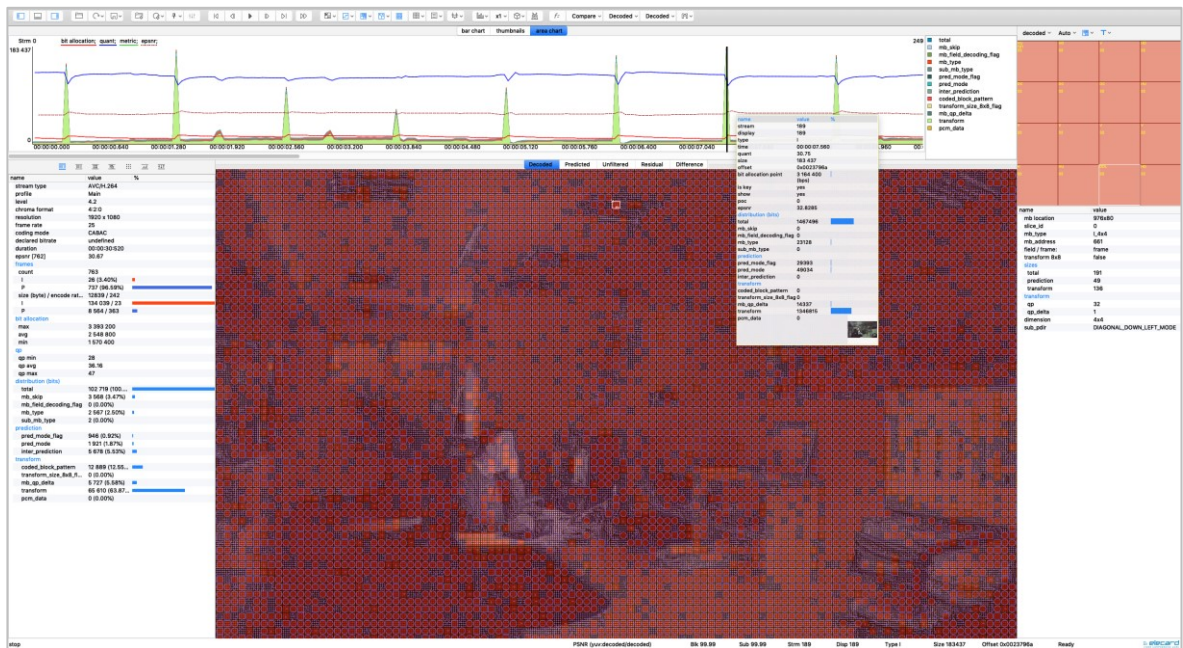
Denní venkovní scéna se 100% podílem pohybu testuje limity kompresních algoritmů kamery Hikvision. Je obdivuhodné že kamera dokáže generovat i při takto komplexní scéně obraz s hodnotou subjektivní kvality 70 MOS. Množstvím objektů v obraze při současně minimální blokové chybě a s udržením snímkové rychlosti kolem 25 fps v hodnocení programu AccepTV Video Quality Monitor překračuje u standardních kompresí 70 MOS. Aproximací křivky lze odhadnout datový tok H.264 na 7 Mbps a H.265 na 11 Mbps. Je zajímavostí, že komprese H.264 je v této scéně úspornější než H.265. Pokročilé komprese H.264+ pak dosahují kvality 70 MOS při datovém toku 3.2 Mbps pro H.264+ a 2.5 Mbps při H.265+.

### **Analýza datového toku kamery HIKVISION pomocí StreamEye**

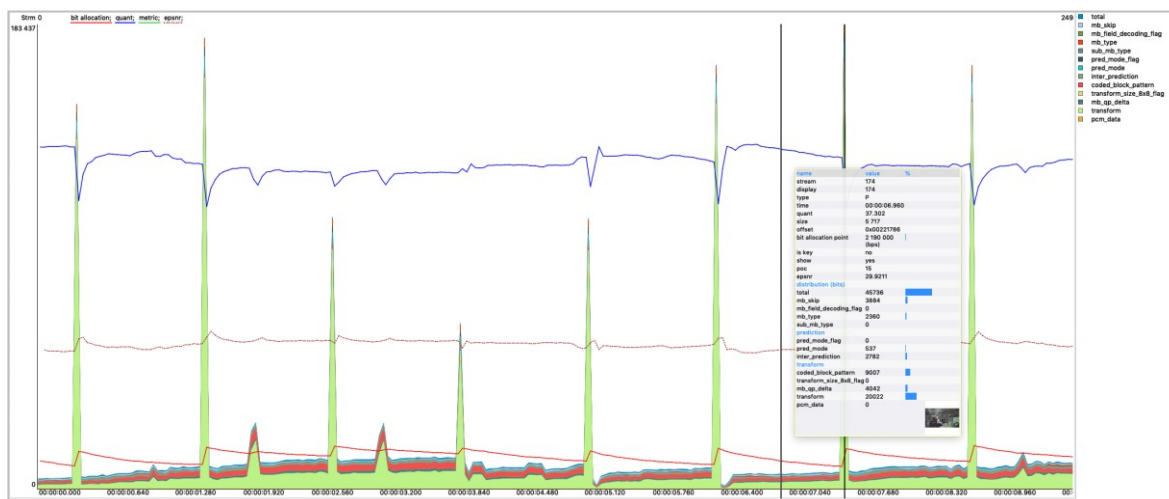
Ani při analýze streamů z kamery Hikvision DS-2CD5A85G0-IZS se žádné překvapení nekoná. Ať už jde o H.264 nebo H.265 komprese, oba kodeky respektují standardy a nevykazují abnormální chování při analýze struktury či testu kompatibility přehrávání. Zásadní odchylkou od standardu je změna délky GOP skupiny, kdy se shodně u H.264+ i H.265+ mění vzdálenost klíčových snímků a to až na desetinásobek standardní hodnoty. Vzdálenost klíčových snímků 10 vteřin pak způsobuje časové prodlevy při navazování začátku přehrávání streamů.

Tab. 15: Vlastnosti streamů testované kamery HIKVISION

Parametr	H.264	H.264+	H.265	H.265+
Kódování entropie	CABAC			
Verze H.26x	Main profile, level 4.2		Main profile, level 4.1	
Kódování chromatičnosti	4:2:0			
Schéma GOP	I-P, 30 frames	I-P, 30~294 frames	I-P, 30 frames	I-P, 30~297 frames
Kvantizační faktor	21-51	0-43	29-51	26-42
Intra makro-bloky	4x4, 16x16		4x4, 8x8, 16x16, 32x32	
Inter makro-bloky	8x8, 16x16		8x8, 16x16, 32x32, 64x64	



Obr. 52: Analýza streamu z kamery HIKVISION pomocí programu StreamEye



Obr. 53: Detail klíčového snímku v průběhu datového toku H.264 kamery HIKVISION

### 3.5.5 PELCO IBE-229-1R

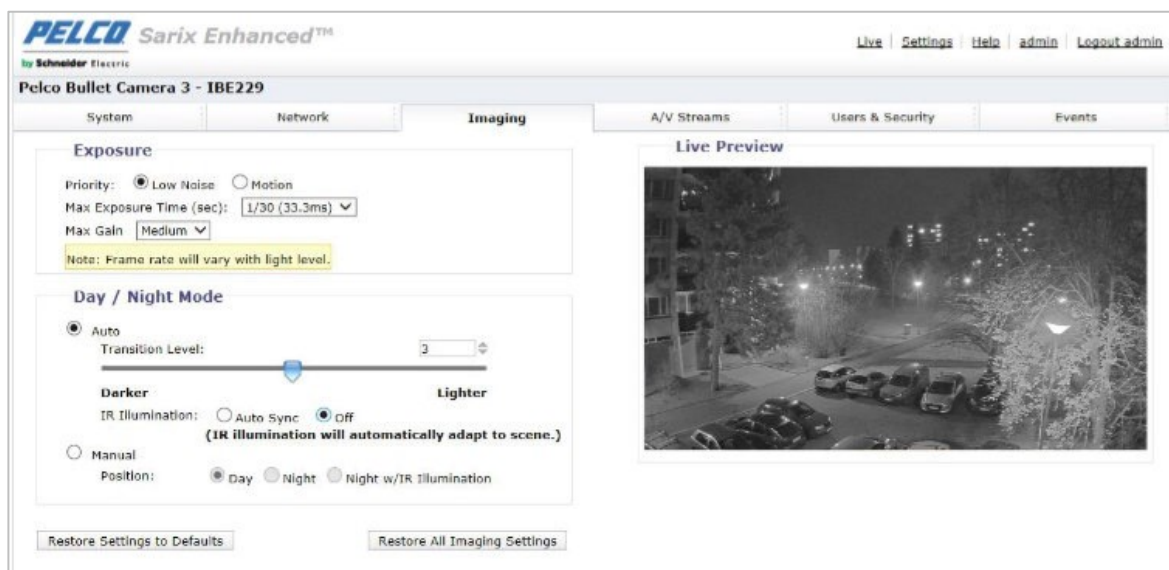
Pro účely testování byla od společnosti Pelco původně zapůjčen nový typ kamery řady Pelco SARIX GKC 4K. Bohužel byla kamera dodána s předprodukčním firmware, kamera byla nestabilní a proto bylo rozhodnuto pro testování použít starší model IBE-229-1R, který sice nedisponuje kompresí H.265, ale patří do první série kamer Pelco SARIX, které podporovali verzi Smart kodeku v podání firmy Pelco.

Kamera nabízí rozlišení 3 megapixely na CMOS snímači o velikosti 1/2.8" a jelikož se jedná o starší typ snímače, tento nedisponuje citlivostí na světlo srovnatelnou s ostatními zástupci v testu, což se projevuje vyšším datovým tokem a nižší kvalitou obrazu při zhoršeném osvětlení. Kamera nebyla k dispozici v době testování 100% pohybu v obraze při hustém sněžení, testy tedy nezahrnují tento typ prostředí.

Kamera má objektiv s rozsahem ohniskové vzdálenosti 3-9mm při maximální světelnosti F1.3, je vybaven P-Iris clonou umožňující aktivně řídit zaclonění objektivu a hloubku ostrosti v záběru. Objektiv je motorizovaný, při testování byl nastaven na hodnotu odpovídající 90°záběru a před každým testováním bylo provedeno automatické zaostření kamery.

Mezi další funkce kamery patří WDR s rozsahem 130dB, pro zkoušky nastaven na hodnotu 50%. DNR, vyvážení bílé a přepínání IR-cut filtru byly ponechány na výchozí hodnoty maximální čas závěrky nastaven na 1/30 vteřiny. Ostrost, gamut, jas i kontrast byly ponechány na výchozích hodnotách.





Obr. 54: Webové rozhraní – nastavení kamery PELCO IBE-229-1R

### Komentář k výsledkům měření

Výsledky efektivity komprese nejsou pro kameru Pelco IBE-229-1R podobně příznivé jako u ostatních moderních testovaných kamer. V denní scéně v interiéru dosahuje kamera referenční hodnoty 70 MOS při průměrném datovém toku 2 Mbps. V interiéru není také příliš úspěšná modifikace komprese H.264+, je úspornější než standardní komprese, ale podává jen mírně lepší výsledky, kdy 70 MOS odpovídá datovému toku 1.3 Mbps, jinak H.264+ kopíruje standardní kompresi v celém rozsahu datového toku.

V grafu se projevuje zajímavý prvek, kdy kolem hodnoty kvality 60 MOS dochází k zásadnímu snížení přírůstku kvality při zvyšování datového toku. O příčinách lze pouze spekulovat, ale zdá se, že encoder kamery používá pro různá nastavení dvě odlišné metody přístupu ke kompresi. Může to být kvantizační faktor či změna velikostí makrobloků.

Průběh křivky kvality obrazu v noční interiérové scéně je podobný průběhu ve dne, zajímavé je udržení poměrně vysoké kvality obrazu, což potvrzuje výborně zvládnutý algoritmus 3D redukce šumu. Stanovenou referenční hodnotu kvality obrazu 70 MOS dosahuje kamera při datovém toku 1.4 Mbps, při použití pokročilé komprese H.264+ odpovídá tato kvalita toku 950 kbps. Změna ve sklonu křivky pozorovaná u denního obrazu je zde kolem hodnoty 70 MOS přítomna také, již ale není tak zřetelná.



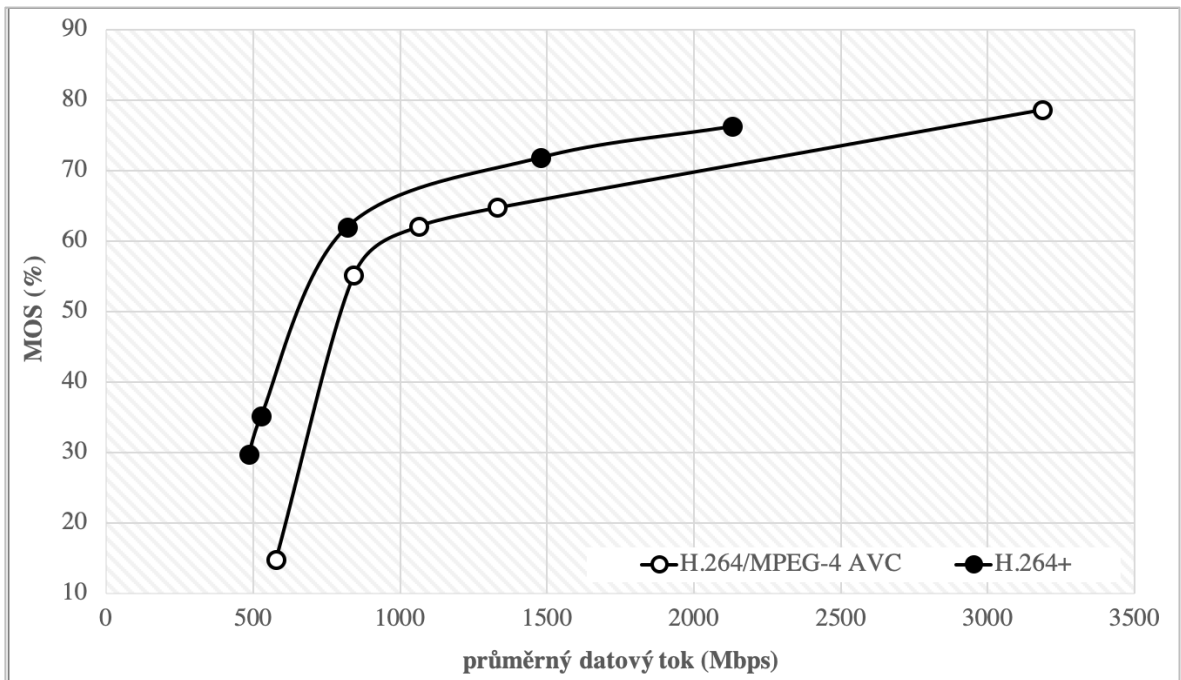
Ve venkovním prostředí se výrazně lépe profiluje komprese H.264+ na úkor standardního algoritmu. Není bez zajímavosti, že ve venkovním prostředí dosahuje kamera stejné úrovně kvality při nižším datovém toku, což není z principu fungování komprese běžné, kamera zjevně optimalizuje obraz pomocí adjustace lokálního kontrastu a softwarového doostření. Skutečností je, že obraz kamery Pelco vypadá ve venkovním prostředí subjektivně velmi dobře. V denní době dosahuje kamera referenční hodnoty 70 MOS při datovém toku 1.6 Mbps a při využití komprese H.264+ dosáhne této hodnoty při datovém toku 400 kbps. V noční venkovní scéně znemožňuje pohyb vegetace efektivní snížení datového toku, hodnoty 70 MOS dosahuje v kompresi H.264 s datovým tokem 2.6 Mbps, při využití chytré komprese H.264+ je pak 750 kbps.

### **Analýza datového toku kamery PELCO pomocí StreamEye**

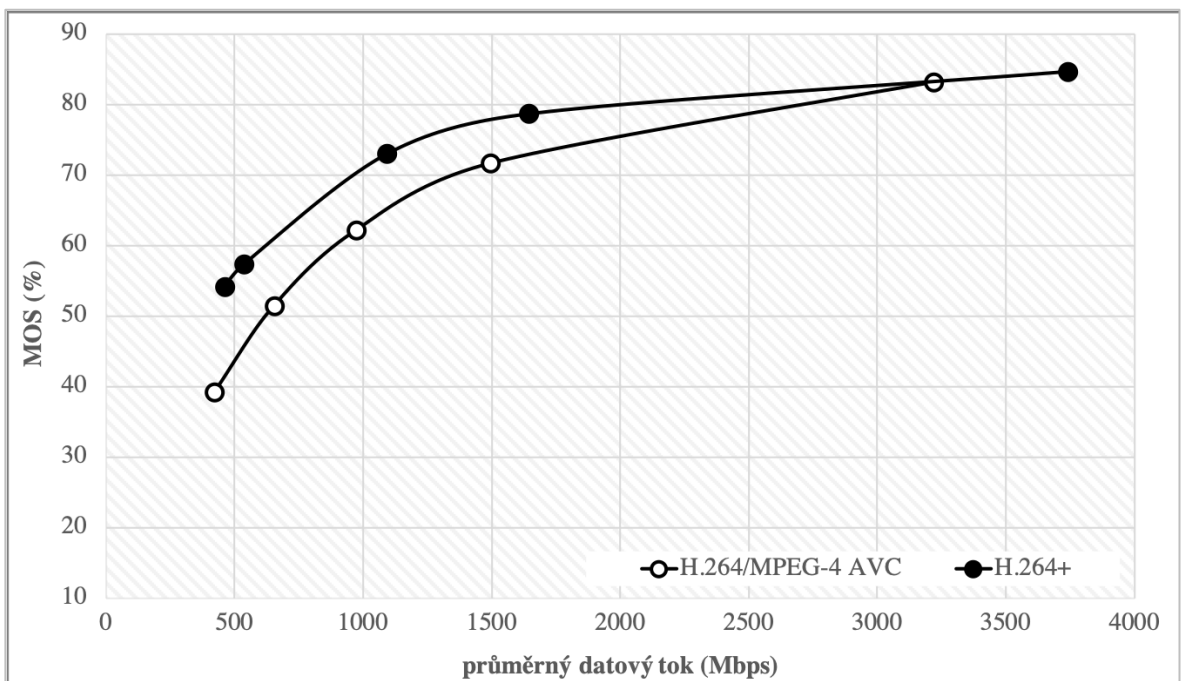
Analýza struktury streamu kamery Pelco odhaluje metodu redukce datového toku u implementace chytré komprese. U kamery Pelco IBE-229-1R je úspora komprese realizována výhradně změnou délky skupiny GOP, kdy prodlužuje standardní opakování I-frame klíčového snímku z 30 na 150 snímků. Ostatní parametry streamu zůstávají stejné, drobné odchylky ve zjištěných hodnotách kvantizačního faktoru jsou minimální a souvisí s nízkým počtem vzorků.

*Tab. 16: Vlastnosti streamů testované kamery PELCO*

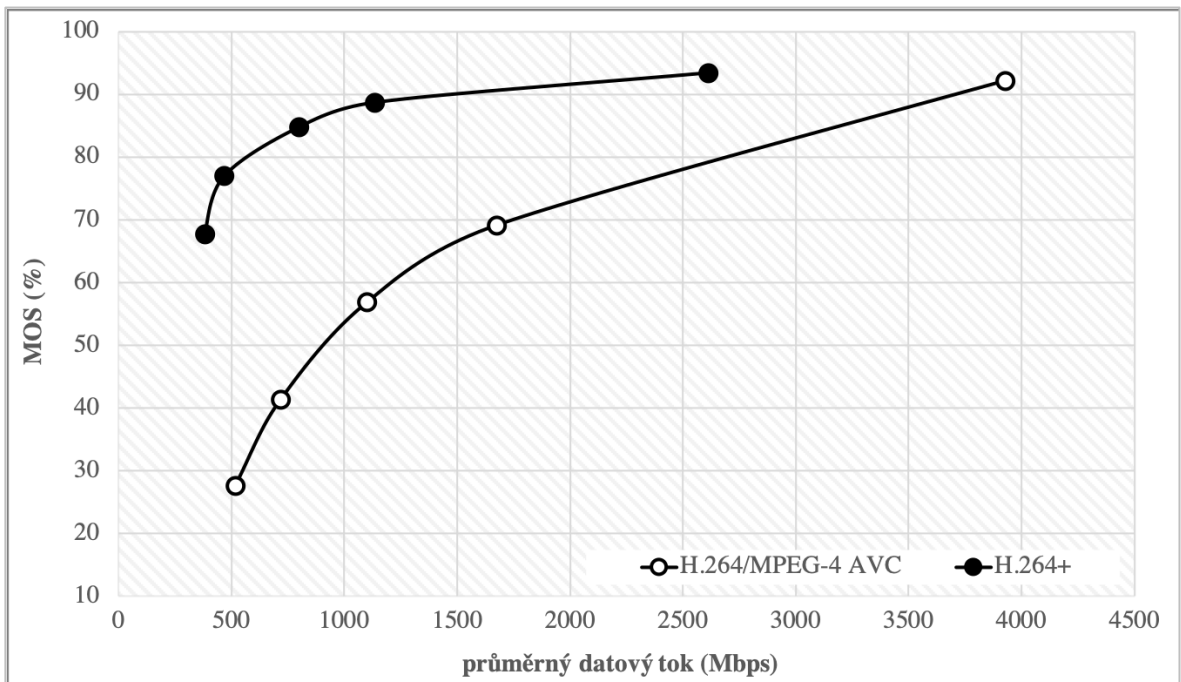
<b>Parametr</b>	<b>H.264</b>	<b>H.264+</b>
<b>Kódování entropie</b>	CABAC	
<b>Verze H.26x</b>	High profile, level 4.0	
<b>Kódování chromatičnosti</b>	4:2:0	
<b>Schéma GOP</b>	I-P, 30 frames	I-P, 150 frames
<b>Kvantizační faktor</b>	19-51	24-49
<b>Intra makrobloky</b>	4x4, 16x16	
<b>Inter makrobloky</b>	8x8, 16x16	



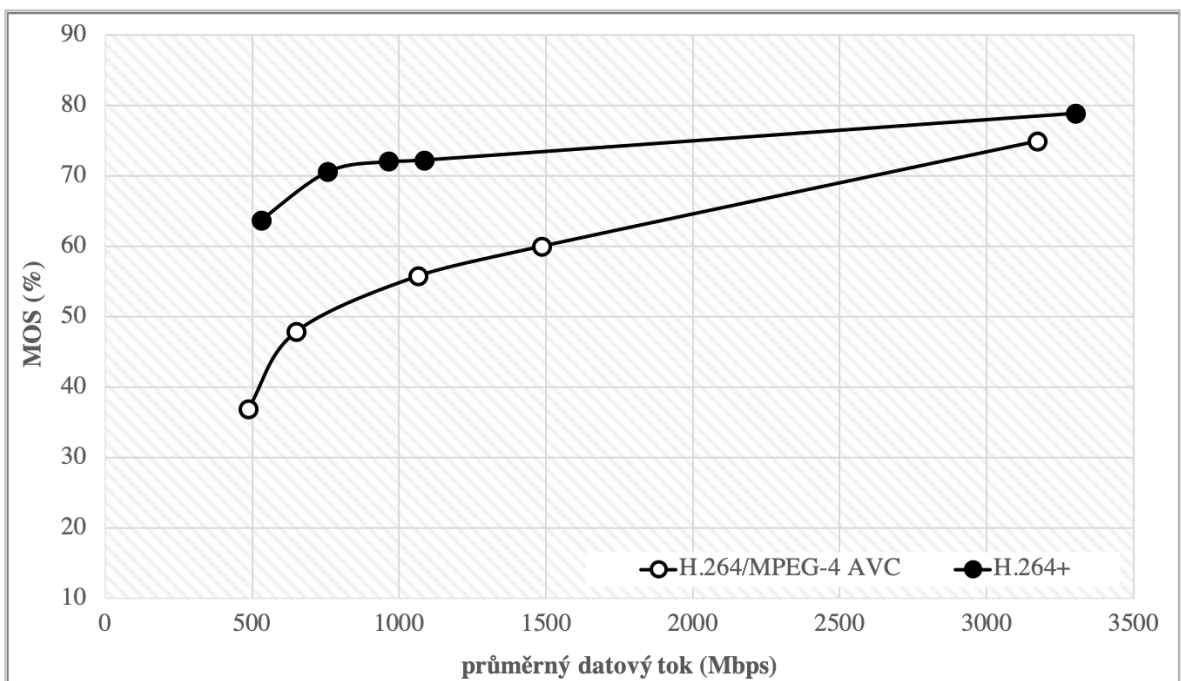
Graf 21: Výsledek měření kamery PELCO, vnitřní prostředí, den



Graf 22: Výsledek měření kamery PELCO, vnitřní prostředí, noc



Graf 23: Výsledek měření kamery PELCO, venkovní prostředí, den



Graf 24: Výsledek měření kamery PELCO, venkovní prostředí, noc

## 4 INTERPRETACE VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK

Data získaná analýzou vzorků streamů v definovaných prostředích, denní/noční době a různém nastavení kamery je nutné pro následné vytvoření kalkulátoru popsat matematickou funkcí a to co možná nepřesněji. Získané hodnoty tak budou aproximovány pomocí regresní analýzy do vybraných průběhů matematických funkcí, které budou následně využity k sestavení matematického modelu průběhu datového toku proti subjektivní kvalitě obrazu.

### 4.1 Návrh algoritmu predikce šířky datového toku

Pro návrh funkce popisující chování jednotlivých kodeků v prostředích bude analyzována modifikovaná lineární lomená funkce, rozšířená logaritmická funkce, modifikovaná logistická funkce a jako zástupce s-křivek (sigmoidů) bude aproximována tzv. Gompertzova funkce.

**Vlastnosti hledané optimální funkce jsou následující:**

- a) Křivka funkce prochází bodem  $[0;0]$
- b) Definiční obor funkce  $D(f) \supseteq \langle 0, +\infty \rangle$
- c) Obor hodnot funkce na definičním oboru spadá do intervalu  $\langle 0;1 \rangle$
- d) Funkce je ve svém definičním oboru rostoucí a prostá
- e) Funkce dosahuje maximální hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu<sup>90</sup>

Vztah naměřeného datového toku a výsledky hodnocení kvality obrazu (MOS) u všech prostředí, denních dob i napříč různými výrobci a typy kamer lze charakterizovat společnými vlastnostmi průběhu křivky. Charakteristický je průběh při nízkých datových tocích, kdy při poměrně strmém přírůstku datového toku (osa X) pouze pozvolna roste hodnota subjektivní kvality obrazu MOS (osa Y). Tento průběh je ovlivněn spotřebou většiny datového toku na klíčové snímky, které jsou objemné. Výhodu mají v této fázi kodeky s variabilním nastavení GOP, kdy lze i při nízkých datových tocích přenášet video v akceptovatelné kvalitě. Standardní implementace H.264/AVC i H.265/HEVC vyžaduje určitý minimální objem dat pro zahájení streamování, i proto je začátek průběhu křivky pozvolný.

