



Současný vývoj obrazových kompresních metod

Karel Fliegel
(fliegek@fel.cvut.cz)

Radiokomunikace 2015
DK Dukla, Pardubice, 16.10.2015



České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Katedra radioelektroniky
Technická 2
166 27 Praha 6
Česká republika



16/10/2015

- ❑ Úvod do **kódování** obrazové informace
- ❑ Standardizace **kódování videa**
- ❑ Současné **standards** pro **kódování videa**
- ❑ Popis a porovnání standardů **H.264/AVC** a **H.265/HEVC**
- ❑ **Další technologie** pro kompresi videa
- ❑ Obraz s **vysokým dynamickým rozsahem HDR**
- ❑ Současné **standards** pro **kódování statického obrazu**
- ❑ Přehled aktivit ve skupině **JPEG**



JPEG (Joint Photographic Experts Group)
ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1 a ITU-T SG16



MPEG (Moving Picture Experts Group)
ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11 a ITU-T SG16

❑ Algoritmy pro kompresi obrazu

❖ *Bezeztrátová komprese*

- Rekonstruovaný obraz je *identický s originálem*

❖ *Ztrátová komprese*

- Rekonstruovaný obraz je *vůči originálu degradován*

❑ Algoritmy pro ztrátovou kompresi

❖ *Perceptuálně bezeztrátové*

- Pozorovatel *nevnímá zkreslení*

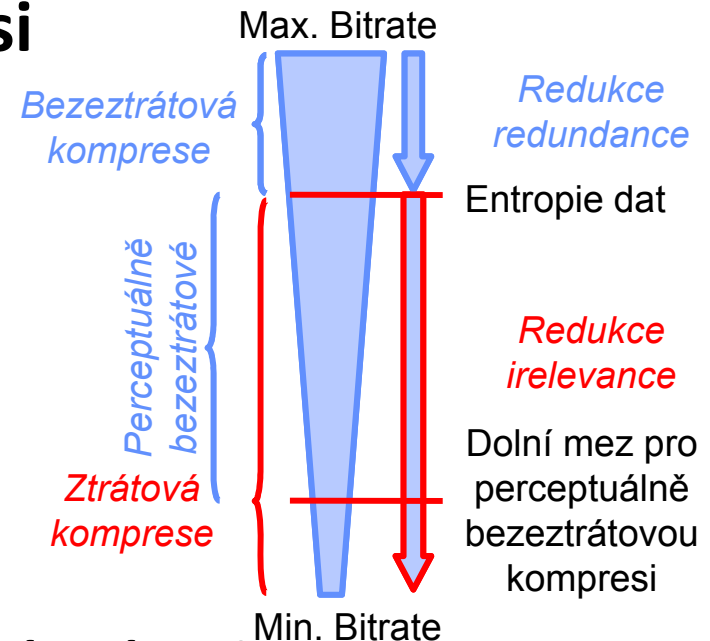
❖ *Perceptuálně ztrátové*

- Pozorovatel *vnímá zkreslení*

❑ Důležitá podmínka návrhu

❖ *Perceptuálně bezeztrátový* systém

❖ Nutnost definovat *psychovisuelní redundanci*

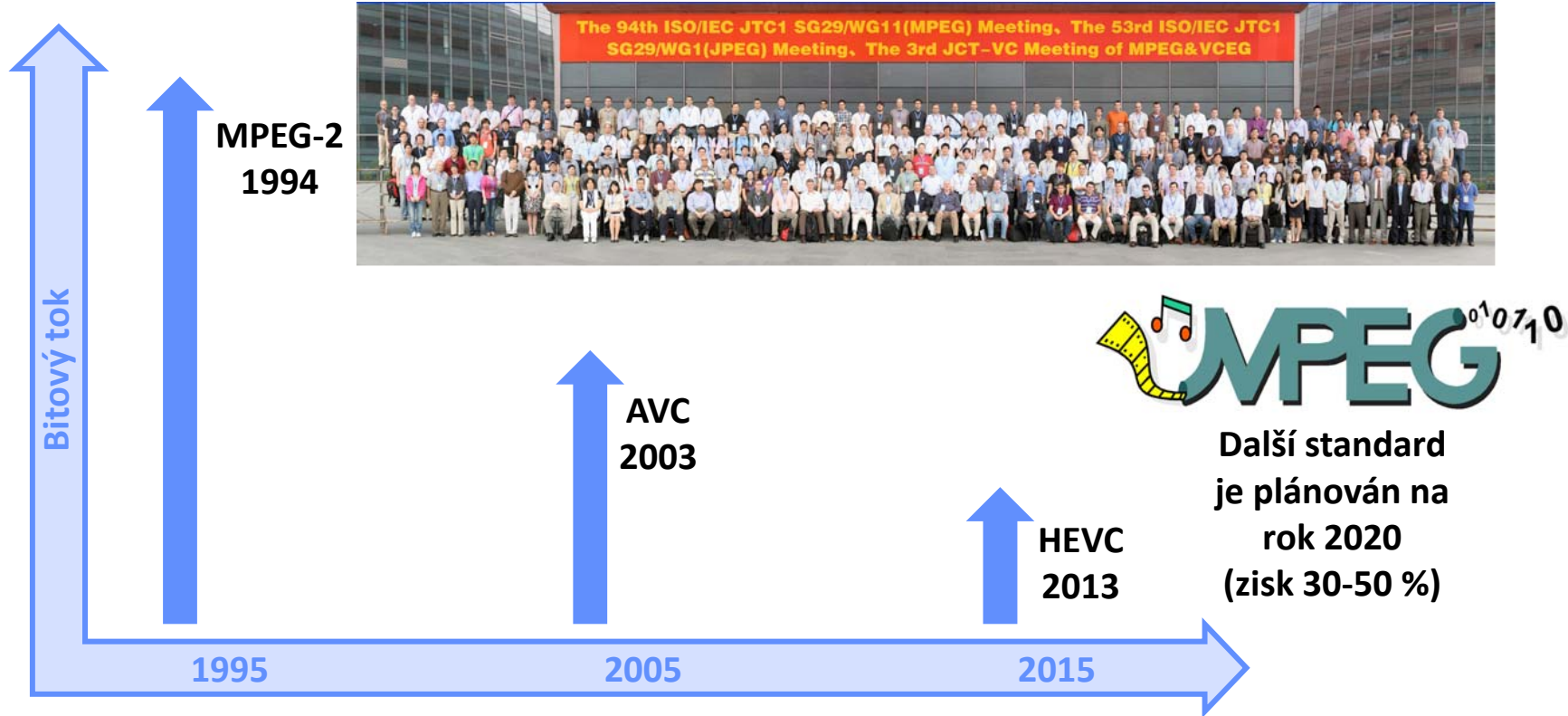


□ **Vývoj standardů pro kódování videa**

- ❖ **ITU-T Video Coding Experts Group (ITU-T – VCEG)**
 - **H.261** (1990), **H.263** (1995) → **videokonference**, nízké bitové toky
- ❖ **ISO Moving Picture Experts Group (ISO/IEC – MPEG)**
 - **MPEG-1** (1991), **MPEG-2** (1994) → **DVD, DVB**
- ❖ **ITU-T/ISO Joint Video Team (JVT)**
 - **H.264/MPEG-4 Part 10 AVC** (Advanced Video Coding)
 - První verze standardu dokončena **v roce 2003**
 - **Dvojnásobná účinnost** proti MPEG-2 → DVB a **HDTV aplikace**
- ❖ **ITU-T/ISO Joint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC)**
 - **H.265/MPEG-H Part 2 HEVC** (High Efficiency Video Coding)
 - První verze standardu dokončena **v roce 2013**
 - **Dvojnásobná účinnost** proti MPEG-4 AVC → **UHDTV aplikace**
- ❖ **Přibližně desetiletý cyklus vývoje nového standardu**
 - **Vždy požadavek na redukci bitového toku o 50 % při zachování kvality**

□ *Růst efektivity zdrojového kódování videa*

- ❖ Každých **10 let** nový standard a **50% úspora** bitového toku
 - Nejbližší 113. MPEG zasedání (19.10. – 23.10.2015, Ženeva)



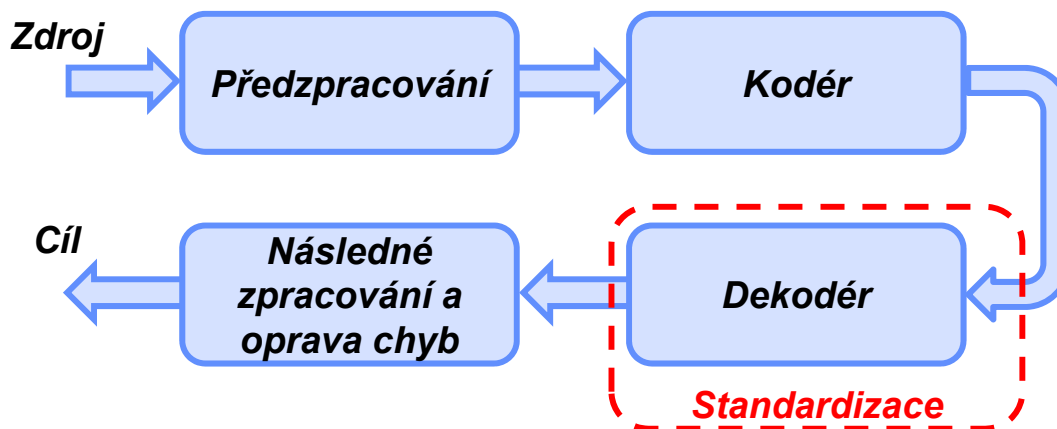
□ Zasedání skupin MPEG/JPEG

- ❖ Několik významných *ocenění pro MPEG/JPEG*
 - *Technology & Engineering Emmy* (oceňují vývoj technologie)



