

Vývoj obrazových kompresních algoritmů formátů a standardů

**Dušan Líška
d.liska@volny.cz
mobil: 604 247 931**

**Radiokomunikace 2023
Pardubice 17. 10. 2023**

Nová slova v češtině

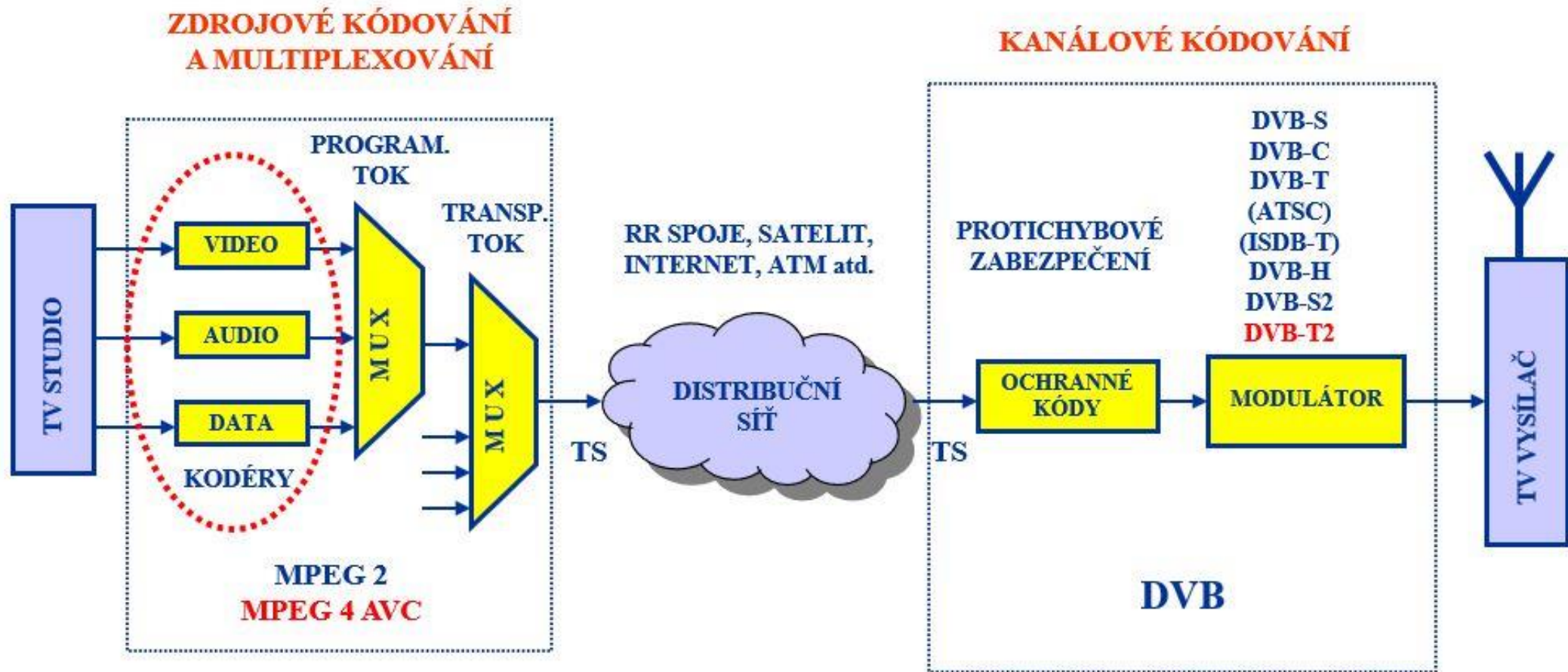
❑ Slovník neologizmů

- ❑ V r. 1998 vydalo nakladatelství Academie Praha 356-stranovou publikaci 9 spoluautorů z Ústavu pro jazyk český pod názvem Nová slova v češtině (druhé vydání v roce 2004, později asi i další)
- ❑ Je tam spousta známých slov, ale díky tolerance češtiny i zajímavých nových, např.: au-pairka, opérka; bestseler; brífink, briefing; grinpísák; houmlesák; pécéčko; softvér; updatovat; atd.

❑ Broadcasting (doslovně široký rozhoz)

- ❑ Původně užívaný v zemědělství jako “setí rukou či rozhozem, celoplošné hnojení apod.“. Pro rozhlas se začal také používat, protože jde o „široký rozhoz rozhlasových vln z vysílače“. Komplikace vznikly s TV vysíláním, které angličtina automaticky zahrnula pod *broadcasting*
- ❑ V tomto smyslu by se měla aktualizovat např. i Národní kmitočtová tabulka ve které “rozhlasová“ družice vysílá převážně televizní programy, což je anachronismus
- ❑ Technici v hovorové řeči používají bez problému angličtinu, ale v písemných vyjádřeních uvádějí často neúplné nebo víceslovné překlady
- ❑ Jsem přesvědčen, že potřebujeme dostat do češtiny výrazy broadcaster, broadcast, s původním i s počeštěným pravopisem (brodkastr, brodkast), což umožní regulérně používat českou gramatiku a autoři si budou moci vybrat konkrétní tvar. Podobně je vhodné převzít i slova unicast, multicast (unikast, multikast), stream (strím) a další
- ❑ Uvedená slova, ať s anglickým či počeštěným pravopisem, se do češtiny samy nedostanou. Musíme je používat, propagovat a pokud možno češtináře podrobněji informovat. Za podstatné zjednodušení i upřesnění odborné češtiny to určitě stojí!

Uspořádání původních digitálních systémů



Vývoj obrazových standardů kódování

- ❑ **Nejdůležitější standardy**
 - ❑ Základem všech je standard MPEG 2/H 262, následovaný postupně MPEG 4 AVC/H 264, MPEG HEVC/H 265 a nejnovější MPEG VVC/H 266
 - ❑ Standard MPEG 2 byl poprvé využit pro kódování DVB-S, DVB-T i DVB-C. Kódování je složkové, nejčastěji 4:2:2, na každý druhý jasový vzorek Y připadá 1 vzorek B-Y a 1 vzorek R-Y. Na každém z 576 aktivních řádků je 864 obrazových prvků (pixelů), z toho 720 je aktivních, zbytek je v zatemňovacím intervalu
 - ❑ Bitová rychlost potřebná pro samotný nekódovaný neprokládaný signál HD 1080p/50 Hz je zhruba 2,1 Gbit/s, pro UHD 2160p (4K) 8,3 Gbit/s a pro UHD 4320p (8K) 33,2 Gbit/s. Odpovídající interfejsy jsou 3G SDI, 12G UHD1 a 48G UHD2. Při snímkovém kmitočtu 100 Hz jsou bitové rychlosti dvojnásobné
 - ❑ Přenos těchto rychlostí s přijatelnou kvalitou obrazu k divákovi umožňují zdrojové a kanálové kódování
 - ❑ Rozhodující standardy vznikají zhruba jednou za desetiletí: MPEG 2/H 262 (1995 SD), MPEG 4 AVC/H 264 (2003 HD), MPEG (H) HEVC/H 265/ (2013 UHD, IP) a MPEG VVC/H 266 (2021 UHD 4K, 8K, IP). Potřebná bitová rychlost je s každým novým standardem po jeho usazení přibližně poloviční
 - ❑ Všechny tyto standardy pracují na stejných principech, které se postupně zdokonalují. Je to dvourozměrná diskrétní celočíselná transformace na základě diskrétní kosinové transformace DCT aplikovaná na různé dvourozměrné bloky obrazové informace. Následuje kvantizace a kódování transformovaných koeficientů a pohybově kompenzovaná diferenční pulzně kódová modulace DPCM. Tyto standardy definují pouze syntaxi přenášených bitových toků a vlastnosti dekodéru; konkrétní řešení kodérů je ponecháno na výrobcích. Proto jsou dekodéry jednoduché a levné, ale složité a drahé kodéry se s vývojem techniky podstatně zdokonalují