---

<sup>90</sup> Pearsonův korelační koeficient měří sílu lineární závislosti mezi dvěma veličinami, bývá označen  $R^2$

#### 4.1.1 Gompertzova funkce

Při hledání funkce, která by nejlépe popisovala průběh vztahu datového toku a kvality obrazu se jeví jako vhodné orientovat se do množiny s-křivek neboli sigmoidů, nejlépe pak těch, které lze dobře modelovat z pohledu omezení výsledku funkce na stanovený interval a současně je možné ovlivnit strmost růstu křivky i její posun vůči ose X (datový tok).

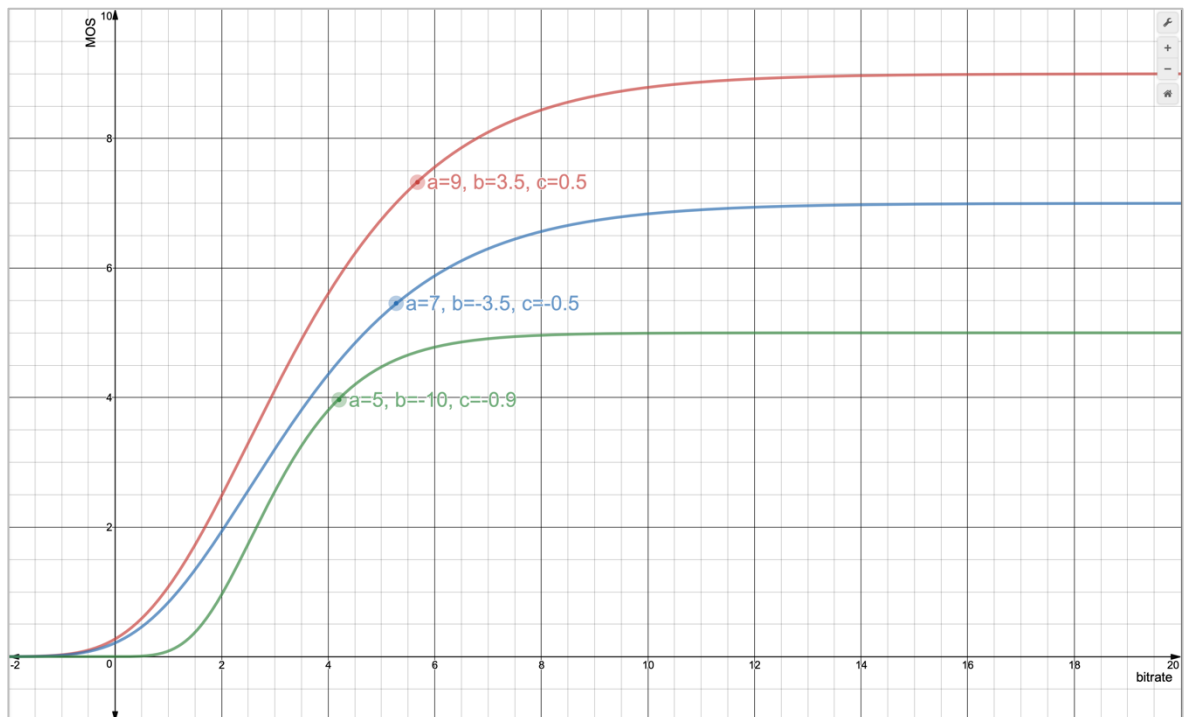
Pro tento účel se jako řešení nabízí logaritmická, logistická a právě tzv. Gompertzova funkce, která je jednou z nejpoužívanějších s-křivek a to již od doby své první praktické aplikace Benjaminem Gompertzem v roce 1825 při zkoumání růstu rizika úmrtnosti vůči věku osoby. První, kdo tzv. Gompertzovu křivku prakticky využil byly pojišťovací společnosti při posuzování rizika úmrtí klientů. Od té doby se Gompertzova křivka a tzv. Gompertzův zákon objevuje v mnoha implementacích v oblastech sociologie, biologie, managementu i ekonomiky. Dnes je často využíván pro popis dynamiky růstu nádorů u onkologických onemocnění, ale s úspěchem se využívá i pro modelování saturace trhu výrobky a v predikci vývoje dalších oblastí lidského života. [33]

Průběh Gompertzovy křivky je v ose Y ohraničen intervalem  $\langle 0;1 \rangle$ , resp.  $\langle 0\%;100\% \rangle$  a ve vodorovné ose může nabývat hodnot 0 až několik desítek megabitů za vteřinu. Pro aproximaci křivky průběhu datového toku a hodnocení kvality obrazu (MOS) budeme pracovat s Gompertzovou funkcí v následujícím tvaru:

$$MOS = a \cdot e^{-b \cdot e^{-c \cdot bitrate}} \quad (2)$$

Jednotlivé koeficienty mají následující vliv na průběh křivky:

- a určuje maximální hodnotu výsledku funkce na intervalu  $\langle 0;1 \rangle$ , resp.  $\langle 0\%;100\% \rangle$
- b koeficient ovlivňující polohu křivky vůči ose X
- c koeficient ovlivňující strmost křivky

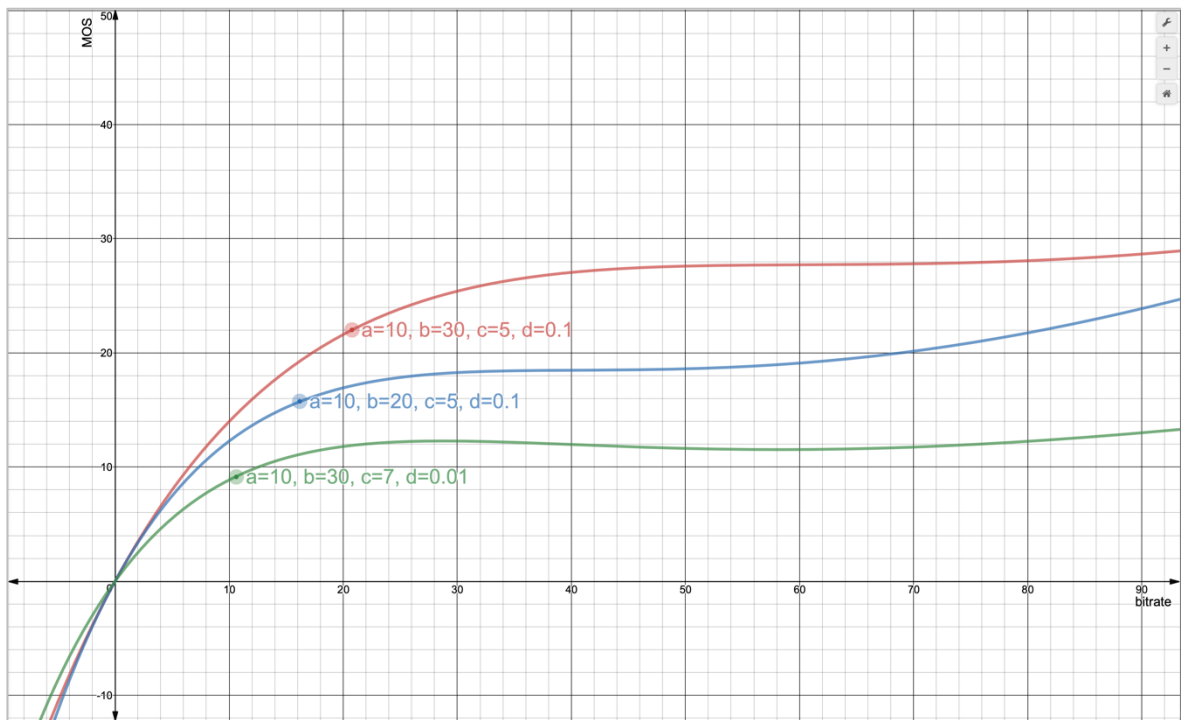


Graf 25: Průběh Gompertzovy funkce s různými hodnotami koeficientů

#### 4.1.2 Logistická funkce

Logistická funkce se v praxi využívá v empirických vědách pro modelování růstu populace, šíření informací, koncentrací škodlivin a podobně. Pro modelování křivky průběhu datového toku bude použita v modifikované podobě s rozšířením o koeficient „d“ a její průběh tak bude spíše připomínat logaritmickou křivku než s-křivku. Výhodou této modifikované křivky je zaručený průchod bodem [0,0] a široký rozsah koeficientů umožňující velmi dobrou modelaci křivky. [34]

$$MOS = bitrate \cdot \frac{1 + a \cdot e^{\frac{-bitrate}{b}}}{1 + c \cdot e^{\frac{-d \cdot bitrate}{b}}} \quad (3)$$



Graf 26: Průběh modifikované logistické funkce s různými hodnotami koeficientů

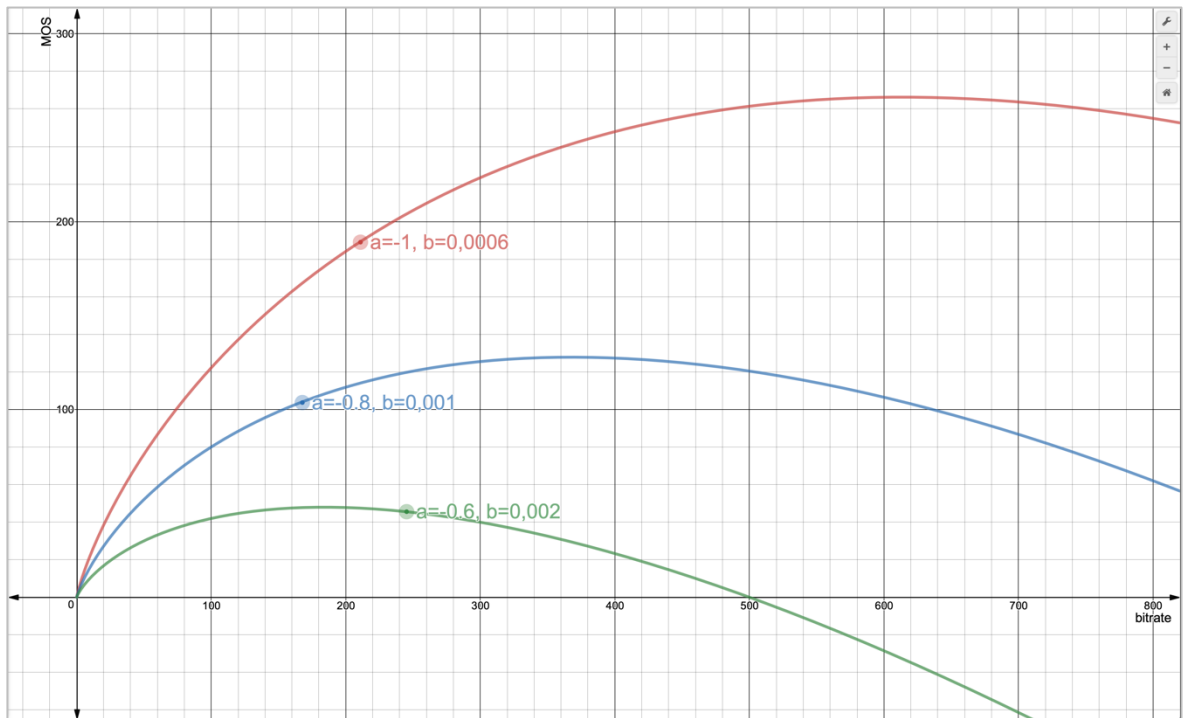
Jednotlivé koeficienty mají následující vliv na průběh křivky:

- a určuje strmost křivky v první části průběhu
- b určuje maximální hodnotu výsledku funkce v první části průběhu
- c určuje maximální hodnotu výsledku funkce v celém průběhu
- d definuje tvar křivky

#### 4.1.3 Logaritmická funkce

Jednoduchá logaritmická funkce je nejznámějším zástupcem funkce s nelineárním průběhem. Křivka samotná je inverzní funkcí k exponenciální funkci.

$$MOS = a \cdot bitrate \cdot \log ( b \cdot bitrate ) \quad (4)$$



Graf 27: Průběh modifikované logaritmické funkce s různými hodnotami koeficientů

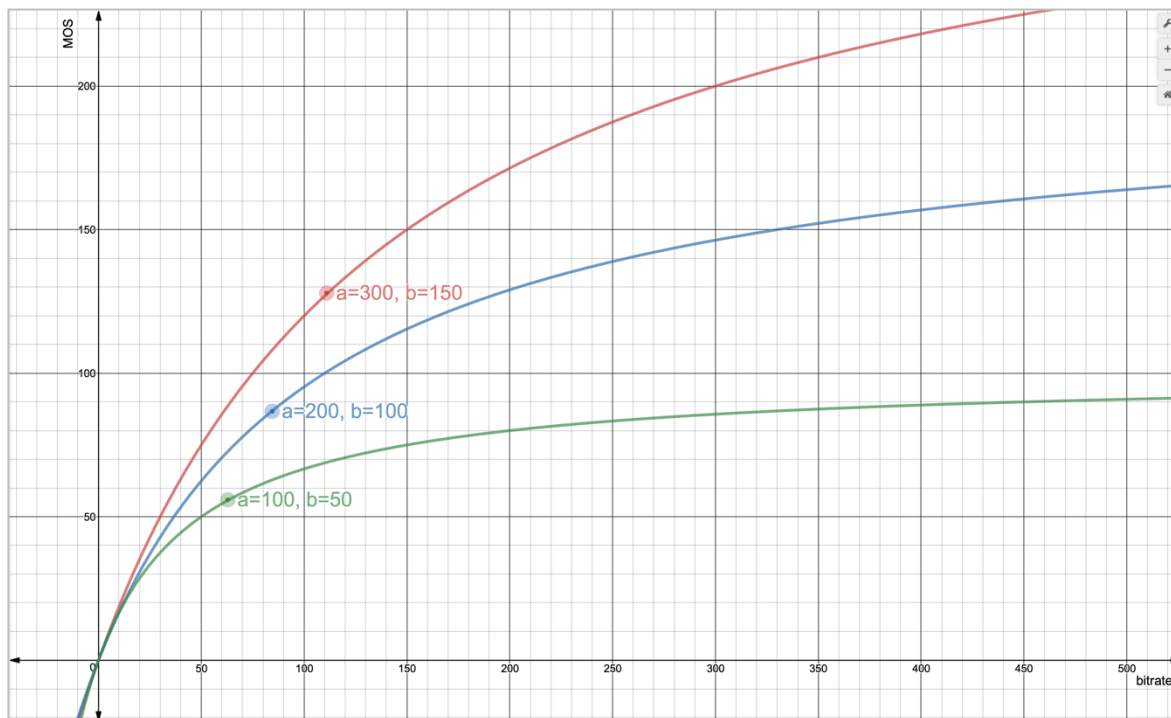
#### 4.1.4 Lineární lomená funkce

V průběhu hledání optimálního průběhu křivky se ukázala jako slibnou alternativou lineární lomená funkce, která splňuje všechny požadavky definované jako podmínky křivek popisujících průběh datového toku proti hodnotě MOS. Funkce samotná je velmi jednoduchá.

$$MOS = \frac{a \cdot bitrate}{b + bitrate} \quad (5)$$

Koeficient  $a$  definuje maximum ke kterému se křivka přibližuje a koeficient  $b$  pak strmot křivky samotné. Výhodou průběhu lineární lomené funkce je jednoduchý a předvídatelný průběh křivky samotné a splnění všech vlastností požadovaných v úvodu kapitoly.





Graf 28: Průběh lineární lomené funkce s různými hodnotami koeficientů

## 4.2 Metoda regresní analýzy

Metody regresní analýzy umožňují nalézt souvislost mezi empirickým získanými hodnotami. Vstupem pro regresní analýzu jsou v našem případě hodnoty kvality obrazu (MOS) a jim odpovídající hodnota datového toku. Analýza bude prováděna vždy nad množinou hodnot popisující jedno konkrétní prostředí a jeden typ použité komprese obrazu. Výsledkem regresní analýzy bude křivka popisující s určitou chybou vztah závislé proměnné (v našem případě kvality obrazu) k hodnotě průměrného datového toku. Regresní analýza přináší proti metodě korelace výhodu v podobě určení hodnoty tzv. Pearsonova korelačního koeficientu, který říká s jakou přesností, resp. chybou se modelovaná křivka blíží k průběhu danému zadanými hodnotami. [35]

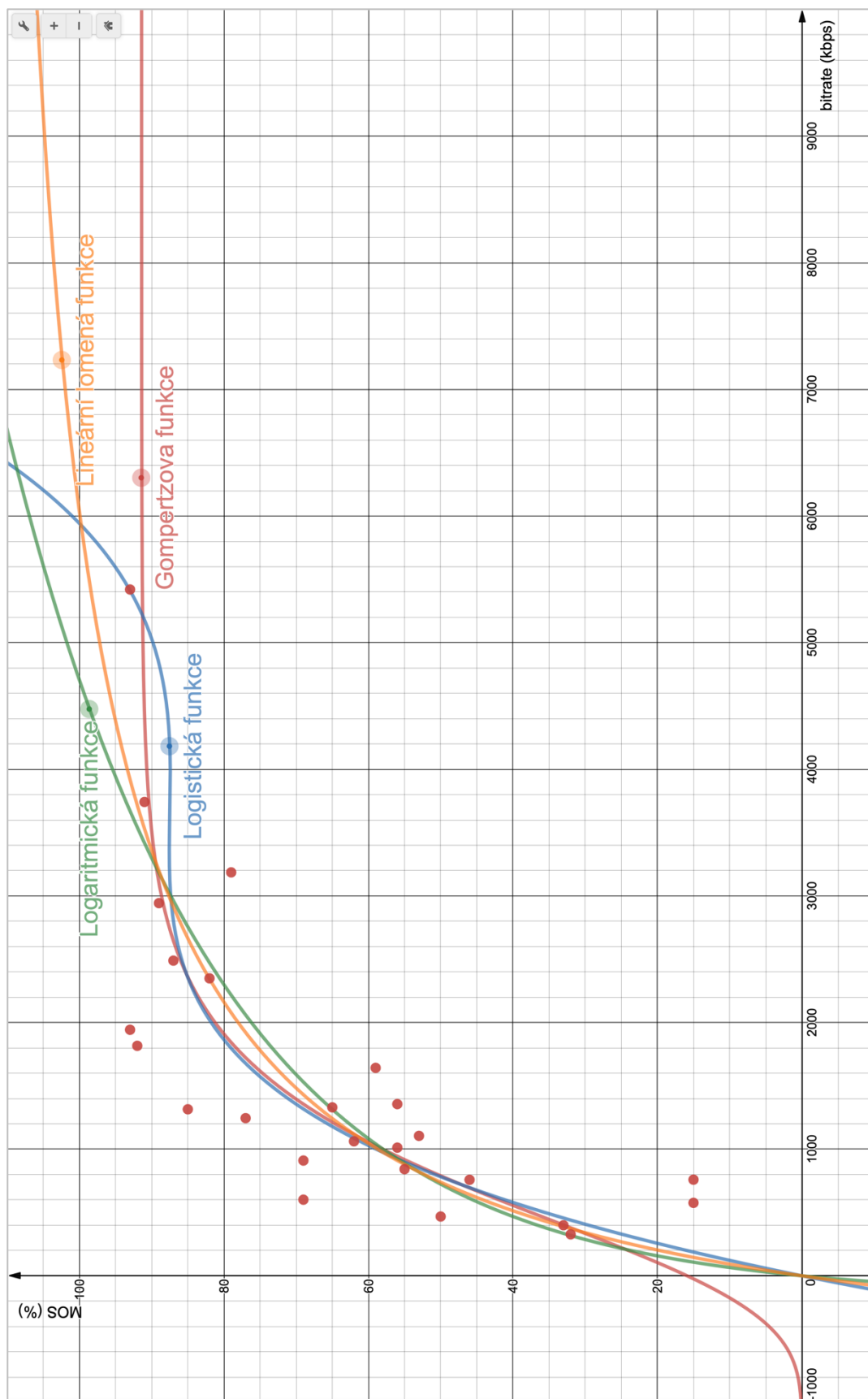
Při modelování výsledné křivky nebude využito lineární regrese v podobě křivky ve tvaru  $y = a + bx$ , ale hodnoty budou aproximovány do křivek definovaných lineární lomenou funkcí, logaritmickou a logistickou funkcí a konečně funkcí Gompertzovou. Pro provádění

regresní analýzy bude využito schopností on-line programu Desmos<sup>91</sup>, který umožňuje provádět regresní analýzy v reálném čase i nad nelineárními křivkami. Pro každou aproximaci bude vyhodnocen korelační koeficient pro určení pravděpodobnosti chyby a na základě splnění požadavků kladených na hledaný optimální průběh funkce a následně výběrem funkce s nejvyšší hodnotou Pearsonova korelačního koeficientu bude nalezena funkce popisující s maximální přesností reálný model komprese obrazu v daném prostředí a s daným kompresním algoritmem. Výsledky aproximace jsou zobrazeny v následujících grafech.

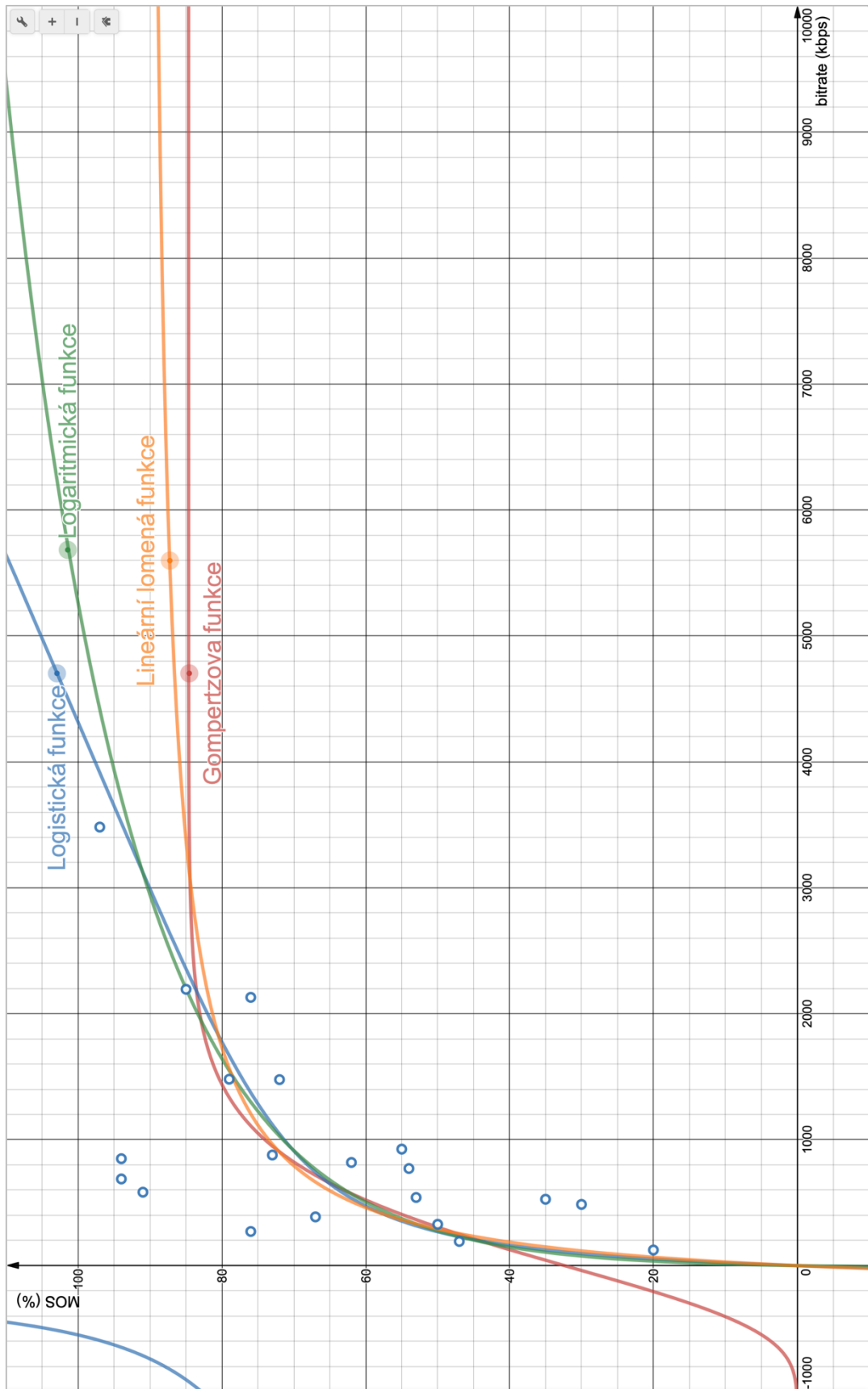
Tab. 17: Získané hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu  $R^2$

		funkce	H.264	H.264+	H.265	H.265+	
interier	den	Logaritmická	0,6337	0,4052	0,6487	0,6887	
		Lineární lomená	0,6527	0,4002	0,7962	0,8667	
		Logistická	0,6633	<b>0,4157</b>	0,8093	0,8709	
		Gompertzova	<b>0,6700</b>	0,3762	<b>0,8293</b>	<b>0,9137</b>	
	noc	Logaritmická	0,6992	0,6516	0,8449	0,9479	
		Lineární lomená	0,7212	0,6001	0,9329	0,9870	
		Logistická	<b>0,7309</b>	<b>0,6517</b>	0,9656	<b>0,9874</b>	
		Gompertzova	0,7301	0,6247	<b>0,9791</b>	0,9685	
		exterier	Logaritmická	0,699	0,1556	0,7595	0,7670
			Lineární lomená	0,7212	0,1557	0,8463	0,8503
Logistická	<b>0,7309</b>		<b>0,2038</b>	<b>0,8548</b>	0,8513		
Gompertzova	0,7301		0,1455	0,8270	<b>0,8945</b>		
noc	Logaritmická		0,6070	0,2400	0,7183	0,8867	
	Lineární lomená		0,6074	0,2465	0,8068	0,9102	
	Logistická	<b>0,6178</b>	<b>0,2572</b>	<b>0,8594</b>	<b>0,9171</b>		
	Gompertzova	0,6154	0,2349	0,8558	0,8774		