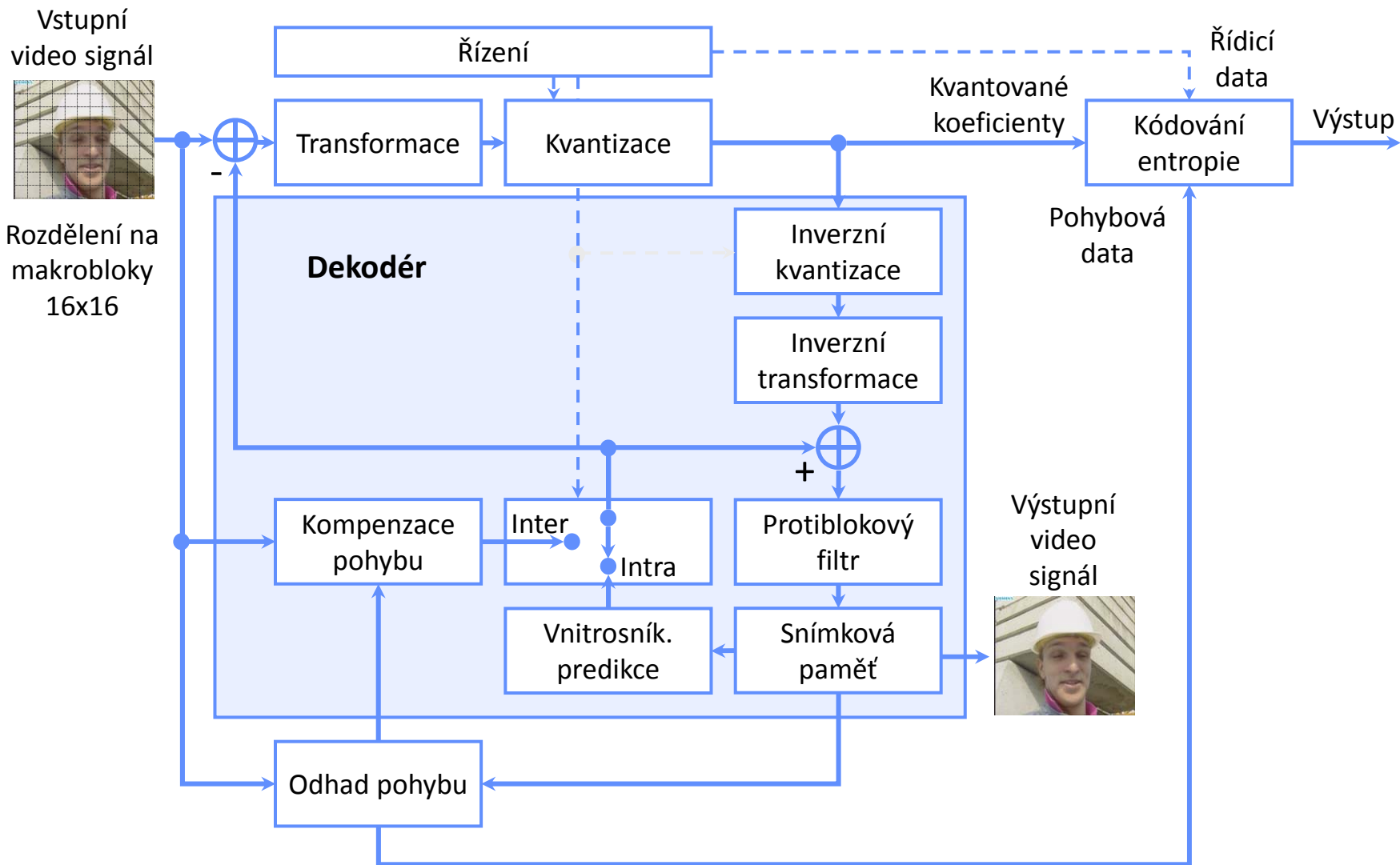
Ceny Emmy pro MPEG/JPEG vystavené v sídle ISO v Ženevě

- Standardizován je pouze *bitový tok, syntaxe a dekodér*
 - ❖ *Optimalizace kodéru*
 - Možnost *optimalizace parametrů kodéru* při zachování *kompatibility*
 - ❖ *Implementovatelnost*
 - Možnost *zjednodušení realizace* kodéru (zmenšení účinnosti komprese)
 - ❖ *Nevýhoda*
 - *Kvalita* obrazu *není garantována*



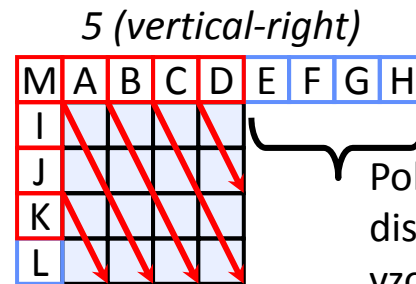
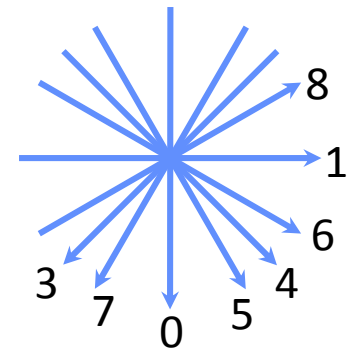
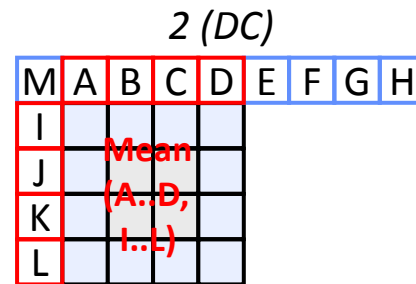
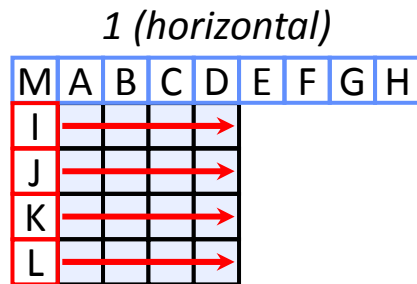
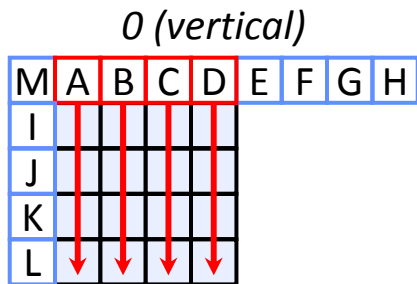
- ❑ **Kódování videa ve standardu H.264/AVC**
 - ❖ Založeno na *hybridním kodéru*
 - ❖ V základních vlastnostech *shodné s předchozími standardy*
- ❑ **Klíčové vlastnosti H.264/AVC vzhledem k MPEG2**
 - ❖ Vylepšená *kompence pohybu*
 - ❖ *Transformace* malých bloků
 - ❖ Adaptivní *protiblokový filtr*
 - ❖ Vylepšený *kodeč entropie*
- ❑ **Úspora bitového toku proti předchozím standardům**
 - ❖ Zachování *stejně kvality obrazu*
 - ❖ Žádný z bloků není přímo zodpovědný za výrazné zlepšení účinnosti komprese – *mnoho malých vylepšení*

H.264/Advanced Video Coding

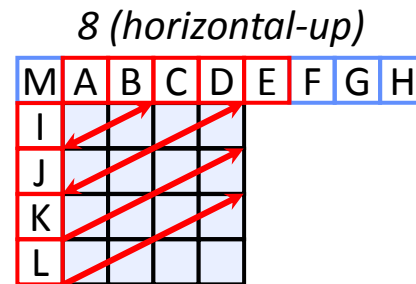
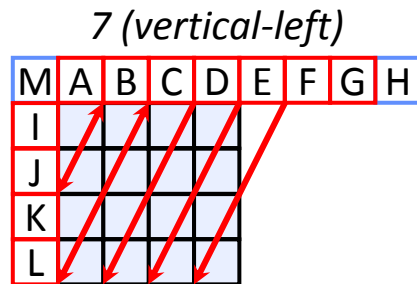
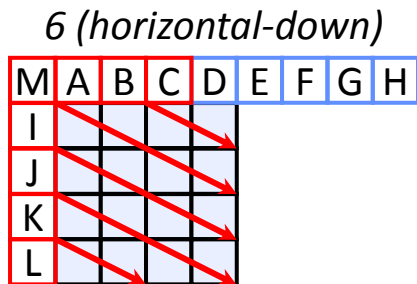


□ **Vnitrosnímková predikce** – bloky 4x4 (princip)

❖ Celkem 9 režimů (DC + 8 směrových)

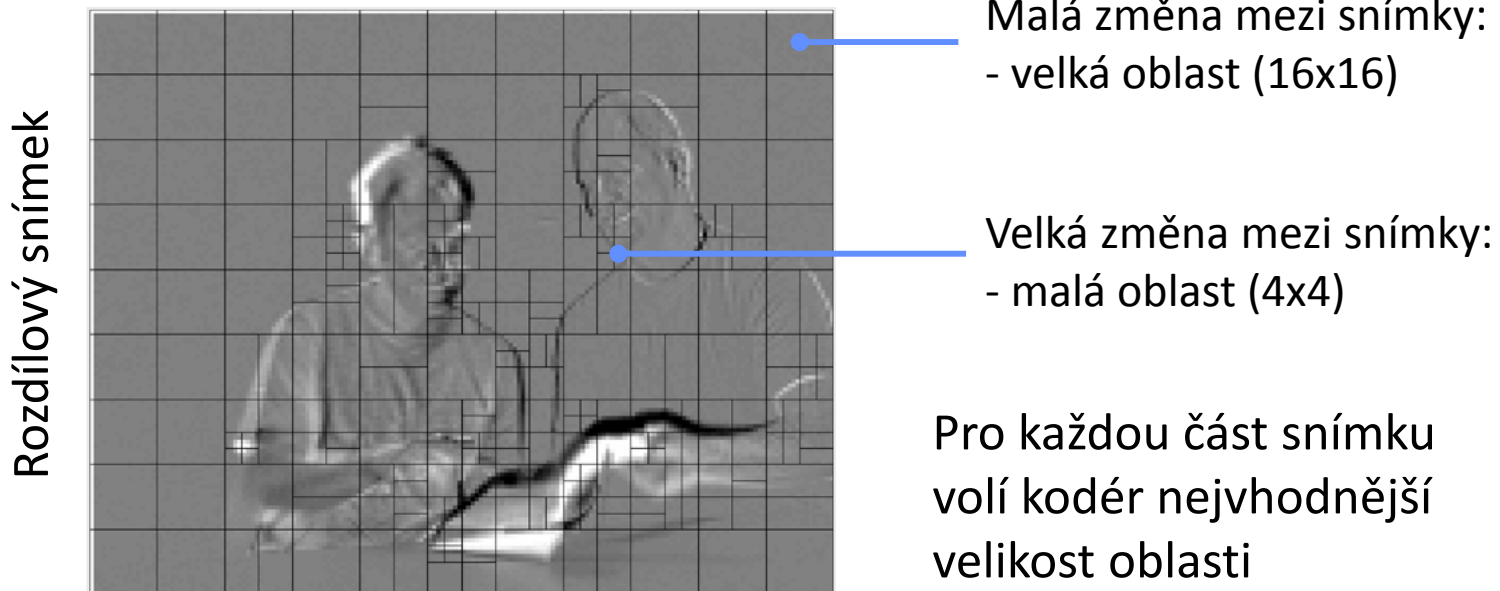


Pokud nejsou E,F,G,H k dispozici volí se replika vzorku D



□ **Mezisnímková predikce s kompenzací pohybu**

- ❖ **Pohybový vektor pro každou oblast i podoblast**
- ❖ **Velikost oblasti** má zásadní vliv na **účinnost komprese**
 - Malá oblast **X** Velká oblast – Malá zbytková energie **X** Malý počet pohybových vektorů
 - Pohybové vektory – přesnost na $\frac{1}{4}$ vzorku