Principy standardu MPEG 2/H 262

❑ Členění obrazu DVB 2

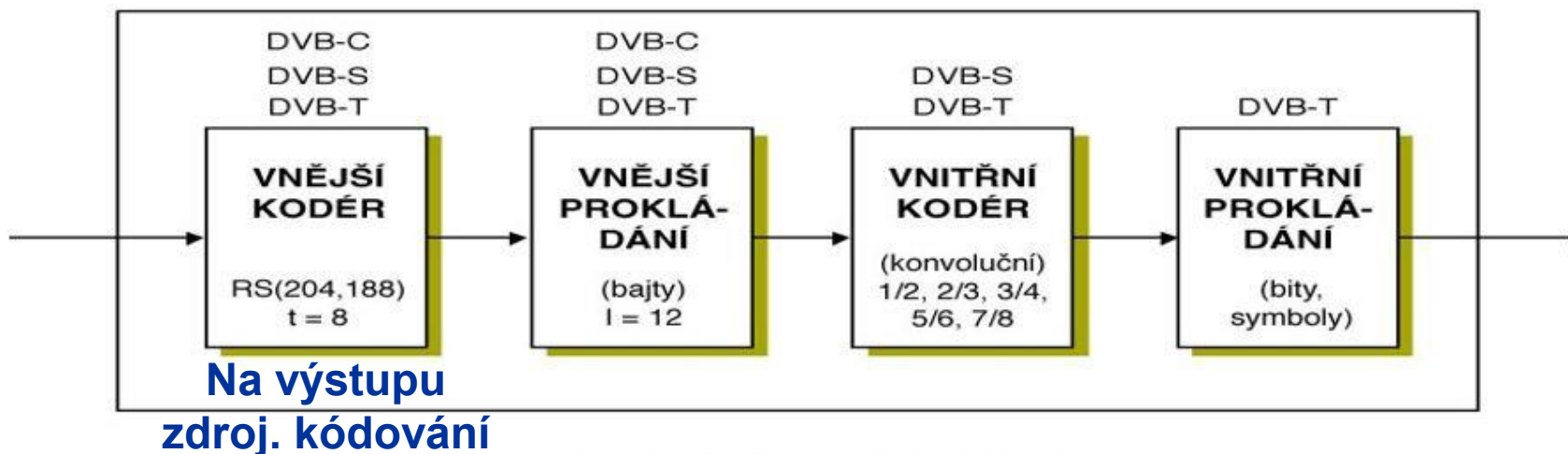
- ❑ Obraz se člení na: *vzorek* (sample) – 8 bitů jasový (luma) a chrominanční (chroma); *blok* – 8x8 vzorků luma nebo chroma; *makroblok* – 8 bloků (4x Y + 2x B-Y + 2x R-Y); *pruh makrobloků* (slice) - pokrývá 8 stejných aktivních řádků (1 až 45 makrobloků); *obrázek* (picture) – snímek nebo pulsnímek typu *I, P, B*; *skupina obrázků GOP* (Group of Pictures); *sekvence* – obvykle záběr

❑ Diskrétní kosinová transformace DCT

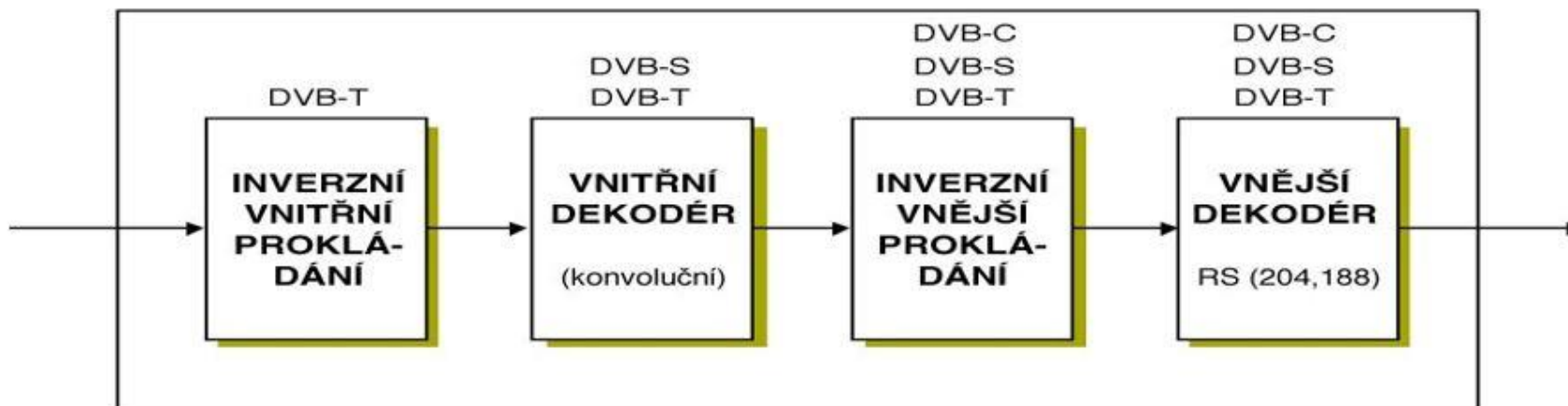
- ❑ DCT obsahuje pouze kosinové členy. Dvourozměrná DCT transformuje blok 8x8 obrazových prvků na blok 8x8 koeficientů DCT. Při transformaci konkrétního obrazového bloku se jednotlivé vzorky obvykle příliš neliší, takže po DCT je největší 1. koeficient (odpovídá ss složce) a další se směrem k vyšším horizontálním a vertikálním kmitočtům rychle blíží k nule a lze je zanedbat. Při inverzní DCT se v dekodéru transformují na obrazové prvky, takže výsledek se příliš neliší od původního bloku. To je základní princip redukce bitového toku
- ❑ Ze 3 typů obrázků je obrázek I kódován vnitrosnímkově, umožňuje správné stříhy bitových toků a obnovu signálu. Obrázek P (predicted) je kódován diferenciací DPCM k předchozímu obrázku I nebo P, takže přenáší jen rozdíly oproti již přenesenému obrázku, jehož polohu popisuje pohybový vektor v paměti dekodéru. Obrázek B (bidirectionally predicted) používá jako referenční obrázky I a P z předcházejícího nebo následujícího makrobloku, což vyžaduje změnu pořadí při vysílání. Délka a složení GOPu má velký vliv na redukci toku: GOP s obrázky I a spotřebě 50 Mbit/s vyžaduje při GOPu IBBBPBBBPBBB jen 13 Mbit/s

Protichybové zabezpečení

KANÁLOVÉ KÓDOVÁNÍ



KANÁLOVÉ DEKÓDOVÁNÍ



Kanálové kódování

❑ Základní principy kódování

- ❑ Přenáší bitové toky v Evropě v 8 MHz a v Americe a Japonsku v 6 MHz kanálech. V rámci projektu DVB má rozhodující význam protichybové zabezpečení, bez kterého by digitální vysílání nefungovalo. Pracuje s pakety transportního toku o délce 188 bajtů, ke každému přidává Reed Salomonův kód RS (204, 188, $t = 8$) 16 ochranných bajtů, takže lze opravit v paketu až 8 chybných bajtů. Prokládání (interleaving) chrání přenos proti shlukům chyb rozházením sousedních bajtů (vnější) a bitů (vnitřní prokládání) tak, že chyba do 12 bajtů se automaticky opraví při dekódování. Konvoluční kódování doplní k užitečných bitů na n ochranných bitů, k/n je kódový poměr. DVB-T používá poměry 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 a 7/8. 2. generace používá dokonalejší protichybové zabezpečení - vnější BCH a vnitřní LDPC
- ❑ Nejjednodušší digitální modulace BPSK přenáší analogovou nosnou 1 bit („0“ a „1“), 4-QAM (2 bity), 8- (3), 16- (4), 32- (5), 64- (6), 128- (7), 256- (8 bitů). Modulace 1024-QAM, 2048-QAM atd., zajišťují vyšší efektivitu, ale při daném zabezpečení vyžadují vyšší poměr signál/šum