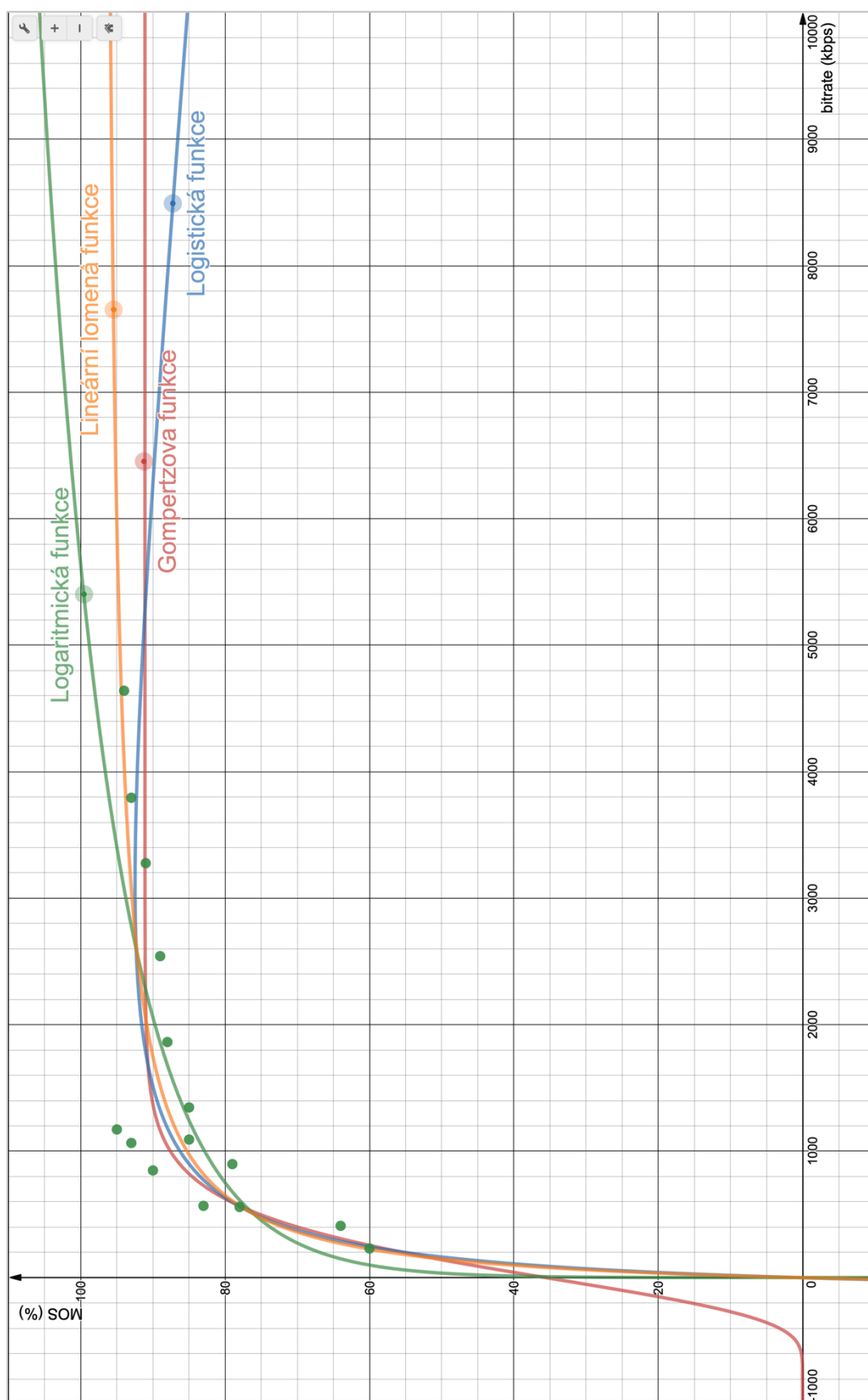
<sup>91</sup> Desmos.com, pokročilý grafický kalkulátor postavený na standardu HTML5



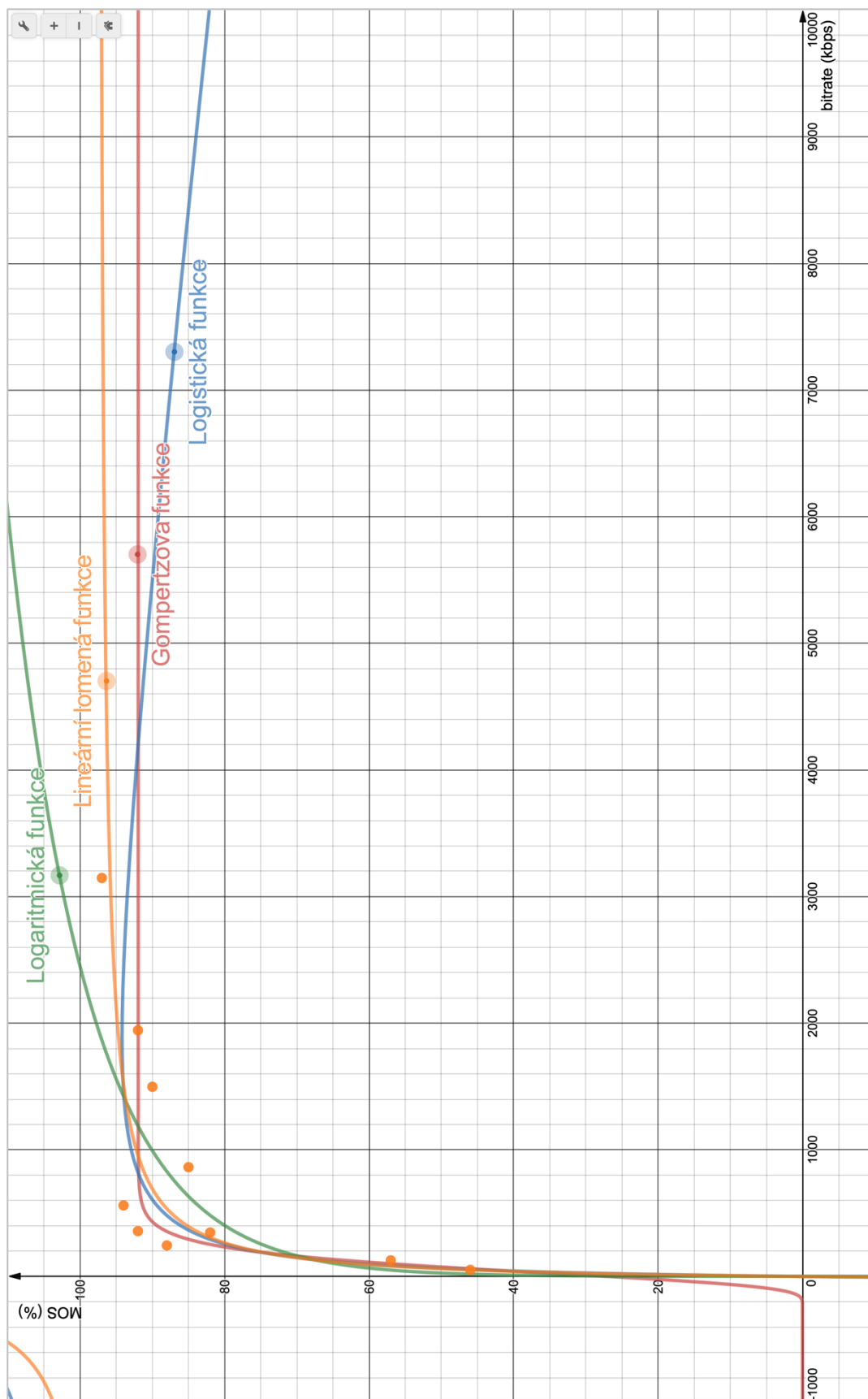
Graf 29: Aproximace průběhů křivek ve vnitřním prostředí, den, komprese H.264



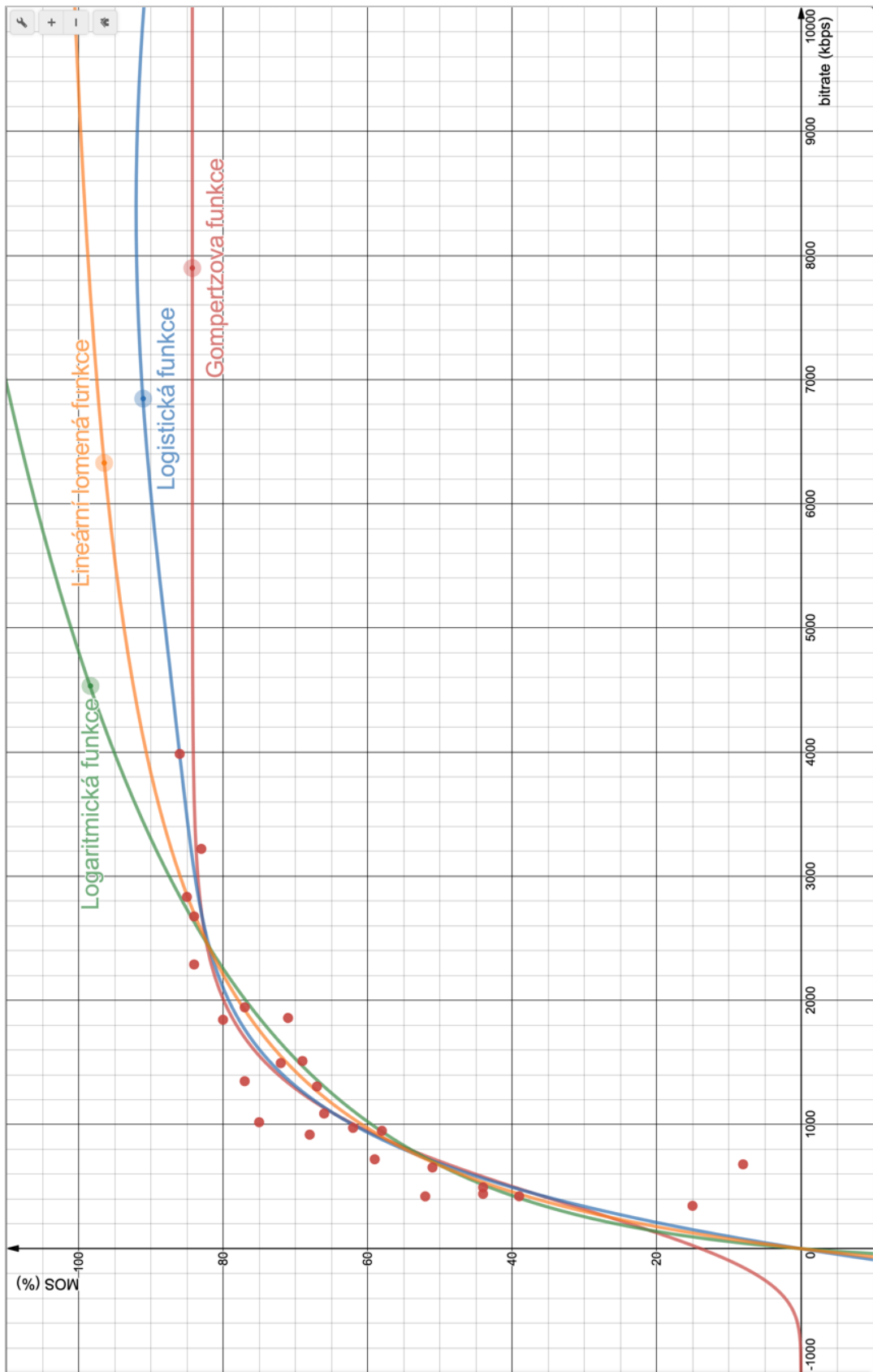
Graf 30: Aproximace průběhů křivek ve vnitřním prostředí, den, komprese H.264+



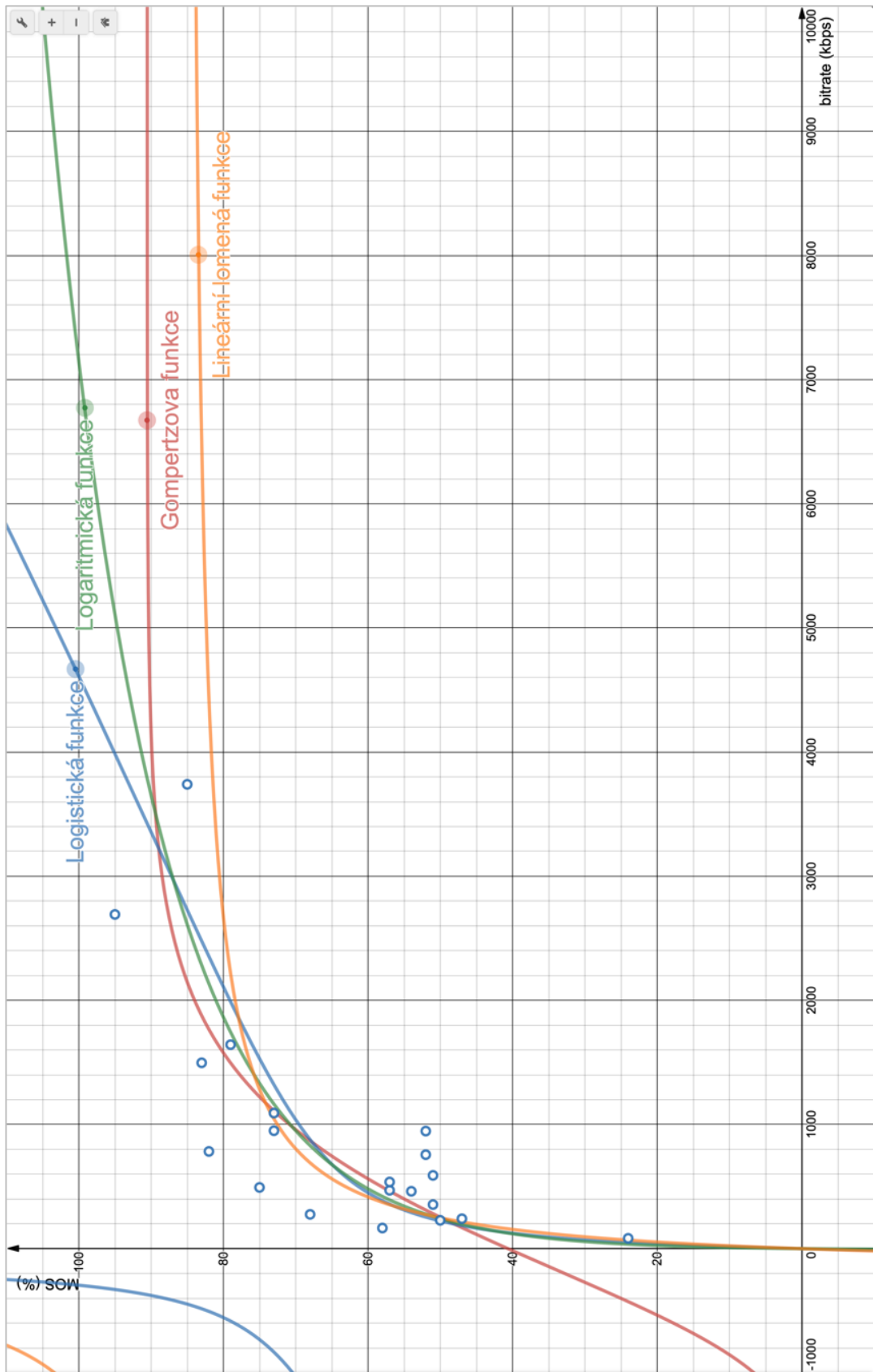
Graf 31: Aproximace průběhů křivek ve vnitřním prostředí, den, komprese H.265