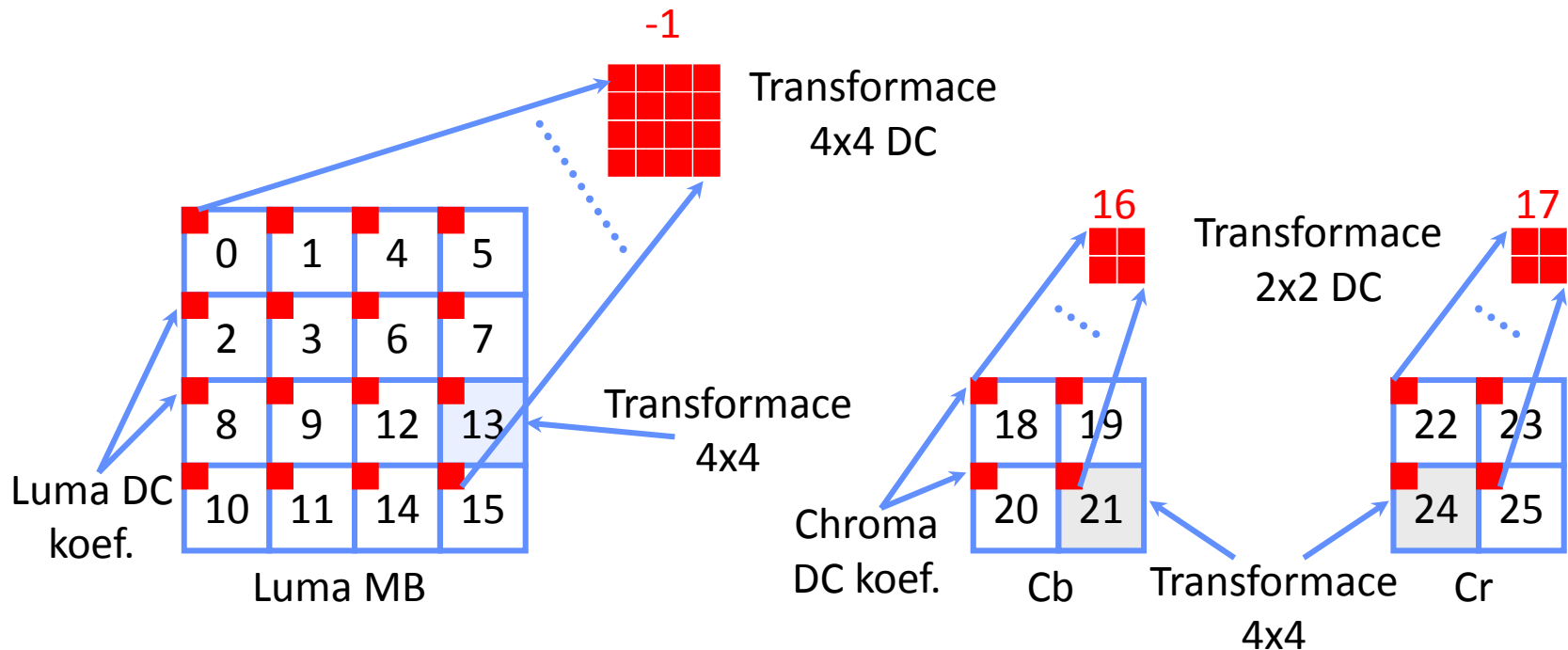


Transformační kódování pro přenos chyby predikce

❖ Tři aplikace transformace

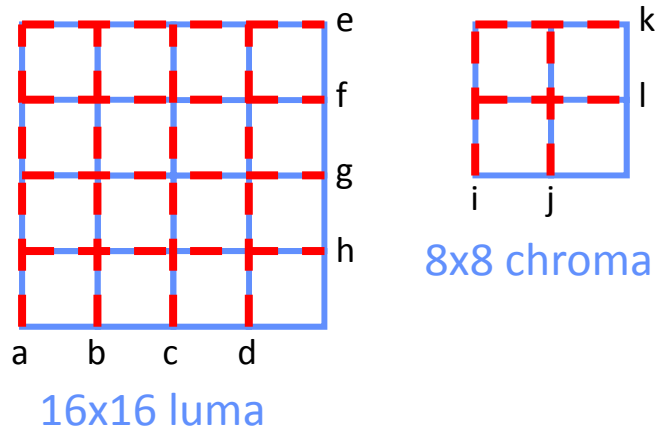
- (A) Rozdílových bloků 4x4 (Celočíselná transformace založená na DCT)
- (B) 4x4 jasových DC koeficientů (Hadamardova transformace)
- (C) 2x2 chrominančních DC koeficientů (Hadamardova transformace)

❖ Příklad aplikace transformace a pořadí přenosu



❑ **Protiblokový filtr - potlačení rušivé blokové struktury**

- ❖ Aplikuje se **adaptivně** na každý dekódovaný makroblok
- ❖ Dva **hlavní účinky**
 - **Vyhlázení okrajů bloků** – subjektivně lepší obraz
 - Menší rozdílová hodnota při pohybově kompenzované predikci
- ❖ Redukce bitového toku o **5 až 10%**



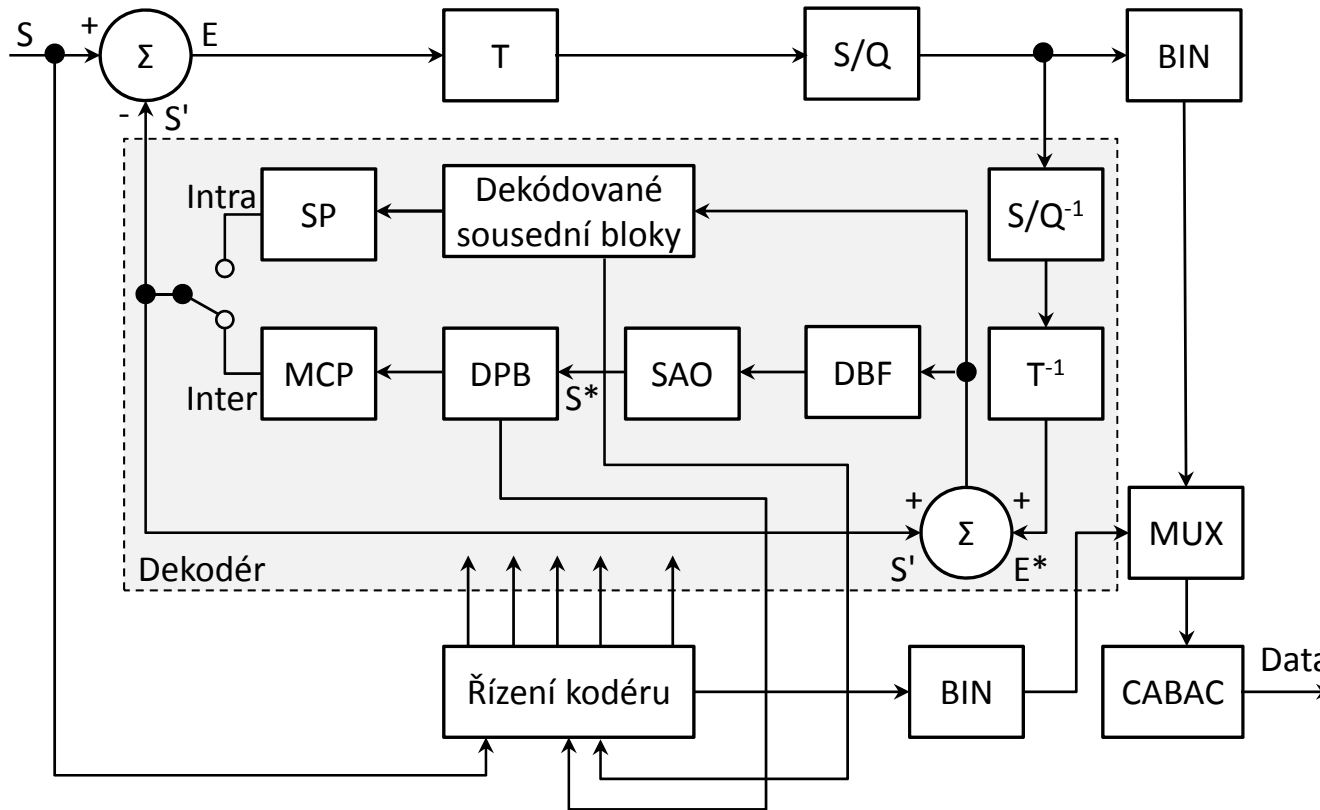
Pořadí filtrace rozhraní:

- (1) filtrace vertikálních rozhraní
- (2) filtrace horizontálních rozhraní

Filtrace ovlivní max. 3 obrazové body na každé straně rozhraní

- Motivace pro **účinnější kompresi videa**
 - ❖ Kontinuální **růst rozlišení videa**
 - Přejít **od HD k UHD**
 - U **mobilních** zařízení je hojně **využíváno HD**
 - Přenos **stereoskopického** a **vícepohledového** videa
 - ❖ **Dostupnost UHD** záznamových a reprodukčních zařízení
 - ❖ Několik oblastí u videa zodpovědných za **růst bitového toku**
 - **Prostorové rozlišení** (4K, 8K, ...), **časové rozlišení** (snímkové kmitočty)
 - **Barevné prostory (WCG)** a **bitová hloubka (HDR)**
 - **Vícepohledové** (multiview) systémy
 - ❖ Potřebný **bitový tok roste rychleji** než propustnost sítě
 - ❖ Vývoj **účinnějších přístupů pro kompresi videa** je nutný

□ Blokové schéma hybridního kodéru HEVC



S, S', S^* - vstupní snímek, predikce, rekonstruovaný snímek

E, E^* - chyba predikce, rekonstruovaná chyba predikce

T - dvoudimenzionální transformace s proměnnou velikostí bloku

S/Q - škálování a kvantizace

DPB - vyrovnávací paměť dekódovaných snímků (Decoded Picture Buffer)

MCP - pohybově kompenzovaná predikce (Motion Compensated Prediction)

SP - vnitrosnímková (prostorová) predikce (Spatial Prediction)

DBF - protiblokový filtr (Deblocking Filter)

SAO - filtr s adaptivním offsetem (Sample Adaptive Offset)


BIN - binarizace

MUX - multiplexer


$CABAC$ - kontextově adaptivní binární aritmetický kodér (Context Adaptive Binary Arithmetic Coding)


❑ Základní porovnání AVC a HEVC

AVC


Makroblok o velikosti 16x16 


Dělení pro mezisímkovou predikci až 4x4 

9 vnitrosímkových režimů predikce 

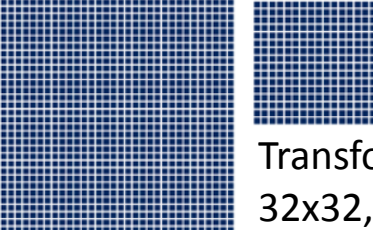
Transformace o velikosti 8x8 a 4x4 

HEVC

Bloky o velikosti 64x64 

Hierarchické dělení pomocí kvadrantového stromu až 8x8 (transformace 4x4) 

35 vnitrosímkových režimů predikce 

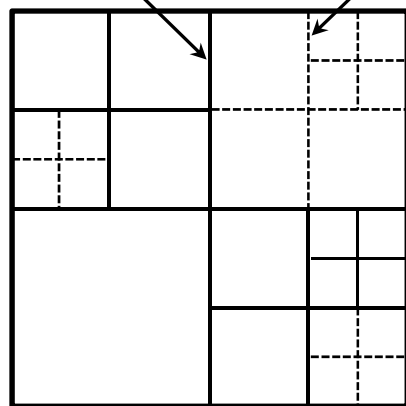
Transformace o velikosti 32x32, 16x16, 8x8 a 4x4  DST

❑ **Bloková struktura**

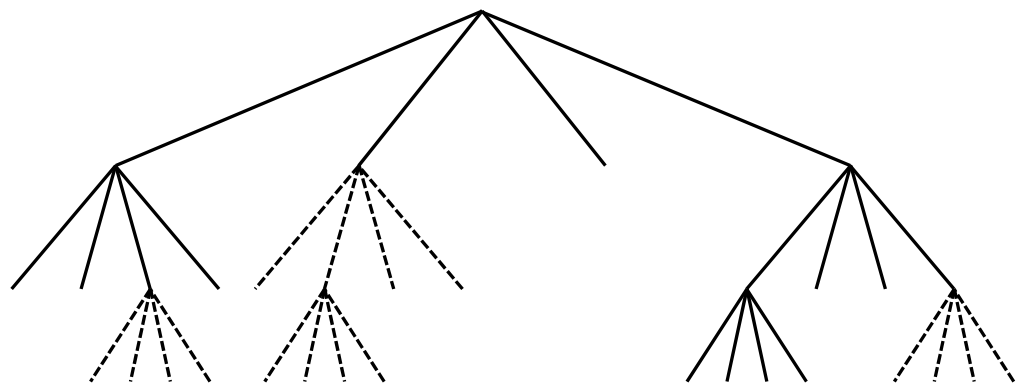
- ❖ CTU – **Coding Tree Unit** – kódová stromová jednotka
 - CTU dělena na **čtvercové kódové jednotky CU** (Coding Units, 8x8...64x64)
- ❖ **Pod úrovní CU**: predikční (PU) a transformační jednotky (TU)
 - Čtvercové/obdélníkové predikční (PB) a čtvercové transformační (TB) bloky
 - Variabilní rozměr PB (4x4...64x64) a TB (4x4...32x32)

Hranice kódových bloků
CB (Coding Blocks)

Hranice transformačních bloků
TB (Transform Blocks)

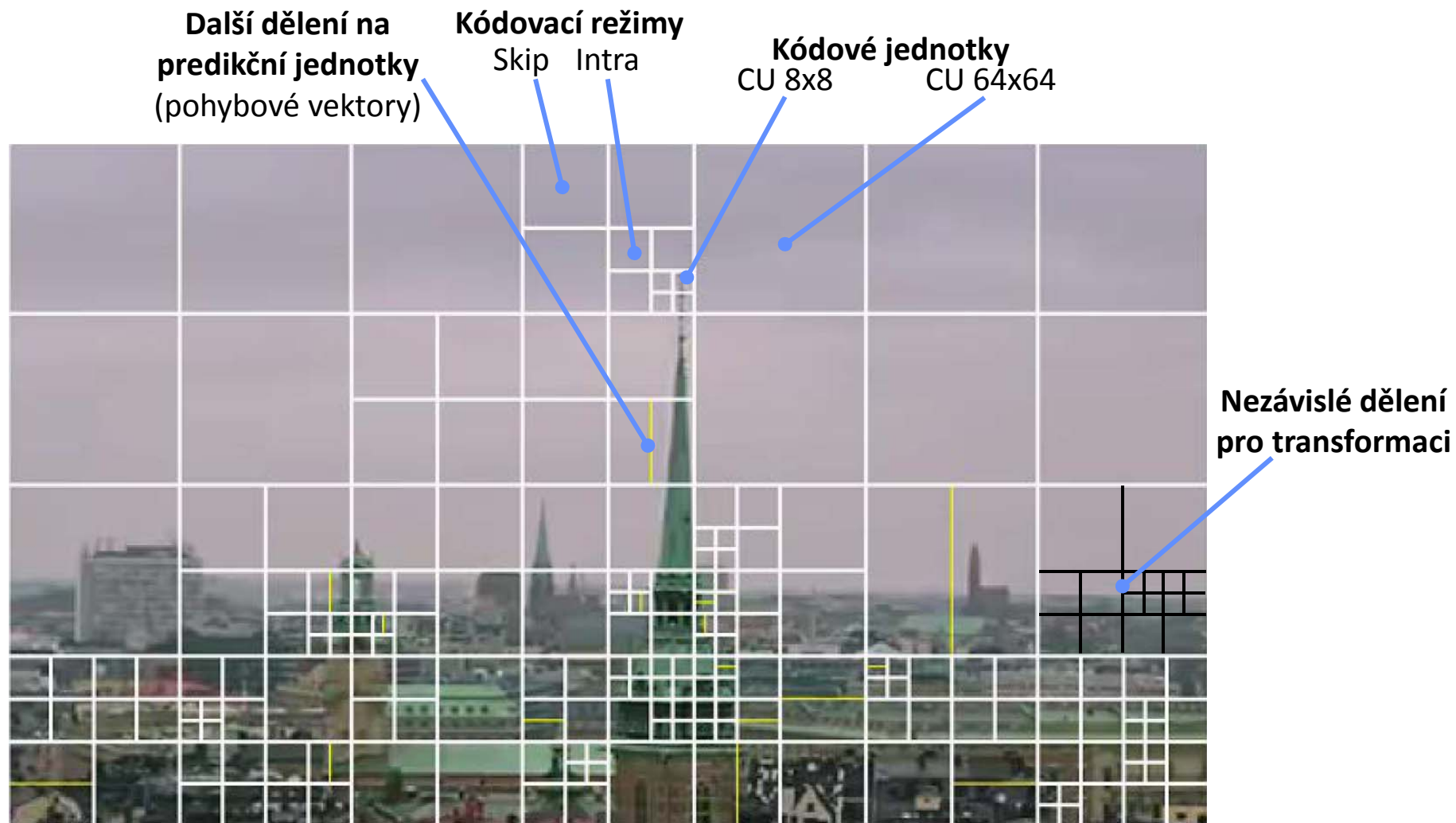


Kódový stromový blok
CTB (Coding Tree Block)



Odpovídající dělení CTB
kvadrantovým stromem

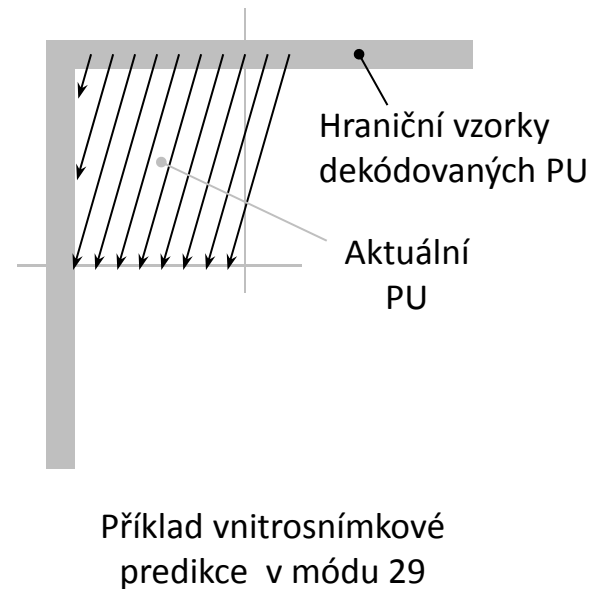
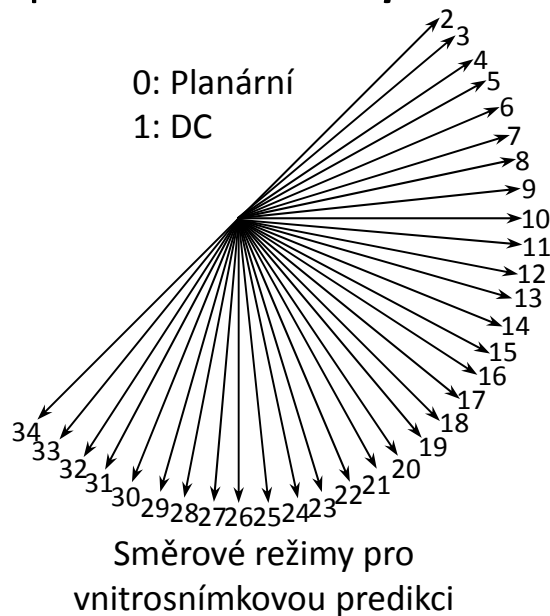
□ *Kódový strom*