❑ OFDM – ortogonální frekvenčně dělený multiplex

- ❑ **Princip OFDM je geniální:** místo jediné modulované nosné vlny vyplňují přenosový kanál tisíce subnosných vln stejné amplitudy modulovaných stejnou modulací, např. 64-QAM. Podstatou OFDM je **změna** přenosu informací **ze sériového na paralelní**, pro používaný mód 8k se přenos každé skupiny prodlouží 6817 krát. Spektrum OFDM je podobné bílému šumu. Ochranný interval umožňuje vysílat v jednofrekvenčních sítích SFN. Pokud stejný signál z různých vysílačů spadne do ochranného intervalu, všechny signály se sečtou.

Standardy MPEG 2 a MPEG 4 AVC

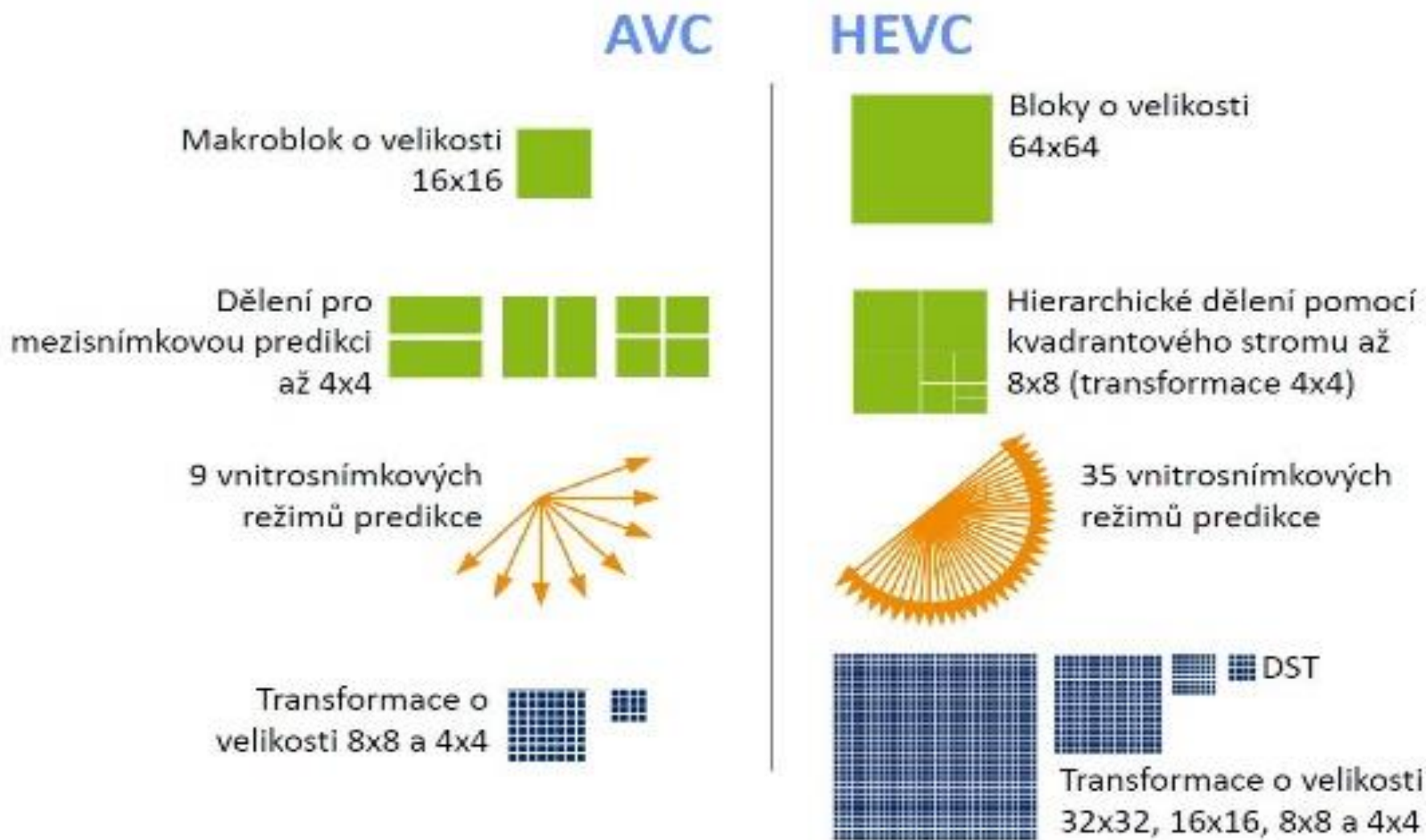
❑ Detekce a kompenzace pohybu MPEG 2

- ❑ Je založena při pohybu na vyhledání nejpodobnějšího (*referenčního*) makrobloku z již přenesených makrobloků. Ten se vybírá z okolí ve vyhledávací oblasti. Polohu tohoto makrobloku určuje *pohybový vektor* uložený v paměti dekodéru. Od aktuálního makrobloku se odečte referenční makroblok a dále se zpracovává tento rozdíl, který má podstatně menší členy, blíží se k nule
- ❑ Do zdrojového kódování patří i multiplex jednotlivých signálových složek (video, audio, data) a multiplex několika programů ve tvaru *transportního toku MPEG-2 TS* (Transport Stream) o délce 204 8-bitových bajtů (188 užitečných a 16 ochranných Reed-Solomonova kódu). Transportní tok přenáší také všechny potřebné informace pro dekódování v tabulkách a hlavičkách transportních paketů

❑ MPEG 4 AVC/H264

- ❑ Standard AVC (Advanced Video Coding) má makrobloky 16x16 a využívá složitější kompenzaci pohybu – až 5 snímků s přesností $\frac{1}{4}$ pixelu (oproti 2 snímkům s přesností $\frac{1}{2}$ pixelu). Algoritmy AVC jsou podstatně kvalitnější, používá se i pro strímování internetových zdrojů (YouTube, iTunes apod.).
- ❑ V roce 2008 DVB navrhlo standard DVB-T2 pro HDTV, většina západoevropských států přešla postupně na DVB-T2, S2, C2 s MPEG 4 AVC. Protože přechod na pozdější HEVC by byl komplikovaný, stal se standard AVC nejrozšířenějším standardem i dnes (rok 2023). ČR přešla na DVB-T2 v letech 2019-2020 a mohla tak využít nový standard DVB-T2/HEVC