Graf 32: Aproximace průběhů křivek ve vnitřním prostředí, den, komprese H.265+

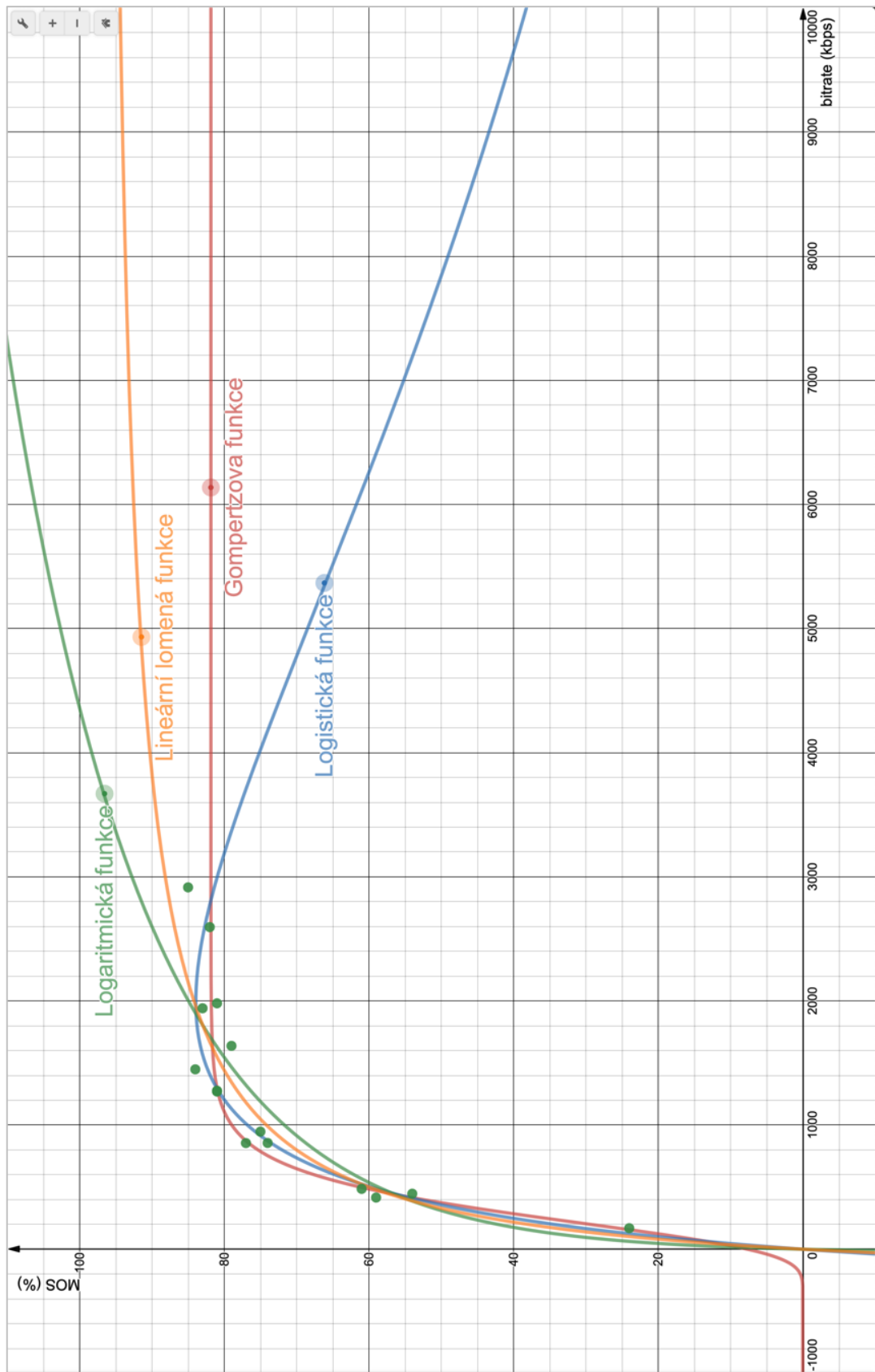


Graf 33: Aproximace průběhů křivek ve vnitřním prostředí, noc, komprese H.264

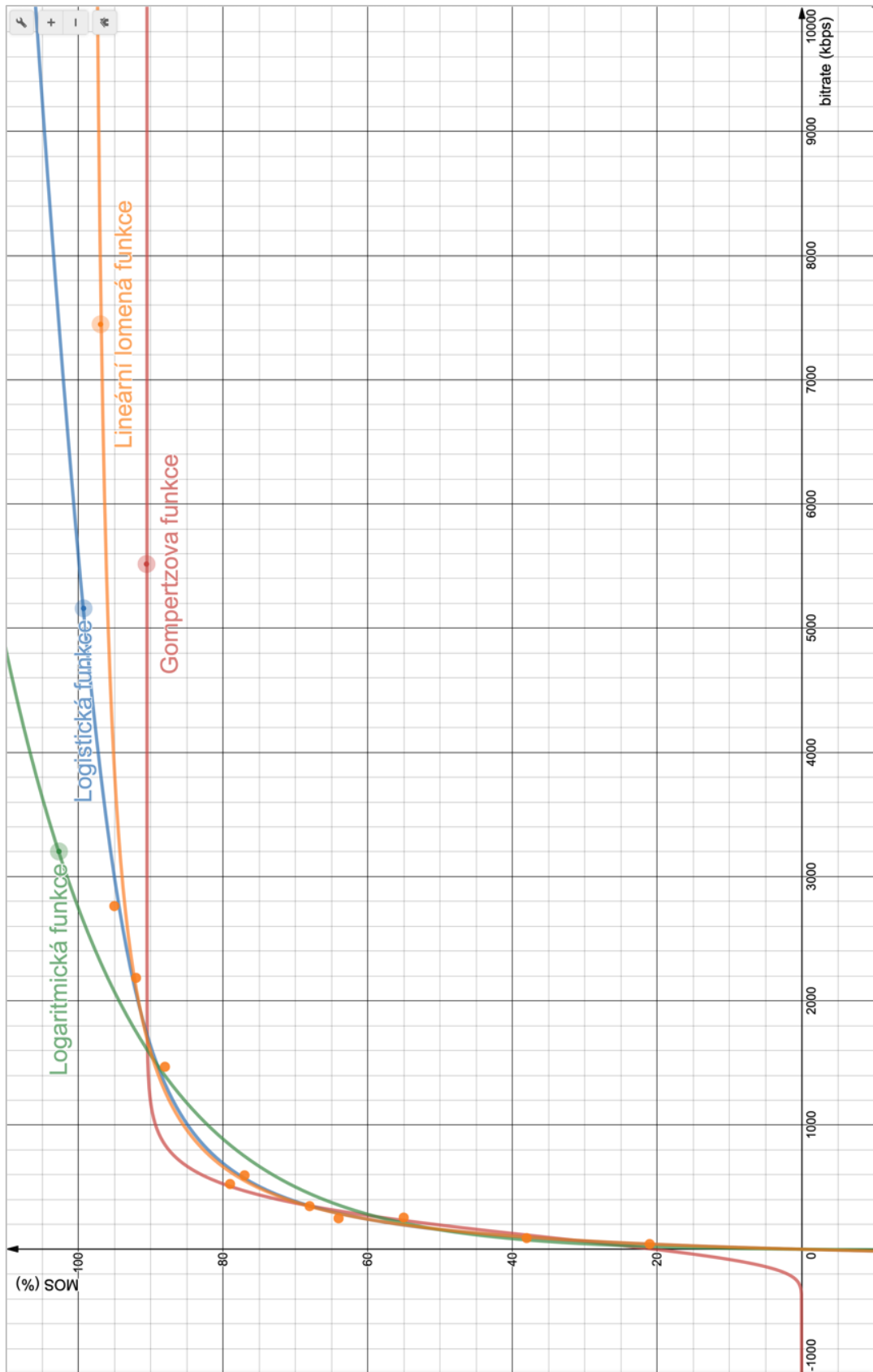


Graf 34: Aproximace průběhů křivek ve vnitřním prostředí, noc, komprese H.264+

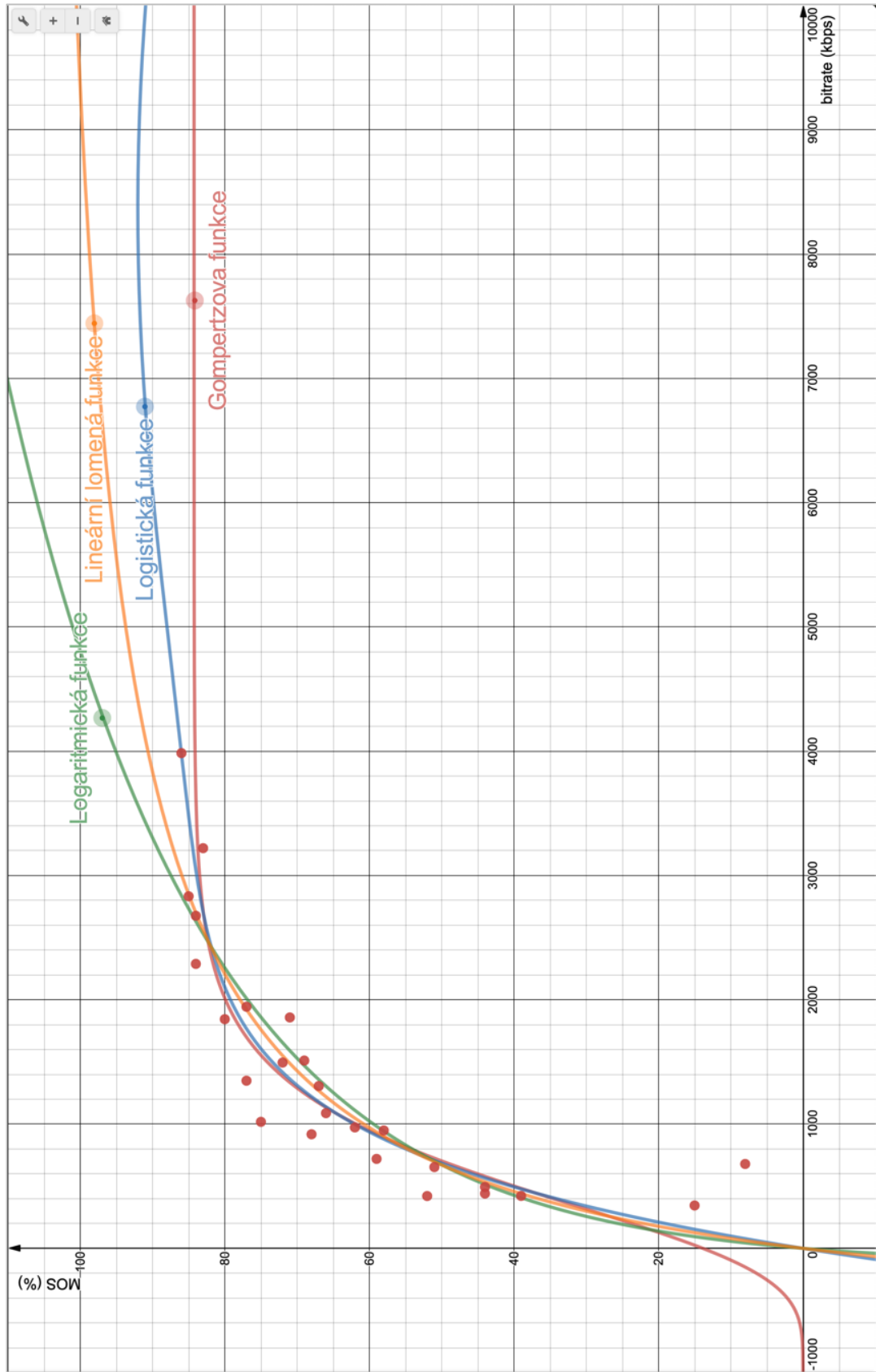




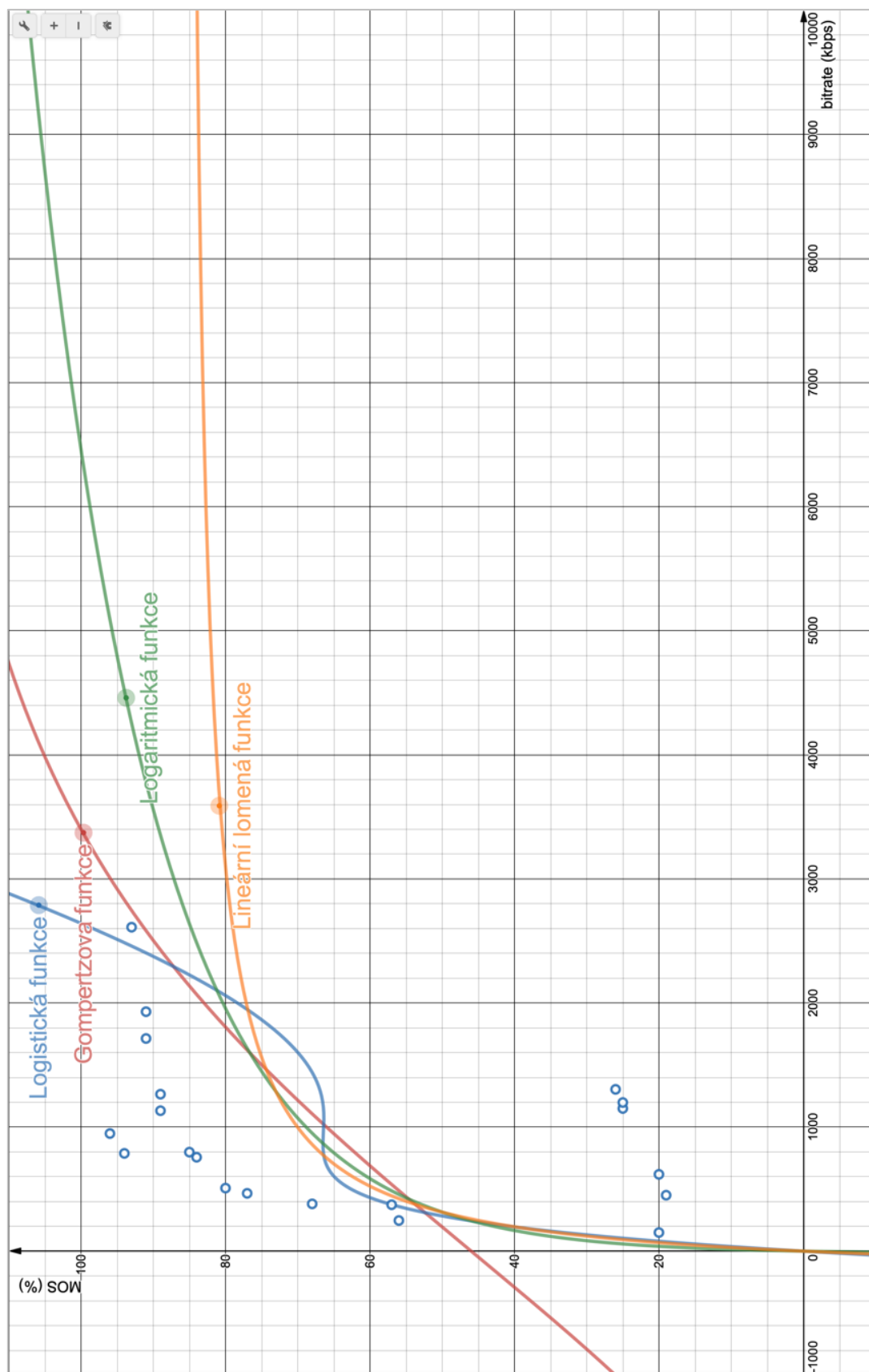
Graf 35: Aproximace průběhů křivek ve vnitřním prostředí, noc, komprese H.265



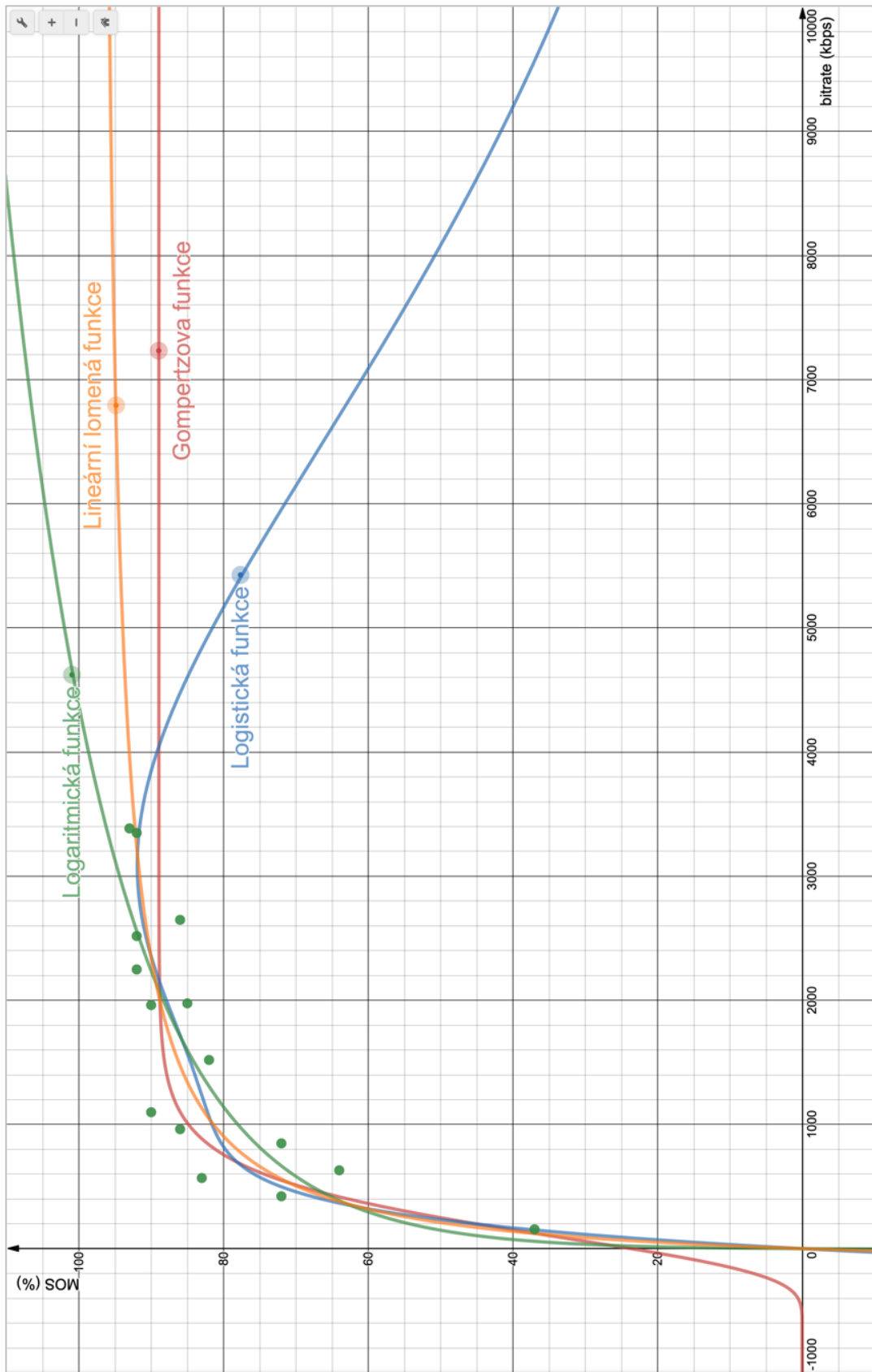
Graf 36: Aproximace průběhů křivek ve vnitřním prostředí, noc, komprese H.265+



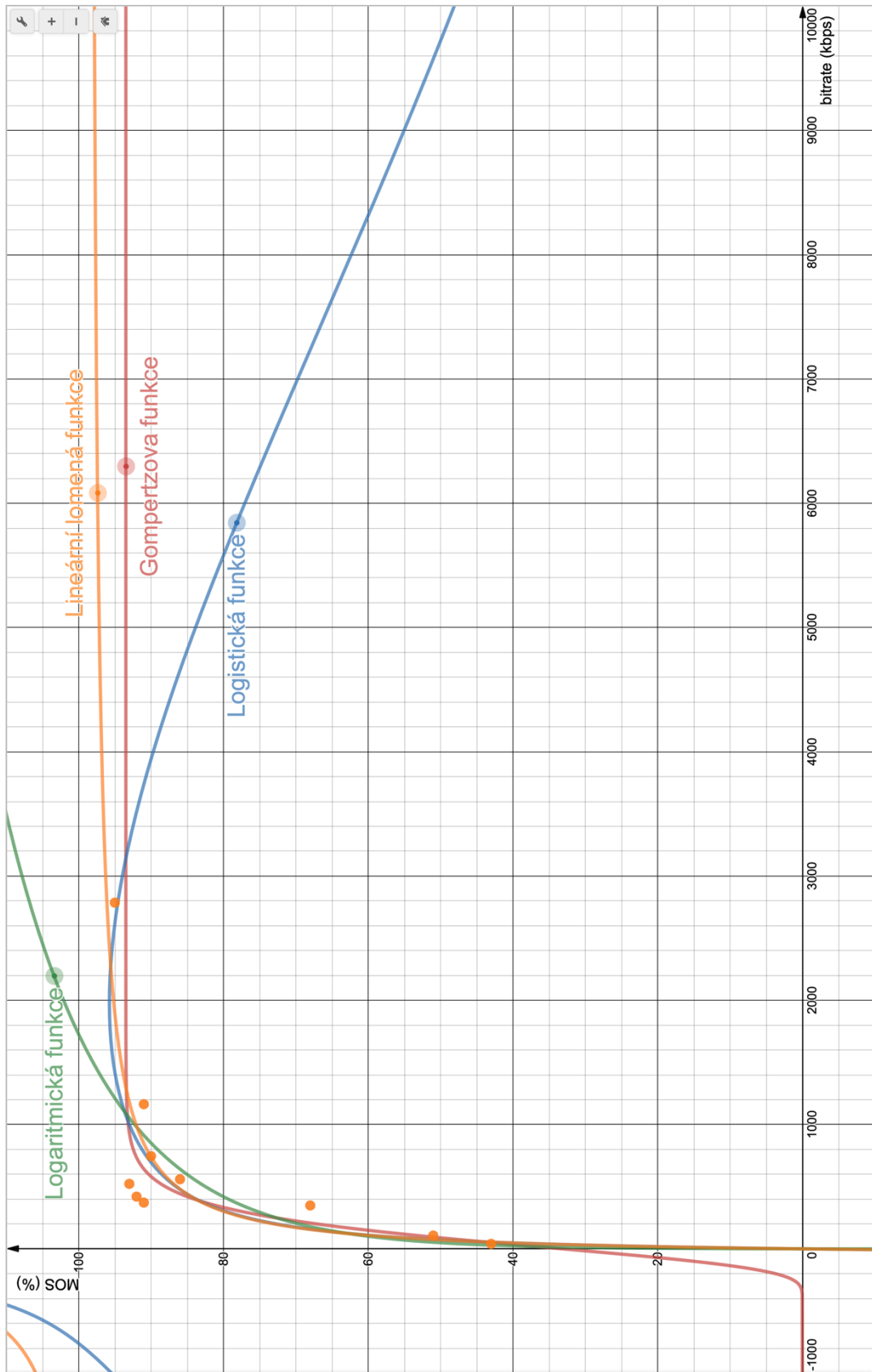
Graf 37: Aproximace průběhů křivek ve venkovním prostředí, den, komprese H.264



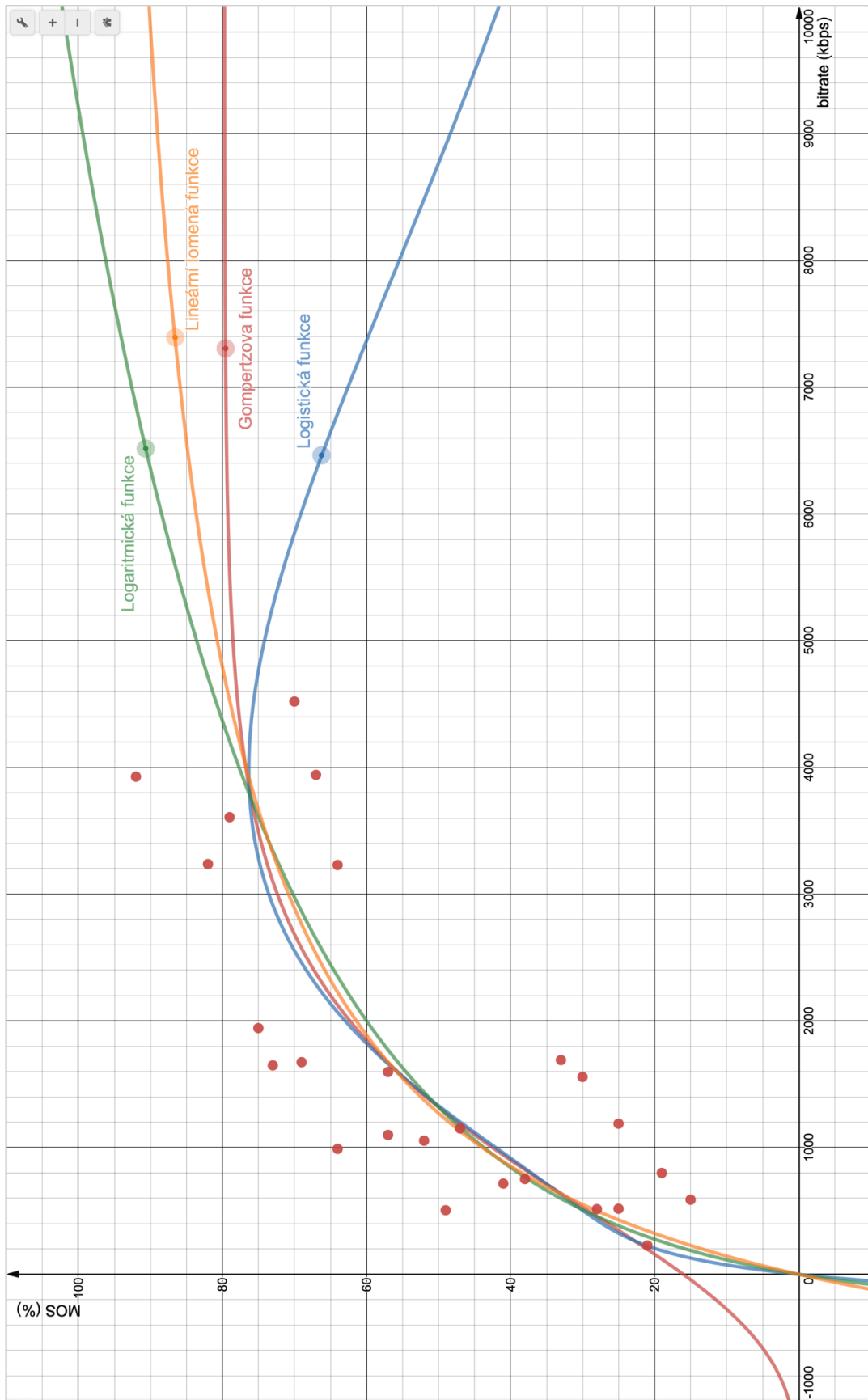
Graf 38: Aproximace průběhů křivek ve venkovním prostředí, den, komprese H.264+



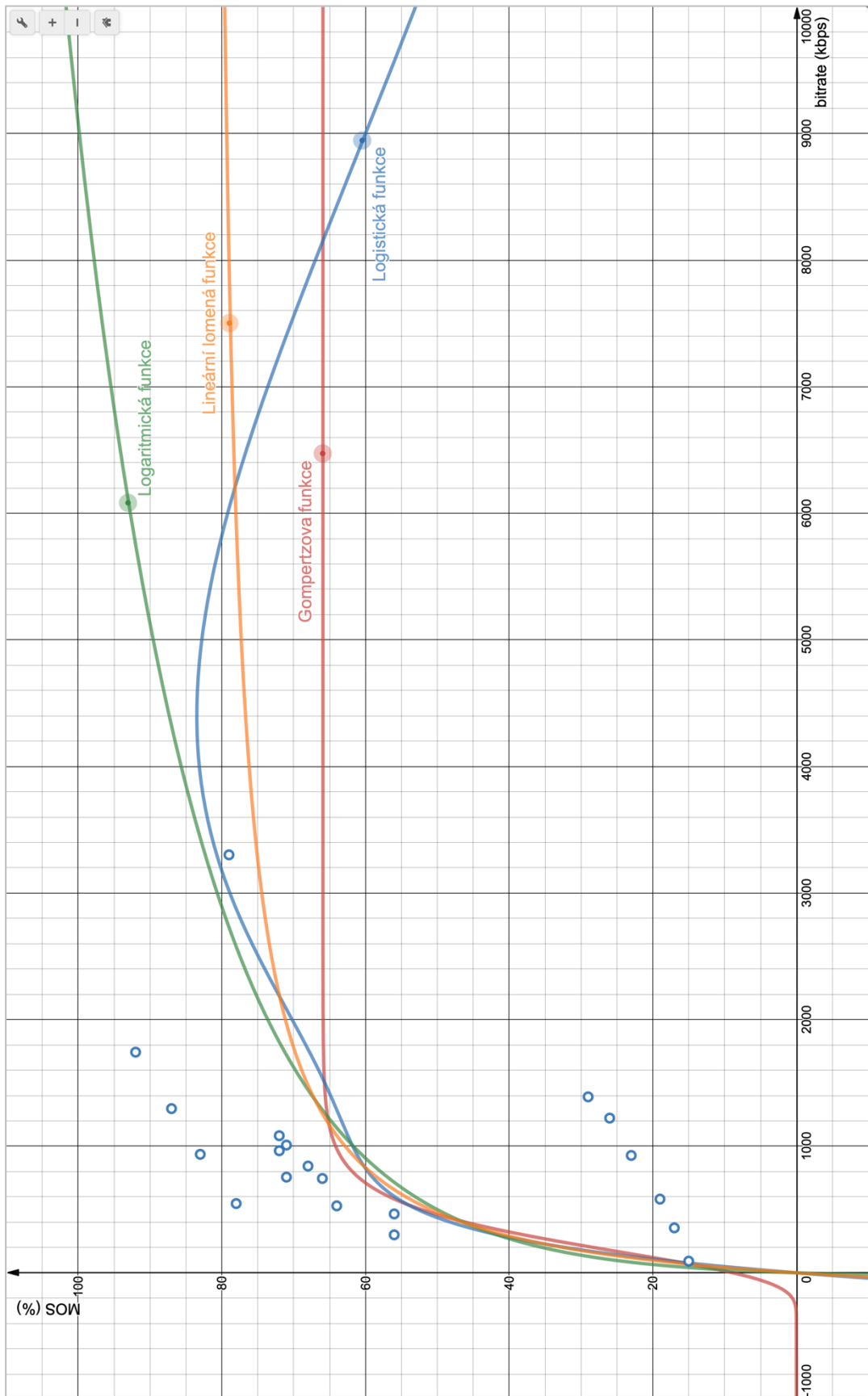
Graf 39: Aproximace průběhů křivek ve venkovním prostředí, den, komprese H.265



Graf 40: Aproximace průběhů křivek ve venkovním prostředí, den, komprese H.265+

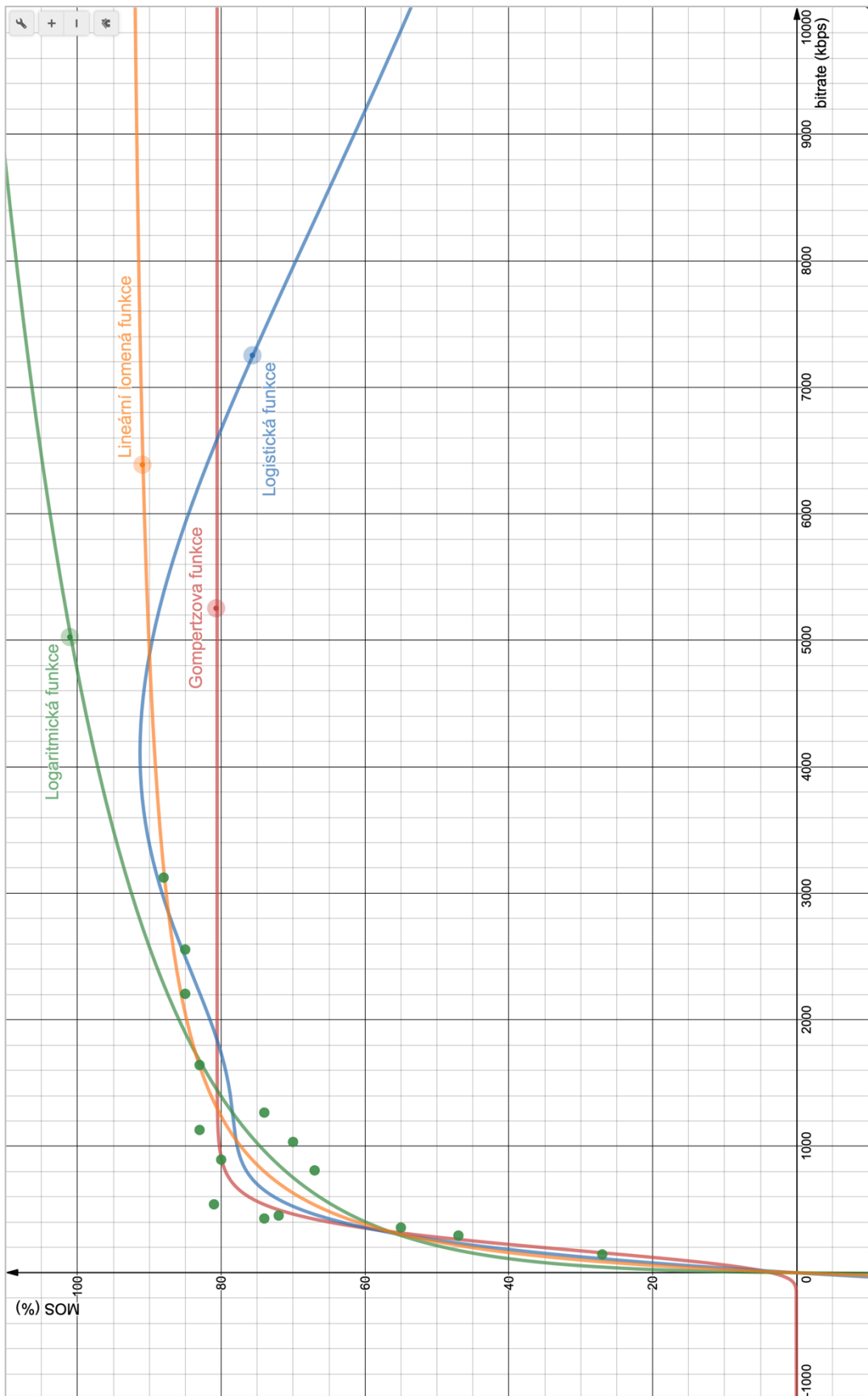


Graf 41: Aproximace průběhů křivek ve venkovním prostředí, noc, komprese H.264

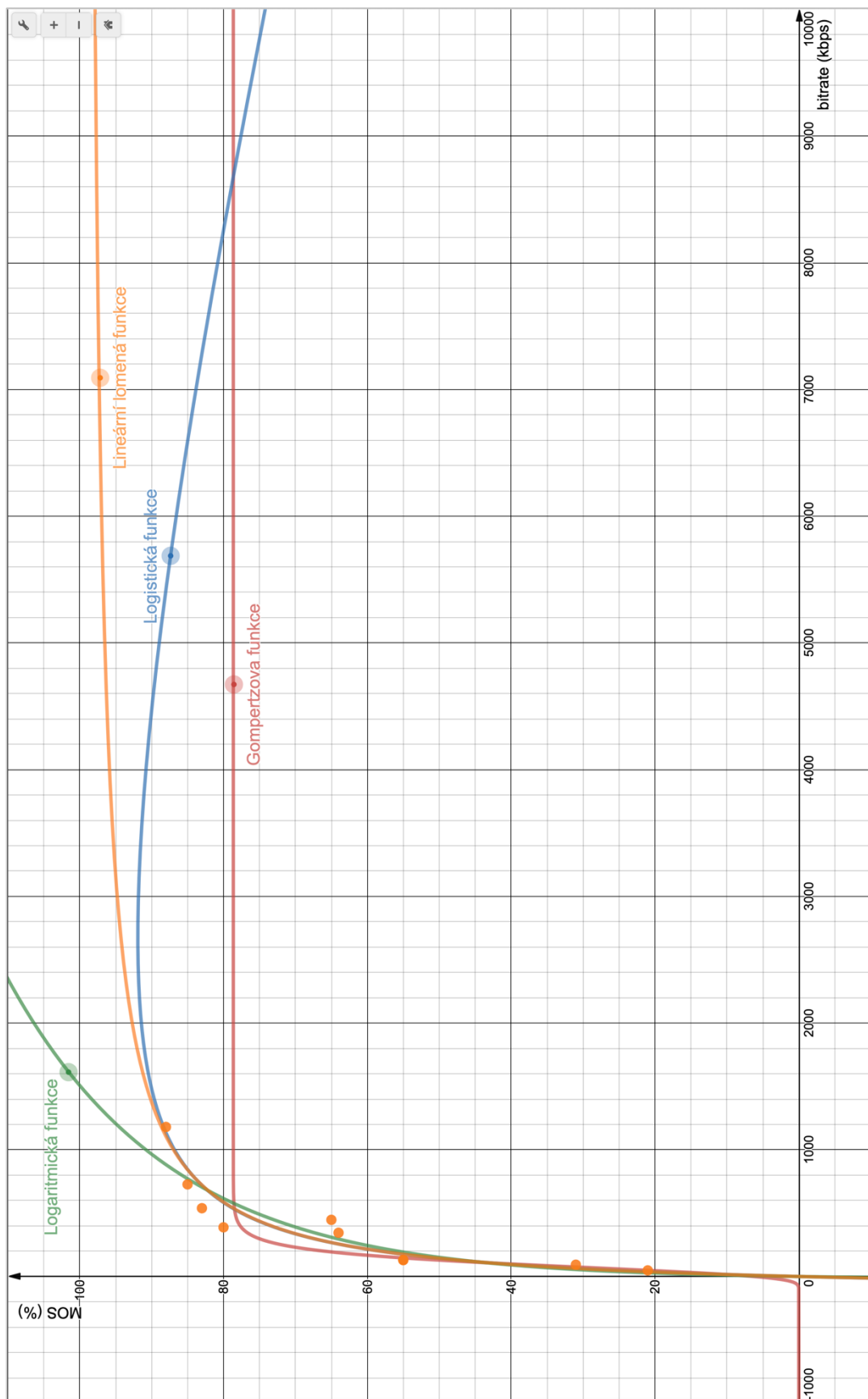


Graf 42: Aproximace průběhů křivek ve venkovním prostředí, noc, komprese H.264+





Graf 43: Aproximace průběhů křivek ve venkovním prostředí, noc, komprese H.265



Graf 44: Aproximace průběhů křivek ve venkovním prostředí, noc, komprese H.265+

### 4.3 Výsledky aproximace průběhů křivek

Aproximace průběhů křivek definovaných funkcí do výsledků prováděných zkoušek přináší výsledky, které lze shrnout do následujících závěrů:

- Nejvyšších hodnot Pearsonova korelačního koeficientu dosahuje aproximace logistickou křivkou, následovaná Gompertzovou křivkou.
- Nejvyšší přesnosti aproximace proti měřeným hodnotám bylo dosaženo u kompresních algoritmů H.265 a H.265 a to až v hodnotách  $R^2=98,74\%$  u komprese H.265+ ve vnitřním prostředí v noci. Nejnižší přesnost aproximace je dosažena u H.264+ v exteriéru, konkrétně 20,38, resp. 25,72%.
- Odchylka mezi hodnotou Pearsonova korelačního koeficientu činí 1,77~5,72% pro kompresní algoritmus H.264, 8,59~40,06% pro algoritmus H.264+, 12,54~27,84% u H.265 a 4,16~32,6% u H.265.