□ **Vnitrosnímková predikce**

❖ **Směrová predikce z již dekodovaných vzorků**

- Směrová predikce pro **33 různých úhlů**
- K dispozici také **DC a planární režim**



- Režim **predikce je nutno signalizovat**

– **Režim signalizován** pro každou **predikční jednotku PU**

– Predikce prováděna nezávisle pro danou predikční jednotku PU

□ **Profily a úrovně standardu HEVC**

- ❖ Podobně **jako u předchozích** standardů
 - **Profil** (profile) definuje **množinu kódovacích nástrojů**
 - **Úroveň** (level) definuje např. **rozlišení, bitové toky**
- ❖ **Datový tok pro danou kombinaci profil/úroveň**
 - Musí být **dekódovatelný jakýmkoliv dekodérem** podle tohoto profilu/úrovně
- ❖ **V první fázi definovány tři hlavní profily** (profiles)
 - **Hlavní** (Main) – pro typické video aplikace (podpora YCbCr 4:2:0)
 - **Hlavní 10** (Main 10) – pro vyšší bitové hloubky (až 10 bitů na vzorek)
 - **Hlavní statický** (Main Still Picture) – pro statické snímky (pouze intra)
- ❖ **Dále jsou definovány rozšiřující profily** (extension profiles)
 - Monochrome, Monochrome 12, Monochrome 16, Main 12, Main 4:2:2 10, Main 4:2:2 12, Main 4:4:4, Main 4:4:4 10, Main 4:4:4 12, Main Intra, Main 10 Intra, Main 12 Intra, Main 4:2:2 10 Intra, Main 4:2:2 12 Intra, Main 4:4:4 Intra, Main 4:4:4 10 Intra, Main 4:4:4 12 Intra, Main 4:4:4 16 Intra, Main 4:4:4 Still Picture, Main 4:4:4 16 Still Picture

□ *Profily a úrovně standardu HEVC*

❖ *Dělení na úrovně (levels) a stupně (tiers)*

- Definováno **13 úrovní** označených 1, 2, 2.1, 3, 3.1, 4, 4.1, 5, 5.1, 5.2, 6, 6.2
- Pro úroveň 4 a vyšší definovány **dva stupně** (tiers)
 - **Hlavní** (Main) – základní stupeň **pro většinu aplikací**
 - **Vysoký** (High) – vysoký stupeň **pro nejnáročnější aplikace**

❖ *Obrovský rozsah parametrů videa*

• *Rozsah rozlišení*

- **SQCIF (128 x 96)**, QCIF (176 x 144), QVGA (320 x 240), 525 SIF (352 x 240), CIF (352 x 288), 525 HHR (352 x 480), 625 HHR (352 x 576), Q720p (640 x 360), VGA (640 x 480), 525 4SIF (704 x 480), 525 SD (720 x 480), 4CIF (704 x 480), 625 SD (720 x 576), 480p (16:9) (864 x 480), SVGA (800 x 600), QHD (960 x 540), XGA (1024 x 768), 720p HD (1280 x 720), 4VGA (1280 x 960), SXGA (1280 x 1024), 525 16SIF (1408 x 1152), 16CIF (1408 x 1152), 4SVGA (1600 x 1200), 1080 HD, 2Kx1K (2048 x 1024), 2Kx1080 (2048 x 1080), 4XGA (2048 x 1536), 16VGA (2560 x 1920), 3616 x 1536 (2,35:1), 3672 x 1536 (2,39:1), 3840 x 2160 (4*HD), 4Kx2K (4096 x 2048), 4096 x 2160, 4096 x 2304 (16:9), 4096 x 3072, 7680 x 4320, 8192 x 4096, **8192 x 4320**

- **Úroveň** (level) **definuje další parametry**, např. snímkový kmitočet

□ **Další technologie** vedle standardů *ITU-T* a *ISO/IEC*

❖ Společnost **Google** navrhla otevřený formát **WebM**

- Určen primárně pro **webové aplikace**
- Pro kompresi videa využívá **VP8** a **VP9**
- **VP8** vyvíjen původně společností **On2 Technologies** → **Google** (2010)
- Cílem **VP9** bylo dosáhnout 50% úspory proti **VP8**
- Dostupné analýzy ukazují, že **VP9 nedosahuje účinnosti HEVC**



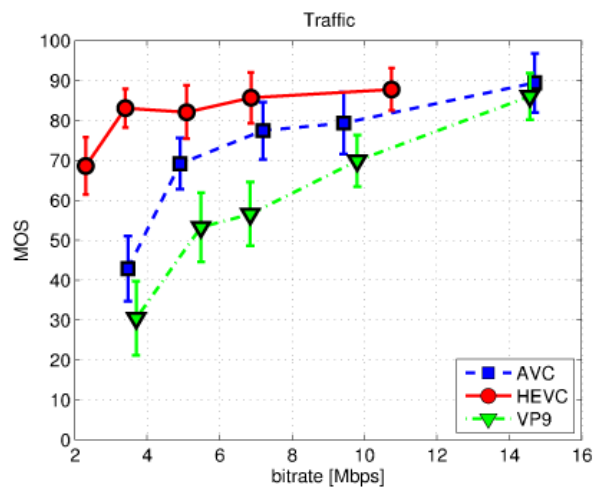
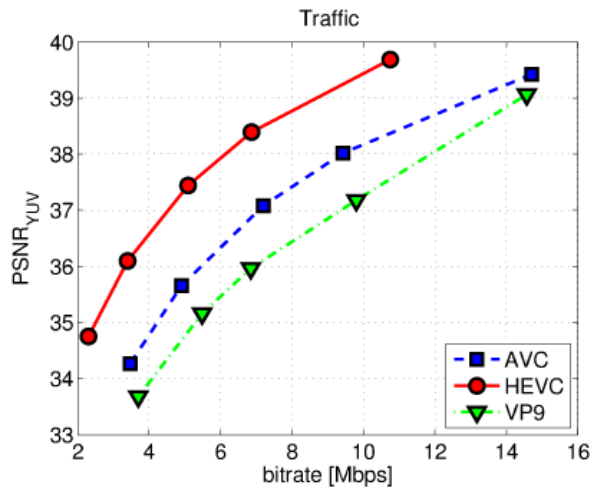
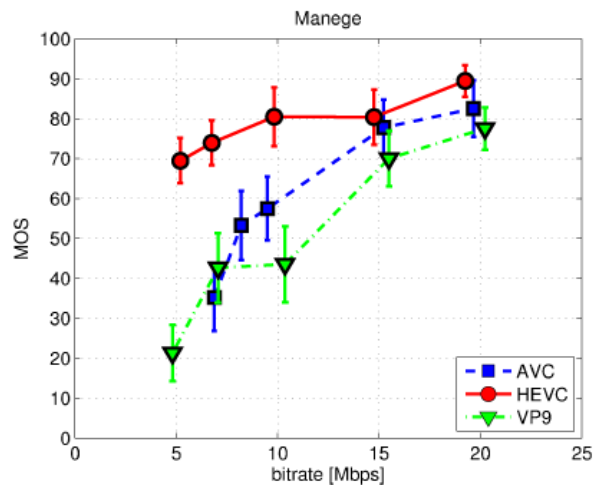
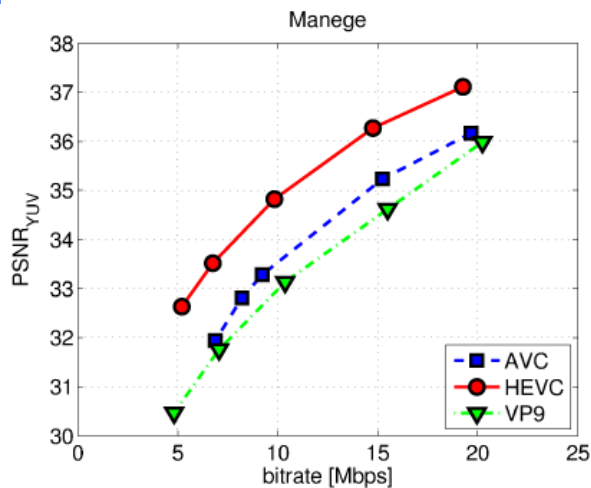
❖ Organizace **Xiph.Org** (podporuje **Mozilla**) vyvíjí kodek **Daala**

- Cílem je **otevřený formát, nezatížený licenčními poplatky**
- Cílem je **lepší účinnost** než **HEVC** a **VP9**
- Využívá **transformaci s překrývajícími se bloky**
- Výrazné **potlačení rušivé blokové struktury**
- Optimalizovaná **vektorová kvantizace**

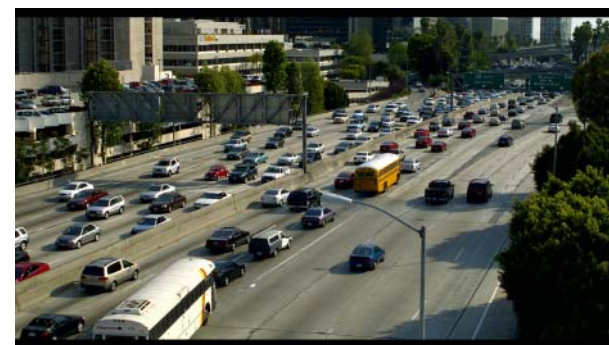


□ Porovnání kompresní účinnosti

❖ UHD aplikace (subjektivní a objektivní hodnocení)