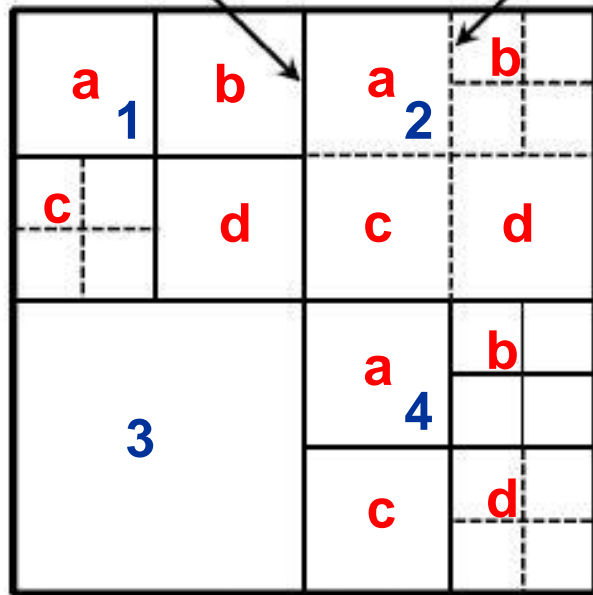
Porovnání standardů AVC a HEVC



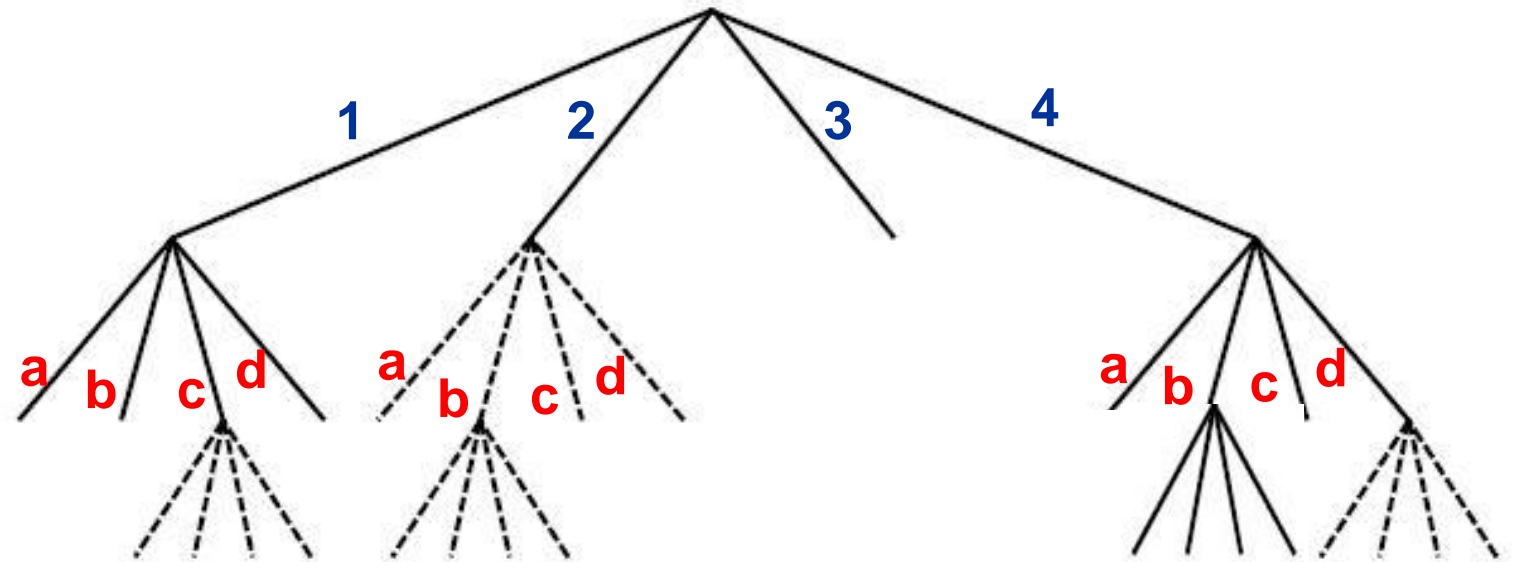
Princip kódovacího stromu HEVC

Hranice kódových bloků
CB (Coding Blocks)

Hranice transformačních bloků
TB (Transform Blocks)



Kódový stromový blok
CTB (Coding Tree Block)



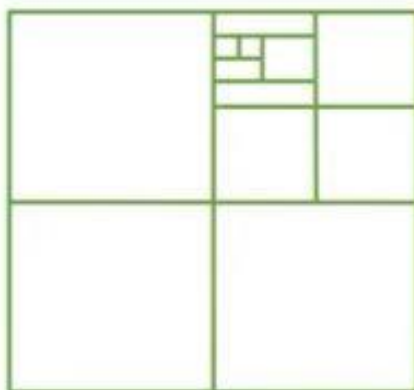
Odpovídající dělení CTB
kvadrantovým stromem

Zdroj: DVB DEMOS 2021

Porovnání standardů VVC HEVC



VVC vs. HEVC



Largest Coding Unit:

128x128

Split patterns:

- Quad
- Ternary
- Binary

Intra:

- 67 modes
- Advanced tools for reference selection, pixel prediction, etc.

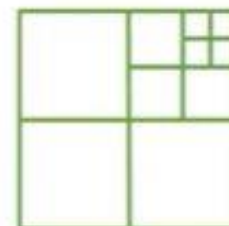


Inter:

- Non-rectangular shapes
- Generalized motion representation

Residual coding:

- Multiple primary transforms
- Secondary transform
- Dependent quantization



Largest Coding Unit: 64x64

Split patterns:

- Only quad

Intra:

35 modes



Inter:

- Rectangular shapes
- Linear motion

Residual coding:

- Single transform
- Residual Quad-Tree

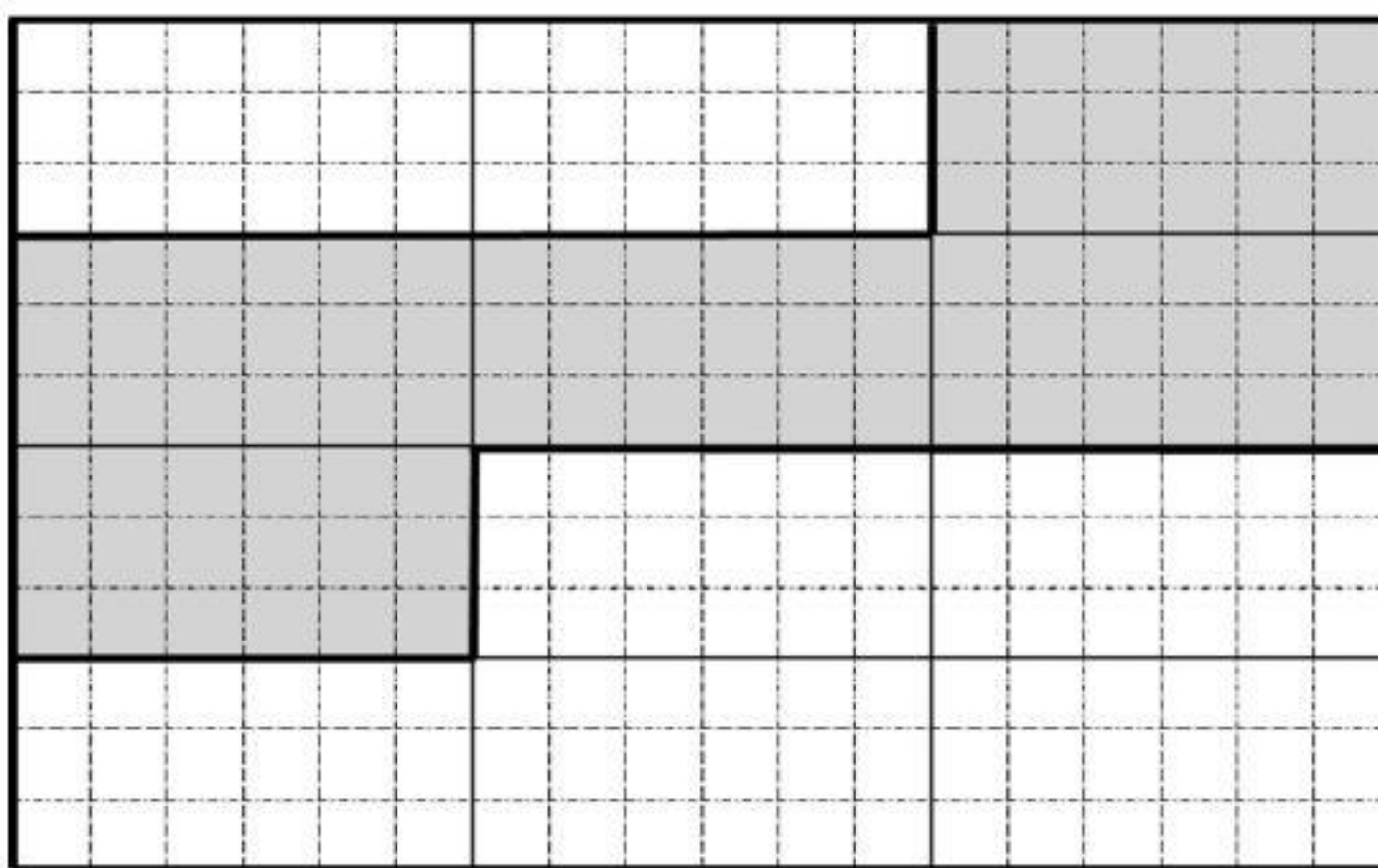
Příklad pokrytí obrázku ve standardu VVC