Z průběhů křivek, které jsou výsledkem aproximace získaných hodnot na vybrané typy funkcí vyplývá, že Gompertzova funkce nespĺňuje u všech měření podmínku a), kdy její křivka neprochází bodem  $[0;0]$ , tedy počátkem souřadného systému. Porušení této podmínky zásadním způsobem znesnadňuje použití Gompertzovy funkce pro konstrukci kalkulátoru, nebylo by totiž možné odvodit hodnoty průměrného datového toku pro nízké hodnoty kvality – typicky pro  $MOS < 40\%$ .

Logistická funkce nespĺňuje podmínku d) *Funkce musí být ve svém definičním oboru rostoucí a prostá*. Porušení této podmínky zkrsluje hodnoty výpočtů kvality u vyšších datových toků, výsledkem výpočtu by bylo snižující se MOS při růstu datového toku.

Logaritmická i modifikovaná lomená funkce nespĺňuje v části definičního oboru funkce podmínku c) *Obor hodnot funkce na definičním oboru spadá do intervalu  $<0;1>$* . Zásadně se problém projevuje u logaritmické funkce, v případě lomené funkce je podmínka porušena pouze u kompresního algoritmu H.264 a závislou proměnnou  $MOS=1$  protíná hodnotou bit-rate 6028 kbps. Logaritmická také není v celém svém průběhu rostoucí a prostá (podmínka d), čímž se vylučuje z využití pro konstrukci kalkulátoru.

Jednotlivé splnění podmínek kladených na funkci dle stanovených podmínek je uvedeno v Tab. 18.

Tab. 18: Hodnocení splnění zadaných podmínek u jednotlivých funkcí

	a)	b)	c)	d)	e)
<b>Gompertzova funkce</b>	NE	ANO	ANO	ANO	5x
<b>Logistická funkce</b>	ANO	ANO	ANO	NE	10x
<b>Logaritmická funkce</b>	ANO	ANO	NE	NE	0x
<b>Lineární lomená funkce</b>	ANO	ANO	ANO	ANO	1x

**Význam jednotlivých posuzovaných vlastností z Tab. 18:**

- a) Křivka funkce prochází bodem  $[0;0]$
- b) Definiční obor funkce  $D(f) \supseteq (0, +\infty)$
- c) Obor hodnot funkce na definičním oboru spadá do intervalu  $\langle 0;1 \rangle$
- d) Funkce je ve svém definičním oboru rostoucí a prostá
- e) Funkce dosahuje maximální hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu  $R^2$

Pro vývoj programu na výpočet zatížení sítě a úložiště jsou klíčové všechny uvedené podmínky. Pokud by křivka neprocházela bodem  $[0;0]$  hrozilo by při výpočtu nízkých hodnot kvality obrazu výrazné zkreslení výsledku výpočtu a bylo by nutné pro každý typ komprese navrhnout kompenzační algoritmus, který by ošetřil výsledek výpočtu. V tomto bodu selhává interpretace průběhu pomocí Gompertzovy funkce, která jinak velmi dobře popisuje aproximované hodnoty výpočtu.

Podmínku b) šířky definičního oboru splňují všechny funkce, definovaný obor hodnot pak v určitém rozsahu nespĺňuje logaritmická funkce, která vždy při určité hodnotě koeficientu  $a/b$  klesá pod hodnotu  $y=0$ , což není přípustné. S tímto průběhem funkce souvisí i poslední podmínka, která požaduje prostou a rostoucí funkci, což nespĺňují funkce logistická a logaritmická.

S ohledem na definované podmínky a výsledky regresní analýzy bude pro návrh kalkulátoru využita modifikovaná lineární lomená funkce, která splňuje všechny podmínky optimálního průběhu funkce i když hodnota Pearsonova korelačního koeficientu dosahuje maxima pouze

u jednoho typu komprese v jediném prostředí. Analýzou výsledků aproximace křivek vyplývá, že rozdíly mezi výsledky korelačního koeficientu jsou pro návrh výpočtu zanedbatelné, resp. mohou mít vliv na chybu výpočtu v podobné míře, jako je vlastní chyba měření. Výraznější vliv mají reziduální hodnoty z aproximace křivek způsobené rozptylem naměřených hodnot, tedy především rozdíly mezi jednotlivými typy kamer a způsobem implementace jednotlivých kodeků. Rozptyl výsledků měření a z něj plynoucí reziduální hodnoty jsou však přirozeným aspektem aproximace hodnot do křivky, nelze se jim vyhnout a v konečném důsledku vytvářejí průběh křivky, který zahrnuje všechny typy testovaných kamer, je tedy nejbližší reálnému výsledku bez ohledu na použitý typ kamery.

Tab. 19: Získané hodnoty koeficientů  $a/b$  pro vyjádření lineární lomené funkce

		komprese	a	b
interiér	den	H.264	116,239	978,875
		H.264+	90,988	237,651
		H.265	97,243	140,267
		H.265+	97,629	58,505
	noc	H.264	108,392	783,427
		H.264+	85,240	175,23
		H.265	97,333	312,12
		H.265+	98,845	156,603
exteriér	den	H.264	102,128	1325,8
		H.264+	85,809	225,193
		H.265	97,697	200,304
		H.265+	98,520	69,981
	noc	H.264	101,939	1183,3
		H.264+	82,009	305,085
		H.265	93,942	215,52
		H.265+	99,241	141,158

## 5 HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Aproximací získaných hodnot do křivky lineární lomené funkce s hodnotami koeficientů  $a$ ,  $b$  získáme průběhy jednotlivých kompresních algoritmů v daném prostředí. Z vytvořených grafů tak lze jednoduše vyčíst, jak je kompresní algoritmus v daném prostředí efektivní, resp. jaké subjektivní kvality obrazu vyjádřené pomocí škály MOS ve vztahu k datovému toku poskytuje. Na následujících grafech je znázorněna referenční hodnota 70% MOS, která odpovídá střední hodnotě dobré kvality obrazu, jak jej definuje ITU-T P.802.2.

Uváděné grafy jsou výstupem stanovené metodiky, prováděných praktických zkoušek a definované křivky k vyjádření výsledků. Jedná se o jeden z výstupů diplomové práce.

### 5.1 Vliv zvolené komprese dle prostředí

První skupina grafů č. 45-48 vyjadřuje efektivitu jednotlivých typů komprese v daných prostředích. Každý graf reprezentuje jedno z prostředí (vnitřní/venkovní, den/noc) a křivka zobrazuje průběh jednotlivých kompresních algoritmů. Pomocí těchto grafů lze stanovit tyto závěry:

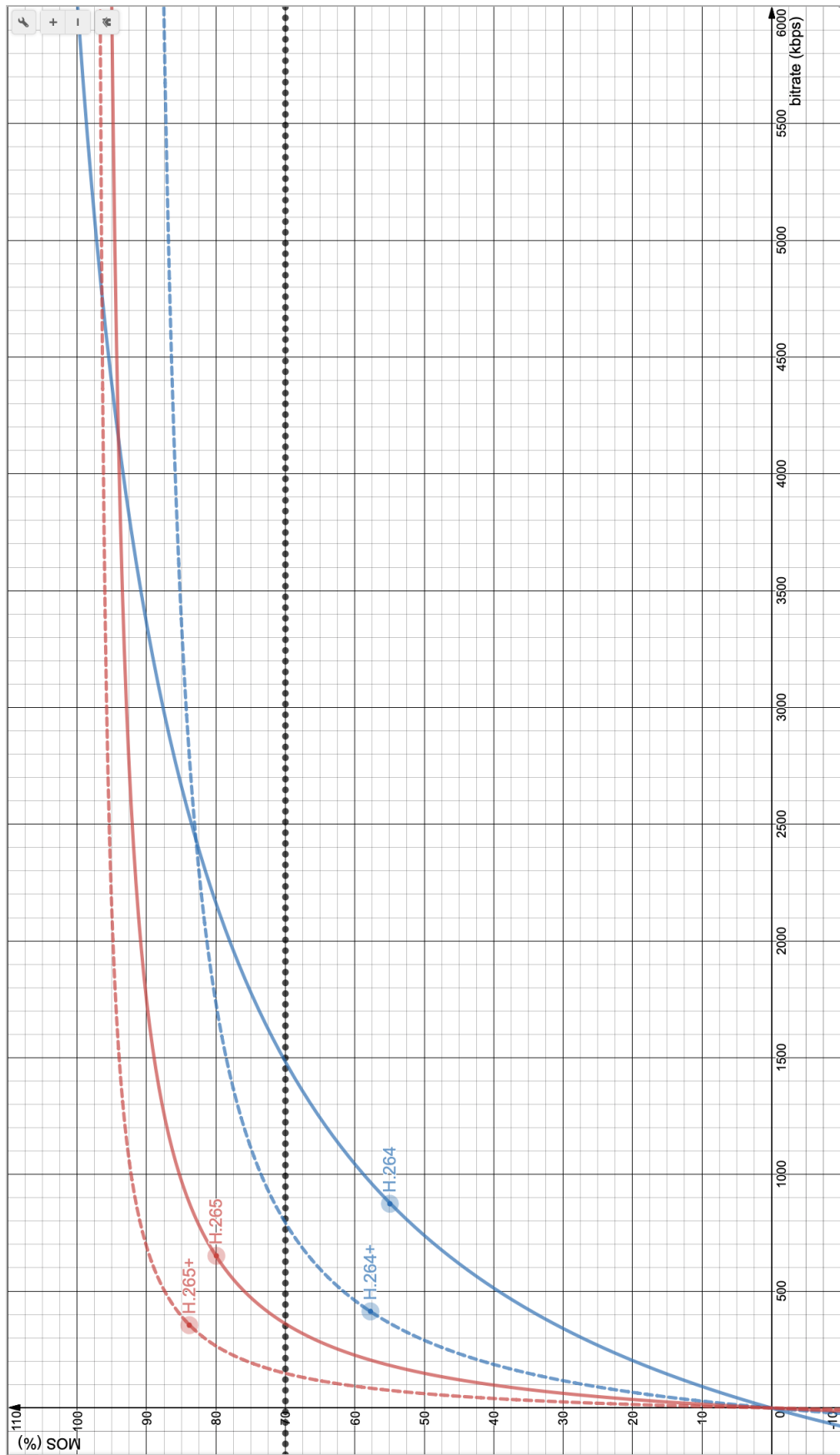
- Ve vnitřním denním prostředí dosahují jednotlivé komprese referenční hodnoty 70 MOS při 1.482 kbps (H.264), 793 kbps (H.264+), 360 kbps (H.265) a 148 kbps (H.265+). Komprese H.264+ je 2x úspornější než H.264, H.265+ pak přibližně 2x úspornější než H.265, ale až 10x úspornější než H.264.
- Ve vnitřním nočním prostředí dosahují jednotlivé komprese referenční hodnoty 70 MOS při 1.428 kbps (H.264), 805 kbps (H.264+), 799 kbps (H.265) a 380 kbps (H.265+). Komprese H.264+ je i v noci 2x úspornější než H.264, H.265+ pak přibližně 2x úspornější než H.265, ale snižuje se rozdíl mezi H.264 a H.265, kdy H.265 podává podobné výsledky jako H.264+ a H.265+ je pouze 2x úspornější než H.264+, resp. 4x úspornější než H.264.
- Ve venkovním denním prostředí dosahují jednotlivé komprese referenční hodnoty 70 MOS při 2.889 kbps (H.264), 997 kbps (H.264+), 506 kbps (H.265) a 172 kbps (H.265+). Komprese H.264+ je ve venkovním prostředí až 3x úspornější než H.264, H.265+ pak přibližně 3x úspornější než H.265, ukazuje se zde síla kodeku H.265, kdy rozdíl mezi H.264/H.265, stejně jako H.264+/H.265+ činí 6 násobek, datový tok u H.265+ je pak proti H.264 až 17x nižší.

- Ve venkovním nočním prostředí dosahují jednotlivé komprese referenční hodnoty 70 MOS při 2.593 kbps (H.264), 1.778 kbps (H.264+), 630 kbps (H.265) a 338 kbps (H.265+). Rozdíl mezi H.264 a H.264+ je tedy pouze přibližně 40%, mezi H.265 a H.265+ 50% a rozdíl H.264 proti H.265+ je přibližně 8x nižší datový tok.

## 5.2 Dopad prostředí na efektivitu komprese

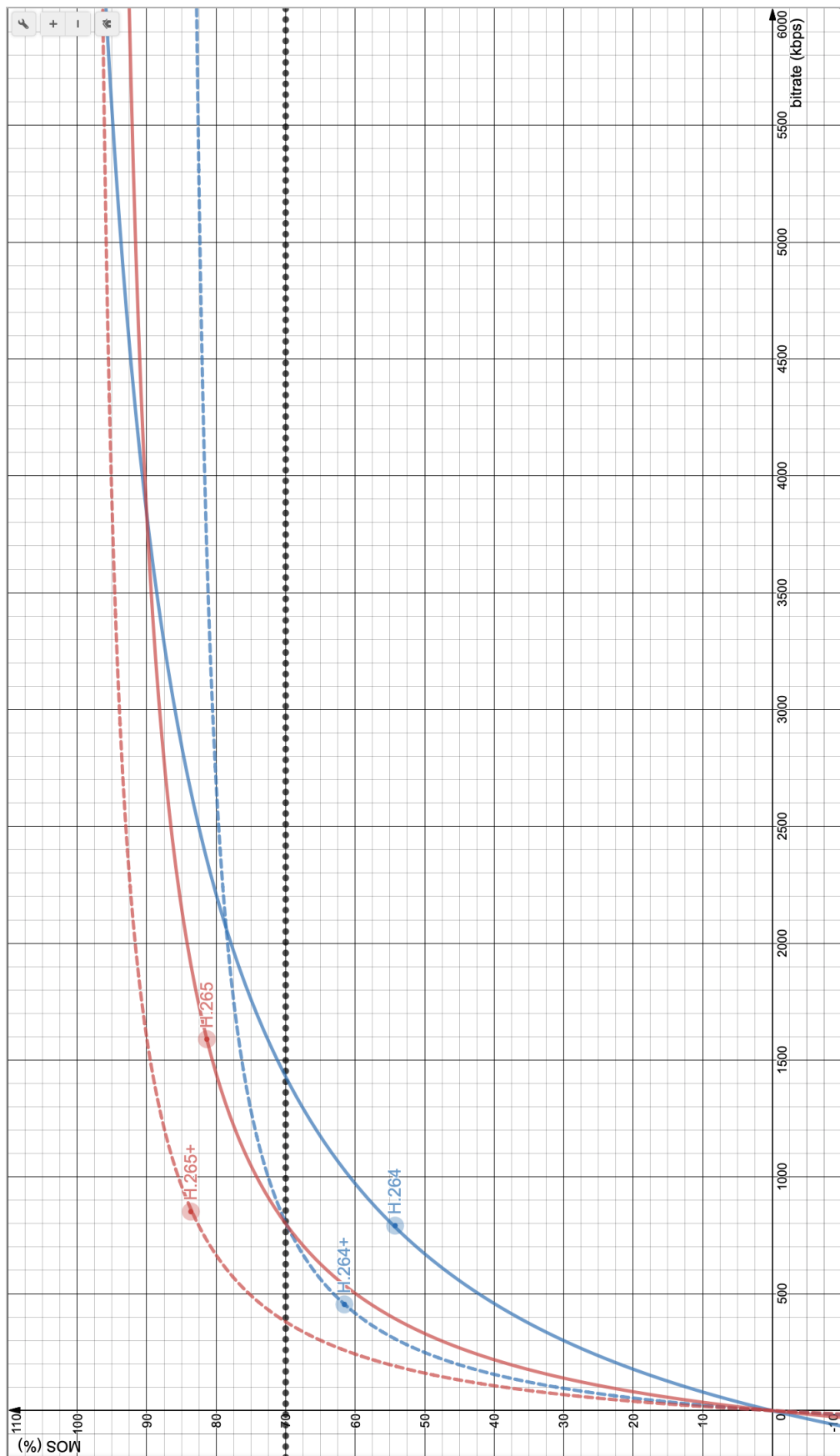
Vizualizace průběhů křivek všech prostředí vždy u konkrétní komprese lze popsat efektivitu komprese v jednotlivých prostředích. Z grafů č. 49-52 lze odvodit následující závěry:

- Komprese H.264 se chová téměř shodně v denním i nočním interiéru. Hodnoty 70 MOS dosahuje tento kompresní algoritmus při datovém toku 1.481 kbps (den) a 1.428 kbps (noc). Tento výsledek je užitečný při návrhu záznamového zařízení kamerového systému, kdy kamery umístěné v statickém prostředí interiéru budou generovat shodný datový tok, bez ohledu na denní dobu. Ve venkovním prostředí se algoritmus H.264 chová také velmi předvídatelně, hodnoty 70 MOS dosahuje H.264 ve dne při datovém toku 2.889 kbps a v noční scéně při datovém toku 2.593 kbps.
- Při použití Smart komprese H.264+ se ve vnitřním prostředí efektivní datový tok snižuje, ale opět je v denním i nočním režimu téměř stejný – konkrétně 792 kbps ve dne a 805 kbps v noci. Ve venkovním prostředí se výsledky v denním a nočním režimu liší, ve dne generuje komprese H.264+ při 70 MOS datový tok 997 kbps, ale v noční scéně již pro stejnou úroveň kvality potřebuje datový tok 1.778 kbps.
- Výsledky kompresního algoritmu H.265 v jednotlivých prostředích jsou velmi nečekané. Komprese H.265 dosahuje kvality 70 MOS v interiéru v denním režimu při datovém toku 360 kbps. Interiér v noci při shodné kvalitě vyžaduje datový tok 799 kbps, ale co je jistě zajímavé, jsou výsledky ve venkovním prostředí, kdy komprese H.265 vyžaduje ve dne pro dosažení kvality 70 MOS datový tok 506 kbps a v noci pak 630 kbps, což znamená, že je komprese úspornější ve venkovním prostředí, než v nočním interiéru.
- Podobnou anomálii lze pozorovat i u komprese H.265+, kde hodnoty 70 MOS lze dosáhnout v interiéru ve dne při dosažení datového toku 148 kbps, v noci pak při 380 kbps. Ve venkovním prostředí se hodnoty zásadně neliší od vnitřního prostředí, kdy ve dne dosahuje hodnoty 70 MOS při datovém toku 172 kbps a v noci při 338 kbps.



Graf 45: Průběhy kompresí ve vnitřním prostředí - den

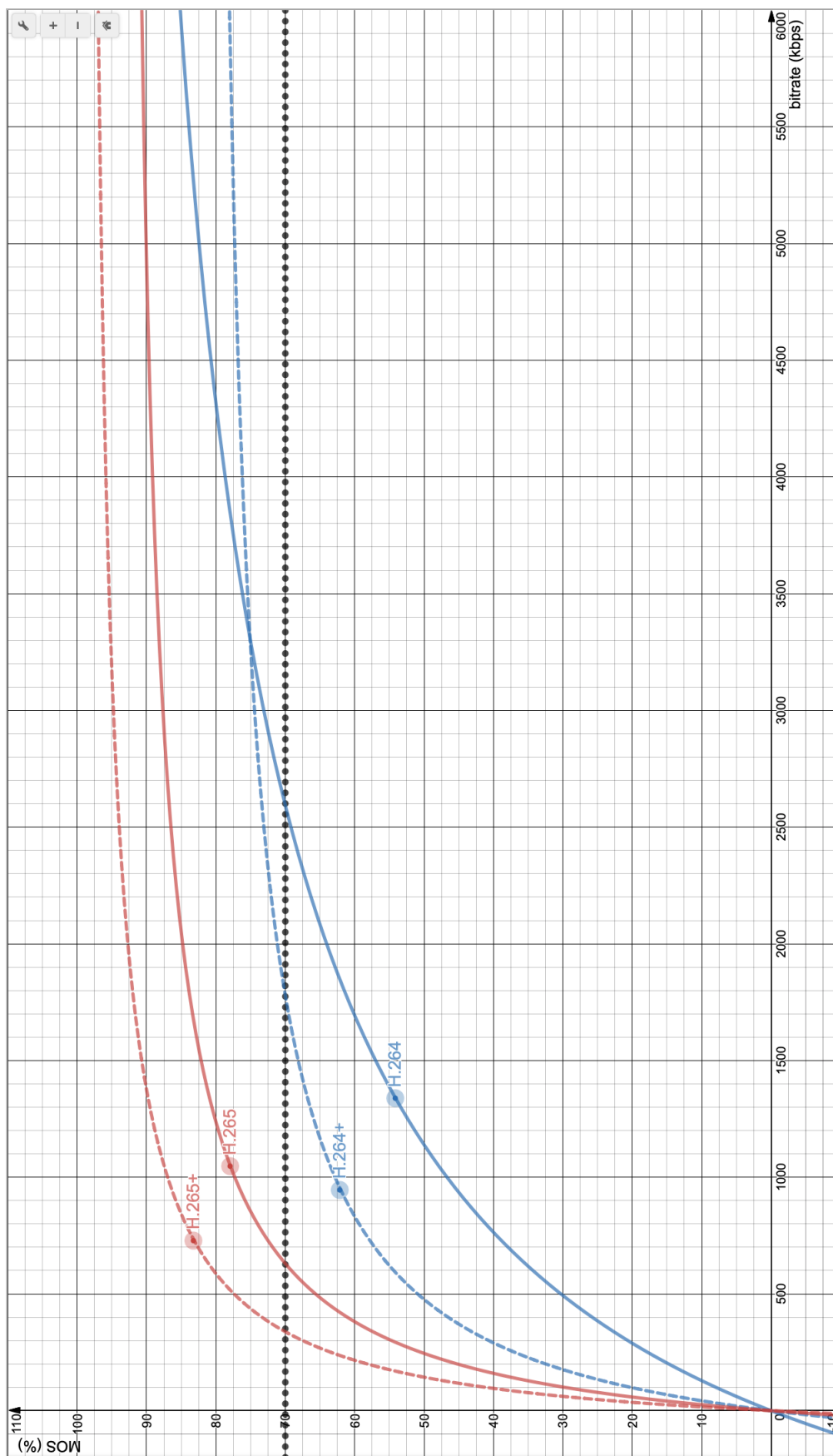




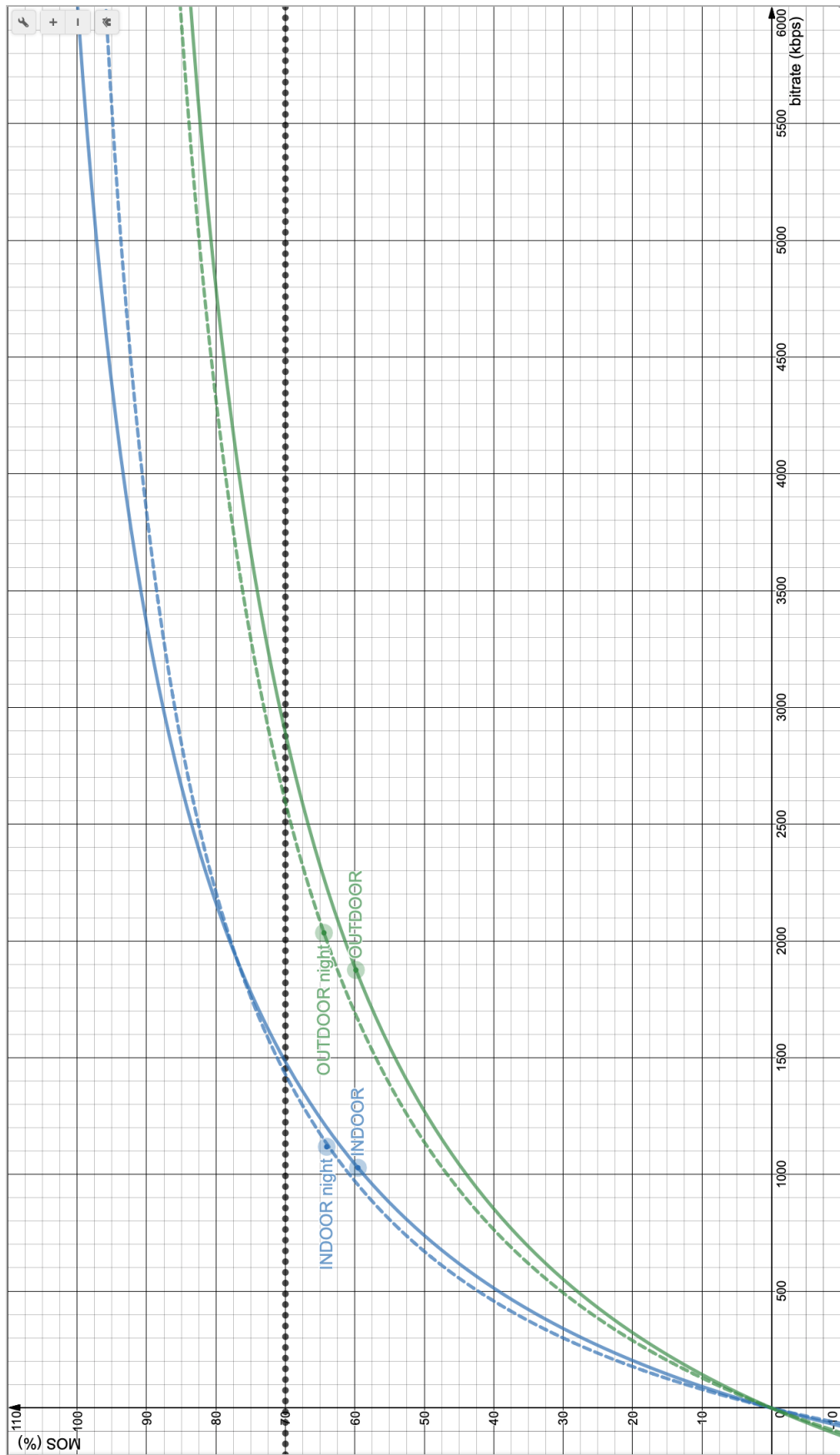
Graf 46: Průběhy kompresí ve vnitřním prostředí - noc