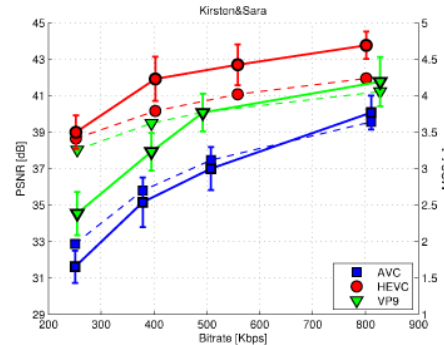
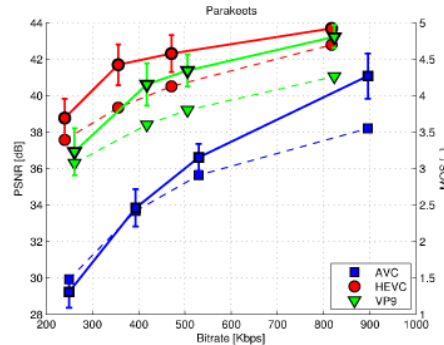
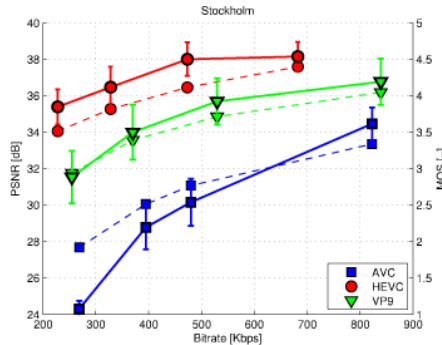
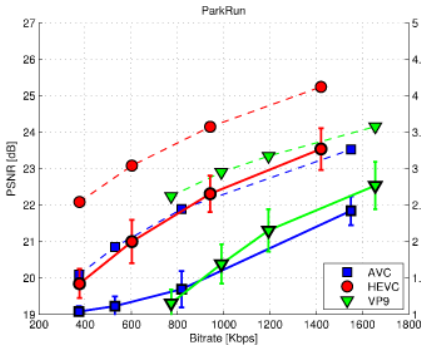
Testovací sekvence v rozlišení 4K



Testovací sekvence v rozlišení 4K

Porovnání kompresní účinnosti

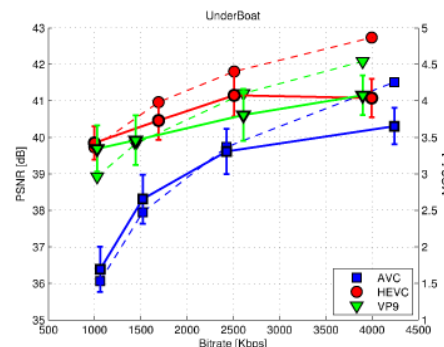
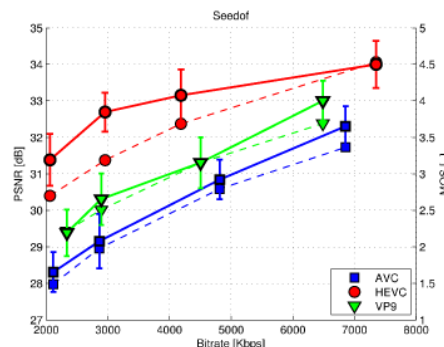
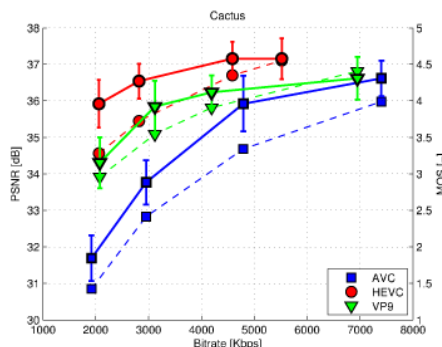
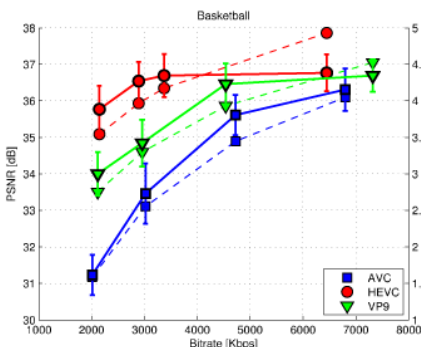
❖ Aplikace v reálném čase (subjektivní a objektivní hodnocení)



Rozlišení 720p



Rozlišení 1080p



□ Porovnání kompresní účinnosti

❖ UHD aplikace (subjektivní a objektivní hodnocení)

Content	HEVC vs AVC		VP9 vs AVC		HEVC vs VP9	
	BD-PSNR	BD-MOS	BD-PSNR	BD-MOS	BD-PSNR	BD-MOS
Manege	-28.7%	-44.6%	10.6%	29.2%	-39.7%	-63.7%
Traffic	-37.2%	-57.5%	25.1%	61.0%	-49.8%	-74.7%
Tree Shade	-22.7%	-37.4%	18.9%	-8.2%	-33.7%	-31.9%
Sintel2	-69.9%	-70.9%	-60.9%	-61.7%	-19.0%	-27.5%
Average	-39.6%	-52.6%	-1.59%	5.1%	-35.6%	-49.4%

❖ Aplikace v reálném čase (subjektivní a objektivní hodnocení)

Content	HEVC vs AVC		HEVC vs VP9		VP9 vs AVC	
	BD-Rate	ΔR	BD-Rate	ΔR	BD-Rate	ΔR
ParkRun	-54.8 %	-53.0 %	-44.0 %	-46.2 %	-18.3 %	-7.4 %
Stockholm	-	-	-46.1%	-54.7%	-55.9 %	-49.7 %
Parakeets	-69.1 %	-62.4 %	-32.1 %	-28.0 %	-55.5 %	-48.5 %
Kirsten&Sara	-60.1 %	-62.6 %	-20.8 %	-43.8 %	-52.8 %	-30.8 %
Basketball	-55.8 %	-59.3 %	-38.3 %	-45.6 %	-31.5 %	-28.3 %
Cactus	-54.3 %	-57.5 %	-23.6 %	-43.0 %	-42.9 %	-31.9 %
Seedof	-52.8 %	-61.8 %	-36.0 %	-51.1 %	-26.9 %	-21.9 %
Underboat	-54.2 %	-60.1 %	-27.6 %	-26.6 %	-39.2 %	-48.1 %
Average	-57.3%	-59.5%	-33.6%	-42.4%	-40.4%	-33.3%

☐ **Shrnutí základních vlastností standardu HEVC**

- ❖ **Redukce bitového toku na polovinu** proti H.264/AVC
 - Významné **zvýšení výpočetní náročnosti**
- ❖ Pro **moderní snímací systémy a displeje**
 - Rozlišení obrazu v rozsahu **320 x 240** (QVGA) až **8192 x 4320** (8K UHD)
 - Progresivní rozklad, rozšířený **gamut** a **vysoký dynamický rozsah**
- ❖ Používá opět **hybridní kodér**
 - **Vnitrosnímková** a **mezisímková** predikce
 - 2D **transformační kódování**
 - Nahrazení makrobloků stromovou strukturou CTU
 - Umožňuje **rozdělení obrazu na struktury proměnných rozměrů**
 - **Kódování entropie** založeno pouze na metodě **CABAC**
 - Přesnější **mezisímková predikce**
 - Vylepšený **protiblokový filtr** a **filtr pro potlačení záznějů**
- ❖ Podpora **paralelního zpracování** pro rychlé výpočty

□ *Rozšíření standardu HEVC*

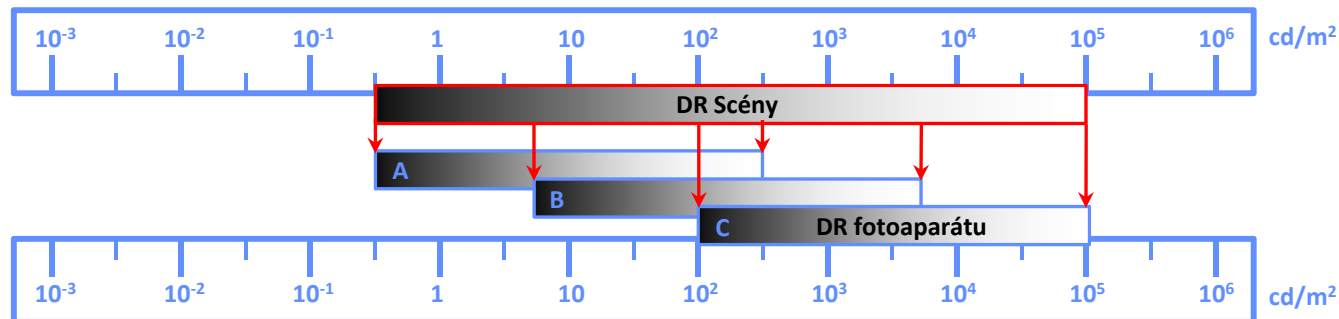
❖ *Postupné rozšiřování pro speciální aplikace*

- **3D** – komprese **3D videa** (dokončeno v roce **2015** jako **3D-HEVC**)
 - Efektivní **reprezentace hloubkové mapy** (redundance mezi snímkem a hloubkovou mapou)
 - **Pohybový vektor** obrazu lze použít i u **hloubkové mapy**
 - **Hloubková mapa** využita pro přesnější **mezipohledovou predikci**
- **HDR** (High Dynamic Range) – obraz s **vysokým dynamickým rozsahem**
 - HDR pro **realističtější zážitek** v budoucích systémech (**MPEG řeší od 2015**)
 - **Standardní dynamický rozsah** (SDR) – až **10 clonových čísel**
 - **Rozšířený dynamický rozsah** (EDR) – **10 až 16 clonových čísel**
 - **Vysoký dynamický rozsah** (HDR) – **víc jak 16 clonových čísel**
- **WCG** (Wide Color Gamut) – obraz s **rozšířeným barevným gamutem**
 - Podpora **barevných rozsahů** nad ITU-R BT.601 (SDTV) a BT.709 (HDTV)
 - Mezi uvažované **WCG** patří **ITU-R BT.2020** nebo **P3D65** (digitální kino)
- Důležitá je **zpětná kompatibilita**