Standard MPEG VVC/H266

- ❑ **Návaznost standardu VVC na MPEG HEVC/H 265**
 - ❑ Kromě kódovacího stromu převzal nejnovější všestranný standard VVC (Versatile Video Coding) ze standardu HEVC také možnost paralelního zpracování signálu prostřednictvím *obdélníkových dlaždic* (tile), což podstatně zvyšuje rychlost zpracování. Již ve standardu HEVC byly makrobloky nahrazeny *jednotkami kódovacího stromu CTU* (Coding Tree Unit)
- ❑ **Dělení obrázku VVC na dílčí oblasti kódování**
 - ❑ Každý obrázek je rozdělen na podobrázky (Subpicture), řezy (Slice) a obdélníkové dlaždice (Tile), které jsou vyplněny jednotkami kódovacího stromu CTU (Coding Tree Unit). Obrázek je rozdělen na jeden nebo více řádků a jeden nebo více sloupců dlaždic. Jednotky CTU v dlaždici se skenují v pořadí rastrového skenování dané dlaždice.
 - ❑ Řez je složen z celočíselného počtu dlaždic. Řezy mohou mít režim rastrovaného řezu (následující slajd 15) nebo režim obdélníkového řezu (slajd 16). Dlaždice se skenují postupně v rámci daného řezu. Dílčí obrázek obsahuje jeden nebo více řezů, které pokrývají obdélníkovou část obrázku.

Příklad rozdělení obrázku VVC na dlaždice a řezy

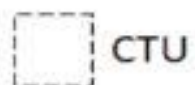


Obrázek je rozdělen na:
3 sloupce a 4 řádky dlaždic,
18x12 jednotek CTU a
3 rastrové řezy

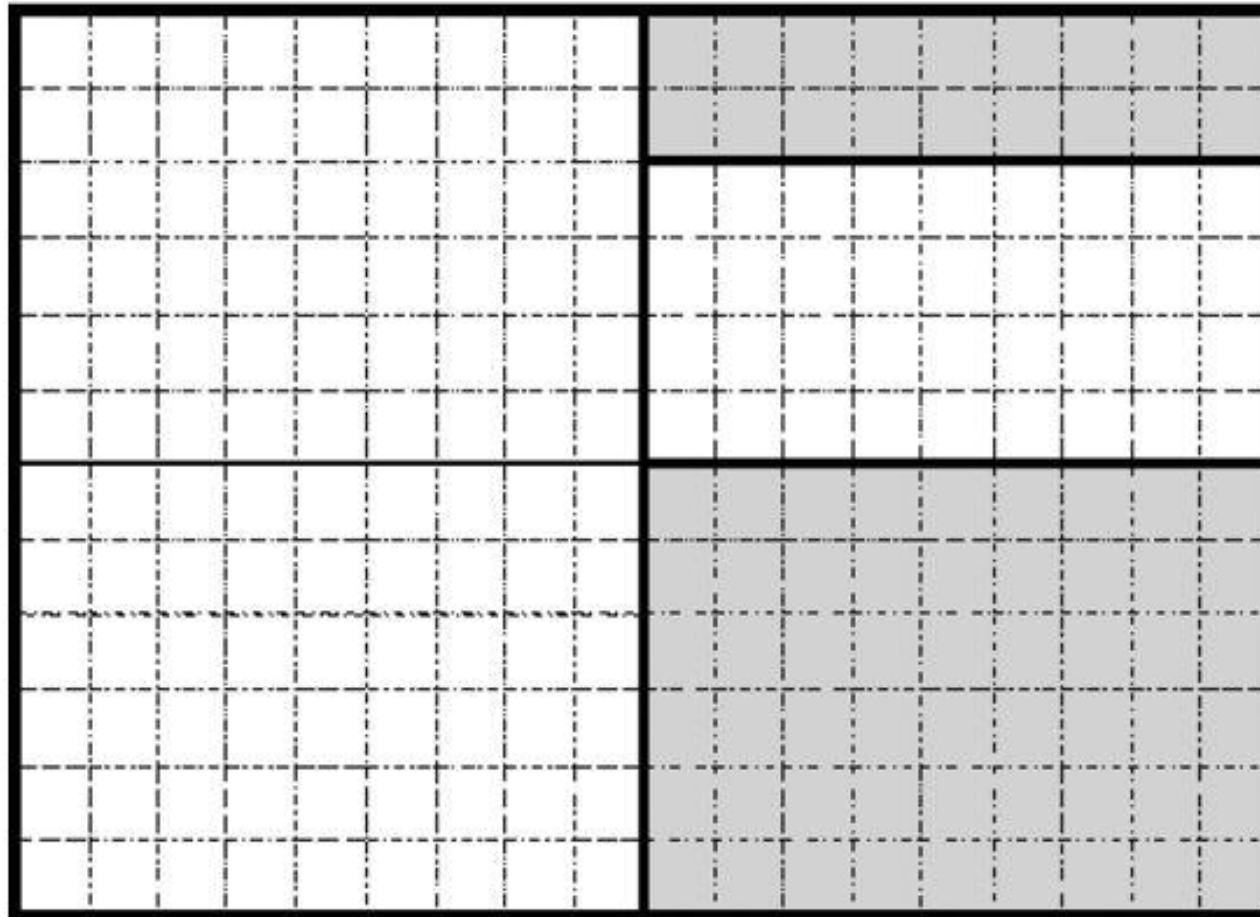
CTU (Coding Tree Unit)
Jednotka kódovacího stromu

Tile – dlaždice

Slice – řez



Jiný příklad rozdělení obrázku VVC



Obrázek je rozdělen na:
2 sloupce a 2 řádky dlaždic,
18x12 jednotek CTU a
4 obdélníkové řezy

CTU (Coding Tree Unit)
Jednotka kódovacího stromu

Tile – dlaždice

Slice – řez



CTU



Tile



Slice

Co umí DVB-NIP?