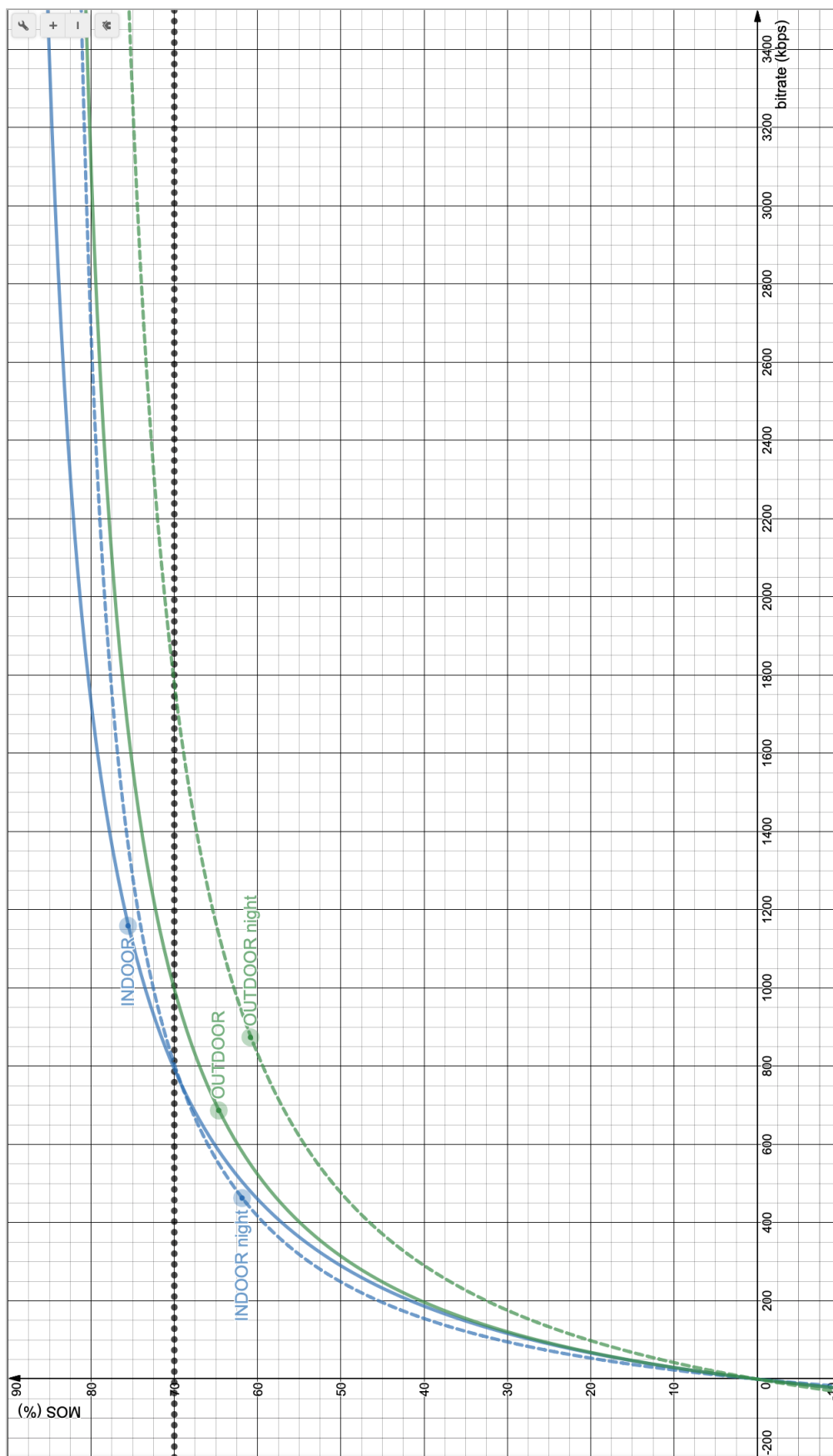
Graf 47: Průběhy kompresí ve venkovním prostředí - den



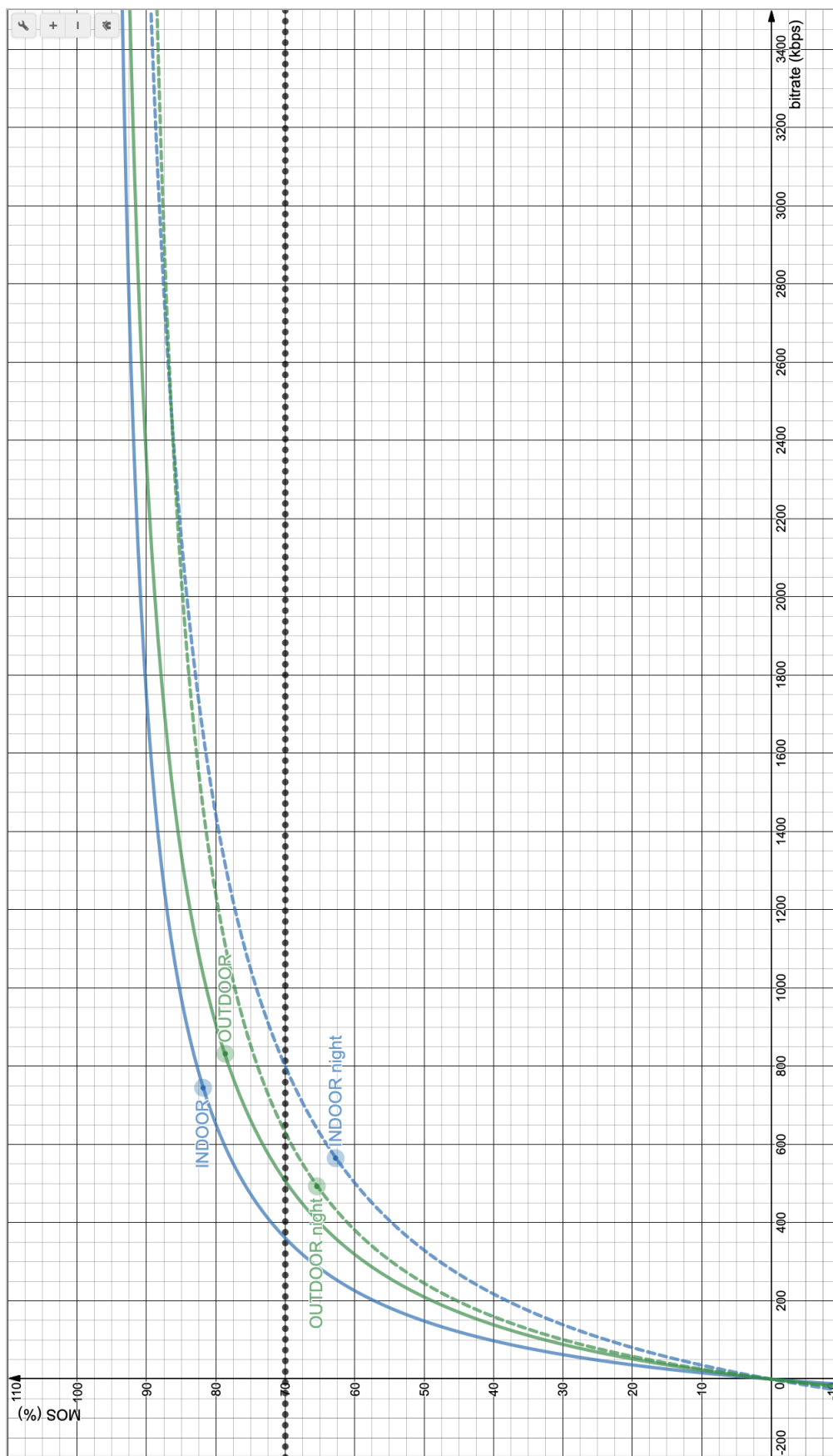
Graf 48: Průběhy kompresí ve venkovním prostředí - noc



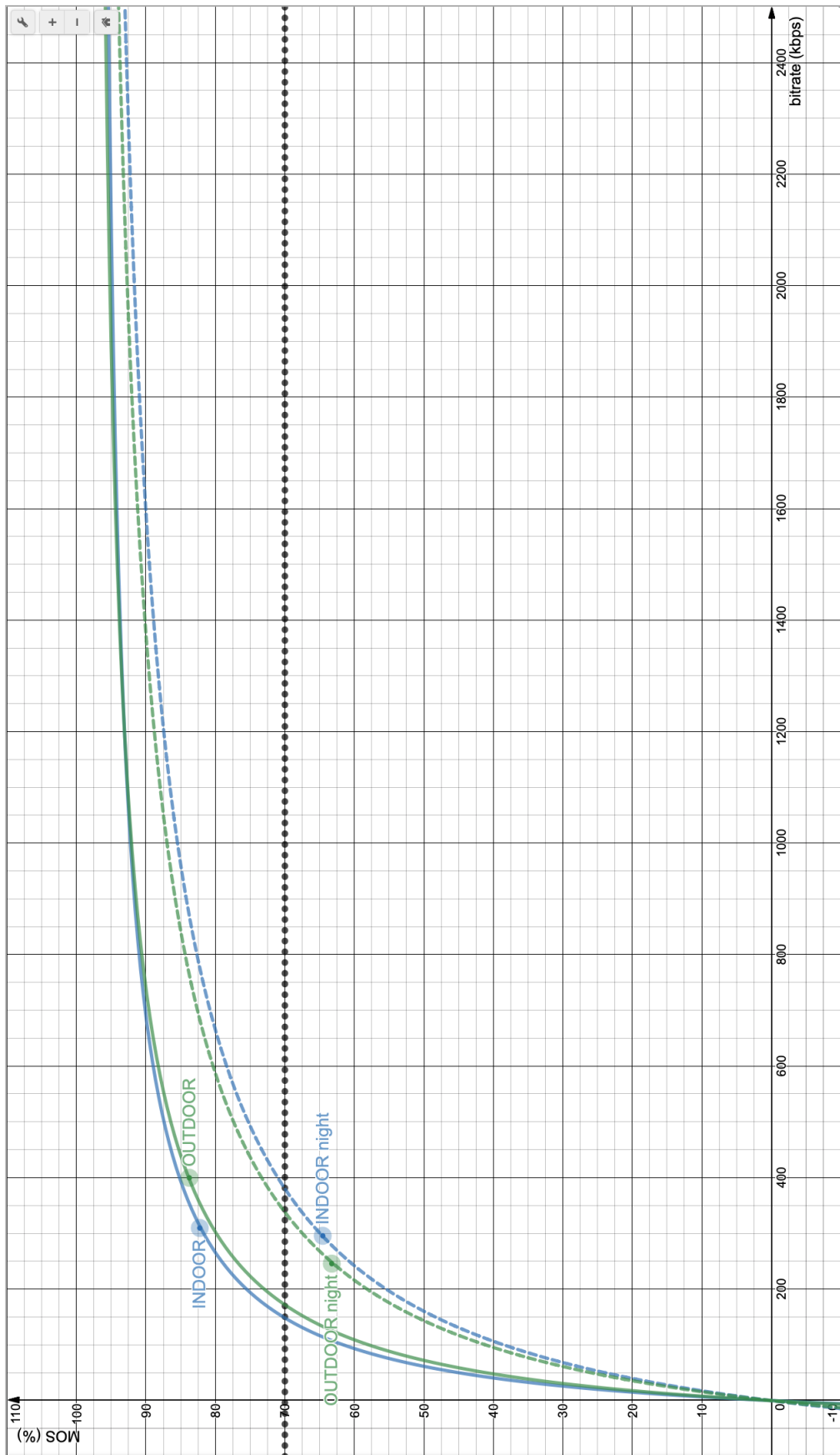
Graf 49: Průběhy komprese H.264 v jednotlivých prostředích



Graf 50: Průběhy komprese H.264+ v jednotlivých prostředích



Graf 51: Průběhy komprese H.265 v jednotlivých prostředích



Graf 52: Průběhy komprese H.265+ v jednotlivých prostředích

## 6 VÝVOJ PROGRAMU

Získání dat z měření kvality různých kompresních algoritmů a jejich aproximace do matematického vyjádření umožní vytvoření kalkulátoru datového toku s vyjádřením závislosti na požadované kvalitě generovaného obrazu.

### 6.1.1 Inverzní funkce

Pro účely kalkulátoru je nutné definovat inverzní funkce pro výpočet průměrného datového toku na základě požadované hodnoty kvality MOS. Vzhledem k výběru modifikované lineární lomené funkce je výpočet inverzní funkce algoritmu velmi jednoduchý.

$$MOS = \frac{a \cdot bitrate}{b + bitrate} \quad (6)$$

$$bitrate = \frac{b \cdot MOS}{MOS - a} \quad (7)$$

*Pozn.: Význam koeficientů  $a/b$  a průběh funkce v závislosti na hodnotě datového toku ( $bitrate$ ) je popsán v článku 4.1.4 na str. 114.*

### 6.1.2 Vliv pohybu na průměrný datový tok

Jednotlivé vzorky datových toků byly pořízeny v prostředích s množstvím pohybu, který odpovídá přibližně 10% změny plochy záběru kamery. Při testech v interiéru procházel figurant po dobu 20 sekund v záběru a následně kamera snímala 60 sekund statický obraz. Při testech v exteriéru byl volen záběr tak, aby byly v záběru pohybující se osoby a vozidla. Současně zahrnují vzorky exteriéru pohyb větví stromů. Odhadovaný poměr pohybu je přibližně 10% z celkové plochy záběru.



Pro simulování horní hranice množství pohybu v záběru byl využit exteriérový denní záběr v okamžiku hustého sněžení, které ovlivňovalo 100% plochy obrazu. Chaotický pohyb vloček neobsahuje opakovatelné vzorce pohybu, které by umožňovali jednotlivým typům komprese využít inteligentních funkcí pro snížení efektivního datového toku. Podmínky pro dosažení maximálního podílu pohybu v obraze byly ideální. Venkovní teplota v době snímání vzorků byla nad bodem mrazu, sníh tál a nevytvářel jednodlitou bílou plochu, kterou by mohly pokročilé kompresní algoritmy využít pro efektivní snížení datového toku. Náročné prostředí s hustým sněžením prověřilo také výkon mikroprocesorů kamer, kapacitu interní paměti a schopnost kodeků vypořádat se s takto nepříznivým zdrojem obrazových dat.

Při využití kompresního algoritmu H.264/AVC se s obtížnými podmínkami nejlépe vyrovnala kamera značky BOSCH, která byla schopna generovat obraz s vysokou kvalitou odpovídající MOS 80% při datovém toku 0.5~1Mbps. Kamera AXIS byla vyhodnocena programem Video Quality Monitor díky silnému efektu funkce WDR nižší než by odpovídala skutečnosti. Většina kamer měla při nastavení pokročilých algoritmů potíže komprimovat obraz kamery rychlostí zajišťující plynulý pohyb a snímková rychlost klesala až k hodnotám jednotek snímků/vteřinu. Problém se týkal prakticky všech výrobců a spíše než na vadu ukazuje na omezený výkon použitých mikroprocesorů.



Obr. 55: Scéna při testech se 100% zastoupením pohybu



Obr. 56: Detail snímání scény při testu 100% pohybu

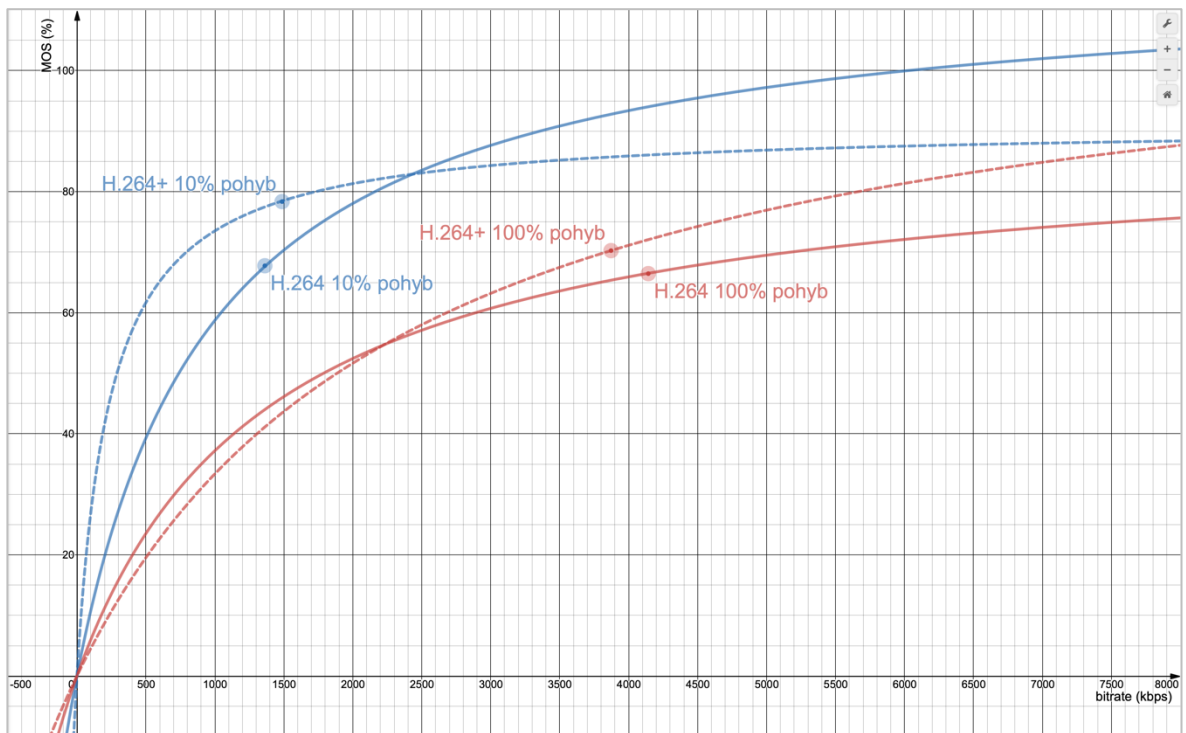
Pro posouzení vlivu pohybu na výsledný datový tok byly porovnány křivky funkcí získaných regresní analýzou dat denního interiéru s 10% objemem pohybu a exteriéru se 100% objemem pohybu s následujícími výsledky navýšení datového toku:

Tab. 20: Vliv pohybu na datový tok v jednotlivých prostředích

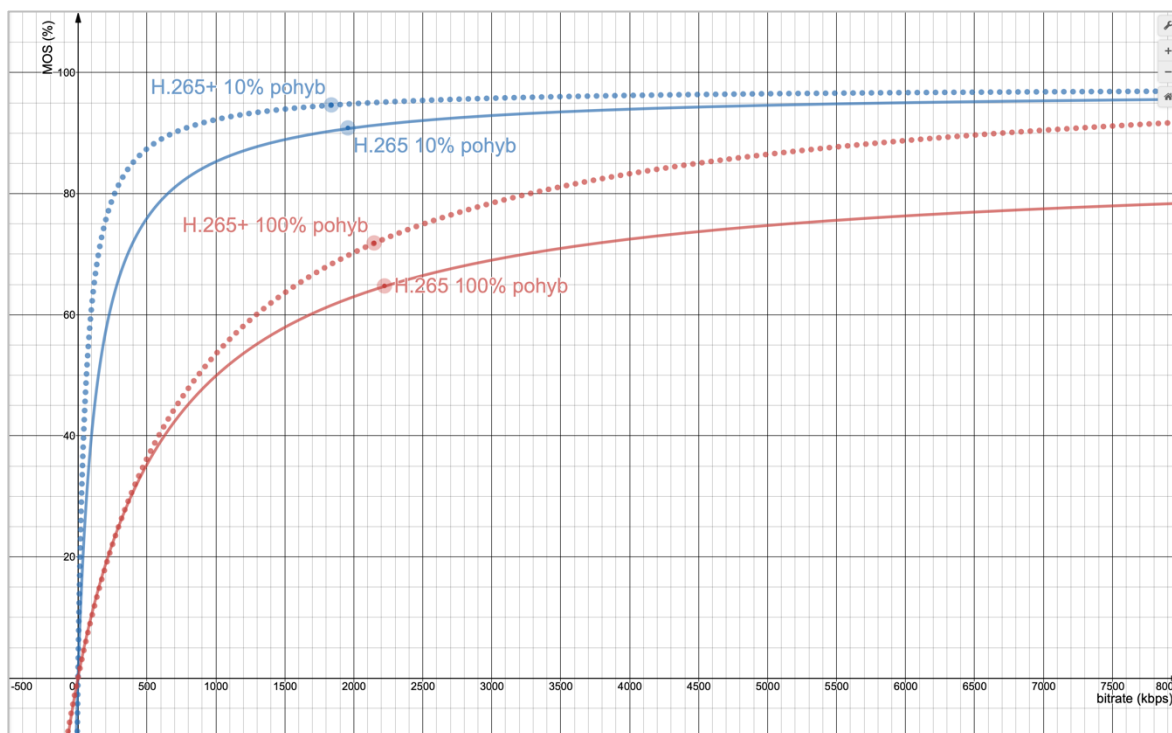
Kompresní algoritmus	10% pohybu	100% pohybu
H.264	100% dat. toku	280% dat. toku
H.264+	100% dat. toku	590% dat. toku
H.265	100% dat. toku	880% dat. toku
H.265+	100% dat. toku	1370% dat. toku

Uvedené hodnoty budou využity při konstrukci kalkulátoru datového toku.

Hypotéza o společných principech kódování pokročilých kompresních algoritmů H.264+ a běžných H.264/AVC se potvrzuje srovnáním výsledků získaných průběhů funkcí při 100% pohybu, kdy se obě křivky, jak pro algoritmus H.264/AVC, tak pro H.264+ téměř shodují. Tato shoda potvrzuje domněnku o schopnosti pokročilých algoritmů snížit datový tok pouze v případě nižšího zastoupení pohybu v obraze. Podobného výsledku bylo dosaženo při srovnání výsledků průběhů křivek pro kompresní algoritmy H.265/HEVC a H.265+, které vychází přibližně s 10% diferencí ve prospěch algoritmu H.265+.



Graf 53: Průběhy kompresí H.264/H.264+ při 10% a 100% pohybu



Graf 54: Průběhy kompresí H.265/H.265+ při 10% a 100% pohybu

## 6.2 Návrh kalkulátoru

Hlavní funkcí kalkulátoru je výpočet datového toku a z něj následně odvozená požadovaná kapacita pevných disků. Pro uživatele musí být kalkulátor snadno ovladatelný, rozhraní programu musí respektovat zvyklosti běžného uživatele. Pro běh programu bylo zvoleno okno prohlížeče z důvodu přenositelnosti mezi platformami a absence nutnosti instalace frameworku (prostředí k běhu). Kombinace HTML<sup>92</sup>, CSS<sup>93</sup> a JavaScriptu<sup>94</sup> umožní vytvořit nástroj nevyžadující běh skrz hypertextový preprocesor (PHP<sup>95</sup> nebo ASP<sup>96</sup>) schopný běhu z načtení prostého HTML zdrojového textu. Pro vybrané funkce, jako je vyčítání hodnot vstupních polí bylo nutné použít volně dostupnou JavaScriptovou knihovnu – aplikační www framework jQuery ve verzi 3.3.1.

<sup>92</sup> Hypertext Markup Language – jazyk pro vytváření a definování vazeb mezi webovými stránkami

<sup>93</sup> Cascading Style Sheets – tzv. kaskádové styly popisují vzhled webové stránky a rozložení prvků

<sup>94</sup> Objektově orientovaný programovací jazyk nezávislý na platformě

<sup>95</sup> Hypertext Preprocessor – volně šiřitelný (GNU) skriptovací jazyk se serverovým zpracováním

<sup>96</sup> Active Server Pages – skriptovací jazyk se serverovým zpracováním od společnosti Microsoft

### 6.2.1 Požadavky na kalkulátor

Kalkulátor musí být schopen počítat požadavky na zatížení sítě a potřebný prostor pro data na pevném disku pro více skupin kamer. Je běžné že jsou v rámci jediného kamerového systému použity kamery s odlišnými parametry a ty jsou provozovány v různém prostředí, nelze tak zobecnit výpočet na jediný typ kamery či její vlastnosti. Kalkulátor tak bude umožňovat vytváření skupin kamer, kde kromě počtu kamer bude možné volit rozlišení kamery, volbu prostředí (vnitřní/venkovní) a zda kamera bude používána i v prostředí s nízkou hladinou osvětlení. Pro výpočet datového toku bude klíčovou volbou typ komprese (H.264/H.265), použití tzv. Smart kodeku (H.264+ či H.265+) a pro maximální přesnost výpočtu i očekávaná kvalita obrazu ve škále MOS a odhadovaný podíl pohybu v záběru kamery.