□ Úvod do HDR

❖ Dynamický rozsah (DR)

- Poměr mezi *nejsvětlejším* L_{\max} a *nejtmavším* L_{\min} jasem ve scéně
- Scény reálného světa mohou mít DR *řádu mnoha dekád*
- DR *spotřebních fotoaparátů* je *mnohem nižší* než *DR scény*



- *Mnoho scén* dosahuje **DR 100 000 : 1**
- DR je **vysoký** pokud scéna obsahuje **zdroj světla** nebo **zrcadlové odrazy**
- **HVS** (při plném rozsahu adaptace) může pracovat s DR až **10 000 : 1**
- Běžné **kompaktní digitální fotoaparáty** nabízí DR okolo **400 : 1**
- Profesionální **DSLR** fotoaparáty mohou mít DR (RAW data) až **10 000 : 1**

❑ Fotografické snímání HDR obrazu

❖ Sada expozičních snímků (změna expozičního času)

- Rekonstrukce *převodní charakteristiky DF* a *mapy jasů scény*
- *Mapování jasů* do LDR snímku



Sejmutí sady snímků
běžným DF



Sada vstupních LDR snímků

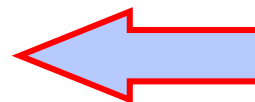
Rekonstrukce mapy
jasů reálné scény



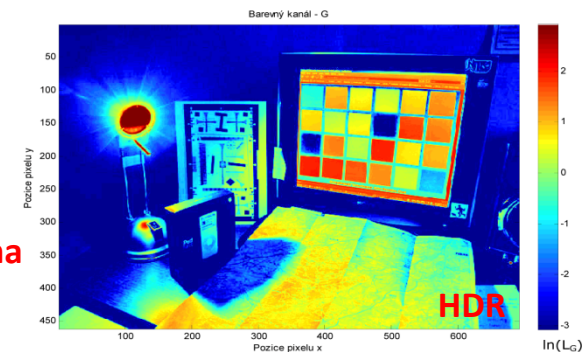
Zobrazení na běžném
monitoru



Výstupní LDR snímek

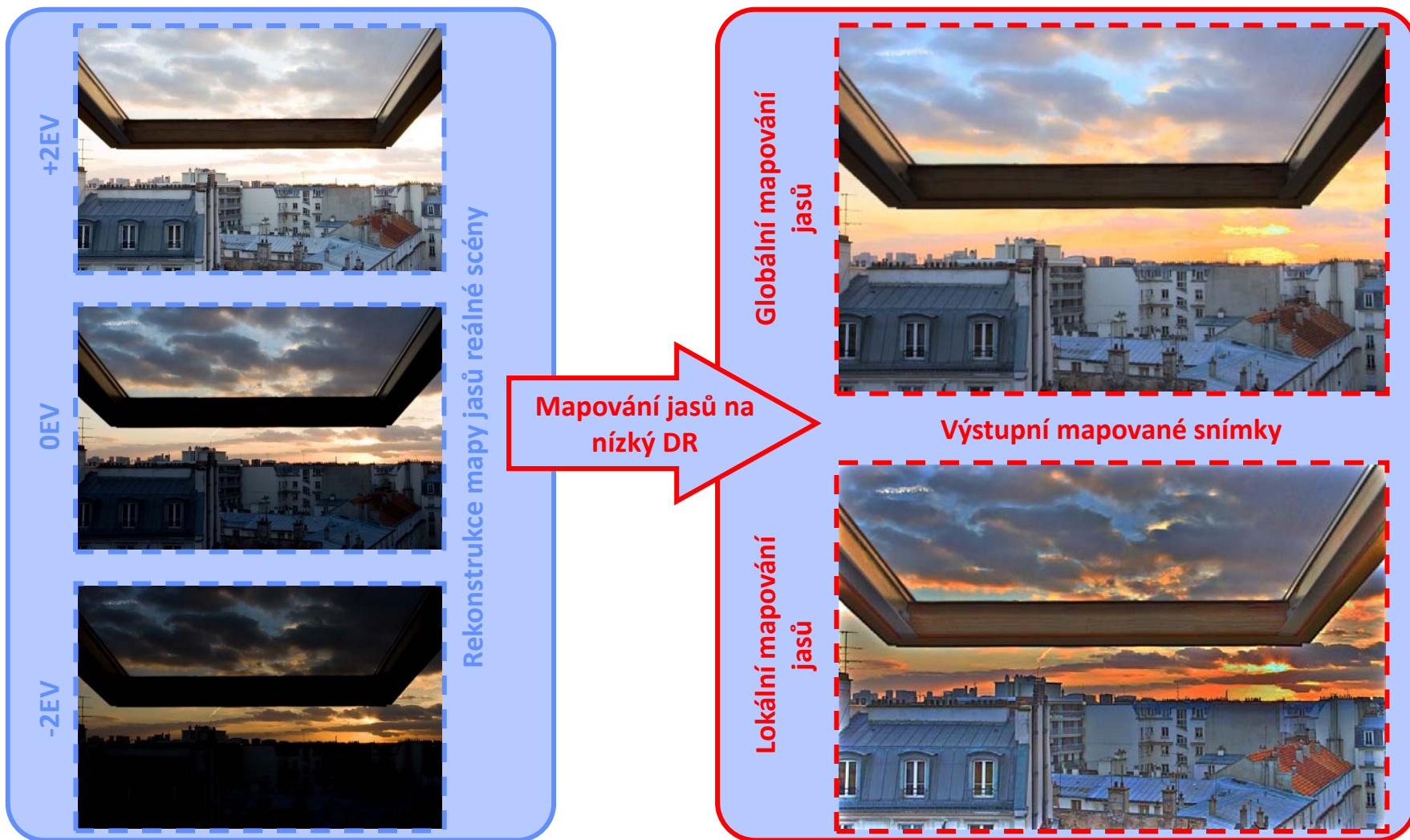


Mapování jasů na
nízký DR



HDR mapa jasů scény

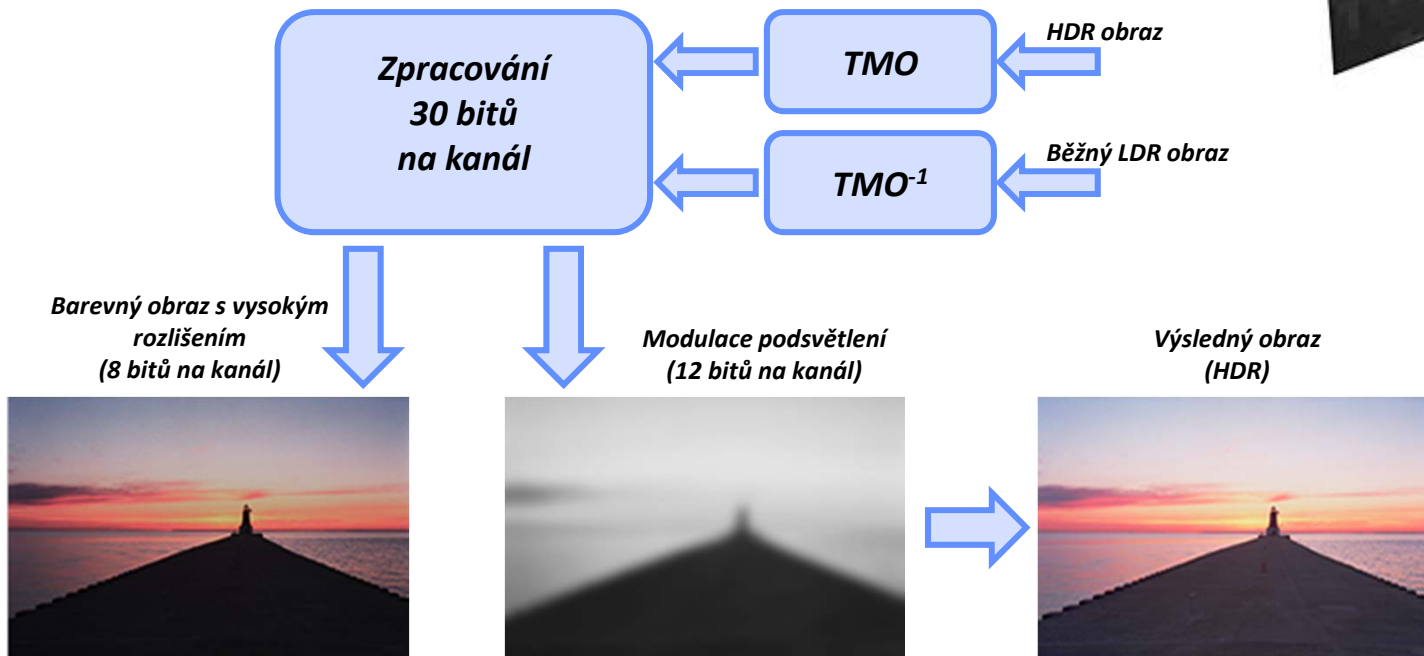
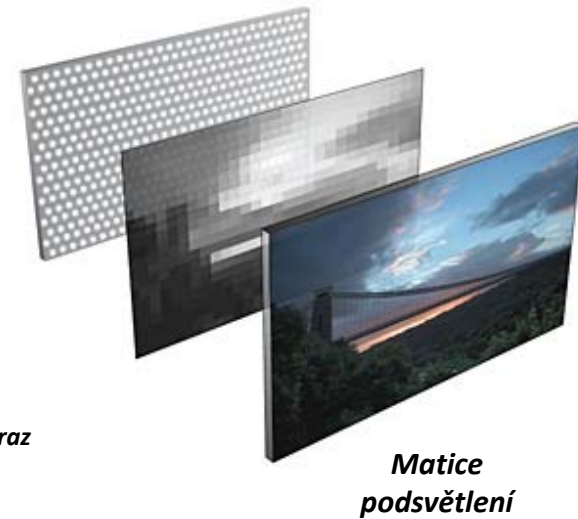
Ukázka mapování jasů