- ❑ DVB-NIP (Nativní vysílání IP) definuje protokoly pro satelitní a pozemní televizní vysílání zcela založené na IP (internetových protokolech), které již vůbec **nevyužívají** transportní tok **MPEG-2 TS**. Navazuje na systém DVB-I
- ❑ Práce na DVB-I začaly v roce 2017. Základním prvkem je aktualizace specifikace DVB-DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP) již s nižší latencí
- ❑ AMS (Adaptive Media Streaming) nabízí významný potenciál jako v sítích OTT (Over the Top). Zpoždění při přenosu potlačuje zmenšením segmentů DASH
- ❑ DVB-NIP využívá standardy založené na IP ve vysílacích sítích DVB. Vedle DVB-I (programy) je to DVB-AVC, DASH, VVC (kódování), DVB-MABR (Multicast Adaptive Bit Rate) pro distribuci multikastu a DVB-GSE (Generic Stream Encapsulation) pro linkové vrstvy
- ❑ Vysílá se v DVB-S2X a DVB-T2, domácí distribuce využívá DVB-HB
- ❑ DVB-NIP zajišťuje kvalitu vysílání na všech zařízeních, včetně chytrých telefonů, mobilů, ... a také živý obsah OTT a VOD řadě přijímačů bez připojení k internetu
- ❑ V roce 2019 se DVB rozhodlo změnit na **internet-centrické**
- ❑ Prvním výsledkem byla specifikace Nativní IP (DVB-NIP), schválená v únoru 2022 (*native - **nativní, přirozený, ryzí***), která přebírá výsledky práce na DVB-I

DVB-I a DVB-NIP na IBC 2023

□ DVB-I

- Německý pilotní projekt DVB-I byl předveden na komerčně dostupném televizoru. Na stánku DVB bylo možné sledovat satelitní klasické vysílání a širokopásmové služby kombinované v jediném seznamu programů s EPG. Projekt získal jako vítěz **cenu za inovaci**
- Italská komerční zkušební verze DVB-I uvádí otevřené studie DVB-I s více partnery, která integruje DTT a širokopásmové služby v návaznosti na úspěšné ověření konceptu vedené společností Mediaset od roku 2020
- Druhá fáze projektů DVB-I bude v Německu i Itálii pokračovat. Předpokládá se také menší projekt irské veřejnoprávní televize RTE, která zahájila testy několika funkcí DVB-I

□ DVB-NIP

- ENENSYS, přední poskytovatel řešení pro doručování uzavřel partnerství se společností EUTELSAT, předním satelitním operátorem, aby využili techniku DVB-NIP a předvedli na IBC 2023 strímingové služby přes síť 5Gvse živým signálem z Eutelsat Teleport
- Na IBC 2023 se podílela na uvedených předváděních velká skupina dalších společností, což potvrzuje, že DVB-I i DVB-NIP získávají další spolupracovníky a jejich význam roste

□ Kodér VVC/H 266

- Na výstavě byl představen SW kodér společnosti Spin Digital 8K-60-FPS-HDR VVC/H.266

Příklad otevřených a uzavřených GOPů ve VVC

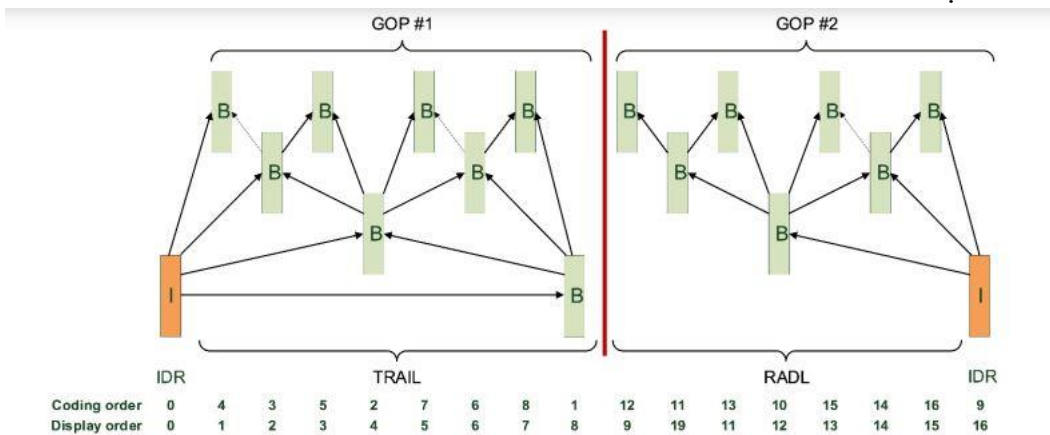


Figure 1 – Closed GOP coding structure with instantaneous decoding refresh (IDR) intra (I) picture and random access decodable leading (RADL) inter (B) pictures.

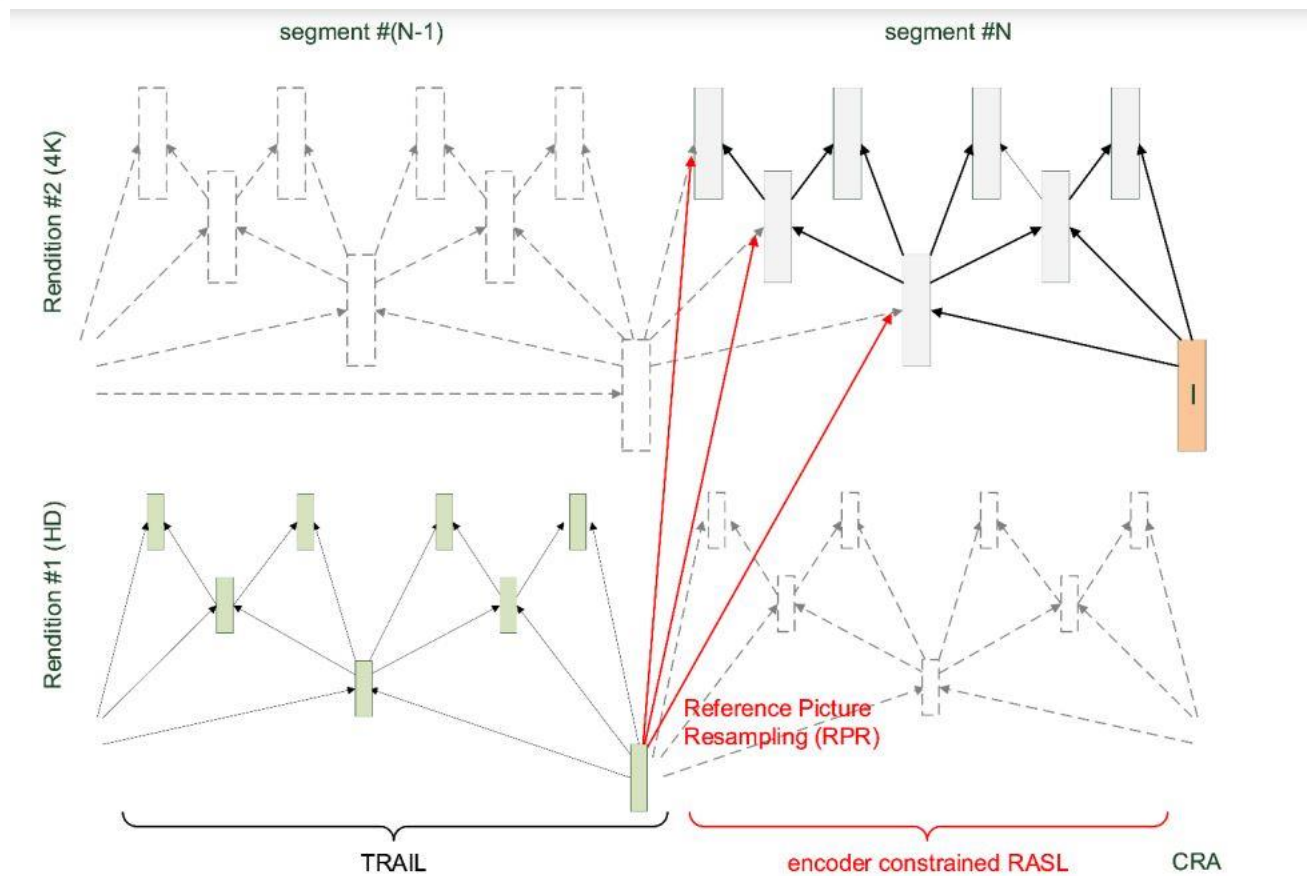


Figure 3 – Open GOP coding structure in adaptive streaming enabled by reference picture resampling (RPR) and constrained random access skipped leading (RASL) pictures.