Jako výchozí nastavení pro kameru bude použito rozlišení 1080p (dle SMTPE 274M-2008<sup>97</sup>), vnitřní kamera používaná v prostředí s běžnou hladinou osvětlení, kamera bude provádět kompresi obrazu do formátu H.264 bez použití pokročilého Smart kodeku. Očekávaná kvalita obrazu bude referenčních 70% MOS, tedy kvalita odpovídající subjektivnímu hodnocení „dobrá kvalita“, resp. 4 z 5 na škále špatná – nízká – akceptovatelná – dobrá - vynikající. Předdefinovaný podíl pohybu v záběru kamery bude 15%. Samozřejmě bude možné hodnotu každého kritéria pro danou skupinu kamer změnit.

Vypočtené hodnoty pro jednotlivé skupiny kamer budou následně sumarizovány v hodnotě udávající zatížení počítačové sítě a výpočet kapacity pevných disků pro uložení dat o zadaném počtu dnů s ohledem na volbu permanentního záznamu či záznamu s detekcí pohybu.

### 6.2.2 Grafický návrh

Návrh byl vytvořen programem Affinity Designer v1.6.7 již s vědomím podoby prvků HTML definovaných v CSS3. Ovládání jednotlivých prvků bude přizpůsobeno používání na počítači i tabletu, z tohoto důvodu jsou použita textová okna i grafické slidery. První oddíl programu obsahuje výpočtová pole kapacity HDD a zatížení počítačové sítě, druhá část programu slouží k zadávání parametrů jednotlivých skupin kamer. Skupiny bude možné přidávat a odebírat, každou skupinu bude možné dočasně z výpočtu vyřadit. Pro jednoduchost ovládání obsahuje kalkulátor pouze nejpodstatnější údaje.

---

<sup>97</sup> Standard pro Full HD video definovaný organizací Society of Motion Picture and Television Engineers

**BIT-CAP** BITRATE AND HDD CAPACITY CALCULATOR FOR MODERN CCTV SYSTEMS INFORMATION ⓘ

**HARD DRIVES CAPACITY**  
TOTAL STORAGE: **1,17 TB**

**NETWORK USAGE**  
STANDARD LOAD: 40,47 Mbps  
PEAK LOAD: 61 Mbps  
SERVER INTERFACE: 1 Gbps

**QUANTITY / NAME RESOLUTION**    **ENVIRONMENT LIGHT CONDITIONS**    **COMPRESSION SMART CODEC**    **PICTURE QUALITY RATE OF THE MOVEMENT**    **PARTIAL RESULTS**

Quantity / Name	Resolution	Environment	Light Conditions	Compression	Picture Quality	Standard Bitrate	Peak Bitrate	Capacity / Day
5 pcs CHODBY	720p, 1080p, 4K	INDOOR / OUTDOOR	STANDARD / LOW LIGHT	H.264 / H.265, STANDARD / SMART+	60% / 40% MOS	2,08 Mbps	936 Mbps	21,9 GB
10 pcs PERIMETR	720p, 1080p, 4K	INDOOR / OUTDOOR	STANDARD / LOW LIGHT	H.264 / H.265, STANDARD / SMART+	60% / 40% MOS	2,08 Mbps	936 Mbps	21,9 GB
5 pcs SKLAD	720p, 1080p, 4K	INDOOR / OUTDOOR	STANDARD / LOW LIGHT	H.264 / H.265, STANDARD / SMART+	60% / 40% MOS	2,08 Mbps	936 Mbps	21,9 GB
2 pcs VJEZD	720p, 1080p, 4K	INDOOR / OUTDOOR	STANDARD / LOW LIGHT	H.264 / H.265, STANDARD / SMART+	60% / 40% MOS	2,08 Mbps	936 Mbps	21,9 GB

2019 © TOMAS BATA UNIVERSITY, FACULTY OF APPLIED INFORMATICS  
CALCULATOR MADE AS PART OF THE DIPLOMA THESIS

Obr. 57: Grafický návrh programu

### 6.2.3 Simulátor programu

Před vlastní realizací programu byl realizován jednoduchý testovací program v tabulkovém kalkulátoru Excel, který neměl schopnosti finálního programu, ovládání nebylo uživatelsky přívětivé, ale bylo s jeho pomocí možné ověřit správnost výpočtu a posloupnost kroků při realizaci kalkulátoru. Simulátor již využíval metody výpočtu dle interpretace modifikované lineární lomené funkce v podobě získaných koeficientů  $a/b$  a prováděl celou sérii výpočtů, zatím však pouze pro jedinou skupinu kamer.

V rámci konstrukce simulátoru byl identifikován nedostatek využití lineární lomené funkce pro výpočet, některé kombinace komprese a prostředí kamery dosahují požadované hladiny kvality při tak vysoké hodnotě teoretického datového toku, že bylo nutné algoritmus výpočtu modifikovat a pro jednotlivé kombinace prostředí a komprese definovat maximální hodnotu kvality zadatelné v kalkulátoru.



PERMANENT (A=0) MOTION (A=1)	A= 1	<b>HARD DRIVES CAPACITY</b>				<b>NETWORK</b>				STANDARD LOAD	X=	28,34	Mbps
DAYS OF RECORDING	B= 10	TOTAL STORAGE				USAGE				PEAK LOAD	Y=	62,44	Mbps
KONTROLA ROZSAHU: 8 1"-1000		W= 1,93 TB								SERVER INTERFACE	Z=	1	Gbps
QUANTITY (PCS)	C= 32	INDOOR (E=0)	E= 1	H.264 (G=0)	G= 1	PICTURE	I= 80	% MOS	STANDARD BITRATE	T=	28,34	Mbps	
RESOLUTION	c 1"-1000	OUTDOOR (E=1)		H.265 (G=1)		QUALITY	1"-99% MOS		PEAK BITRATE	U=	62,44	Mbps	
720p (D=0,55)									CAPACITY/DAY	V=	406,78	GB	
1080p (D=1)	D= 3,00	STANDARD (F=0)	F= 0	STANDARD (H=0)	H= 1	RATE OF	J= 30	%					
4K (D=3)		LOW LIGHT (F=1)		SMART+ (H=1)		MOVEMENT	10"-95% pohybu						

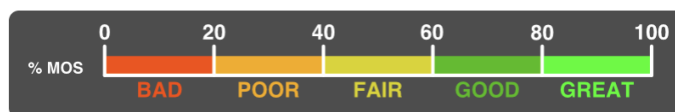
  

E	F	G	H	BIN	DEC	K	L	M	N	CONV-BIN	KOTROLA T/U
0	0	0	0	0000	0	116,2390	OK	978,8750	88,7631	1385,9500	1011
0	0	0	1	0001	1	90,9880	OK	237,6510	114,1920	2421,0100	T
0	0	1	0	0010	2	97,2433	OK	140,2670	85,3656	710,9200	U
0	0	1	1	0011	3	97,6299	OK	58,5057	102,2340	910,0330	11
0	1	0	0	0100	4	108,3920	OK	783,4270	88,7631	1385,9500	MAX-T/U
0	1	0	1	0101	5	85,2405	OK	175,2300	114,1920	2421,0100	K
0	1	1	0	0110	6	97,3330	OK	312,1200	85,3656	710,9200	98,5209
0	1	1	1	0111	7	98,8459	OK	156,6030	102,2340	910,0330	T-korekce
1	0	0	0	1000	8	102,1280	OK	1325,8000	88,7631	1385,9500	U-korekce
1	0	0	1	1001	9	85,8097	OK	225,1930	114,1920	2421,0100	L
1	0	1	0	1010	10	97,6971	OK	200,3040	85,3656	710,9200	69,9815
1	0	1	1	1011	11	98,5209	OK	69,9815	102,2340	910,0330	M
1	1	0	0	1100	12	101,9390	OK	1183,3000	88,7631	1385,9500	102,234
1	1	0	1	1101	13	82,0095	OK	305,0850	114,1920	2421,0100	N
1	1	1	0	1110	14	93,9425	OK	215,5200	85,3656	710,9200	910,033
1	1	1	1	1111	15	99,2414	OK	141,1580	102,2340	910,0330	

Obr. 58: Simulátor programu v prostředí MS Excel

### 6.2.4 Finální podoba programu

Program samotný obsahuje 796 řádků zdrojového kódu z čehož je vlastní výpočtová část přibližně 25% kódu, zbytek je definice ovládacích prvků a jejich řízení. Dalších 599 řádků obsahuje deklarace kaskádových stylů v samostatném CSS souboru. Pro běh programu je nutné ve složce s programem umístit také knihovnu jQuery.js a tři PNG obrázky s ikonou pevného disku, ikony síť a interpretace MOS škály.



Obr. 59: Interpretace MOS škály v programu

Program samotný se po vizuální stránce odchyluje od grafického návrhu pouze minimálně, s výjimkou ikon a interpretace MOS škály jsou všechny prvky tvořeny pomocí CSS definic, případně s využitím grafického ztvárnění modifikací parametrů pro Webkit vykreslovací jádro prohlížeče. Podoba programu je optimalizována pro desktopové použití, program není responzivní a není tak vhodný pro použití na mobilních telefonech.

Obr. 60: Výsledná podoba programu v prostředí prohlížeče

### 6.2.5 Ověření zdrojového kódu pomocí validátoru W3C

Kompatibilita s webovými standardy byla ověřena po naprogramování pomocí validátoru konsorcia W3C<sup>98</sup> na adrese <https://validator.w3.org>.

Obr. 61: Ověření validity programu pomocí W3C validátoru

<sup>98</sup> World Wide Web Consortium - mezinárodní organizace vyvíjející otevřené webové standardy



## ZÁVĚR

Diplomová práce potvrdila zásadní a pozitivní přínos kompresního algoritmu H.265/MPEG-H HEVC proti dnes nejpoužívanějšímu H.264/MPEG-4 Part 10 AVC ve všech běžných prostředích. Pokud při praktické aplikaci nenaráží použití kodeku H.265 na technické či výkonostní limity, lze jej pouze doporučit. Přínos proprietárních kodeků H.264+ a H.265+ z pohledu snížení nároků na datový tok a kapacitu úložiště byl také potvrzen, však vzhledem k hlavní metodě vedoucí k zásadnímu snížení datového toku, tedy dynamickému řízení GOP skupin, je spolehlivější využívat základní formy kodeků.

Hodnoty získané prováděním praktických experimentů a matematický popis průběhu křivek jednotlivých kompresí posloužil k vytvoření programu – interaktivního kalkulátoru, který vypočítá na základě zadaných vlastností prostředí, počtu kamer, očekávaného rozlišení kamer a kvality vyjádřené dle metodiky ITU-T P.802.2, hodnoty odpovídajícího datového toku, rychlost síťového rozhraní teoretického serveru a požadovanou kapacitu pevných disků pro záznam požadované délky záznamu.

Program je díky běhu v prostředí HTML prohlížeče nezávislý na operačním systému a může být provozován také jako běžná webová stránka. Může se tak stát užitečnou pomůckou pro návrh kamerového systému pro širokou odbornou veřejnost.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] PANASONIC EUROPE. In: *Super VHS time-lapse recorder AG-6740* [online]. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <ftp://ftp.panasonic.com/pub/panasonic/cctv/SpecSheets/AG-6740.pdf>
- [2] Dallmeier electronic GmbH & Co.KG. *Dallmeier Middle East* [online]. [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <https://www.dallmeier.com/en/company/dallmeier-international/dallmeier-middle-east.html>
- [3] DAMJANOVSKI, V. Dallmeier electronic GmbH & Co.KG. In: *Panomera - A new camera technology by Dallmeier* [online]. 22. 8. 2014 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: [https://www.dallmeier.com/fileadmin/user\\_upload/upload\\_dallmeier.com/PDFs/Downloads/PanomeraBuch/Panomera-Effect\\_Vlado-Damjanovski\\_EN.pdf](https://www.dallmeier.com/fileadmin/user_upload/upload_dallmeier.com/PDFs/Downloads/PanomeraBuch/Panomera-Effect_Vlado-Damjanovski_EN.pdf)
- [4] WILCOX, James R. *Videoconferencing: The Whole Picture*. 3. vydání. New York: Taylor & Francis, 2017. ISBN 1-57820-054-7.
- [5] SUDHAKARAN, S. Wolfcrow.com. *Understanding MPEG-2, MPEG-4, H.264, AVCHD and H.265* [online]. 2013 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <https://wolfcrow.com/understanding-mpeg-2-mpeg-4-h-264-avchd-and-h-265/>
- [6] ČSN EN IEC 62676-5 *Dohledové videosystémy pro použití v bezpečnostních aplikacích – Část 5: Specifikace dat a kvalita obrazu pro kamerová zařízení*, Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2019.
- [7] BURIÁNEK, I. J. Fakulta informačních technologií České vysoké učení technické v Praze. In: *Multimediální a grafické aplikace (BI-MGA), ZS 2010/11, Přednáška 4* [online]. 2010 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <https://edux.fit.cvut.cz/oppa/BI-MGA/prednasky/MGA2010-4.pdf>
- [8] SUDHAKARAN, S. Wolfcrow.com. *Chroma Subsampling Numbers Explained* [online]. 2013 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <https://wolfcrow.com/chroma-subsampling-numbers-explained/>

- 
- [9] SHAHID, M. *Methods for Objective and Subjective Video Quality Assessment and for Speech Enhancement*. Blekinge: Blekinge Institute of Technology, 2014. ISBN: 978-91-7295-294-2.
- [10] SHAH, Dr. Mrs. Shweta. *Evaluation of H.264 Suitability for DVB-H*. Surat, Gujarat, India: Sardar Vallabhbhai National Institute of Technology, 2011, s. 3.
- [11] LUKÁŠ Luděk a kol. *Bezpečnostní technologie, systémy a management II.* Zlín: VeRBuM, 2012. ISBN: 978-80-87500-19-4.
- [12] M.P. Sharabayko, O.G. Ponomarev and R.I. Chernyak, *Intra Compression Efficiency in VP9 and HEVC* [disertační práce]. Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2013, č. Applied Mathematical Sciences, Vol. 7, no. 137, s. 6803-3824.
- [13] AXIS COMMUNICATIONS AB. In: *Axis Zipstream technology* [online]. 2018 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: [https://www.axis.com/files/whitepaper/wp\\_zipstream\\_71496\\_en\\_1801\\_lo.pdf](https://www.axis.com/files/whitepaper/wp_zipstream_71496_en_1801_lo.pdf)
- [14] ACTIVE TOTAL SECURITY SYSTEMS. In: *SMART H.265+ – SMART CODEC, LOWER BIT RATE, LESS STORAGE* [online]. 19. 10. 2017 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <https://www.atss.in/smart-h-265-plus-dahua/>
- [15] Hikvision.com. In: *HIKVISION H.265+ Encoding Technology* [online]. 09. 12. 2016 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <https://www.hikvision.com/upload/20161209211521855.pdf>
- [16] ČSN EN 62676-2-1: *Dohledové videosystémy pro použití v bezpečnostních aplikacích - Část 2-1: Video přenosové protokoly - Obecné požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [17] ČSN EN 62676-1-2 *Dohledové videosystémy pro použití v bezpečnostních aplikacích - Část 1-2: Systémové požadavky - Výkonové požadavky na video přenos*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.

- 
- [18] Mathieu Carnec, Patrick Le Callet a Dominique Barba *Objective quality assessment of color images based on a generic perceptual reduced reference*. Nantes: École Polytechnique de l'Université de Nantes, 2008. doi:10.1016/j.image.2008.02.003.
- [19] Stefan Winkler, Ruth Campos *Video Quality Evaluation for Internet Streaming Applications*. Lausanne: Audiovisual Communications Laboratory and Signal Processing Laboratory Swiss Federal Institute of Technology, 2003.
- [20] ITU-T. *Mean opinion score interpretation and reporting (Recommendation ITU-T P.800.2)*. 2. Geneva: Telecommunication Standardization Sector of ITU, 2016.
- [21] Elecard.com. *About Elecard* [online]. 2019 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: [https://www.elecard.com/page/about\\_elecard](https://www.elecard.com/page/about_elecard)
- [22] Elecard.com. *StreamEye* [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <https://www.elecard.com/products/video-analysis/streameye>
- [23] Elecard.com. *Elecard EPSNR metric* [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <https://www.elecard.com/page/epsnr>
- [24] AccepTV. *Video Quality Monitor* [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: [http://www.acceptv.com/en/products\\_vqm.php](http://www.acceptv.com/en/products_vqm.php)
- [25] Ltd., Messe Frankfurt New Era Business Media. A&S International. *2018 Security 50 by Product Group* [online]. 2018 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: [https://www.asmag.com/rankings/security50\\_rankings\\_product.aspx](https://www.asmag.com/rankings/security50_rankings_product.aspx)
- [26] AXIS COMMUNICATIONS AB. In: *Lightfinder: Outstanding performance in difficult light conditions* [online]. 2018 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: [https://www.axis.com/files/whitepaper/wp\\_lightfinder\\_72718\\_en\\_1811\\_hi.pdf](https://www.axis.com/files/whitepaper/wp_lightfinder_72718_en_1811_hi.pdf)
- [27] AXIS COMMUNICATIONS AB. In: *Wide dynamic range - WDR solutions for forensic value* [online]. 2017 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: [https://www.axis.com/files/whitepaper/wp\\_wide\\_dynamic\\_range\\_70788\\_en\\_1809\\_hi.pdf](https://www.axis.com/files/whitepaper/wp_wide_dynamic_range_70788_en_1809_hi.pdf)

- 
- [28] Axis Communications AB. *AXIS Q1647 Network Camera* [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <https://www.axis.com/products/axis-q1647>
- [29] BOSCH SECURITY SYSTEMS. In: *NBE-6502-AL Bullet* [online]. 15. 03. 2018 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: [https://resource.boschsecurity.com/documents/DINION\\_IP\\_6000i\\_Data\\_sheet\\_enUS\\_33404347915.pdf](https://resource.boschsecurity.com/documents/DINION_IP_6000i_Data_sheet_enUS_33404347915.pdf)
- [30] DAHUA TECHNOLOGY Co. Ltd. *IPC-HDBW81230E-Z* [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <https://uk.dahuasecurity.com/in/products/productDetail/6391>
- [31] Hikvision Digital technology Co. Ltd. In: *DS-2CD5A85G0-IZ(H)S* [online]. 2017 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: [https://www.hikvision.com/uploadfile/image/11770\\_DatasheetofDS2CD5A85G0IZ\(H\)S.pdf](https://www.hikvision.com/uploadfile/image/11770_DatasheetofDS2CD5A85G0IZ(H)S.pdf)
- [32] PELCO by Schneider Electric. *Fixed IP Sarix Enhanced Cameras* [online]. [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://www.pelco.com/fixed-ip-sarix-enhanced-series>
- [33] Kathleen M. C. Tjørve, Even Tjørve. PLOS.org. *The use of Gompertz models in growth analyses, and new Gompertz-model approach: An addition to the ...* [online]. 2017 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0178691>
- [34] Wikipedia.org. *Logistic function* [online]. [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Logistic\\_function](https://en.wikipedia.org/wiki/Logistic_function)
- [35] In: *Regresní analýza* [online]. Dostupné také z: [http://geoinovace.data.quonia.cz/materialy/ZX510\\_Pokrocile\\_statisticke\\_metody\\_geografickeho\\_vyzkumu\\_MU/Regresni\\_analyza.pdf](http://geoinovace.data.quonia.cz/materialy/ZX510_Pokrocile_statisticke_metody_geografickeho_vyzkumu_MU/Regresni_analyza.pdf)

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

3DNR	3D Noise Reduction, redukce šumu v obraze porovnávající více po sobě jdoucích snímků
4K	UltraHD (UHD) komerční označení rozlišení televizního vysílání, monitorů i kamer, formát obrazu je nejčastěji 16:9 při rozlišení 3840x2160 pixelů, ale může se lišit dle stanovené normy
AAC	Advanced Audio Coding, pokročilé kódování audia
ACR	Absolute Category Rating, model kategorizace výsledků
AGC	Automatic Gain Control, funkce kamer zajišťující automatické řízení úrovně výstupního signálu pomocí řízeného zesílení
AHD	Analog HD, otevřený standard ekonomického analogového HD videa vyvinutý firmou Nextchip
APSNR	Aligned PSNR, optimalizovaná metoda PSNR
ASP	Active Server Pages, skriptovací jazyk se serverovým zpracováním od společnosti Microsoft
AVC	Advanced Video Coding, pokročilé kódování videa, označení komprese H.264 dle MPEG
AWB	Automatic White Balance, funkce kamer umožňující přizpůsobení podání obrazu teplotě chromatičnosti osvětlení dané scény
BMP	Bitmap, nebo také Windows bitmap, formát rastrové grafiky představený v roce 1988
CABAC	Context-adaptive binary arithmetic coding, kontextově adaptivní binární aritmetické kódování
CAVLC	Context-adaptive variable-length coding, kontextově adaptivní kódování s proměnnou délkou
CBR	Constant bitrate, konstantní datový tok
CCD/CMOS	Technologie výroby snímacích čipů
CCITT	Consultative Committee for International Telephony and Telegraphy, poradní výbor pro mezinárodní telefonii a telegrafii, v roce 1993 přejmenován na ITU-T
CCTV	Closed Circuit Television, starší označení pro dohledové videosystémy, dnes označována jako VSS

---

CGI	Common Gateway Interface, protokol pro komunikaci aplikací 3. stran s rozhraním IP kamery
CIE	Commission internationale de l'éclairage, Mezinárodní komise pro osvětlení
CSS	Cascading Style Sheets, tzv. kaskádové styly popisují vzhled webové stránky a rozložení prvků
CTU	Coding Tree Unit, bloková jednotka hierarchického stromu u H.264
CU	Coding unit, kódová jednotka, makroblok obrazových bodů u komprese H.265
DBF	Deblocking filter, filtr pro potlačení blokové chyby v obraze
DC-drive	Jeden ze způsobů řízení clony objektivu, nastavení clony je realizováno na základě měření kamerou
DCT	Diskrétní kosinová transformace
DFT	Diskrétní Fourierova transformace
DMOS	Degradation Mean Opinion Score
DNR	Digital Noise Reduction, digitální redukce šumu v obraze
DPB	Decoded picture buffer, vyrovnávací paměť pro dekodovaný obraz
DSIS	Double Stimulus Impairment Scale
DVB-S	Digital Video Broadcasting - Satellite, digitální vysílání přes satelit
DVB-T	Digital Video Broadcasting - Terrestrial, pozemní digitální vysílání
EIS	Electronic Image Stabilization, elektronická stabilizace obrazu kamery
EPSNR	Estimated peak signal to noise ratio, odhadovaný špičkový odstup signálu k šumu
EPTZ	Electronic Pan-Tilt-Zoom, digitální varianta natáčení (pan), naklápění (tilt) a transfokace (zoom) kamery
FPS	Frames per second, snímků za vteřinu
FTP	File Transfer Protocol, protokol pro jednoduchý přenos souborů přes počítačovou síť
GOP	Group of pictures, skupina snímků
H.264	Formát kódování videa z roku 2003
H.265	Pokročilý formát kódování videa z roku 2013
HD-CVI	Licencovaný standard analogového HD videa vyvinutý firmou Dahua
HD-SDI	Digitální standard HD videa, původně určený pro TV studia

---

HD-TVI	Otevřený standard analogového HD videa vyvinutý firmou Hikvision
HDR	High dynamic range, rozšířený dynamický rozsah docílený zvýšeným vzorkováním kanálů (10/12 bit)
HDTV	High-definition television, televize s vysokým rozlišením
HEVC	High Efficiency Video Codec, označení komprese H.265 dle MPEG
HTML	Hypertext Markup Language, jazyk pro vytváření a definování vazeb mezi webovými stránkami
IDNR	Intelligent Digital Noise Reduction, inteligentní redukce šumu v obraze
IEC	International Electrotechnical Commission, Mezinárodní elektrotechnické komise
IRE	Institute of Radio Engineers, metoda měření úrovně výstupního signálu u analogových kamer. 0 IRE = 0 mV, 100 IRE pro PAL signál odpovídá 0,7V
iSCSI	Standard a název protokolu pro přístup a sdílení síťového datového úložiště
IDSN	Integrated Services Digital Network, digitální síť integrovaných služeb
ISO	International Organization for Standardization, Mezinárodní organizace pro normalizaci
ITU	International Telecommunications Union, Mezinárodní telekomunikační unie
ITU-R	International Telecommunication Union, Standardization sector Radio-communication
ITU-T	International Telecommunication Union, Standardization sector Telecommunication
ITU-T SG	ITU-T Study Group, odborná skupina
JavaScript	Objektově orientovaný programovací jazyk nezávislý na platformě
JPEG	Joint Photographic Experts Group, společná expertní skupina pro fotografie
MJPEG	Motion JPEG, komprese videa formou samostatných JPEG snímků
MOS	Mean Opinion Score, průměrné názorové skóre
MPEG	Moving Pictures Experts Group, skupina odborníků pro video
MSE	Mean squared error, střední kvadratická chyba
NAL	Network Abstraction Layer, vrstva síťového přenosu