☐ Zobrazení HDR snímků

❖ SIM2 HDR 47E S 4K displej

- Podsvětlení maticí LED - **2202 oblastí**
– 1920 x 1080 pixelů, 4000 cd/m², kontrast 20 000:1
- **Zpracování obrazu** v displeji SIM2



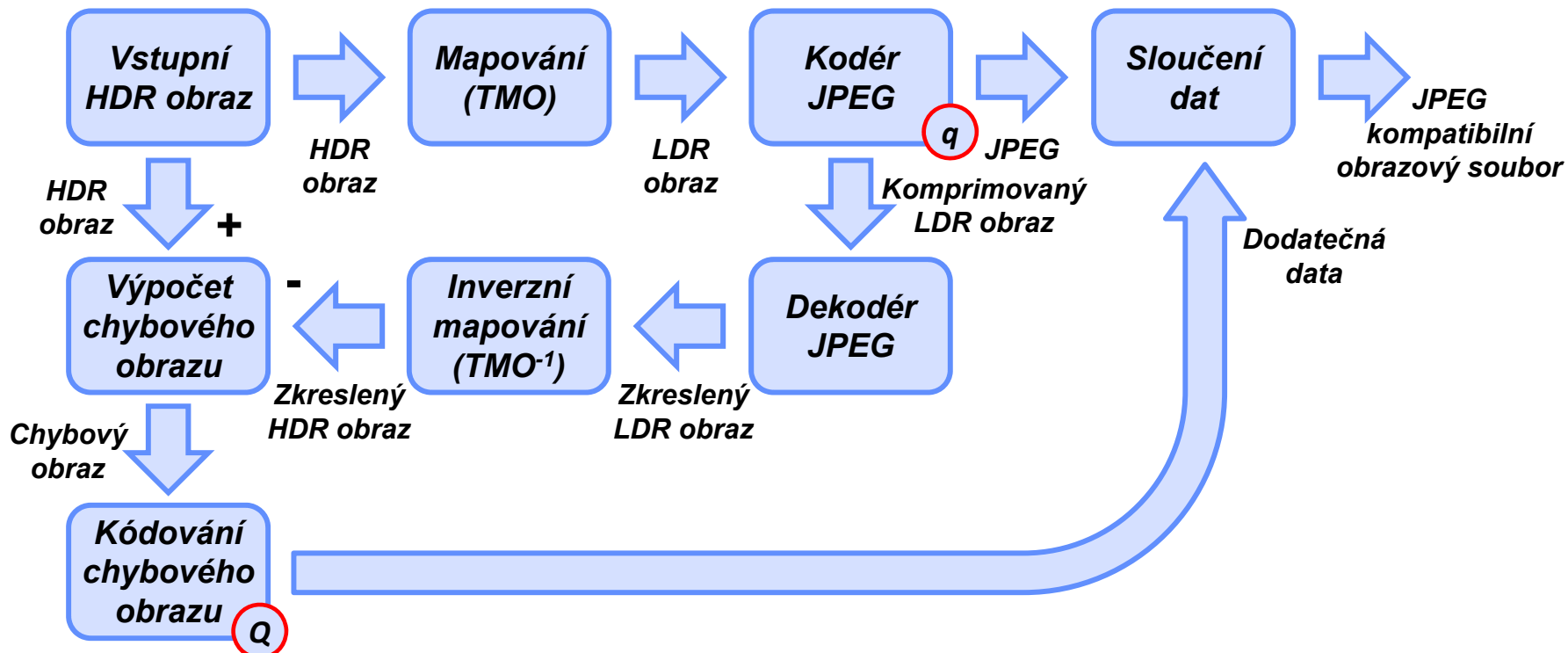
❑ Zpětně kompatibilní ztrátová komprese HDR obrazu

❖ Od roku 2013 připravovaný standard **JPEG XT**

- Rozšíření více než **20 let starého standardu JPEG**

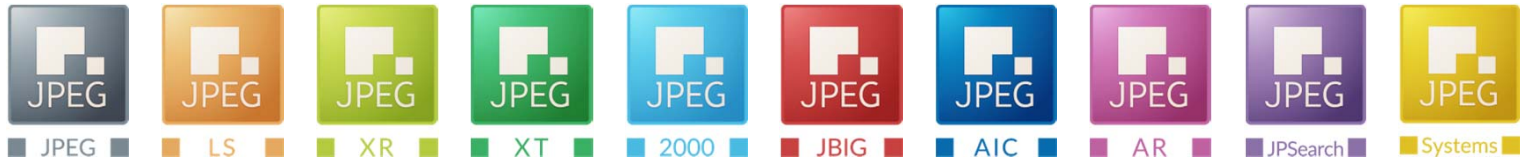
❖ **Kódování HDR obrazu pomocí JPEG po aplikaci TMO**

- Přenos **chybového signálu v postranních datech**



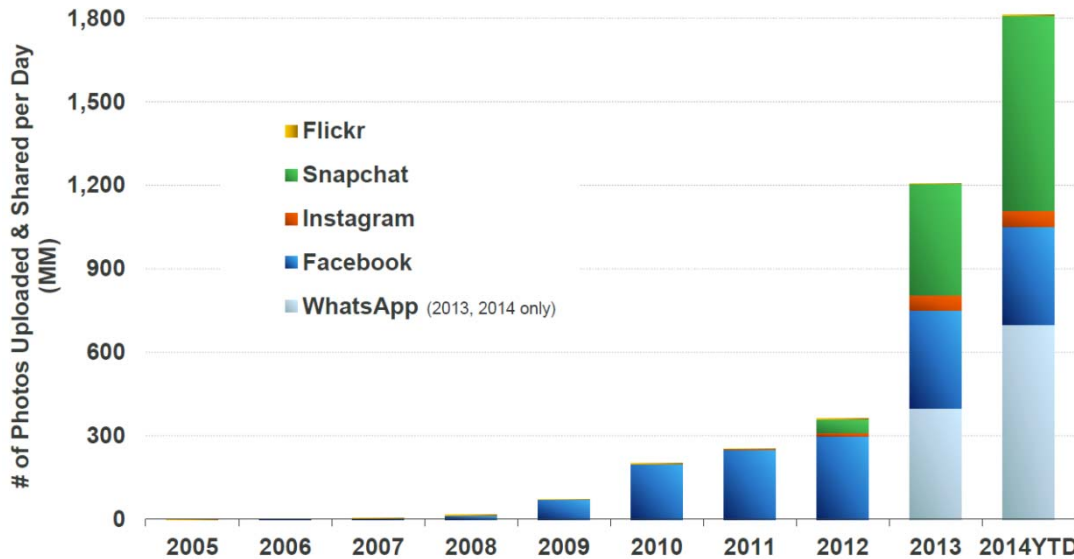
Skupina standardů JPEG

Joint Photographic Experts Group



Obrovské množství fotografií sdílených na Internetu

- Více jak 1,8 miliardy fotografií sdílených denně



Cena Emmy (1995-96) za vývoj technologie pro MPEG a JPEG

KPCB estimates based on publicly disclosed company data, 2014 YTD data per latest as of 5/14.

□ Skupina standardů JPEG

❖ Joint Photographic Experts Group

- **JPEG** (1992) – patří mezi nejúspěšnější standardy vůbec
- **JPEG 2000** (2000) – využití vlnkové transformace, vysoká účinnost
– Rozšířil se hlavně v profesionální praxi (DCI, DICOM, ...)
- **JPEG XR** (2009) – „eXtended Range“ – komprese HDR (až 32 bit na kanál)
– Nezaručená zpětná kompatibilita – malé uplatnění v produktech
- **JPEG XT** (2015) – zpětně kompatibilní komprese HDR obrazu

❖ Aktivita JPEG-PLENO

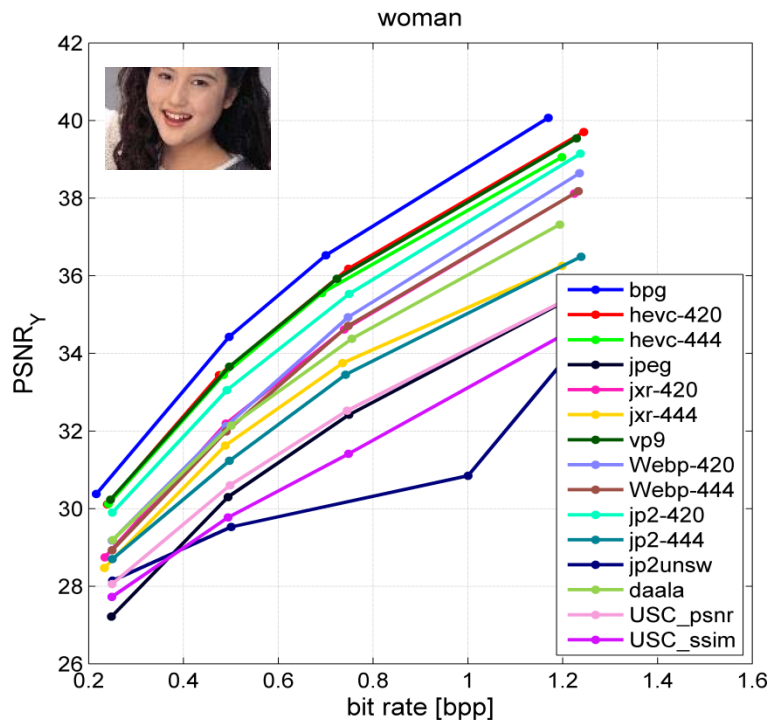
- **Nová aktivita JPEG** (2015)
– Zaměřuje se na **nové modality** (light-field (světelné pole), point-cloud (mračno bodů), holografie, ...)
– **Zpětná kompatibilita**
s klasickým JPEG



Skupina standardů JPEG

❖ Další vývoj – AIC (Advanced Image Coding)

- V **únoru 2015** byla zveřejněna **výzva Cfi** (Call for Information)
- Hledání nových nástrojů pro kompresní standardy další generace
- Velký potenciál má **vnitrosnímková** komprese založená na **HEVC**





Děkuji za pozornost!