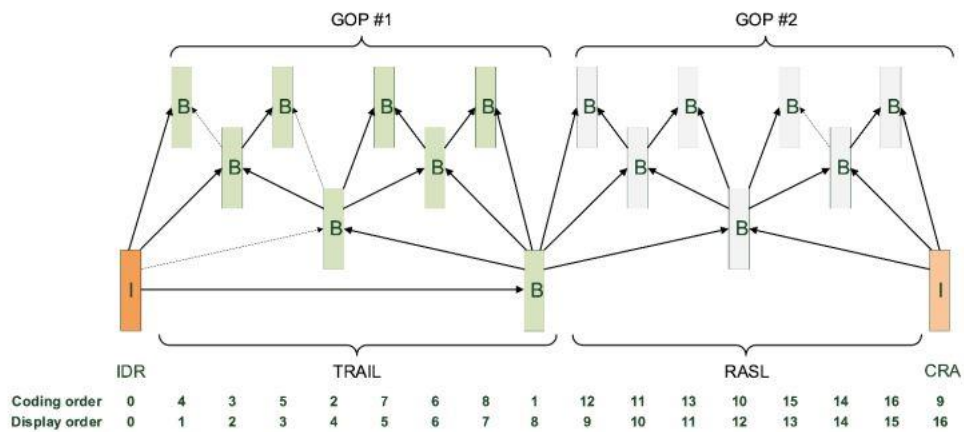
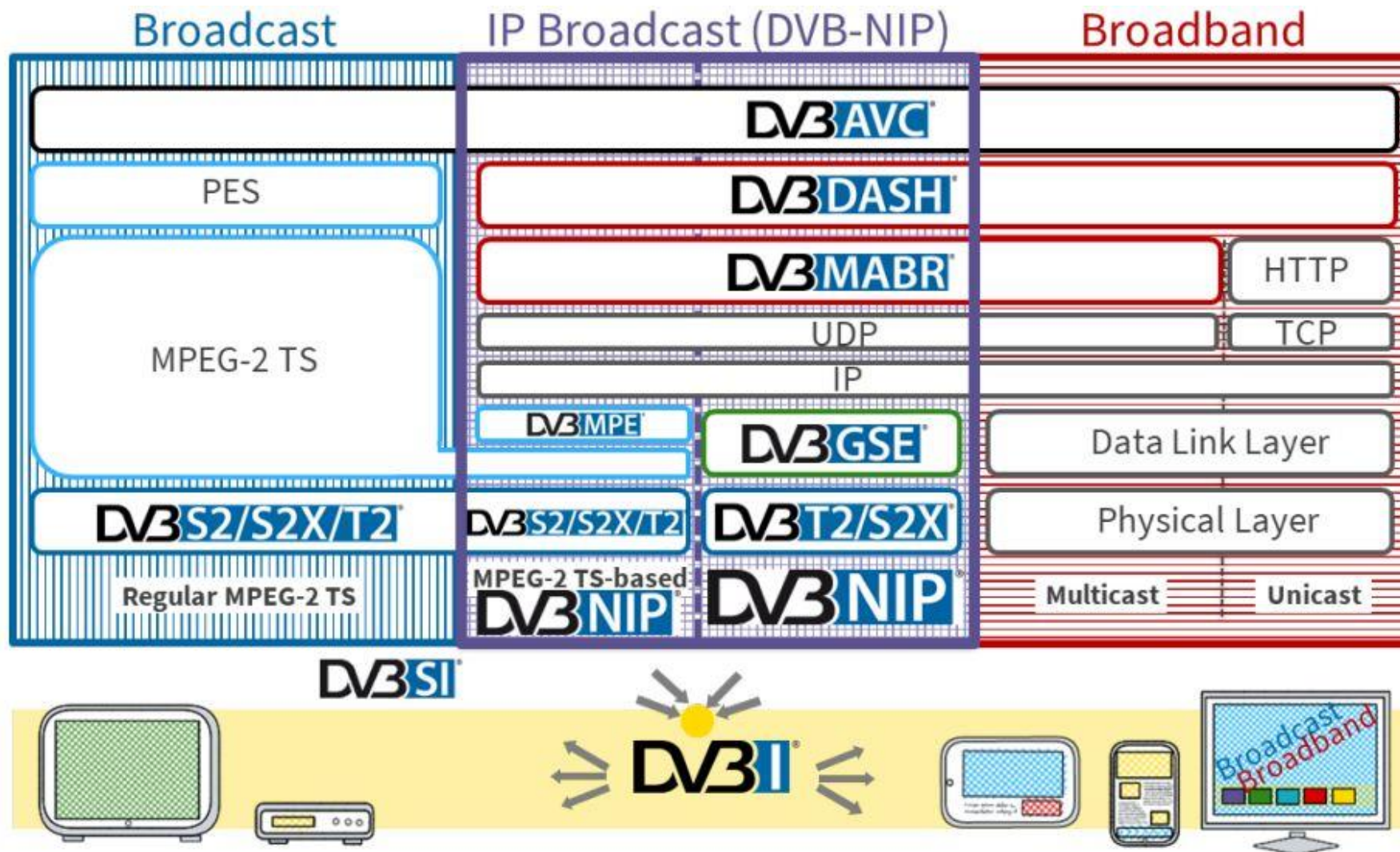
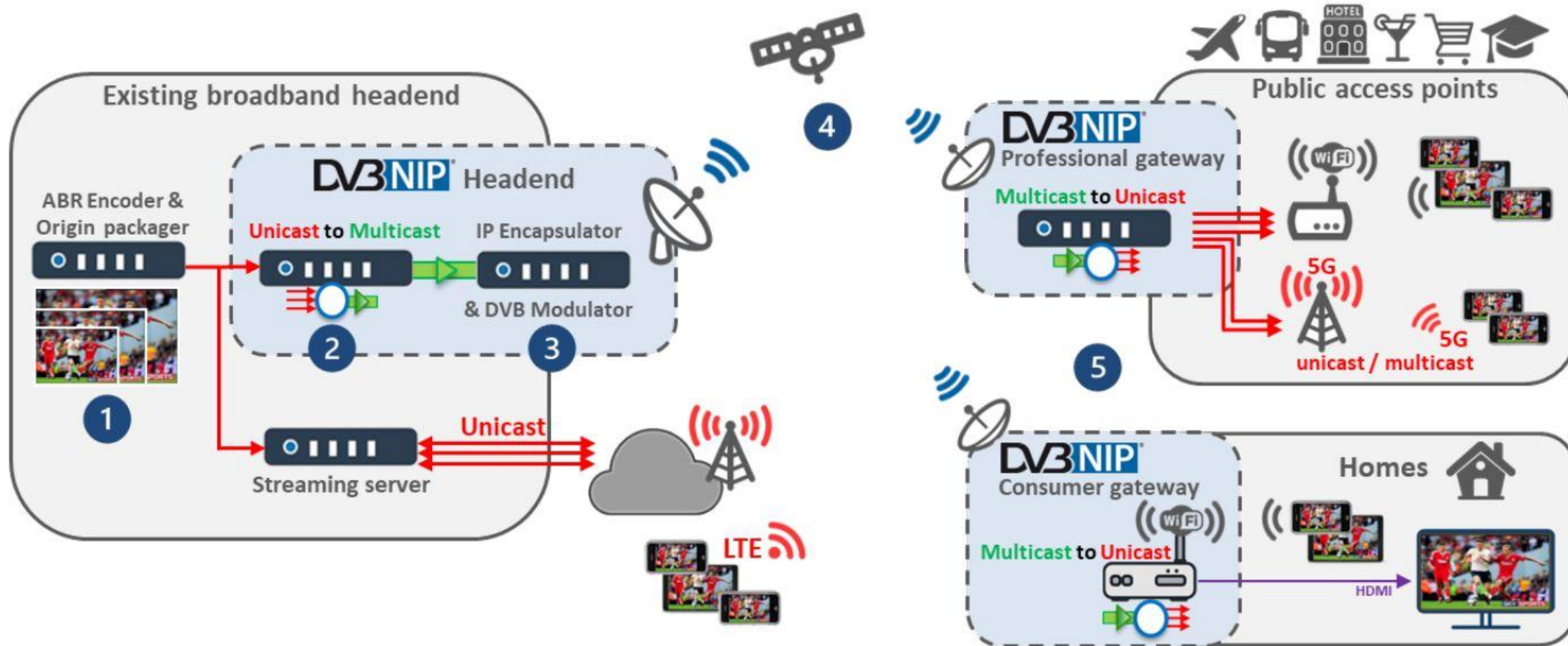


Figure 2 – Open GOP coding structure with constraint random access (CRA) intra (I) picture and random access skipped leading (RASL) inter (B) pictures.