---

NAS	Network-attached storage, úložiště připojené přes počítačovou síť
NQI	Nonlinear Quality Index, index nelineární kvality
NTSC	National Television Systems Committee, standard modulace analogového televizního signálu v USA
NVR	Network Video Recorder, jednoúčelové zařízení určené pro záznam obrazu z IP kamer
ONVIF	Open Network Video Interface Forum, organizace založená firmami Axis, Bosch a Sony pro definování komunikačních standardů bezpečnostních IP technologií
P-Iris	objektivy obousměrně komunikující s elektronikou kamery
PAL	Phase Alternation Line, analogový interpolovaný televizní standard s frekvencí snímků 50Hz a počtem 576 televizních řádek. Využíván především v Evropě
PHP	Hypertext Preprocessor, volně šiřitelný (GNU) skriptovací jazyk se serverovým zpracováním
ppm	parts per milion, jedna miliontina = 0,00001% z celku
ProRes	kompresní formát vyvinutý firmou Apple pro účely post-produkce, podporuje chroma 4:4:4 při 12-bit a 8K rozlišení
PS	Program Stream, tok dat s metadaty o přenášeném videu
PSIA	Physical Security Interoperability Alliance, sdružení výrobců bezpečnostních zařízení snažící se o standardizaci IP komunikace, v jistém slova smyslu je konkurencí sdružení ONVIF
PSNR	Peak signal to noise ratio, špičkový odstup signálu k šumu
PTZ	Pan-tilt-zoom, natáčení-naklápění-transforkace, zkratka se využívá pro označení otočných kamer
PU	prediction unit, blok obrazových bodů u komprese H.265
QoE	Quality of Experience, metoda měření kvality uživatelského prožitku
QoS	Quality of Service, metoda objektivního měření a řízení priorit služeb
RGB	Red-green-blue, označení barevného modelu využívaných v počítačové technice
ROI	Region of interest, oblast zájmu
S-VHS	Super VHS, rozšíření standardu VHS představené firmou JVC v roce 1987
SAO	Sample-Adaptive Offset, kódovací metoda H.265

---

SBAC	Syntax based context-adaptive binary arithmetic coder
SMPTE	Society of Motion Picture and Television Engineers
SoC	System on Chip, integrovaný obvod s funkcí kompletního počítače zahrnující obvody A/D převodu, digitalizace i postprocessingu
SSA	Smart Scene Adaptive, schopnost kamery dynamicky reagovat na podmínky osvětlení
SSCQE	Single Stimulus Continuous Quality Evaluation, metoda subjektivního měření kvality videa
TS	Transport Stream, tok dat s vlastními videodaty
TU	Transformation Unit, blok obrazových bodů u komprese H.265
TVL	TeleVision Lines, počet zobrazovaných televizních řádek, udává rozlišení u analogových systémů
VBR	Variable bitrate, variabilní datový tok
VCEG	Video Coding Expert Group, expertní skupina pro kódování videa
VCL	Video Coding Layer, vrstva kódování videa
VHS	Video Home System, standard domácího videa vyvinutý firmou JVC v roce 1976
VMAF	Video Multimethod Assessment Fusion, metoda subjektivního měření kvality videa
VMS	Video Management Software, pokročilé serverové řešení záznamu a práce s kamerovým systémem
VQEG	Video Quality Experts Group, nezávislá skupina odborníků se zaměřením na síťové video
VQM	Video Quality Metric, metoda subjektivního měření kvality videa
VSS	Video Surveillance Systems, dohledové videosystémy, dřívější zkratka CCTV, označení dle ČSN EN 62676
W3C	World Wide Web Consortium, mezinárodní organizace vyvíjející otevřené webové standardy
Wavelet	Metoda matematického rozkladu signálu pomocí funkce z tzv. Hilbertova prostoru
WDR	Wide Dynamic Range, rozšířený dynamický rozsah snímání

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1: Pomaloběžný S-VHS rekordér Panasonic AG-6740 .....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 2: Digitální rekordér DMS-80 z roku 1992 .....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 3: Interpretace barevného prostoru pomocí různých modelů .....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 4: Vliv jednotlivých vzorkovacích schémat při 8 bitovém vzorkování.....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 5: Proces komprese videodat vrstvy VCL H.264 .....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 6: Proces komprese videodat pomocí kodéru H.265 .....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 7: Možné varianty dělení kódové jednotky na predikční bloky .....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 8: Úhlové režimy intra prediktivních metod u H.265/HEVC .....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 9: Příklad redukce datového toku při využití Zipstream .....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 10: Rozdělení obrazu na pozadí a ROI .....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 11: srovnání fixního a dynamického GOP .....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 12: Princip flexibilních referenčních rámců .....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 13: Metoda vkládání R-frame u kamer Hikvision .....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 14: Proces rozdělení obrazu a rozdílné komprese obrazu .....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 15: Vliv long-term bitrate control funkce H.265+ u kamer Hikvision .....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 16: Přehled metod NR hodnocení kvality .....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 17: Posuvník subjektivního hodnocení metody SSCQE .....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 18: Škála hodnocení metodou DSIS .....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 19: Škála ACR – tak je MOS interpretováno programem VQM .....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 20: Zobrazení reziduí, predikovaného a dekódovaného snímku .....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 21: Prostředí programu Elecard StreamEye.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 22: StreamEye - statistika analyzovaného streamu a snímku .....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 23: Prostředí programu Video Quality Monitor .....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 24: Ukázka výstupu křivek zpracovávaného streamu v reálném čase .....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 25: Korelace MOS a datového toku videostreamu.....</i>	<i>59</i>

---

<i>Obr. 26: Ukázka výstupu měření VQM – datový tok a bloková chyba .....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 27: Ukázky testovacího prostředí .....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 28: Ukázka prostředí exterier při testování dopadu 100% změny scény .....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 29: Ukázka měření pomocí přístroje CEM DT-1308 .....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 30: Testovací sestava kamer při provádění zkoušek .....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 31: Kamera AXIS Q1647 v exteriérovém provedení .....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 32: Kamera Bosch NBE-6502-AL .....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 33: Ukázka rozhraní kamery Bosch NB-6502-AL.....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 34: Měření polohy kamer integrovaným náklonovým čidlem .....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 35: Kamera Dahua IPC-HDBW81230E-Z .....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 36: Prostředí webového rozhraní kamery Dahua IPC-HDBW81230E-Z.....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 37: Kamera Hikvision DS-2CD5A85G0-IZS .....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 38: Prostředí webového rozhraní kamery Hikvision DS-2CD5A85G0-IZS.....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 39: Kamera Pelco IBE-229-1R .....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 40: Interpretace škály MOS do subjektivního hodnocení kvality.....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 41: Webové rozhraní kamery AXIS – záložky s nastavením.....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 42: Analýza streamu z kamery AXIS pomocí programu StreamEye .....</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 43: Detail klíčového snímku v průběhu datového toku kamery AXIS .....</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 44: Webové rozhraní kamery BOSCH NBE-6502-AL.....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 45: Analýza streamu z kamery BOSCH pomocí programu StreamEye.....</i>	<i>91</i>
<i>Obr. 46: Detail klíčového snímku v průběhu datového toku kamery BOSCH.....</i>	<i>92</i>
<i>Obr. 47: Webové rozhraní – nastavení kamery DAHUA IPC-HDBE81230E-Z .....</i>	<i>93</i>
<i>Obr. 48: Web rozhraní kamery DAHUA IPC-HDBE81230E-Z – nastavení.....</i>	<i>93</i>
<i>Obr. 49: Klíčový snímek v průběhu datového toku H.264 kamery DAHUA .....</i>	<i>97</i>
<i>Obr. 50: Analýza streamu z kamery DAHUA pomocí programu StreamEye .....</i>	<i>98</i>
<i>Obr. 51: Webové rozhraní – nastavení kamery HIKVISION.....</i>	<i>99</i>

---

<i>Obr. 52: Analýza streamu z kamery HIKVISION pomocí programu StreamEye ....</i>	<i>104</i>
<i>Obr. 53: Klíčový snímek v průběhu datového toku H.264 kamery HIKVISION .....</i>	<i>105</i>
<i>Obr. 54: Webové rozhraní – nastavení kamery PELCO IBE-229-1R .....</i>	<i>106</i>
<i>Obr. 55: Scéna při testech se 100% zastoupením pohybu .....</i>	<i>147</i>
<i>Obr. 56: Detail snímané scény při testu 100% pohybu .....</i>	<i>148</i>
<i>Obr. 57: Grafický návrh programu .....</i>	<i>152</i>
<i>Obr. 58: Simulátor programu v prostředí MS Excel .....</i>	<i>153</i>
<i>Obr. 59: Interpretace MOS škály v programu .....</i>	<i>153</i>
<i>Obr. 60: Výsledná podoba programu v prostředí prohlížeče .....</i>	<i>154</i>
<i>Obr. 61: Ověření validity programu pomocí W3C validátoru .....</i>	<i>154</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1: Vývoj ztrátových obrazových kompresních algoritmů .....</i>	<i>18</i>
<i>Tab. 2: Vybrané standardy a jejich vzorkovací schémata .....</i>	<i>22</i>
<i>Tab. 3: Standardní nastavení kamery dle ČSN EN IEC 62676-5 .....</i>	<i>61</i>
<i>Tab. 4: Přehled testovacích prostředí se základními parametry .....</i>	<i>62</i>
<i>Tab. 5: Průměrné hodnoty úrovně osvětlení v testovacích prostředích .....</i>	<i>63</i>
<i>Tab. 6: Nejvýznamnější výrobci VSS dle A&amp;S magazínu .....</i>	<i>65</i>
<i>Tab. 7: Technické parametry kamery AXIS Q1647 .....</i>	<i>68</i>
<i>Tab. 8: Technické parametry kamery NBE-6502-AL .....</i>	<i>71</i>
<i>Tab. 9: Technické parametry kamery Dahua IPC-HDBW81230E-Z .....</i>	<i>73</i>
<i>Tab. 10: Technické parametry kamery HIKVISION DS-2CD5A85G0-IZS.....</i>	<i>75</i>
<i>Tab. 11: Technické parametry kamery Pelco IBE-229-1R .....</i>	<i>76</i>
<i>Tab. 12: Vlastnosti streamu testované kamery AXIS.....</i>	<i>83</i>
<i>Tab. 13: Vlastnosti streamu testované kamery BOSCH .....</i>	<i>91</i>
<i>Tab. 14: Vlastnosti streamů testované kamery DAHUA.....</i>	<i>98</i>
<i>Tab. 15: Vlastnosti streamů testované kamery HIKVISION.....</i>	<i>104</i>
<i>Tab. 16: Vlastnosti streamů testované kamery PELCO .....</i>	<i>107</i>
<i>Tab. 17: Získané hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu <math>R^2</math> .....</i>	<i>116</i>
<i>Tab. 18: Hodnocení splnění zadaných podmínek u jednotlivých funkcí.....</i>	<i>134</i>
<i>Tab. 19: Získané hodnoty koeficientů a/b pro vyjádření lineární lomené funkce....</i>	<i>135</i>
<i>Tab. 20: Vliv pohybu na datový tok v jednotlivých prostředích .....</i>	<i>148</i>

**SEZNAM GRAFŮ**

<i>Graf 1: srovnání PSNR a ePSNR generovaného programem Elecard StremEye .....</i>	<i>56</i>
<i>Graf 2: Výsledek měření kamery AXIS, vnitřní prostředí, den .....</i>	<i>80</i>
<i>Graf 3: Výsledek měření kamery AXIS, vnitřní prostředí, noc .....</i>	<i>80</i>
<i>Graf 4: Výsledek měření kamery AXIS, venkovní prostředí, den.....</i>	<i>81</i>
<i>Graf 5: Výsledek měření kamery AXIS, venkovní prostředí, noc.....</i>	<i>81</i>
<i>Graf 6: Výsledek měření kamery AXIS, venkovní prostředí, den, sněžení.....</i>	<i>82</i>
<i>Graf 7: Výsledek měření kamery BOSCH, vnitřní prostředí, den .....</i>	<i>86</i>
<i>Graf 8: Výsledek měření kamery BOSCH, vnitřní prostředí, noc .....</i>	<i>86</i>
<i>Graf 9: Výsledek měření kamery BOSCH, venkovní prostředí, den.....</i>	<i>87</i>
<i>Graf 10: Výsledek měření kamery BOSCH, venkovní prostředí, noc.....</i>	<i>87</i>
<i>Graf 11: Výsledek měření kamery BOSCH, venkovní prostředí, den, sněžení .....</i>	<i>88</i>
<i>Graf 12: Výsledek měření kamery DAHUA, vnitřní prostředí, den.....</i>	<i>94</i>
<i>Graf 13: Výsledek měření kamery DAHUA, vnitřní prostředí, noc.....</i>	<i>94</i>
<i>Graf 14: Výsledek měření kamery DAHUA, venkovní prostředí, den .....</i>	<i>95</i>
<i>Graf 15: Výsledek měření kamery DAHUA, venkovní prostředí, noc .....</i>	<i>95</i>
<i>Graf 16: Výsledek měření kamery HIKVISION, vnitřní prostředí, den .....</i>	<i>100</i>
<i>Graf 17: Výsledek měření kamery HIKVISION, vnitřní prostředí, noc.....</i>	<i>100</i>
<i>Graf 18: Výsledek měření kamery HIKVISION, venkovní prostředí, den .....</i>	<i>101</i>
<i>Graf 19: Výsledek měření kamery HIKVISION, venkovní prostředí, noc .....</i>	<i>101</i>
<i>Graf 20: Výsledek měření kamery HIKVISION, venkovní prostředí, sněžení .....</i>	<i>102</i>
<i>Graf 21: Výsledek měření kamery PELCO, vnitřní prostředí, den.....</i>	<i>108</i>
<i>Graf 22: Výsledek měření kamery PELCO, vnitřní prostředí, noc.....</i>	<i>108</i>
<i>Graf 23: Výsledek měření kamery PELCO, venkovní prostředí, den .....</i>	<i>109</i>
<i>Graf 24: Výsledek měření kamery PELCO, venkovní prostředí, noc .....</i>	<i>109</i>
<i>Graf 25: Průběh Gompertzovy funkce s různými hodnotami koeficientů.....</i>	<i>112</i>

---

<i>Graf 26: Průběh modifikované logistické funkce s různými hodnotami koeficientů</i>	113
<i>Graf 27: Průběh modifikované logaritmické funkce s hodnotami koeficientů .....</i>	114
<i>Graf 28: Průběh lineární lomené funkce s různými hodnotami koeficientů .....</i>	115
<i>Graf 29: Aproximace průběhů křivek ve vnitřním prostředí, den, komprese H.264</i>	117
<i>Graf 30: Aproximace průběhů křivek ve vnitřním prostředí, den, komp. H.264+ ...</i>	118
<i>Graf 31: Aproximace průběhů křivek ve vnitřním prostředí, den, komprese H.265</i>	119
<i>Graf 32: Aproximace průběhů křivek ve vnitřním prostředí, den, komp. H.265+ ...</i>	120
<i>Graf 33: Aproximace průběhů křivek ve vnitřním prostředí, noc, komprese H.264</i>	121
<i>Graf 34: Aproximace průběhů křivek ve vnitřním prostředí, noc, komp. H.264+ ...</i>	122
<i>Graf 35: Aproximace průběhů křivek ve vnitřním prostředí, noc, komprese H.265</i>	123
<i>Graf 36: Aproximace průběhů křivek ve vnitřním prostředí, noc, komp. H.265+ ...</i>	124
<i>Graf 37: Aproximace průběhů křivek ve venkovním prostředí, den, komp. H.264 ..</i>	125
<i>Graf 38: Aproximace průběhů křivek ve venkovním prostředí, den, komp. H.264+ ..</i>	126
<i>Graf 39: Aproximace průběhů křivek ve venkovním prostředí, den, komp. H.265 ..</i>	127
<i>Graf 40: Aproximace průběhů křivek ve venkovním prostředí, den, komp. H.265+ ..</i>	128
<i>Graf 41: Aproximace průběhů křivek ve venkovním prostředí, noc, komp. H.264 ..</i>	129
<i>Graf 42: Aproximace průběhů křivek ve venkovním prostředí, noc, komp. H.264+ ..</i>	130
<i>Graf 43: Aproximace průběhů křivek ve venkovním prostředí, noc, komp. H.265 ..</i>	131
<i>Graf 44: Aproximace průběhů křivek ve venkovním prostředí, noc, komp. H.265+ ..</i>	132
<i>Graf 45: Průběhy kompresí ve vnitřním prostředí - den .....</i>	138
<i>Graf 46: Průběhy kompresí ve vnitřním prostředí - noc .....</i>	139
<i>Graf 47: Průběhy kompresí ve venkovním prostředí - den .....</i>	140
<i>Graf 48: Průběhy kompresí ve venkovním prostředí - noc .....</i>	141
<i>Graf 49: Průběhy komprese H.264 v jednotlivých prostředích .....</i>	142
<i>Graf 50: Průběhy komprese H.264+ v jednotlivých prostředích .....</i>	143
<i>Graf 51: Průběhy komprese H.265 v jednotlivých prostředích .....</i>	144



---

<i>Graf 52: Průběhy komprese H.265+ v jednotlivých prostředích .....</i>	145
<i>Graf 53: Průběhy kompresí H.264/H.264+ při 10% a 100% pohybu.....</i>	149
<i>Graf 54: Průběhy kompresí H.265/H.265+ při 10% a 100% pohybu.....</i>	150

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Testovací archy provádění zkoušek

## **PŘÍLOHA 1: TESTOVACÍ ARCHY PROVÁDĚNÍ ZKOUŠEK**

## ZÁZNAMOVÝ ARCH KAMEROVÉ ZKOUŠKY

Prostředí: Interier, den, konstatní hladina osvětlení 140 lx  
 Nastavení kamery: rozlišení 1080p (1920x1080) @ 30fps, AGC ON, WB auto, SHUTTER limit 1/30 sec., WDR low, NR/DNR/IDNR/3DNR OFF, EIS OFF

	H.264					H.264+					H.265					H.265+										
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5						
<b>AXIS</b> Q1647	Stream č.																									
	kbps	398,53	757,76	1104,98	1355,92	1642,20	192,49	327,68	541,50	771,01	924,98	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	MOS	32,94	46,33	52,98	56,40	58,77	46,96	50,39	52,82	54,33	54,85	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	ePSNR	21,30	27,28	29,57	30,63	31,79	26,63	28,55	29,08	29,60	30,19	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
kbps/MOS	18,71	27,78	37,37	44,27	51,66	7,23	11,48	18,62	26,05	30,64	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<b>BOSCH</b> NBE-6502-AL	Stream č.																									
	kbps	759,26	1011,95	2349,12	3742,25	5419,98	X	X	X	X	X	559,45	1092,27	3276,80	3794,50	4640,31	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	MOS	14,51	56,40	81,82	90,79	92,83	X	X	X	X	X	78,13	84,58	91,19	92,62	93,58	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	kbps/MOS	52,32	17,94	28,71	41,22	58,39	X	X	X	X	X	7,16	12,91	35,93	40,97	49,59	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>DAHUA</b> HDBW81230E-Z	Stream č.																									
	kbps	327,02	600,75	1314,53	1816,19	1943,11	124,49	271,19	583,11	688,05	849,31	231,05	567,87	848,31	1064,91	1172,05	52,11	126,94	244,78	357,68	560,79					
	MOS	32,34	69,14	84,78	92,10	93,19	20,49	76,35	91,45	93,71	94,11	60,05	82,55	90,14	93,33	94,74	46,11	57,36	88,31	91,82	93,74					
	kbps/MOS	10,11	8,69	15,51	19,72	20,85	6,07	3,55	6,38	7,34	9,02	3,85	6,87	9,41	11,41	12,37	1,13	2,21	2,77	3,90	5,98					
<b>HIKVISION</b> 2CD5A85G0-IZS	Stream č.																									
	kbps	468,11	910,22	1244,64	2489,11	2943,02	386,94	877,71	1480,17	2194,49	3481,51	409,65	898,48	1346,49	1863,20	2542,34	346,58	863,48	1497,62	1944,02	3147,45					
	MOS	50,22	69,45	76,99	86,72	89,12	67,15	72,91	79,42	85,23	97,02	64,14	79,17	85,35	87,92	89,36	81,55	85,46	89,73	92,41	97,25					
	kbps/MOS	9,32	13,11	16,17	28,70	33,02	5,76	12,04	18,64	25,75	35,88	6,39	11,35	15,78	21,19	28,45	4,25	10,10	16,69	21,04	32,36					
<b>PELCO</b> IBE-229-1R	Stream č.																									
	kbps	576,47	842,16	1061,93	1330,31	3185,78	486,11	526,63	819,20	1477,32	2129,92	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	MOS	14,90	55,25	62,13	64,78	78,68	29,78	35,15	62,00	71,86	76,29	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	kbps/MOS	38,70	15,24	17,09	20,53	40,49	16,32	14,98	13,21	20,56	27,92	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

## ZÁZNAMOVÝ ARCH KAMEROVÉ ZKOUŠKY

Prostředí: Interier, noc, zbytkové osvětlení 0,24 lx  
 Nastavení kamery: rozlišení 1080p (1920x1080) @ 30fps, AGC ON, WB auto, SHUTTER limit 1/30 sec, WDR low, NR/DNR/IDNR/3DNR ON, EIS OFF

	H.264					H.264+					H.265					H.265+										
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5						
<b>AXIS</b> Q1647	Stream č.																									
	kbps	420,67	719,90	1087,99	1305,70	1857,98	227,56	354,99	589,82	756,92	947,00	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	MOS	51,68	59,38	65,60	67,49	71,20	50,10	50,52	51,47	51,98	52,50	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	ePSNR	25,82	28,45	30,29	31,03	32,54	26,69	27,56	28,45	29,19	29,54	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
kbps/MOS	16,29	25,30	35,92	42,08	57,10	8,53	12,88	20,73	25,93	32,06	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<b>BOSCH</b> NBE-6502-AL	Stream č.																									
	kbps	678,77	1018,46	2288,94	2833,40	3984,62	X	X	X	X	X	486,45	856,44	1638,44	1981,18	2594,98	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	MOS	7,90	75,07	84,39	85,43	86,16	X	X	X	X	X	61,00	74,39	79,27	80,57	82,19	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	kbps/MOS	85,93	13,57	27,12	33,17	46,24	X	X	X	X	X	7,98	11,51	20,67	24,59	31,57	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>DAHUA</b> HDBW81230E-Z	Stream č.																									
	kbps	345,09	494,05	948,64	1511,49	1944,48	83,49	165,90	276,31	492,78	783,02	169,31	416,20	946,78	1276,98	1449,45	42,49	89,64	249,02	347,02	594,68					
	MOS	15,50	43,97	58,00	69,31	77,31	24,19	57,98	67,98	74,74	81,88	23,74	59,34	75,39	80,64	83,63	21,20	37,58	63,84	67,95	76,89					
	kbps/MOS	22,27	11,24	16,36	21,81	25,15	3,45	2,86	4,06	6,59	9,56	7,13	7,01	12,56	15,83	17,33	2,00	2,39	3,90	5,11	7,73					
<b>HIKVISION</b> 2CD5A85G0-IZS	Stream č.																									
	kbps	441,11	917,50	1349,00	1843,77	2676,05	241,10	470,45	949,62	1497,36	2691,66	446,84	854,82	1270,19	1940,92	2915,14	254,94	524,77	1469,33	2184,53	2763,50					
	MOS	44,01	68,50	77,05	79,85	83,71	47,49	56,76	72,90	83,06	94,58	54,21	76,69	81,49	83,41	85,46	54,97	78,82	88,16	92,39	95,13					
	kbps/MOS	10,02	13,39	17,51	23,09	31,97	5,08	8,29	13,03	18,03	28,46	8,24	11,15	15,59	23,27	34,11	4,64	6,66	16,67	23,64	29,05					
<b>PELCO</b> IBE-229-1R	Stream č.																									
	kbps	422,01	654,00	972,80	1494,68	3219,65	461,98	536,72	1092,27	1643,11	3739,83	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	MOS	39,26	51,48	62,16	71,62	83,12	54,19	57,38	73,00	78,69	84,68	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	kbps/MOS	10,75	12,70	15,65	20,87	38,74	8,52	9,35	14,96	20,88	44,16	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X



## ZÁZNAMOVÝ ARCH KAMEROVÉ ZKOUŠKY

Prostředí: Exterier, noc, konstatní hladina umělého osvětlení (sodíkové výbojky) 1,5 lx  
 Nastavení kamery: rozlišení 1080p (1920x1080) @ 30fps, AGC ON, WB auto, SHUTTER limit 1/30 sec, WDR low, NR/DNR/IDNR/3DNR ON, EIS OFF

	H.264					H.264+					H.265					H.265+				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Stream č.	537,95	831,97	1146,20	1571,84	2087,95	355,50	581,98	927,19	1222,20	1389,75	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
kbps																				
MOS	17,50	19,90	22,71	27,26	33,19	17,35	19,49	22,59	26,18	29,16	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ePSNR	24,14	26,59	29,43	33,07	38,76	22,35	24,11	26,54	30,79	33,43	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
kbps/MOS	22,28	31,29	38,95	47,53	53,87	15,91	24,14	34,94	39,69	41,57	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Stream č.	514,38	643,42	1249,16	2391,80	3072,98	X	X	X	X	X	429,50	540,98	1129,17	2204,98	3124,39	X	X	X	X	X
kbps																				
MOS	37,92	60,85	72,89	82,96	89,79	X	X	X	X	X	74,20	81,30	83,37	85,49	87,96	X	X	X	X	X
kbps/MOS	13,57	10,57	17,14	28,83	34,22	X	X	X	X	X	5,79	6,65	13,54	25,79	35,52	X	X	X	X	X
Stream č.	160,39	468,11	766,93	1518,52	1840,30	92,24	464,94	744,73	843,49	1009,31	144,56	356,59	809,01	1034,25	1266,03	47,81	93,44	128,50	344,95	446,84
kbps																				
MOS	8,45	41,10	52,90	63,95	69,65	14,52	56,05	66,49	68,27	70,55	27,09	55,40	67,05	70,39	73,94	20,91	31,31	54,56	63,74	65,21
kbps/MOS	18,97	11,39	14,50	23,74	26,42	6,35	8,30	11,20	12,35	14,31	5,34	6,44	12,07	14,69	17,12	2,29	2,98	2,36	5,41	6,85
Stream č.	455,11	893,67	1429,32	2597,04	2857,06	300,37	547,19	936,23	1297,05	1742,66	294,01	451,97	893,67	1641,66	2555,41	130,60	387,91	539,35	726,90	1179,65
kbps																				
MOS	11,94	39,74	57,33	68,91	70,94	56,28	77,98	83,02	87,22	92,02	47,05	71,53	80,21	83,09	85,01	54,91	80,19	82,60	84,62	87,58
kbps/MOS	38,13	22,49	24,93	37,69	40,27	5,34	7,02	11,28	14,87	18,94	6,25	6,32	11,14	19,76	30,06	2,38	4,84	6,53	8,59	13,47
Stream č.	486,77	648,41	1063,74	1484,31	3171,47	529,33	755,90	964,12	1083,46	3302,45	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
kbps																				
MOS	37,00	47,88	55,83	60,05	74,96	63,75	70,64	72,09	72,30	78,95	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
kbps/MOS	13,15	13,54	19,05	24,72	42,31	8,30	10,70	13,37	14,99	41,83	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