Základní prvky distribuce A/V programů v DVB-NIP



Distribuce streamovaných programů přes DVB-NIP



1. DVB-AVC, DVB-DASH; 2. DVB-MABR; 3. DVB-GSE; 4. DVB-S2X, S2 nebo T2

Využití DVB-NIP pro vysílání

- ❑ 1. DVB-AVC, DVB-DASH: živý obsah je kódován a zabalen přes formát ABR (Adaptive Bitrate), který se používá i pro služby OTT přes širokopásmové sítě
- ❑ 2. DVB-MABR obsah jednosměrného vysílání je zapouzdřen do vícesměrného vysílání, což převádí nepředvídatelný unicastový provoz na stálý tok, jehož plochá šířka pásma umožňuje přenos přes vysílací sítě
- ❑ 3. DVB-GSE (Generic Stream Encapsulation) umožňuje přenos dat multicastu přes fyzickou vrstvu DVB-S2X nebo DVB-T2; pro podporu stávajících DVB sítí používá místo DVB-MPE (Multi-Protocol Encapsulation) kompatibilní režim k doručování v rámci transportního toku MPEG-2, například přes DVB-S2/T2
- ❑ 4. DVB-S2X, S2 nebo T2: fyzická vrstva využívá osvědčené a vysoce účinné systémy modulace DVB druhé generace, které mohou použít stávající přenosové infrastruktury
- ❑ 5. Na straně příjmu umožňují DVB-NIP brány, založené na stávající vysoce nákladově efektivní technologii DVB,, prostřednictvím Wi-Fi napájet jakékoli připojené zařízení včetně starších smartphonů. Profesionální brány mohou obsluhovat stovky zařízení na veřejných místech, v mobilních prostředích nebo dokonce napájet sítě 5G.

Hledání dohody o konvergenci

- ❑ **Peter Mac Avock, předseda projektu DVB (březen 2023):**
 - ❑ Mediální průmysl prochází **největší revolucí od vynálezu televize**. Přejít z analogové na digitální televizi byl považován za velmi obtížný, ale bylo to mnohem jednodušší než to, co se děje teď. Dnes je jasné, že přechod k IP je vítězný. Co se dříve přenášelo přes MPEG-2 TS nahradily nejnovější verze výhradně IP
 - ❑ Projekt DVB v poslední době výrazně prosadil své zaměření na IP. DVB-I je oblíbeným tématem na tradičních veletrzích a začíná se objevovat i v tv přijímačích, v důsledku zkoušek DVB-I v Německu a Itálii. Čas ukáže, zda bude dostupný na všech televizorech
 - ❑ I když ATSC 3.0 uvádí, že je výhradně systémem IP, je to stále systém využívající vysílací síť. Tyto sítě využívají IP, ale **IP není internet**. Nejnovější řešení DVB-NIP (Native IP) využívá strímovací techniku a je to internetový DVB. To je odlišné od přístupu zaměřeného jen na IP
 - ❑ Při předpokládaném souběhu světů internetu a vysílání, je potřebná větší spolupráce mezi evropským DVB, americkým ATSC, japonským ISDB a čínským DMB. Technika internetu a telekomunikací jsou nyní globální. Je čas, aby se při podpoře digitálního vysílání spojily
 - ❑ Konkurence mezi standardizačními orgány není prioritou DVB. Jde o přizpůsobení se výzvám světa, kterému dominují internetové společnosti. Náročný proces, kterým mnoho těchto organizací vyvíjí standardy, musí být revoluční. DVB se zaměřuje na poskytování tv programů v jakékoli síti – přes tradiční vysílače nebo síť IP

Nové fórum DVB-I

- ❑ DVB-I ušlo od roku 2018 dlouhou cestu. V roce 2022 byly v Německu a Itálii ověřovány dvě národní koncepce, které ukázaly, že DVB-I má potenciál umožnit hybridní služby
- ❑ Došlo se ke shodě, že bude nutné vypracovat pokyny k vytváření potřebných služeb a zařízení. Aby tento proces dobře fungoval, byl navržen **nový způsob práce v otevřeném on-line fóru DVB-I místo obvyklých setkání pouze členů DVB**
- ❑ V prosinci se Gordon Maynard stal moderátorem nového DVB-I fóra. Na DVB-I pracoval dříve jako konzultant a vývojář, takže jeho úkolem je pokračovat v práci a podávat shrnutí o diskusích fóra výborům TM-I a CM-I. Ty vyberou otázky pro fórum se zaměřením na problémy, které se musí vyřešit
- ❑ Zatím je fórum v počátcích, ale již se diskutovalo o některých důležitých otázkách DVB-I: např. o struktuře seznamů programů, použití DVB-I k nastavení přijímačů DSaT a o nových nápadech pro propojené aplikace. Fórum má již 200 členů a předložilo pár skvělých příspěvků od známých členů DVB i od nových účastníků
- ❑ Cílem je povzbudit každého, kdo má zájem o DVB-I, aby se připojil - je to skvělá příležitost dozvědět se a ovlivnit probíhající práci na tom, aby poskytování médií bylo plně hybridní. **Fórum je pro každého přístupné prostřednictvím webové stránky DVB-I (dvb-i.tv).**

Základní prvky distribuce A/V programů v DVB-I

- ❑ **DVB-DASH (Dynamic Adaptive Stream over HTTP)**
 - ❑ Je to mediální formát pro přenos lineárních tv programů přes internet (i na vyžádání)
- ❑ **DVB-MABR (Multicast Adaptive bit Rate)**
 - ❑ Popisuje vlastnosti distribuce A/V ve veřejných sítích, přizpůsobuje se podmínkám sítě. Využívá síťové techniky HTTP a síť CDN (Content Delivery Networks)
- ❑ **Síť CDN (Content Delivery Networks) s nízkou latencí**
 - ❑ Síť počítačů propojených internetem je složena ze zdrojového serveru a počítačů opakujících obsah, které ho dodávají uživateli z geograficky nejbližšího místa
- ❑ **Strímování multimedialního obsahu**
 - ❑ CMAF (Common Media Application Format) umožňuje uložit kódovaná data pro DASH a HLS (HTTP live Streaming) s velmi nízkou latencí
 - ❑ Latence je v kodéru prodleva mezi posledním vstupním prvkem a prvním zakódovaným bajtem. Segmenty jsou skupiny snímků načtené najednou
 - ❑ CMAF rozděluje segmenty v kodéru na bloky s minimální délkou 1 snímek. Jakmile je blok zakódován, lze ho okamžitě přehrát přes robustní **blokový přenos** (HTTP chunked Transfer). To umožňuje podstatně snížit latenci